CONSULTORÍA PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE CAMBIO CLIMÁTICO DEL SECTOR MINERO ENERGÉTICO, QUE RESPONDA A LAS OBLIGACIONES ESTABLECIDAS EN EL ARTÍCULO 170 DE LA LEY 1753 DE 2015

Producto 4. Componente de adaptación del sector minero energético



Fuente: http://agriculturers.com/nuestro-cambio-una-animacion-sobre-cambio-climatico-y-adaptacion/

Elaborado para:

MINMINAS

TODOS POR UN NUEVO PAÍS
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

Elaborado por:

Unión temporal INERCO-Universidad Nacional de Colombia

INERCO
Consultoría Colombia

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Bogotá, D.C.
Enero de 2018

CONSULTORÍA PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE CAMBIO CLIMÁTICO DEL SECTOR MINERO ENERGÉTICO, QUE RESPONDA A LAS OBLIGACIONES ESTABLECIDAS EN EL ARTÍCULO 170 DE LA LEY 1753 DE 2015

Producto 4. Componente de adaptación del sector minero energético

Hoja de control

Unión temporal INERCO-Universidad Nacional de Colombia

	Elaboró	**Revisó**	**Aprobó**	
Versión: 02	Equipo consultor Unión temporal INERCO-Universidad Nacional de Colombia	Jose Alejandro Bernal Mejía Director Área de Sostenibilidad Unión temporal INERCO-Universidad Nacional de Colombia	Rodrigo Alejandro Jiliberto Director del Proyecto Unión temporal INERCO-Universidad Nacional de Colombia	**Fecha de aprobación**: Enero de 2018
	Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	

Este “Producto 4. Componente de adaptación del sector minero energético” ha sido preparado por Unión temporal INERCO-Universidad Nacional de Colombia con un conocimiento razonable y con el cuidado y la diligencia establecidos en los términos del contrato con el Ministerio de Minas y Energía.

La Unión temporal INERCO-Universidad Nacional de Colombia niega alguna responsabilidad, con el Ministerio de Minas y Energía y con terceros al respecto de cualquier materia fuera del alcance anterior. Este informe es confidencial y la Unión temporal INERCO-Universidad Nacional de Colombia no acepta ninguna responsabilidad en absoluto, si otros tienen acceso a parte o la totalidad del informe.

Anotaciones:

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

CONSULTORÍA PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE CAMBIO CLIMÁTICO DEL SECTOR MINERO ENERGÉTICO, QUE RESPONDA A LAS OBLIGACIONES ESTABLECIDAS EN EL ARTÍCULO 170 DE LA LEY 1753 DE 2015

Producto 4. Componente de adaptación del sector minero energético

Hoja de control

Ministerio de Minas y Energía

	Elaboró	Revisó	Aprobó	
Versión: 02	INERCO Consultoría Colombia / UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Diego Grajales Ministerio de Minas y Energía	Eduardo Jose Sánchez Ministerio de Minas y Energía	**Fecha de aprobación**: Enero de 2018
	Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	

En la preparación de este "Producto 4. Componente de adaptación del sector minero energético" la Unión temporal INERCO-Universidad Nacional de Colombia y el Ministerio de Minas y Energía utilizaron la información provista por consultores especializados, autoridades nacionales y regionales, así como de otras fuentes no gubernamentales. El Ministerio de Minas y Energía realizó la verificación de la información que su conocimiento y experiencia le permitió.

Este informe ha sido preparado por la Unión temporal INERCO-Universidad Nacional Colombia, con un conocimiento razonable y con el cuidado y la diligencia establecidos en los términos del contrato con el Ministerio de Minas y Energía.

Anotaciones:

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN 1
1. Eventos prospectivos 1
1.1 Cambio Climático 6
1.1.1 Mapa de escenario de cambio climático (2040) 6
1.1.2 Mapas de susceptibilidad prospectivos de eventos para cambio climático ... 1
1.2 Variabilidad climática 8
1.2.1 Fenómeno de La Niña 8
1.2.2 Fenómeno de El Niño 16
2. Hidrocarburos 23
2.1 Selección de eventos 23
2.1.1 Socialización y validación de eventos en los talleres 24
2.1.2 Eventos considerados en los escenarios 25
2.2 Áreas del sistema del subsector hidrocarburos 30
2.2.1 Cambio Climático 30
2.2.2 Variabilidad Climática 38
2.3 Caracterización del subsector hidrocarburos 44
2.3.1 Distribución territorial del subsector 46
2.3.2 El subsector en la economía nacional 46
2.3.3 Niveles de producción 47
2.3.4 Comercio exterior (exportaciones) 47
2.3.5 Precios 47
2.3.6 Generación de empleo 48
2.3.7 Principales retos y problemáticas del subsector 48
2.3.8 Proyección del desarrollo del subsector, según la política y planificación del gobierno 49
2.4 Identificación y valoración de la gravedad de las amenazas 51
2.4.1 Cambio Climático 51
2.4.2 Variabilidad Climática 71
2.5 Índice Vulnerabilidad 92

2.5.1 Índice de sensibilidad de los componentes del sistema de hidrocarburos... 92
2.5.2 Índice de capacidad de adaptación del sistema de los hidrocarburos..... 98
2.5.3 Vulnerabilidad del sistema de los hidrocarburos 102
2.6 Análisis de riesgo..... 102
2.6.1 Cambio Climático 102
2.6.2 Variabilidad Climática 136
2.7 Identificación medidas de adaptación 179
2.7.1 Priorización medidas de adaptación 181
2.8 Indice de confiabilidad 181
2.9 Indice de riesgo departamental..... 182
2.9.1 Cambio Climático 182
2.9.2 Variabilidad Climática 184
3. Gran minería de carbón 186
3.1 Selección de eventos..... 186
3.2 Áreas del sistema 190
3.2.1 Cambio climático 190
3.2.2 Variabilidad climática 196
3.3 Caracterización del subsector gran minería de carbón 200
3.3.1 Distribución territorial del subsector 201
3.3.2 El subsector en la economía nacional 202
3.3.3 Niveles de producción 202
3.3.4 Comercio exterior (exportaciones) 203
3.3.5 Precios 203
3.3.6 Generación de empleos..... 203
3.3.7 Principales retos y problemáticas del subsector 204
3.3.8 Proyección del desarrollo del subsector según la política y planificación del gobierno 206
3.4 Identificación y valoración de la gravedad de las amenazas..... 207
3.4.1 Cambio Climático 207
3.4.2 Variabilidad Climática 222
3.5 Indice de vulnerabilidad gran minería de carbón..... 240
3.5.1 Índice de sensibilidad gran minería de carbón..... 240

3.5.2 Índice capacidad de adaptación del sistema de la gran minería de carbón241
3.5.3 Índice de vulnerabilidad del sistema de la gran minería del carbón 243
3.6 Análisis de riesgo..... 243
3.6.1 Cambio Climático 243
3.6.2 Variabilidad Climática 268
3.7 Identificación medidas de adaptación 311
3.7.1 Priorización medidas de adaptación 316
3.8 Indice de confiabilidad 316
3.9 Indice de riesgo departamental..... 317
3.9.1 Cambio Climático 317
3.9.2 Variabilidad Climática 319
4. Energía Eléctrica 322
4.1 Selección de eventos..... 322
4.2 Áreas del sistema 324
4.2.1 Cambio Climático 324
4.2.2 Variabilidad Climática 332
4.3 Caracterización del subsector energía eléctrica..... 337
4.3.1 El subsector en la economía nacional 339
4.3.2 Niveles de producción 339
4.3.3 Comercio Exterior..... 340
4.3.4 Precios 340
4.3.5 Principales retos y problemáticas del subsector 341
4.3.6 Proyección del desarrollo subsectorial, según la política y planificación del gobierno343
4.4 Identificación y valoración de la gravedad de las amenazas..... 344
4.4.1 Cambio Climático 344
4.4.2 Variabilidad Climática 360
4.5 Índice de vulnerabilidad del sistema de la energía eléctrica..... 375
4.5.1 Índice de sensibilidad del sistema de la energía eléctrica..... 375
4.5.2 Índice de capacidad de adaptación del sistema de la energía eléctrica 378
4.5.3 Índice de vulnerabilidad del sistema de la energía eléctrica..... 381
4.6 Análisis de riesgo..... 381

4.6.1 Cambio Climático 381
4.6.2 Variabilidad Climática 404
4.7 Identificación medidas de adaptación 446
4.7.1 Priorización medidas de adaptación 450
4.8 Indice de confiabilidad 450
4.9 Indice de riesgo departamental 451
4.9.1 Cambio Climático 451
4.9.2 Variabilidad Climática 453
5. Indicadores de competitividad 455
5.1 Índice de sensibilidad socio climática 455
5.1.1 Resultados 455
5.1.2 Análisis 465
5.2 Índice impacto del sector minero energético en el desabastecimiento hídrico departamental 466
5.3 Índice de impacto sobre producción 473
6. Estructura del componente de adaptación del PIGCC 480
6.1 Líneas estratégicas del componenete de adaptación 480
6.1.1 Resiliencia Energética 480
6.1.2 Gobernanza climática 482
6.2 Líneas estratégicas del componenete transversal 483
6.2.1 Línea Estratégica de Apoyo a la Gestión Empresarial 483
6.2.2 Línea Estratégica de Generación y Difusión del Conocimiento 483
7. Índice de nivel de cobertura de los riesgos 485
7.1 Hidrocarburos 487
7.1.1 Efectividad de las acciones 488
7.2 Gran Minería de Carbón 490
7.2.1 Efectividad de la acción. 492
7.3 Energía Eléctrica 493
7.3.1 Efectividad de la acción 495
8. Sinergias 498
8.1.1 Cálculo del Grado de gestión del riesgo de adaptación asociado a la sinergia con la medida de mitigación 498

8.1.2 Cálculo de Grado de sinergia de la medida de mitigación con los riesgos de adaptación 500
8.2 Conclusiones 503
Bibliografía 505

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 2-1 Impacto de los diferentes eventos de cambio climático sobre elementos del sistema de hidrocarburos 23
Tabla 2-2 Selección de eventos amenazantes sobre el sistema de hidrocarburos según su comportamiento histórico con proyección a escenarios futuros de cambio climático 24
Tabla 2-3 Gravedad relativa del impacto de diferentes eventos sobre el sistema de hidrocarburos 26
Tabla 2-4 Características de las áreas de exploración y TEA 30
Tabla 2-5. Áreas de análisis hidrocarburos 38
Tabla 2-6 Componentes y subcomponentes del subsector de Hidrocarburos 46
Tabla 2-7 Amenazas al sistema para el componente de exploración del subsector de hidrocarburos 51
Tabla 2-8 Amenazas al sistema para el componente de producción del subsector de hidrocarburos 53
Tabla 2-9 Amenazas al sistema para el componente de transporte del subsector de hidrocarburos 57
Tabla 2-10 Amenazas al sistema para el componente de infraestructura portuaria del subsector hidrocarburos 58
Tabla 2-11 Amenazas al entorno del subsector de hidrocarburos 60
Tabla 2-12 Amenazas al sistema para el componente de exploración del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de La Niña 71
Tabla 2-13 Amenazas al sistema para el componente de producción del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de La Niña 72
Tabla 2-14 Amenazas al sistema para el componente de transporte del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de La Niña 73
Tabla 2-15 Amenazas al entorno del subsector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de La Niña 74
Tabla 2-16 Amenazas al sistema para el componente de exploración del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de El Niño 81
Tabla 2-17 Amenazas al sistema para el componente de producción del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de El Niño 81
Tabla 2-18 Amenazas al sistema para el componente de transporte del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de El Niño 83
Tabla 2-19 Amenazas al entorno del subsector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de El Niño 84
Tabla 2-20 Indicadores de sensibilidad del subsector hidrocarburos para el componente exploración 92
Tabla 2-21 Indicadores de sensibilidad del subsector hidrocarburos para el componente producción 94

Tabla 2-22 Indicadores de sensibilidad del subsector hidrocarburos para el componente transporte 96
Tabla 2-23 Indicadores de sensibilidad del subsector hidrocarburos para el componente infraestructura portuaria..... 97
Tabla 2-24 Indicadores de capacidad de adaptación del sector hidrocarburos para el componente exploración..... 98
Tabla 2-25 Indicadores de capacidad de adaptación del sector hidrocarburos para el componente producción..... 99
Tabla 2-26 Indicadores de capacidad de adaptación del sector hidrocarburos para el componente transporte..... 100
Tabla 2-27 Indicadores de capacidad de adaptación del sector hidrocarburos para el componente de infraestructura portuaria..... 101
Tabla 2-28 Vulnerabilidad del subsistema para el subsector hidrocarburos..... 102
Tabla 2-29 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema para el subsector de hidrocarburos..... 102
Tabla 2-30 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector de hidrocarburos..... 110
Tabla 2-31 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema para el escenario de cambio climático en el subsector de hidrocarburos 116
Tabla 2-32 Nivel de riesgo medio prospectivo desde el entorno para el subsector de hidrocarburos..... 123
Tabla 2-33 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña..... 136
Tabla 2-34 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña..... 140
Tabla 2-35 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña..... 145
Tabla 2-36 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña..... 149
Tabla 2-37 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática - fenómeno de El Niño..... 153
Tabla 2-38 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 157
Tabla 2-39 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 162
Tabla 2-40 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 166
Tabla 2-41 Revisión internacional de medidas para subsector de hidrocarburos..... 179
Tabla 2-42 Revisión nacional de medidas para subsector de hidrocarburos 180
Tabla 2-43 Índice de confiabilidad del sector hidrocarburos 182
Tabla 3-1. Áreas de análisis gran minería 196

Tabla 3-2 Amenazas al sistema para el componente de producción del subsector de gran minería de carbón 207
Tabla 3-3 Amenazas al sistema para el componente de transporte del subsector de gran minería de carbón 210
Tabla 3-4 Amenazas al sistema para el componente de cierre y abandono del subsector de gran minería de carbón 212
Tabla 3-5 Amenazas al entorno del subsector de gran minería de carbón 213
Tabla 3-6 Amenazas al sistema para el componente de producción del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de La Niña 222
Tabla 3-7 Amenazas al sistema para el componente de transporte del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de La Niña 223
Tabla 3-8 Amenazas al sistema para el componente de cierre y abandono del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de La Niña 224
Tabla 3-9 Amenazas al entorno del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de La Niña 225
Tabla 3-10 Amenazas al sistema para el componente de producción del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de El Niño 230
Tabla 3-11 Amenazas al sistema para el componente de transporte del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de El Niño 231
Tabla 3-12 Amenazas al sistema para el componente de cierre y abandono del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de El Niño 232
Tabla 3-13 Amenazas al entorno del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de El Niño 233
Tabla 3-14 Indicadores de sensibilidad del subsector de la gran minería del carbón 240
Tabla 3-15 Indicadores de capacidad de adaptación del subsector gran minería del carbón 241
Tabla 3-16 Índice de vulnerabilidad del sistema de la Gran Minería de Carbón 243
Tabla 3-17 Nivel de amenaza prospectiva del sistema sobre el subsector de la gran minería del carbón 243
Tabla 3-18 Nivel de amenaza prospectiva sobre el entorno del subsector de la gran minería del carbón 250
Tabla 3-19 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema para el subsector de la gran minería del carbón para el escenario de cambio climático 253
Tabla 3-20 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector de la gran minería de carbón 259
Tabla 3-21 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 268
Tabla 3-22 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 273
Tabla 3-23 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 277

Tabla 3-24 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 281
Tabla 3-25 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 286
Tabla 3-26 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 290
Tabla 3-27 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 295
Tabla 3-28 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno del niño 298
Tabla 3-29 Revisión internacional de medidas para subsector de la gran minería de carbón 311
Tabla 3-30 Revisión nacional de medidas para subsector de Gran Minería de Carbón . 313
Tabla 3-31 Índice de confiabilidad del subsector gran minería de carbón 316
Tabla 4-1. Áreas de análisis componentes de energía eléctrica 332
Tabla 4-2 Amenazas al sistema para el componente de generación del subsector de energía eléctrica 344
Tabla 4-3 Amenazas al sistema para el componente de transmisión del subsector de energía eléctrica 349
Tabla 4-4 Amenazas al entorno del subsector de energía eléctrica 350
Tabla 4-5 Amenazas al sistema para el componente de generación del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de La Niña 360
Tabla 4-6 Amenazas al sistema para el componente de transmisión del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de La Niña 361
Tabla 4-7 Amenazas al entorno del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de El Niño 362
Tabla 4-8 Amenazas al sistema para el componente de generación del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de el Niño 367
Tabla 4-9 Amenazas al sistema para el componente de transmisión del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de El Niño 368
Tabla 4-10 Amenazas al entorno del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de El Niño 369
Tabla 4-11 Indicadores de sensibilidad del subsector energía eléctrica para el componente generación 375
Tabla 4-12 Indicadores de sensibilidad del subsector energía eléctrica para el componente transmisión 377
Tabla 4-13 Indicadores de capacidad de adaptación del subsector energía eléctrica para el componente generación 378
Tabla 4-14 Indicadores de capacidad de adaptación del subsector energía eléctrica para el componente transmisión 380
Tabla 4-15 Índice de vulnerabilidad del sistema de la energía eléctrica 381

Tabla 4-16 Nivel de amenaza prospectiva del sistema sobre el subsector de energía eléctrica 381
Tabla 4-17 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno para el subsector de energía eléctrica 386
Tabla 4-18 Nivel de riesgo prospectivo medio del sistema para el subsector de energía eléctrica 390
Tabla 4-19 Nivel de riesgo prospectivo del entorno hacia el subsector de energía eléctrica 395
Tabla 4-20 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 404
Tabla 4-21 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 408
Tabla 4-22 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 412
Tabla 4-23 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 416
Tabla 4-24 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 420
Tabla 4-25 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 424
Tabla 4-26 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 428
Tabla 4-27 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 432
Tabla 4-28 Revisión internacional de medidas para subsector de energía eléctrica 446
Tabla 4-29 Revisión nacional de medidas para subsector de energía eléctrica 447
Tabla 4-30 Índice de confiabilidad del subsector energía eléctrica 451
Tabla 5-1 Rango de clasificación del índice de sensibilidad socio climático sectorial 455
Tabla 17-8 Índice de sensibilidad socio climática a nivel departamental por cada sector y para el sector en general 456
Tabla 6-1 Riesgos identificados para el sector minero energético 485

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1-1 Mapa de susceptibilidad virtual para eventos de desabastecimiento hídrico 2
Figura 1-2 Mapa de susceptibilidad virtual para eventos de inundaciones 3
Figura 1-3 Mapa de susceptibilidad virtual para eventos de remoción en masa 4
Figura 1-4 Mapa de susceptibilidad virtual para eventos de incendios forestales 5

Figura 1-5 Mapa de escenario de cambio climático a 2040 para cambio de la temperatura 6
Figura 1-6 Mapa de escenario de cambio climático a 2040 para cambio en la precipitación 7
Figura 1-7 Mapa susceptibilidad prospectiva cambio climático a 2040 – desabastecimiento hídrico 1
Figura 1-8 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 - inundación 2
Figura 1-9 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 – remoción en masa..... 3
Figura 1-10 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 – aumento de la temperatura..... 4
Figura 1-11 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 - incendios forestales 5
Figura 1-12 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 – aumento nivel del mar 6
Figura 1-13 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 – tormentas y huracanes 7
Figura 1-14 Mapa de escenario de variabilidad climática para cambio de la temperatura – La Niña 8
Figura 1-15 Mapa de escenario de variabilidad climática para cambio en la precipitación – La Niña 9
Figura 1-16 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para La Niña – desabastecimiento hídrico 10
Figura 1-17 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variabilidad climática para La Niña-inundación 12
Figura 1-18 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variabilidad climática para La Niña – remoción en masa 13
Figura 1-19 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variabilidad climática para La Niña – aumento de la temperatura 14
Figura 1-20 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaibilidad climática para La Niña - incendios forestales 15
Figura 1-21 Mapa de escenario de variabilidad climática para cambio de la temperatura - El Niño 16
Figura 1-22 Mapa de escenario de variabilidad climática para cambio en la precipitación – El Niño 17
Figura 1-23 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para El Niño – desabastecimiento hídrico 18
Figura 1-24 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para El Niño - inundación 19
Figura 1-25 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para El Niño – remoción en masa 20

Figura 1-26 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para El Niño – aumento de la temperatura 21
Figura 1-27 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para El Niño - incendios forestales 22
Figura 2-1 Áreas futuras de exploración 31
Figura 2-2 Áreas futuras de producción 33
Figura 2-3 Áreas para transporte terrestre 35
Figura 2-4 Áreas para infraestructura marítima 37
Figura 2-6 Áreas de exploración 39
Figura 2-5 Áreas de producción 40
Figura 2-7 Áreas de logística terrestre 41
Figura 2-8 Áreas de infraestructura marítima 42
Figura 2-9 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de exploración 66
Figura 2-10 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción 67
Figura 2-11 Amenaza prospectiva media sobre la infraestructura portuaria 68
Figura 2-12 Amenaza prospectiva media sobre las rutas de transporte terrestre 69
Figura 2-13 Amenaza prospectiva media sobre las rutas de transporte por ductos 70
Figura 2-14 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de exploración 77
Figura 2-15 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción 78
Figura 2-16 Amenaza prospectiva media sobre las rutas de transporte terrestre 79
Figura 2-17 Amenaza prospectiva media sobre las rutas de transporte por ductos 80
Figura 2-18 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de exploración 89
Figura 2-19 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción 90
Figura 2-20 Amenaza prospectiva media sobre las rutas de transporte por ductos 91
Figura 2-21 Riesgo prospectivo medio para el componente de exploración 131
Figura 2-22 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción 132
Figura 2-23 Riesgo prospectivo medio para el componente de transporte terrestre 133
Figura 2-24 Riesgo prospectivo medio para el componente de transporte por ductos 134
Figura 2-25 Riesgo prospectivo medio para el componente de infraestructura marítima 135
Figura 2-26 Riesgo prospectivo medio para el componente de exploración 171
Figura 2-27 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción 172
Figura 2-28 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de transporte terrestre 173
Figura 2-29 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de transporte por ductos 174
Figura 2-30 Riesgo prospectivo medio para el componente de exploración 176
Figura 2-31 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción 177
Figura 2-32 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de transporte por ductos 178
Figura 2-33 Riesgo departamental medio del subsector de hidrocarburos para todos los eventos de cambio climático analizados 183
Figura 2-34 Riesgo departamental medio del subsector de hidrocarburos para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de La Niña 184

Figura 2-35 Riesgo departamental medio del subsector de hidrocarburos para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de El Niño 185
Figura 3-1 Áreas de producción, cierre y abandono 192
Figura 3-2 Áreas de infraestructura portuaria 193
Figura 3-3 Áreas para transporte lineal 195
Figura 3-4 Áreas de producción, cierre y abandono 197
Figura 3-5 Áreas de transporte lineal 198
Figura 3-6 Áreas de Infraestructura portuaria 199
Figura 3-7 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción 218
Figura 3-8 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de transporte lineal 219
Figura 3-9 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de infraestructura portuaria 220
Figura 3-10 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de cierre y abandono 221
Figura 3-11 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción 227
Figura 3-12 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de transporte 228
Figura 3-13 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de cierre y abandono 229
Figura 3-14 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción 236
Figura 3-15 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de transporte lineal 237
Figura 3-16 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de infraestructura portuaria .. 238
Figura 3-17 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de cierre y abandono 239
Figura 3-18 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción 264
Figura 3-19 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de transporte lineal 265
Figura 3-20 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de infraestructura portuaria 266
Figura 3-21 Riesgo prospectivo medio para el componente de cierre y abandono 267
Figura 3-22 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción 303
Figura 3-23 Riesgo prospectivo medio para el componente de transporte 304
Figura 3-24 Riesgo prospectivo medio para el componente de cierre y abandono 305
Figura 3-25 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción 307
Figura 3-26 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de transporte lineal 308
Figura 3-27 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de infraestructura portuaria 309
Figura 3-28 Riesgo prospectivo medio para el componente de cierre y abandono 310
Figura 3-29 Nivel de riesgo departamental medio del subsector gran minería de carbón para todos los eventos de cambio climático analizados 318
Figura 3-30 Riesgo departamental medio del subsector de gran minería de carbón para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de La Niña 319
Figura 3-31 Riesgo departamental medio del subsector de gran minería de carbón para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de El Niño 321
Figura 4-1 Áreas de generación hidroeléctrica 326
Figura 4-2 Áreas de generación térmica 328
Figura 4-3 Áreas de generación eólica 329
Figura 4-4 Áreas de interés de inversión en generación fotovoltaica 330

Figura 4-5 Sistema de transmisión de energía 331
Figura 4-6 Áreas de generación hidroeléctrica 333
Figura 4-7 Áreas de generación térmica 334
Figura 4-8 Áreas de generación eólica 335
Figura 4-9 Áreas de transmisión de energía 336
Figura 4-10 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación hidroeléctrica 355
Figura 4-11 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación térmica .. 356
Figura 4-12 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación fotovoltaica 357
Figura 4-13 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación eólica 358
Figura 4-14 Amenaza prospectiva media del componente de transmisión 359
Figura 4-15 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación hidroeléctrica 363
Figura 4-16 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación térmica .. 364
Figura 4-17 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación eólica 365
Figura 4-18 Amenaza prospectiva media del componente de transmisión 366
Figura 4-19 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación hidroeléctrica 371
Figura 4-20 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación térmica .. 372
Figura 4-21 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación eólica 373
Figura 4-22 Amenaza prospectiva media del componente de transmisión 374
Figura 4-23 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación de energía hidroeléctrica 399
Figura 4-24 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación de energía térmica 400
Figura 4-25 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación de energía fotovoltaica 401
Figura 4-26 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación de energía eólica 402
Figura 4-27 Riesgo prospectivo medio para el componente de transmisión 403
Figura 4-28 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación hidroeléctrica 437
Figura 4-29 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente generación térmica 438
Figura 4-30 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación eólica ... 439
Figura 4-31 Riesgo prospectivo medio para el componente de transmisión 440
Figura 4-32 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación hidroeléctrica 442
Figura 4-33 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente generación térmica 443
Figura 4-34 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación eólica ... 444
Figura 4-35 Riesgo prospectivo medio para el componente de transmisión 445

Figura 4-36 Nivel de riesgo departamental medio del subsector de energía eléctrica para todos los eventos de cambio climático analizados 452
Figura 4-37 Riesgo departamental medio del subsector de energía eléctrica para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de La Niña..... 453
Figura 4-38 Riesgo departamental medio del subsector de energía eléctrica para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de El Niño..... 454
Figura 5-1 Mapa índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Energía Eléctrica..... 458
Figura 5-2 Mapa índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Gran Minería 460
Figura 5-3 Mapa índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Hidrocarburos 462
Figura 5-4 Mapa índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Sector Minero – energético..... 464

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 2-1 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente 103
Gráfico 2-2 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector 104
Gráfico 2-3 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente 105
Gráfico 2-4 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema sobre el subsector de hidrocarburos por evento 109
Gráfico 2-5 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente 111
Gráfico 2-6 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector 112
Gráfico 2-7 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente 112
Gráfico 2-8 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno sobre el subsector por evento 115
Gráfico 2-9 Número de riesgos prospectivos del sistema del subsector de hidrocarburos por componenente o subcomponente..... 117
Gráfico 2-10 Distribución de riesgos prospectivos del sistema para el subsector..... 118
Gráfico 2-11 Grado de impacto de los riesgos prospectivas del sistema por componente o subcomponente 118
Gráfico 2-12 Grado de impacto de los riesgos prospectivas del sistema por eventos ... 121
Gráfico 2-13 Número de riesgos prospectivas del entorno por componente o subcomponente 124

Gráfico 2-14 Distribución de riesgos prospectivos desde el entorno para el subsector de hidrocarburos 125
Gráfico 2-15 Grado de impacto de los riesgos prospectivas del entorno por componente o subcomponente 126
Gráfico 2-16 Grado de impacto de los riesgos prospectivas del entorno por evento 127
Gráfico 2-17 Top 5 de los impactos actuales o esperados debidos al cambio climático 128
Gráfico 2-18 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 137
Gráfico 2-19 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 138
Gráfico 2-20 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 138
Gráfico 2-21 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 140
Gráfico 2-22 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 141
Gráfico 2-23 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 142
Gráfico 2-24 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 143
Gráfico 2-25 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 144
Gráfico 2-26 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 146
Gráfico 2-27 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 146
Gráfico 2-28 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 147
Gráfico 2-29 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 148
Gráfico 2-30 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 150
Gráfico 2-31 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 150
Gráfico 2-32 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 151
Gráfico 2-33 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 152
Gráfico 2-34 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 154
Gráfico 2-35 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 154

Gráfico 2-36 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 155
Gráfico 2-37 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 156
Gráfico 2-38 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 158
Gráfico 2-39 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 159
Gráfico 2-40 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 159
Gráfico 2-41 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 161
Gráfico 2-42 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 163
Gráfico 2-43 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 163
Gráfico 2-44 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 164
Gráfico 2-45 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 165
Gráfico 2-46 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 167
Gráfico 2-47 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 167
Gráfico 2-48 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 168
Gráfico 2-49 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño..... 169
Gráfico 3-1 Numero de amenazas prospectivas del sistema por componente 244
Gráfico 3-2 Distribución de amenazas prospectivas sobre el sistema del subsector de la gran minería del carbón 245
Gráfico 3-3 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente 245
Gráfico 3-5 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema sobre el subsector de la gran minería del carbón por evento 247
Gráfico 3-6 Número de amenazas prospectivas sobre el entorno del subsector de gran minería del carbón 250
Gráfico 3-7 Distribución de amenazas prospectivas sobre el entorno del subsector de la gran minería del carbón 251
Gráfico 3-8 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente 251
Gráfico 3-9 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento .. 253

Gráfico 3-10 Número de riesgos prospectivos sobre el sistema del subsector de la gran minería del carbón 254
Gráfico 3-11 Distribución de riesgos prospectivos sobre el sistema del subsector de la gran minería del carbón 255
Gráfico 3-12 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente 256
Gráfico 3-13 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento 257
Gráfico 3-14 Número de riesgos prospectivos sobre el entorno del subsector de la gran minería del carbón 259
Gráfico 3-15 Distribución de riesgos prospectivos sobre el entorno del subsector de la gran minería del carbón 260
Gráfico 3-16 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente 261
Gráfico 3-17 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento 262
Gráfico 3-18 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 269
Gráfico 3-19 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 270
Gráfico 3-20 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 270
Gráfico 3-21 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 272
Gráfico 3-22 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 274
Gráfico 3-23 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 274
Gráfico 3-24 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 275
Gráfico 3-25 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 276
Gráfico 3-26 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 278
Gráfico 3-27 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 278
Gráfico 3-28 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 279
Gráfico 3-29 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 280
Gráfico 3-30 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 282
Gráfico 3-31 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 282

Gráfico 3-32 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 283
Gráfico 3-33 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 284
Gráfico 3-34 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 287
Gráfico 3-35 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 287
Gráfico 3-36 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 288
Gráfico 3-37 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño 289
Gráfico 3-38 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 291
Gráfico 3-39 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 292
Gráfico 3-40 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 292
Gráfico 3-41 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño 294
Gráfico 3-42 Número y distribución de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 296
Gráfico 3-43 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 296
Gráfico 3-44 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño 297
Gráfico 3-45 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 299
Gráfico 3-46 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 299
Gráfico 3-47 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 300
Gráfico 3-48 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño 301
Gráfico 4-1 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente 383
Gráfico 4-2 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector 383
Gráfico 4-3 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente 384
Gráfico 4-4 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento .. 385

Gráfico 4-5 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente 387
Gráfico 4-6 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector 387
Gráfico 4-7 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente 388
Gráfico 4-8 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento .. 389
Gráfico 4-9 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente 391
Gráfico 4-10 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector 392
Gráfico 4-11 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente 393
Gráfico 4-12 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema sobre el subsector eléctrico por evento 394
Gráfico 4-13 Número de riesgo prospectivo del entorno por componente o subcomponente 396
Gráfico 4-14 Distribución por nivel de riesgo prospectivo del entorno para el subsector 396
Gráfico 4-15 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente 397
Gráfico 4-16 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento 398
Gráfico 4-17 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 405
Gráfico 4-18 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 406
Gráfico 4-19 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 406
Gráfico 4-20 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 407
Gráfico 4-21 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 409
Gráfico 4-22 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 410
Gráfico 4-23 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 410
Gráfico 4-24 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 411
Gráfico 4-25 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 413
Gráfico 4-26 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 414

Gráfico 4-27 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 414
Gráfico 4-28 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 415
Gráfico 4-29 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 417
Gráfico 4-30 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña 417
Gráfico 4-31 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña 418
Gráfico 4-32 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña 419
Gráfico 4-33 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 421
Gráfico 4-34 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 421
Gráfico 4-35 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 422
Gráfico 4-36 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño 423
Gráfico 4-37 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 425
Gráfico 4-38 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 425
Gráfico 4-39 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 426
Gráfico 4-40 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño 427
Gráfico 4-41 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 429
Gráfico 4-42 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño 430
Gráfico 4-43 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 430
Gráfico 4-44 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño 431
Gráfico 4-45 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 433
Gráfico 4-46 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño 434
Gráfico 4-47 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño 435

Gráfico 5-1 Distribución del índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Energía Eléctrica 457
Gráfico 5-2 Distribución del índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Gran Minería..... 459
Gráfico 5-3 Distribución del índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Hidrocarburos 461
Gráfico 5-4 Distribución del índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Sector Minero - energético..... 463
Gráfico 5-5 Cantidad de departamentos por nivel de sensibilidad socio climático para cada subsector 465
Gráfico 6-1 Índice de cobertura de los riesgos..... 487
Gráfico 6-2. Cobertura de los riesgos 488
Gráfico 6-3 Índice de efectividad de las acciones. 489
Gráfico 6-4 Nivel de efectividad de las acciones..... 490
Gráfico 3-49 Índice de cobertura de riesgos 491
Gráfico 3-50 Índice de cobertura de riesgo 491
Gráfico 6-7. Índice de efectividad de las acciones. 492
Gráfico 6-8. Índice de efectividad de las acciones. 493
Gráfico 6-9. Índice de cobertura de riesgo para el subsector de energía eléctrica 494
Gráfico 6-10 Índice de cobertura de para los riesgos del subsector de energía eléctrica 495
Gráfico 6-11. Índice de efectividad de las acciones propuestas para los riesgos del subsector de energía eléctrica..... 496
Gráfico 6-12. Índice de efectividad de las acciones propuestas para los riesgos del subsector de energía eléctrica..... 496
Gráfico 8-1 Cantidad de sinergias identificadas por línea estratégica de adaptación 498
Gráfico 8-2 Cantidad de sinergias identificadas por cada riesgo y línea estratégica de adaptación..... 499
Gráfico 8-3 Indicador de grado de gestión del riesgo de adaptación asociado a las sinergias identificadas con las medidas de mitigación 500
Gráfico 1-4 Cantidad de sinergías por linea estratégica de mitigación..... 501
Gráfico 1-5 Cantidad de sinergías por medida y linea estratégica de mitigación..... 501
Gráfico 8-6 Indicador del grado de sinergia de la medida de mitigación con los riesgos de adaptación..... 502
Gráfico 8-7 Nivel medio del grado de sinergia de las medidas de mitigación con los riesgos de cada línea estratégica de adaptación 503
Gráfico 8-8 Nivel medio del grado de sinergia de las medidas de cada línea estratégica de mitigación con los riesgos de adaptación..... 504

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Metodología

Anexo 2 Análisis de cobertura de riesgos

INTRODUCCIÓN

En el marco del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo País”, la Ley 1753 de 2015, artículo 170, se recomienda formular una política de crecimiento verde a largo plazo que incluya la definición de los objetivos y las metas de crecimiento económico sostenible, mediante estrategias como la formulación de planes sectoriales de adaptación y mitigación de cambio climático, en las cual se establezcan metas cuantitativas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a corto y mediano plazo. Como consecuencia el Ministerio de Minas y Energía definió la necesidad de contratar los servicios de una consultoría para la formulación del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático (PIGCC) del sector minero-energético, que corresponda a las obligaciones establecidas en el artículo 170 de la Ley 1753 de 2015, que se ha basado en los resultados de la gestión del proyecto de inversión “Diseño e implementación de herramientas de mitigación y adaptación en el sector minero energético frente al cambio climático” de la Oficina de Asuntos Ambientales y Sociales (OAAS), los resultados de las contrataciones GGC N.° 231 de 2016 y GGC N.° 257 de 2016, y los lineamientos de la Comisión Intersectorial de Cambio Climático (CICC).

Este producto denominado “*Componente de adaptación del sector minero energético*” tiene el propósito de aplicar los resultados y la metodología de riesgo para los subsectores de hidrocarburos (exploración, producción, transporte e infraestructura portuaria), gran minería de carbón (producción, transporte, y cierre y abandono) y energía eléctrica (generación y transmisión). El estudio se desarrolló adecuando la metodología planteada en la consultoría GGC N.° 257 de 2016, mediante la cual se elaboró un diagnóstico subsectorial de vulnerabilidades y cálculo de los riesgos derivados de los impactos asociados al cambio climático y la variabilidad climática en la industria de hidrocarburos.

En consecuencia, este documento se desarrollo así: en el primer capítulo se presentan los mapas de susceptibilidad virtual para eventos relevantes y los mapas de escenarios de cambio climático del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). A continuación, para cada uno de los sectores se presenta la metodología de riesgos: justificación la selección de eventos de cambio climático, definición de cada uno de los componentes y subcomponentes del sistema, definición de áreas del sistema, caracterización general de cada subsector, identificación y valoración de amenazas, cálculo del índice de vulnerabilidad, análisis de riesgos, y revisión nacional e internacional de medidas de adaptación. Posteriomente, en el segundo capítulo se presentan los resultados del sector de hidrocarburos, en el tecer capitulo los resultados del sector gran mineria de carbón y en el cuarto capítulo los resultados del sector energía eléctrica. Finalmente, en el quinto capítulo se propone la estructuración de cada una de las líneas estratégicas del componente de adaptación para la PIGCC.

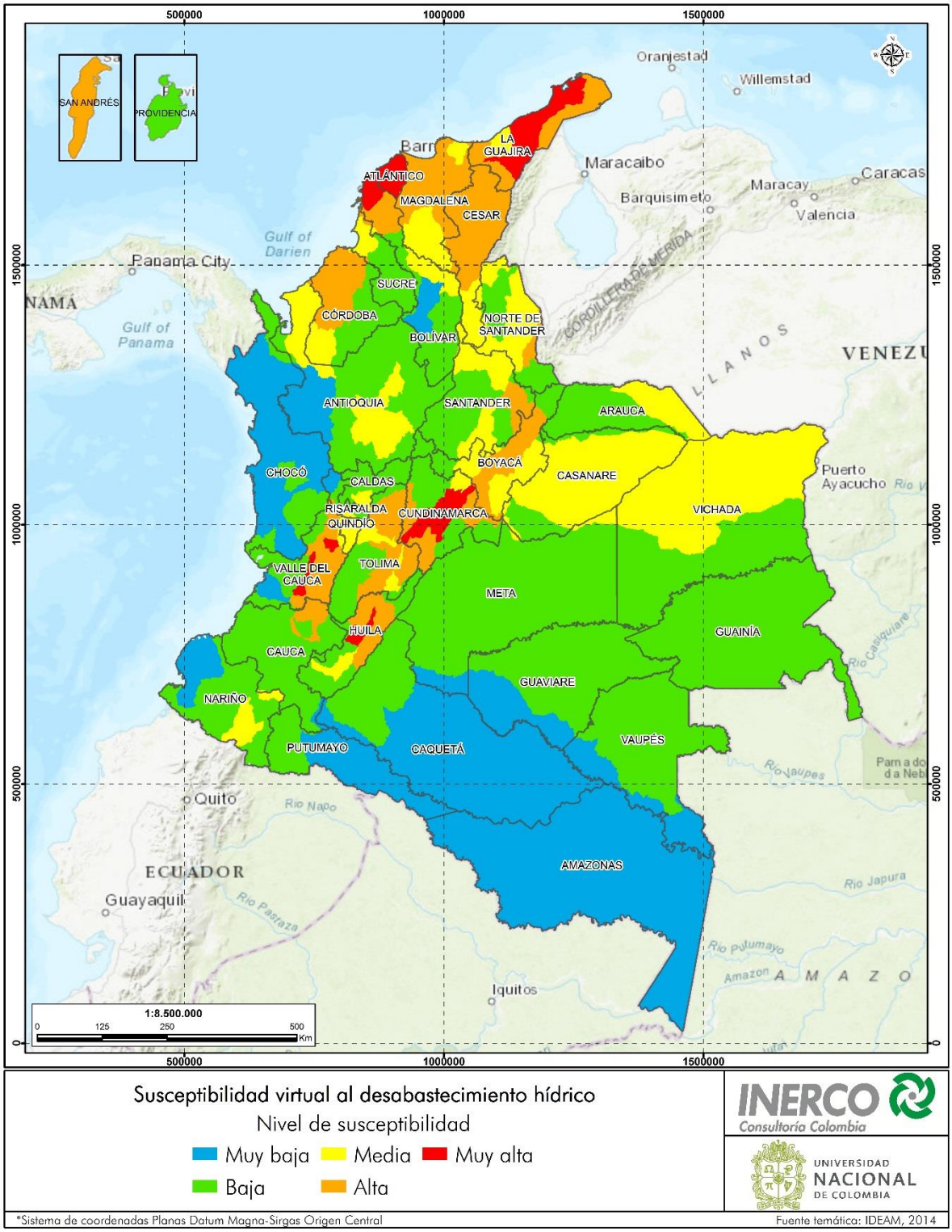
1. EVENTOS PROSPECTIVOS

Mapas de susceptibilidad virtual para eventos relevantes

A continuación se presentan los mapas de susceptibilidad virtual de los siguientes eventos amenazantes:

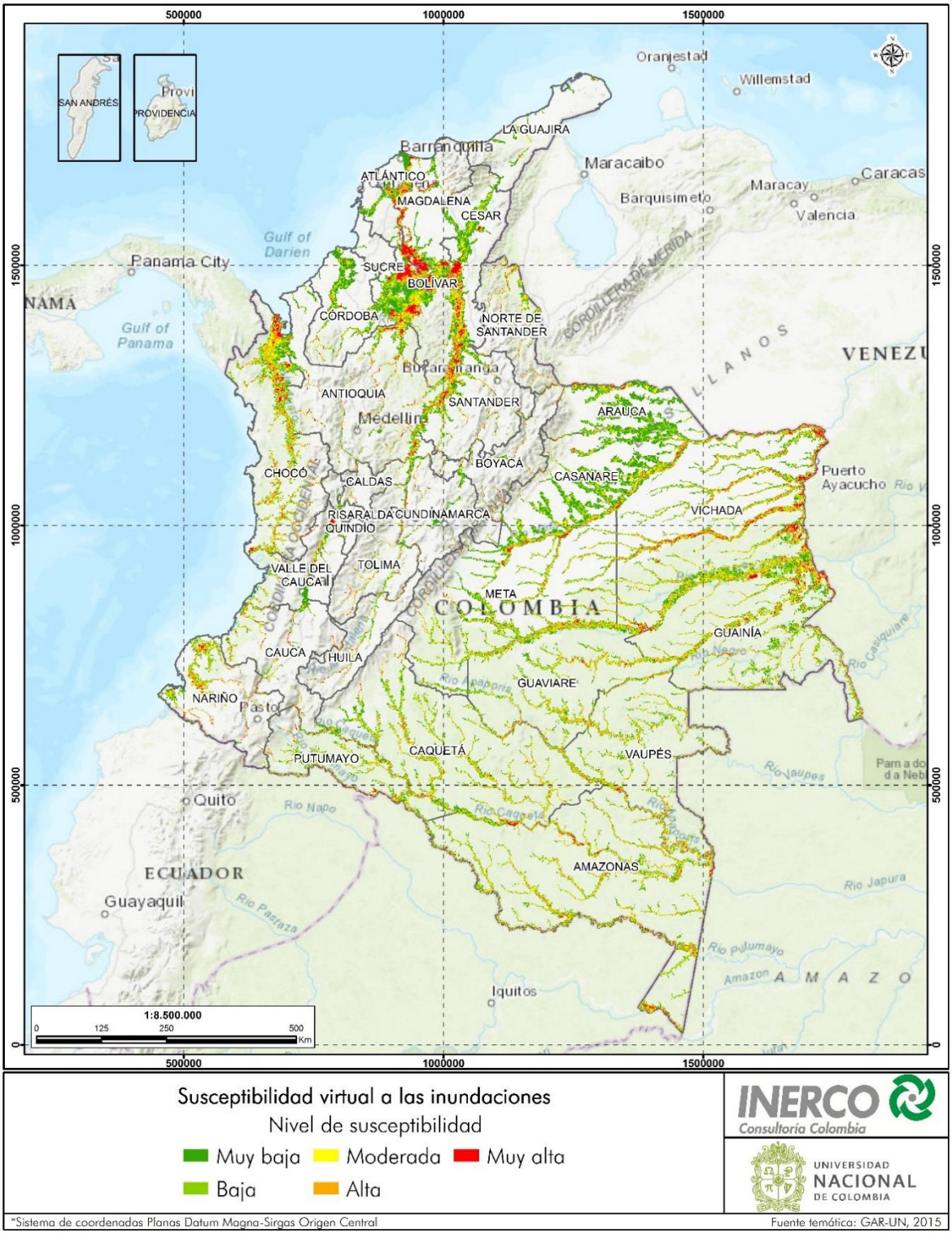
- Desabastecimiento hídrico
- Inundaciones
- Remoción en masa
- Incendios forestales

Figura 1-1 Mapa de susceptibilidad virtual para eventos de desabastecimiento hídrico



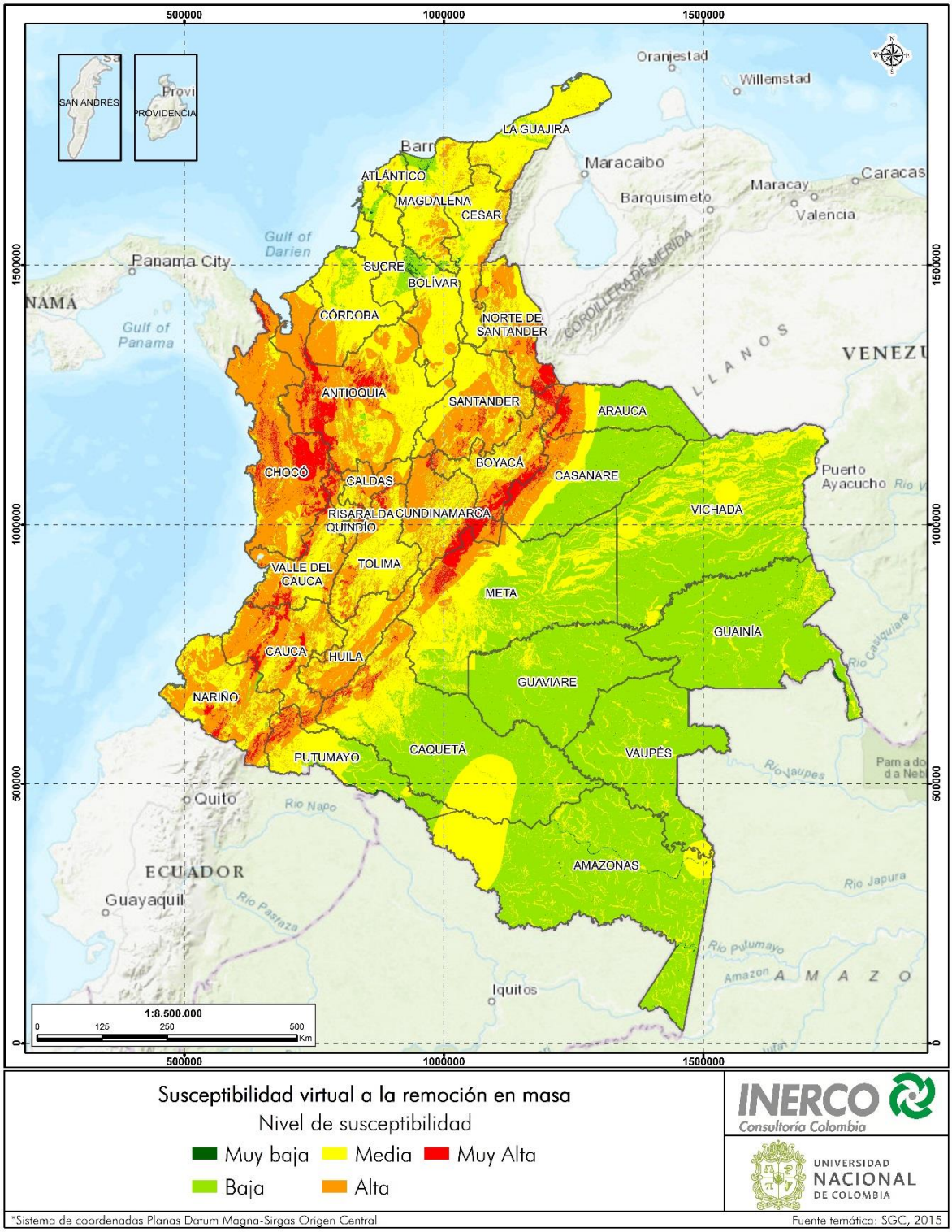
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 1-2 Mapa de susceptibilidad virtual para eventos de inundaciones



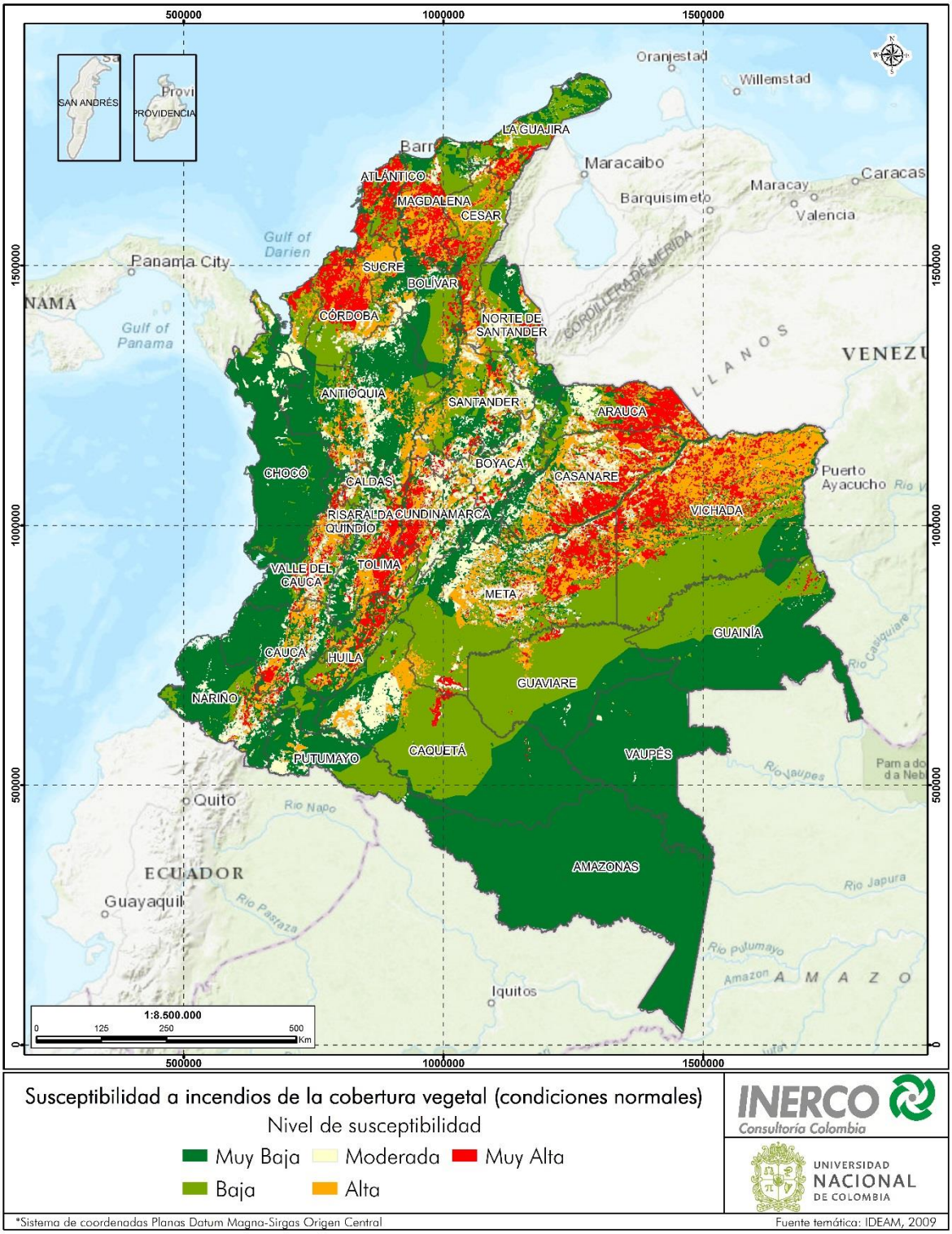
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 1-3 Mapa de susceptibilidad virtual para eventos de remoción en masa



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 1-4 Mapa de susceptibilidad virtual para eventos de incendios forestales



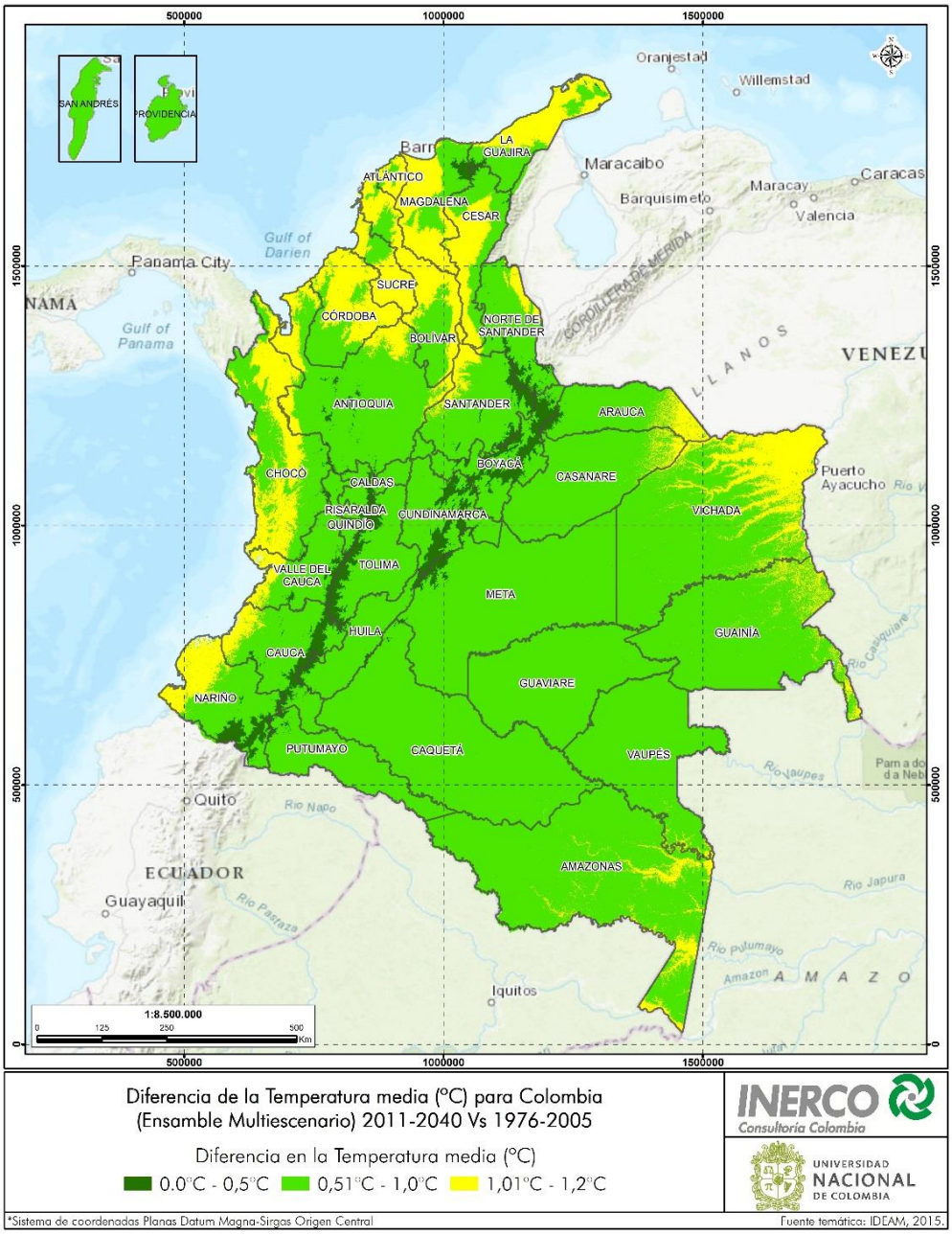
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

1.1 Cambio Climático

1.1.1 Mapa de escenario de cambio climático (2040)

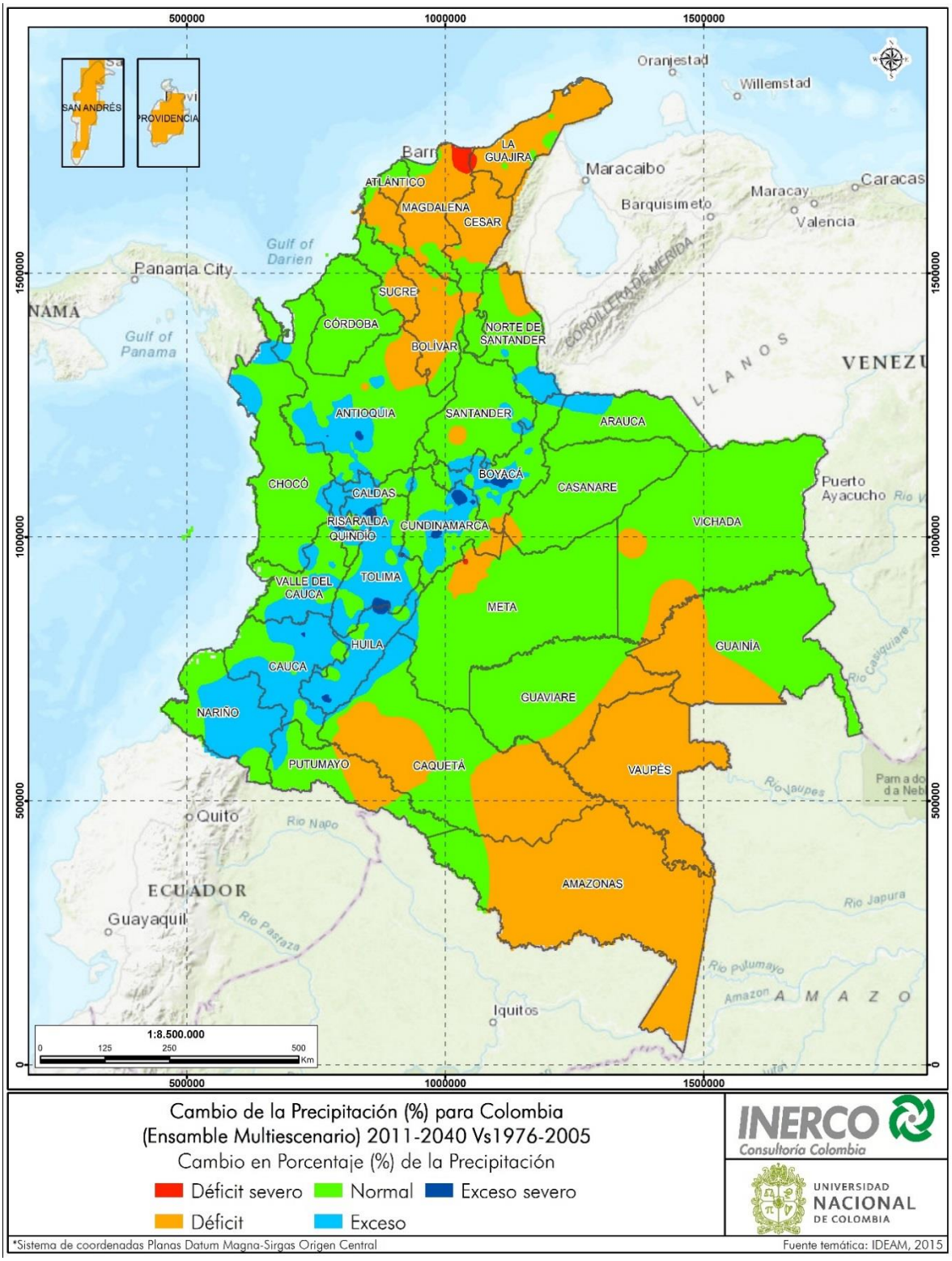
A continuación se presentan los mapas de escenarios de cambio climático: temperatura y precipitación del RCP 6.0 del periodo 2011-2040.

Figura 1-5 Mapa de escenario de cambio climático a 2040 para cambio de la temperatura



Fuente: IDEAM. Adaptado por la U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 1-6 Mapa de escenario de cambio climático a 2040 para cambio en la precipitación

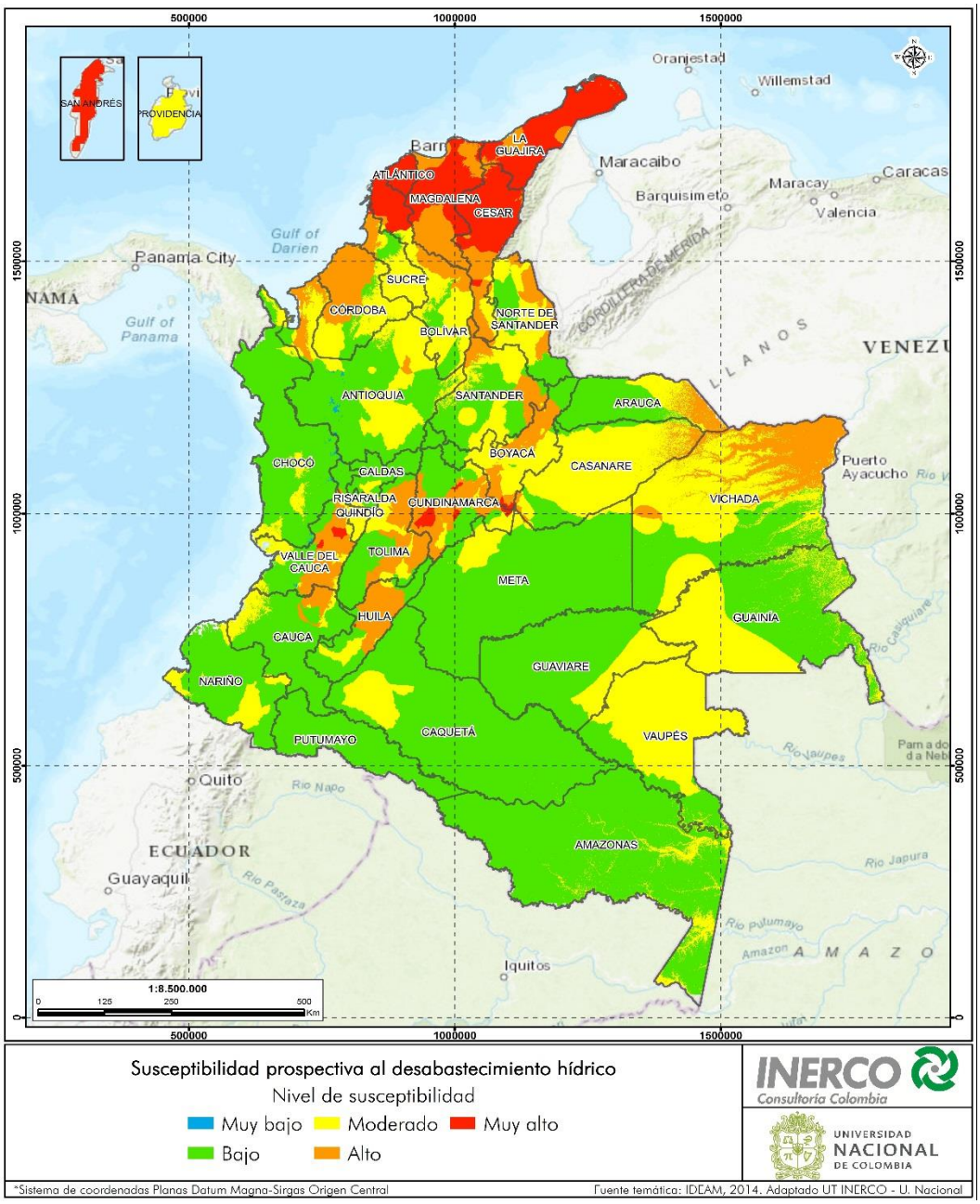


Fuente: IDEAM. Adaptado por la U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

1.1.2 Mapas de susceptibilidad prospectivos de eventos para cambio climático

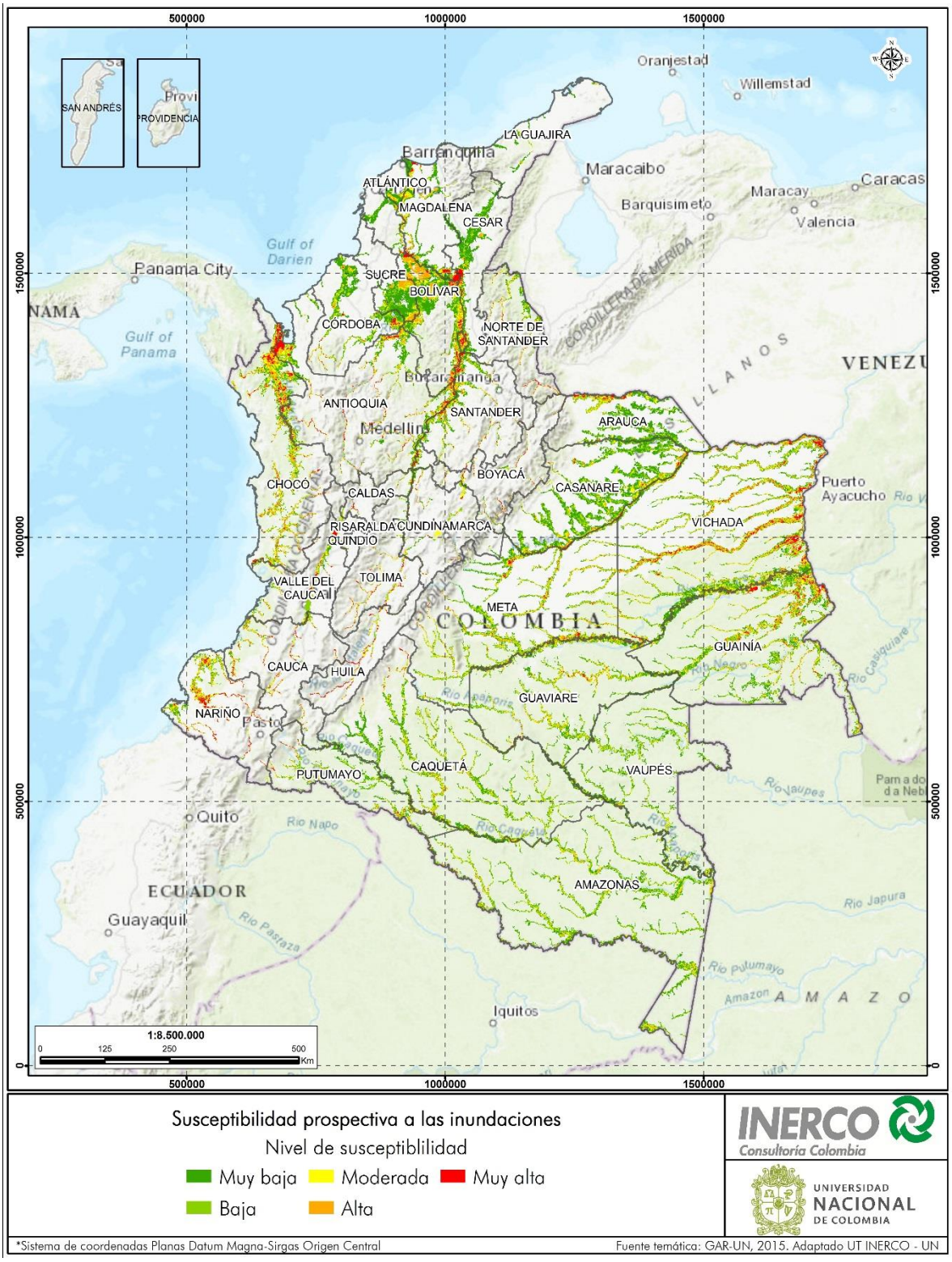
De acuerdo con la metodología propuesta, se cruzan los mapas de susceptibilidad virtual para los eventos relevantes con los mapas de escenarios de cambio climático del IDEAM, para generar los mapas de suceptibildad prospectivos de eventos para cambio climático de cada uno de los eventos amenazantes seleccionados en este estudio

Figura 1-7 Mapa susceptibilidad prospectiva cambio climático a 2040 – desabastecimiento hídrico



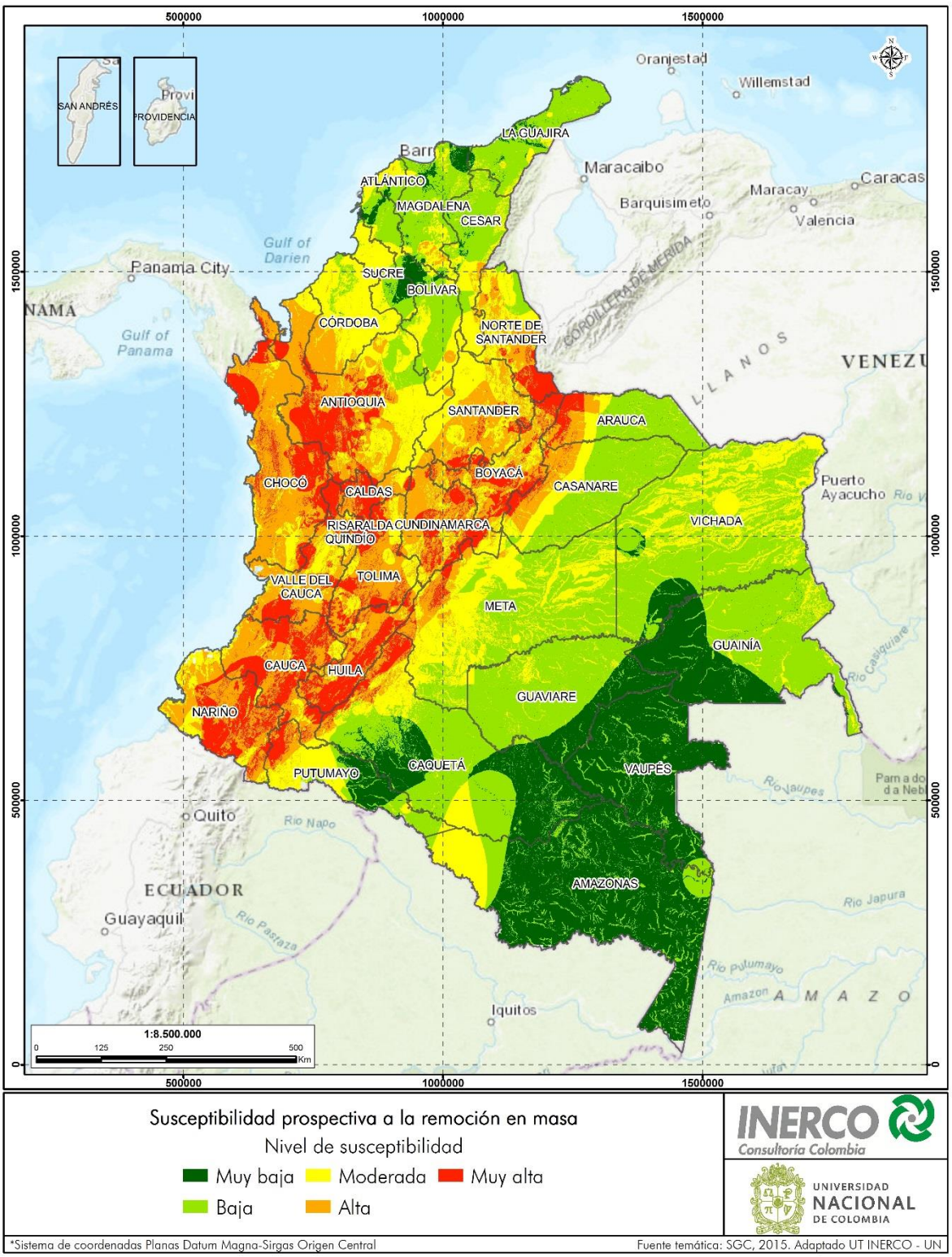
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 1-8 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 - inundación



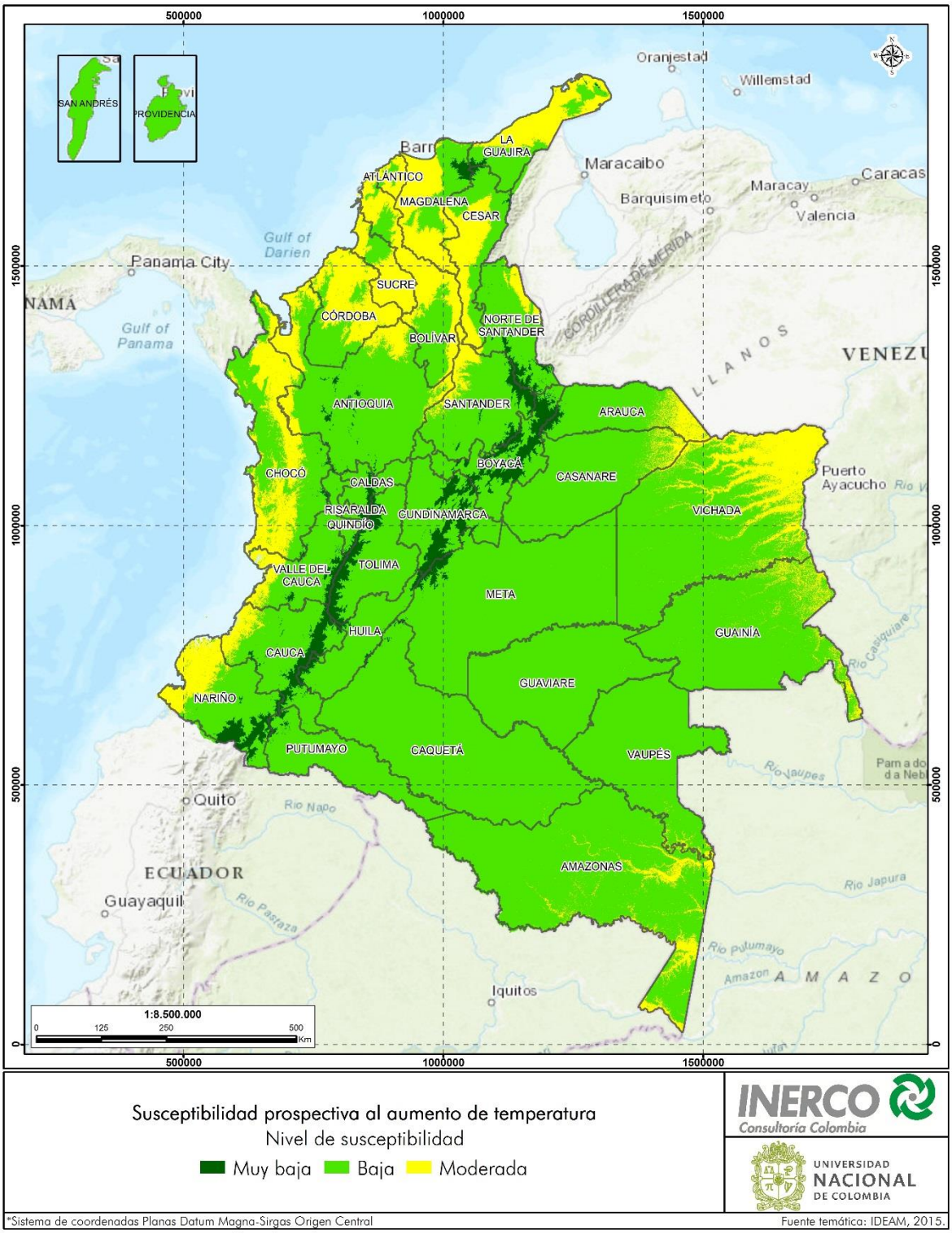
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 1-9 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 – remoción en masa



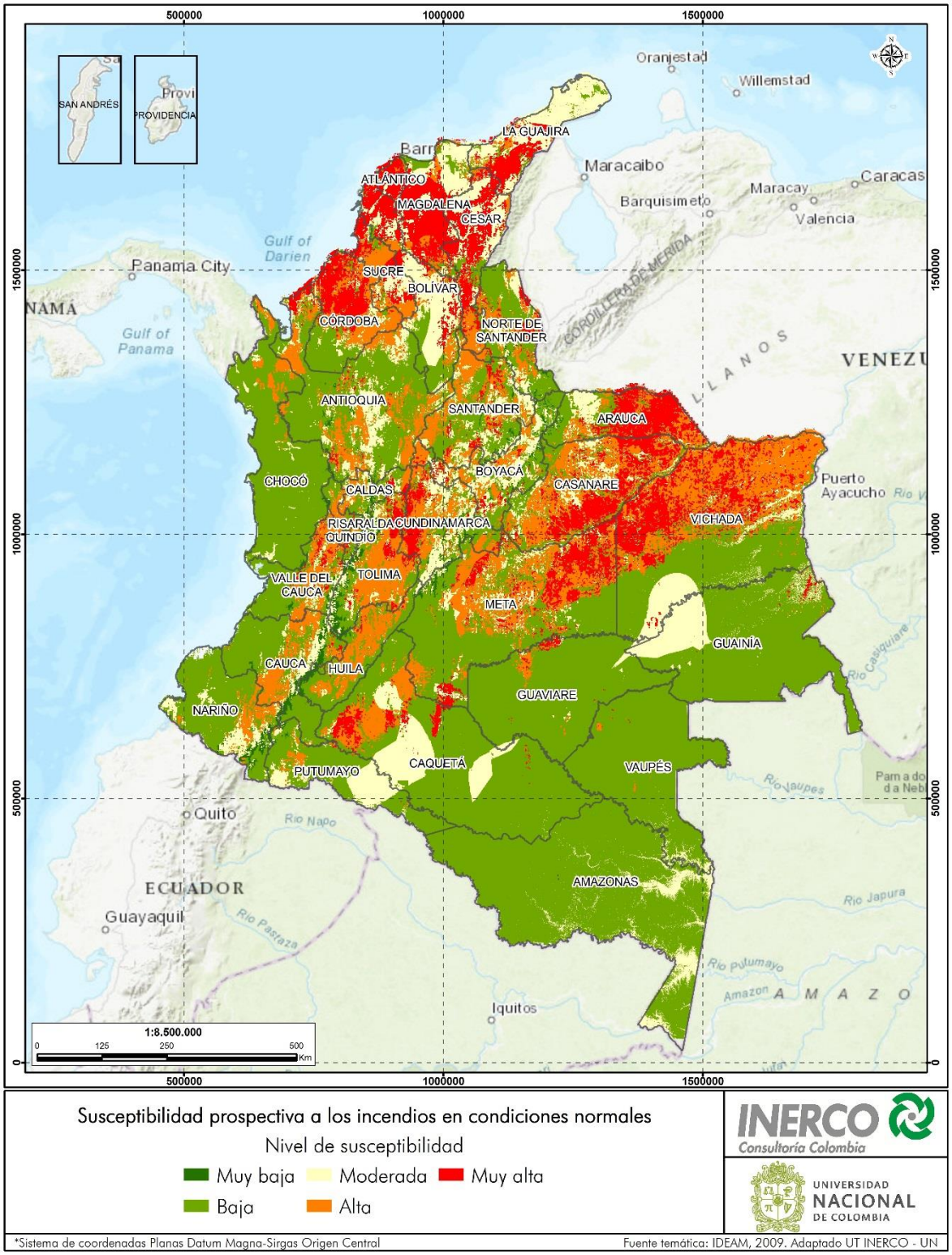
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 1-10 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 – aumento de la temperatura



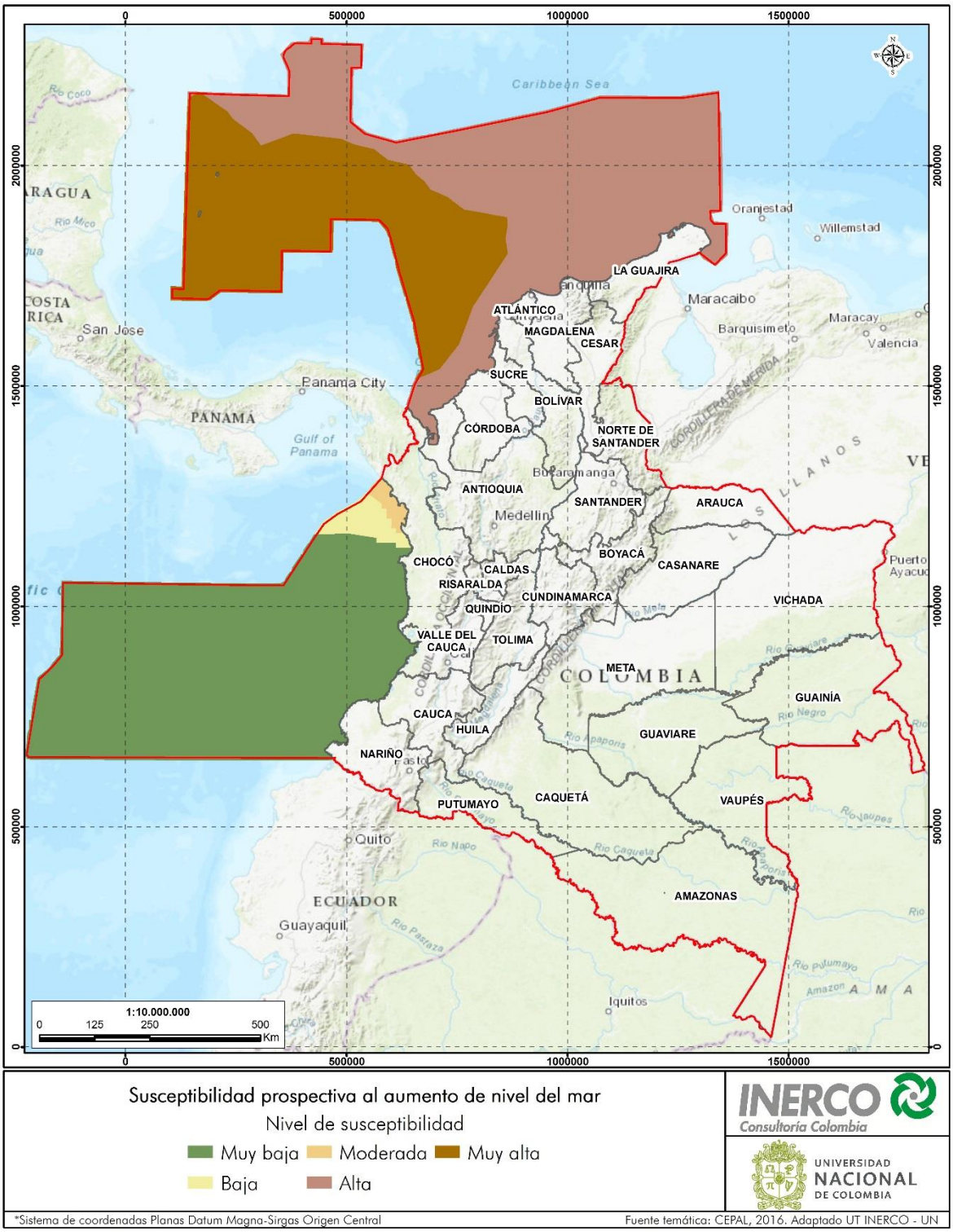
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 1-11 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 - incendios forestales



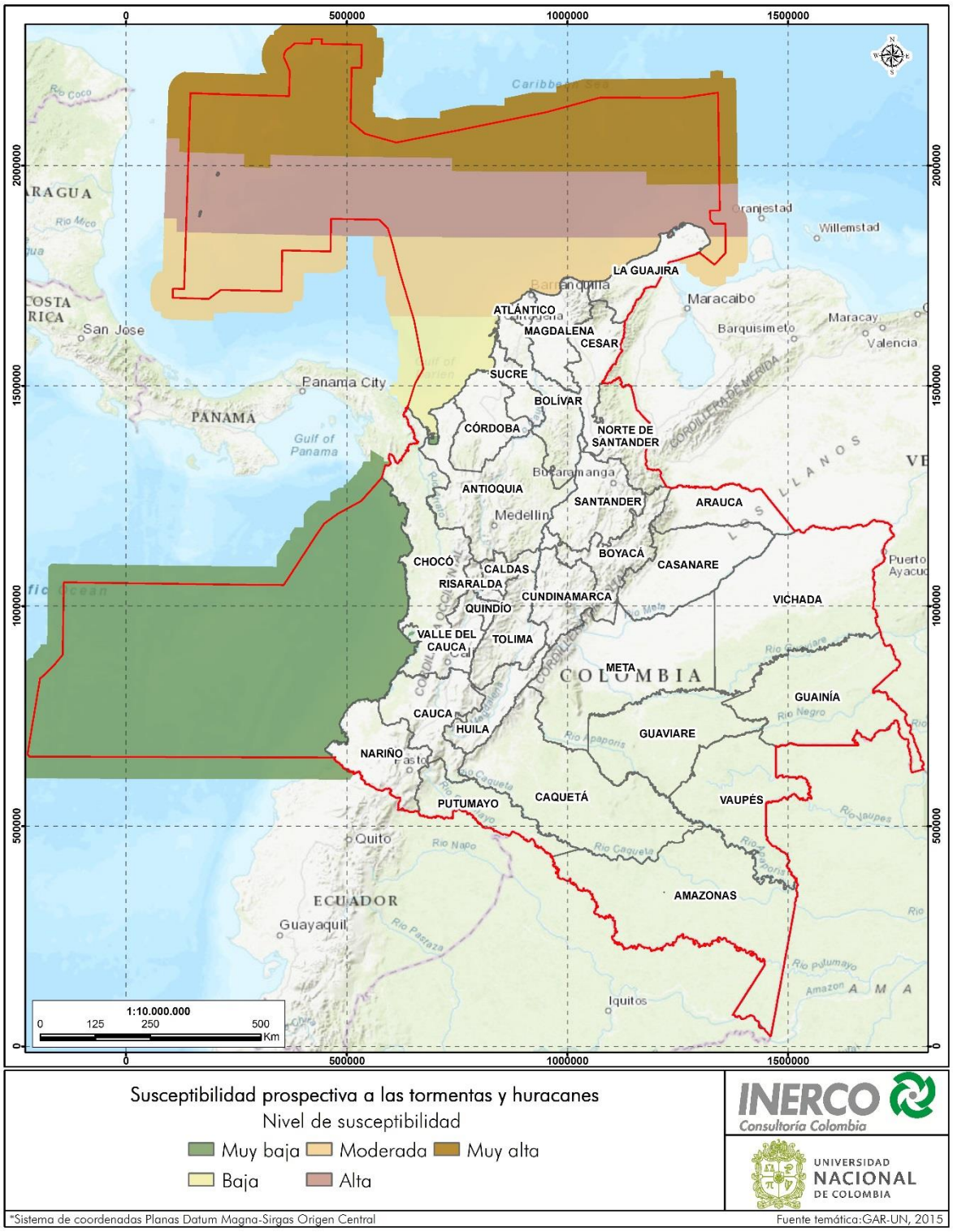
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 1-12 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 – aumento nivel del mar



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 1-13 Mapa de susceptibilidad prospectiva de cambio climático a 2040 – tormentas y huracanes



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

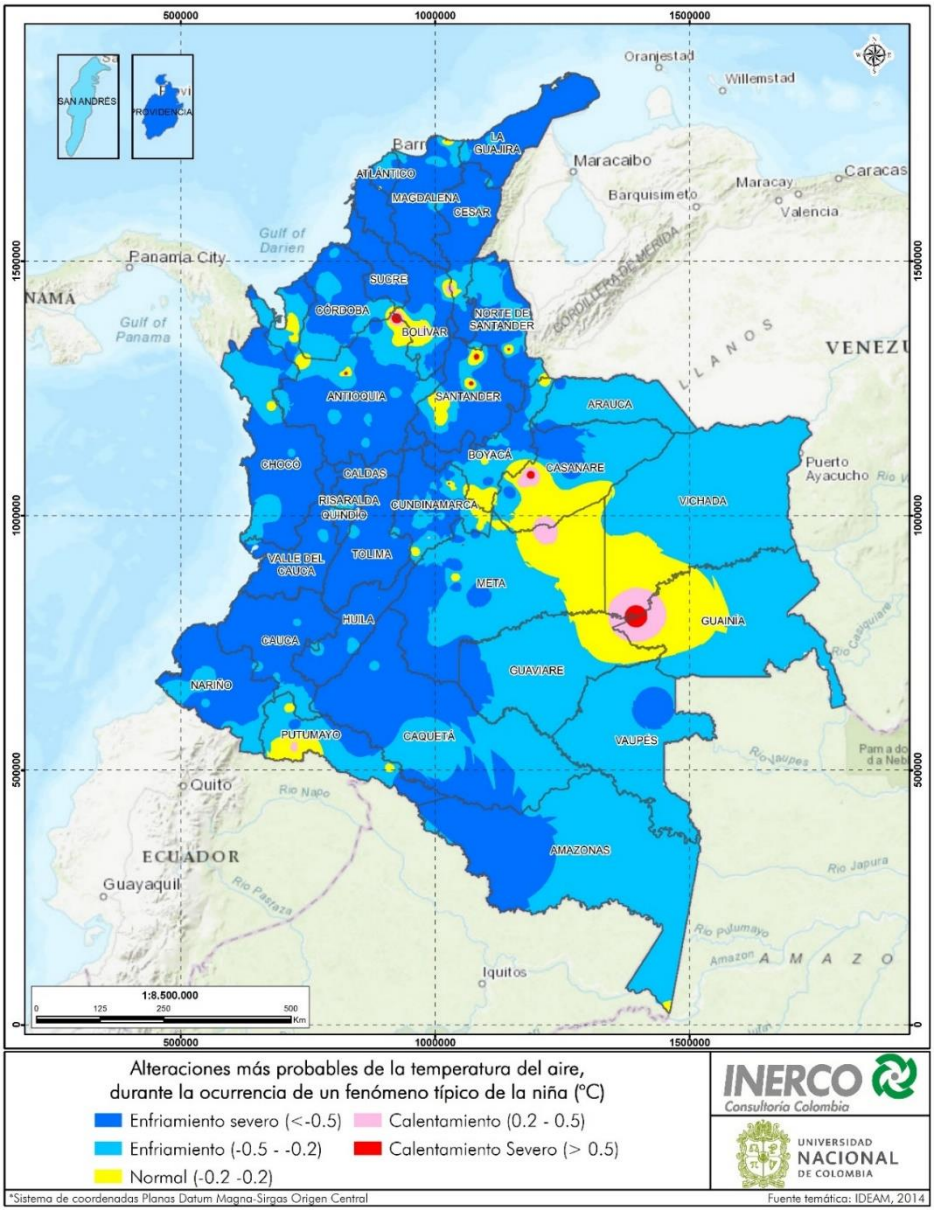
1.2 Variabilidad climática

1.2.1 Fenómeno de La Niña

1.2.1.1 Mapas de escenarios de variabilidad climática

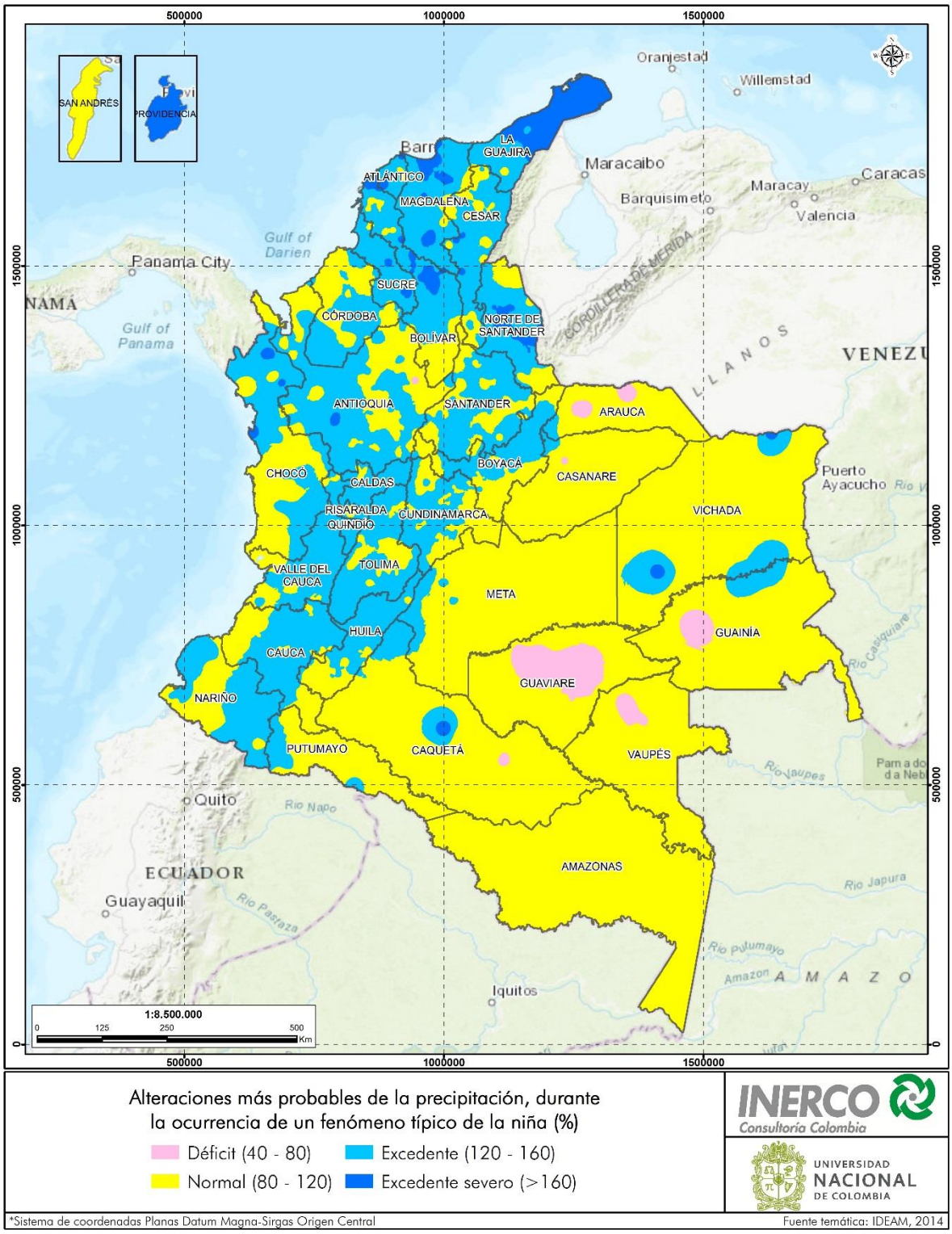
A continuación se presentan los mapas de escenarios de variabilidad climática: temperatura y precipitación, para el fenómeno de La Niña.

Figura 1-14 Mapa de escenario de variabilidad climática para cambio de la temperatura – La Niña



Fuente: IDEAM. Adaptado por la U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 1-15 Mapa de escenario de variabilidad climática para cambio en la precipitación – La Niña

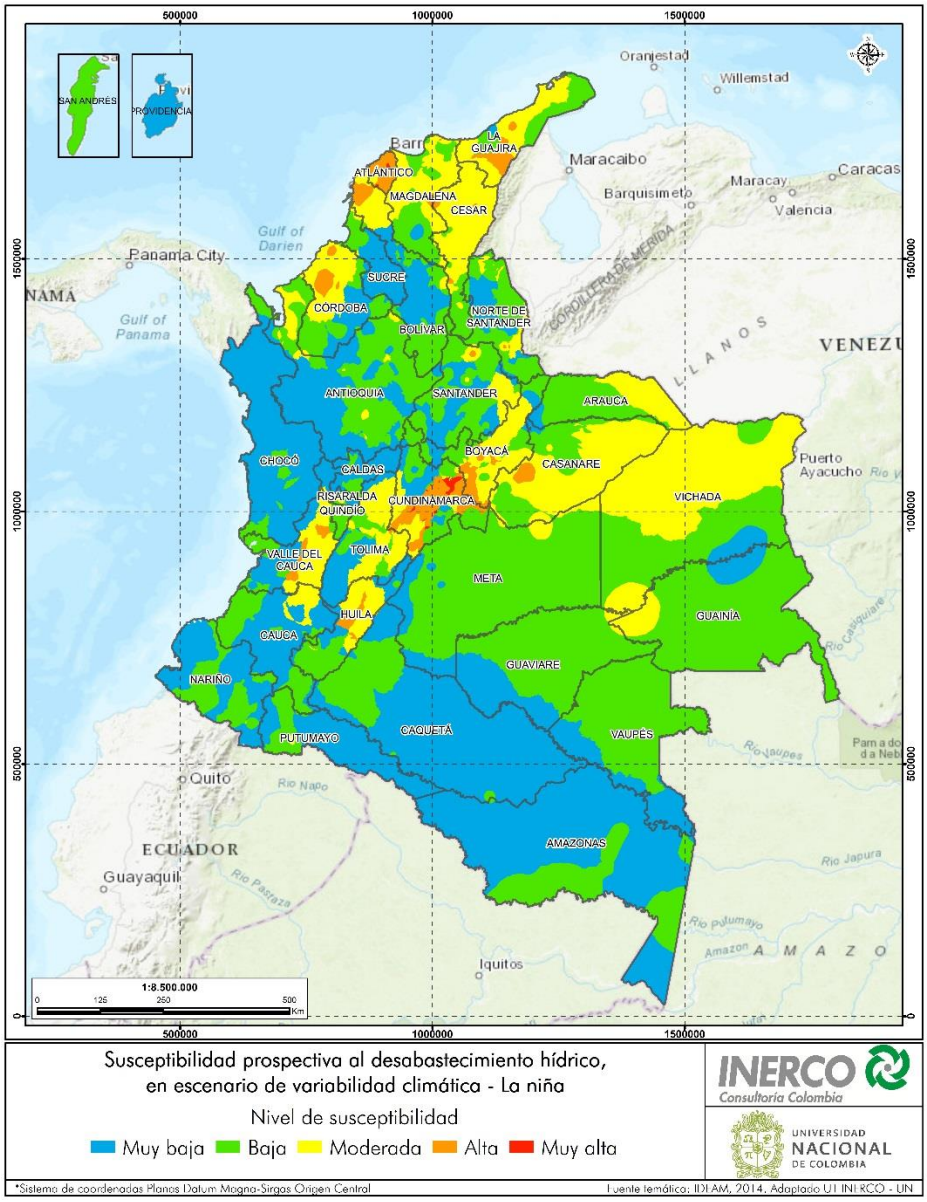


Fuente: IDEAM. Adaptado por la U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

1.2.1.2 Mapas de susceptibilidad prospectivos de eventos para variabilidad climática

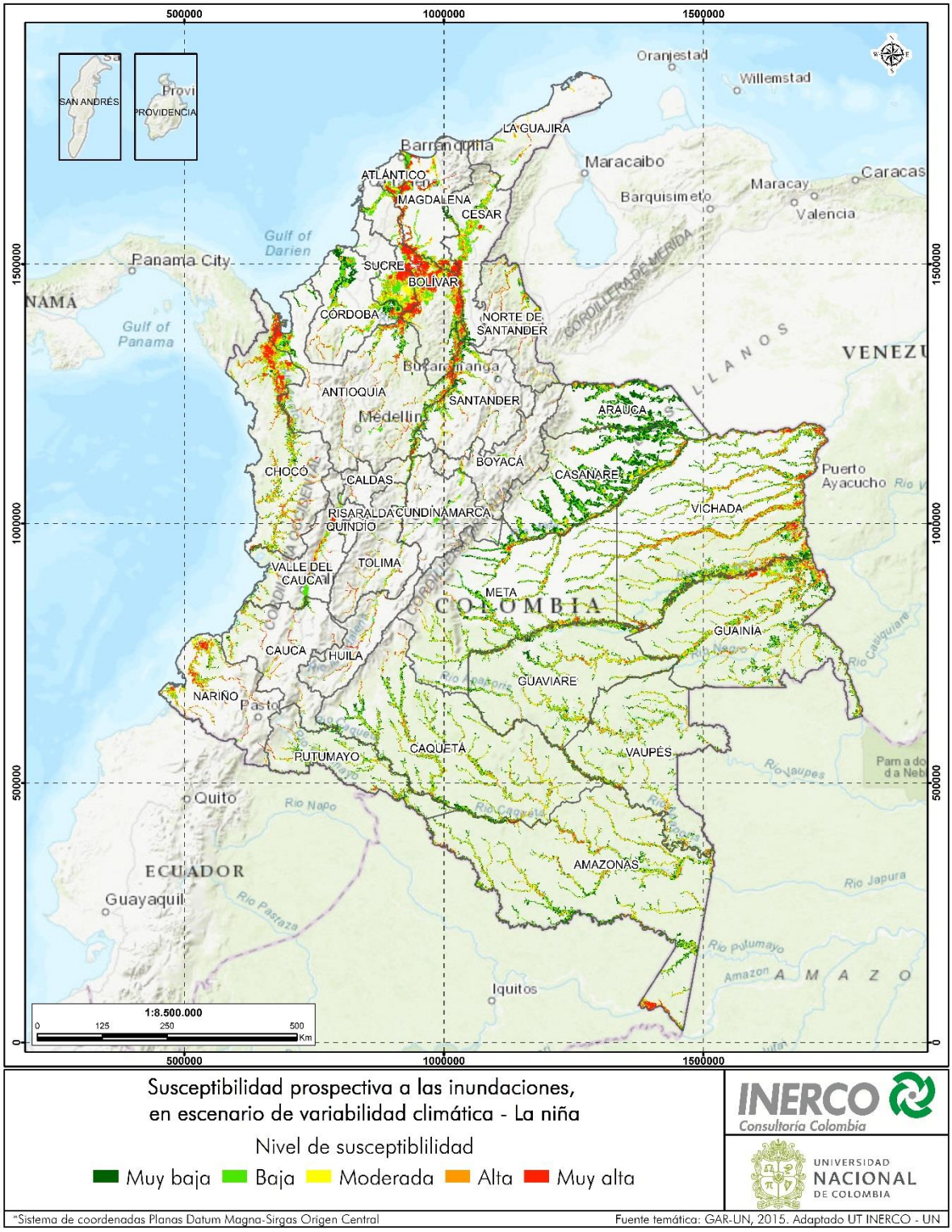
De acuerdo con la metodología propuesta, se cruzan los mapas de susceptibilidad virtual para los eventos relevantes con los mapas de escenarios de variabilidad climática del IDEAM, para generar los mapas de suceptibildad prospectivos de eventos para variabilidad climática de cada uno de los eventos amenazantes seleccionados en este estudio.

Figura 1-16 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para La Niña – desabastecimiento hídrico



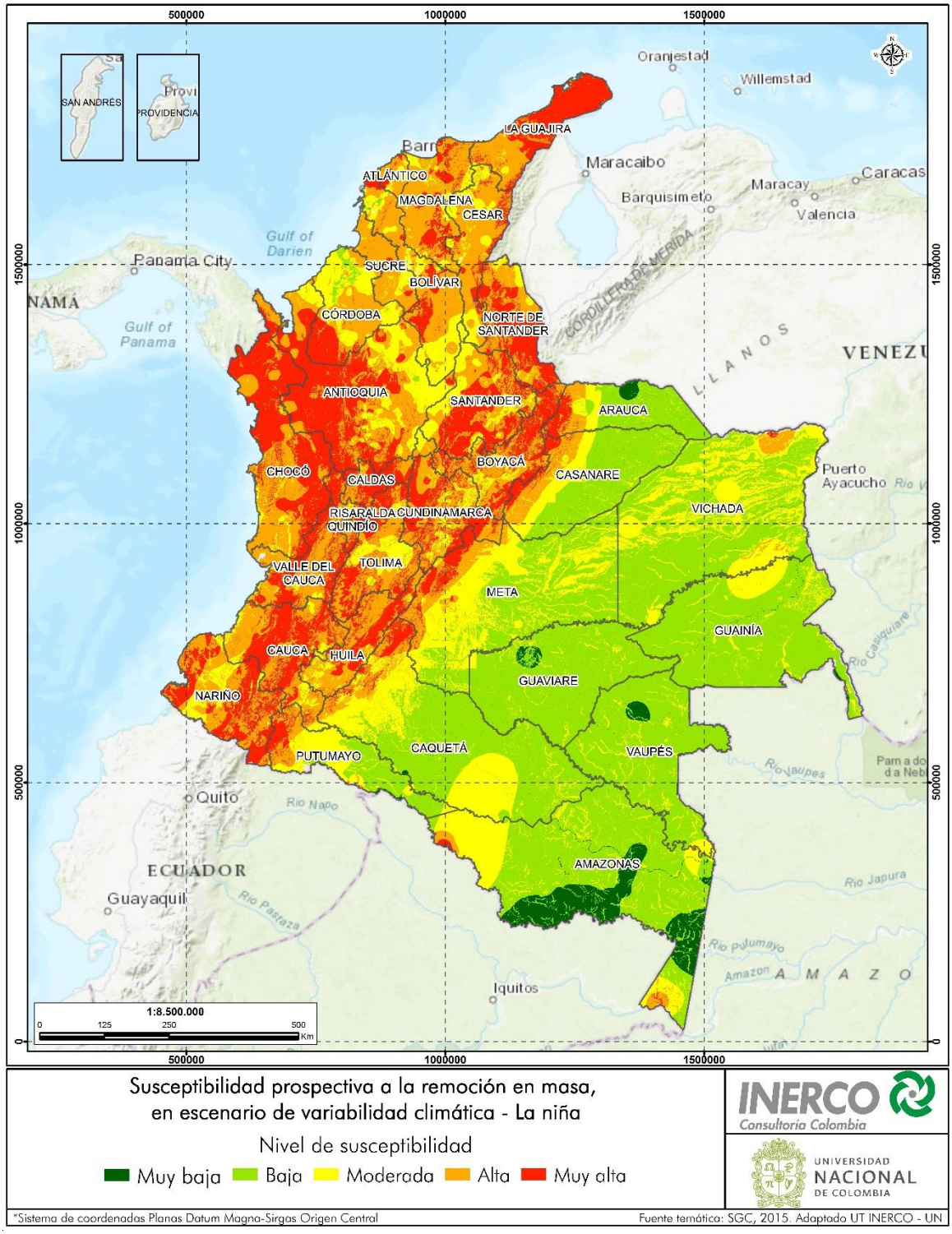
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 1-17 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variabilidad climática para La Niña- inundación



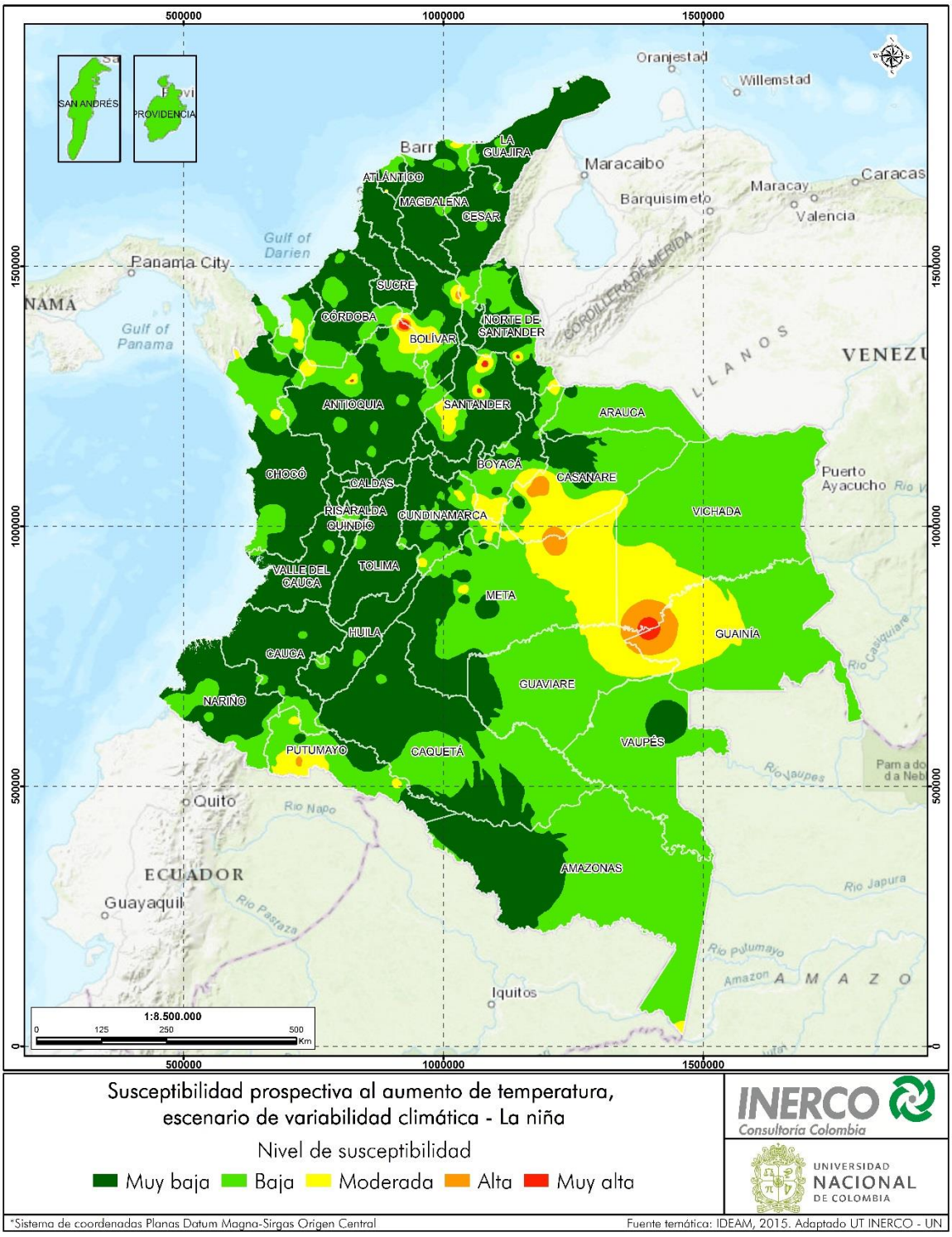
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 1-18 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variabilidad climática para La Niña – remoción en masa



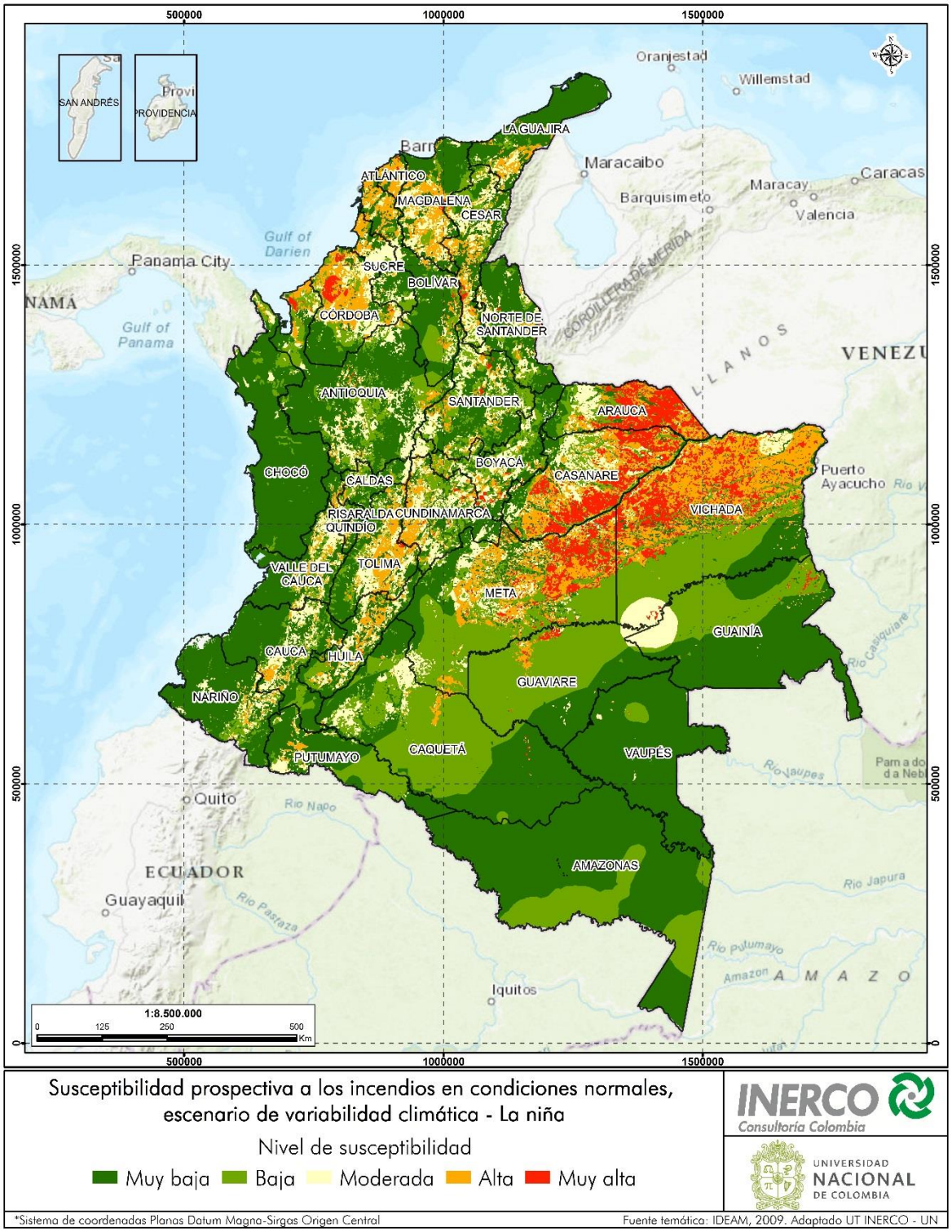
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 1-19 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variabilidad climática para La Niña – aumento de la temperatura



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 1-20 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaibilidad climática para La Niña - incendios forestales



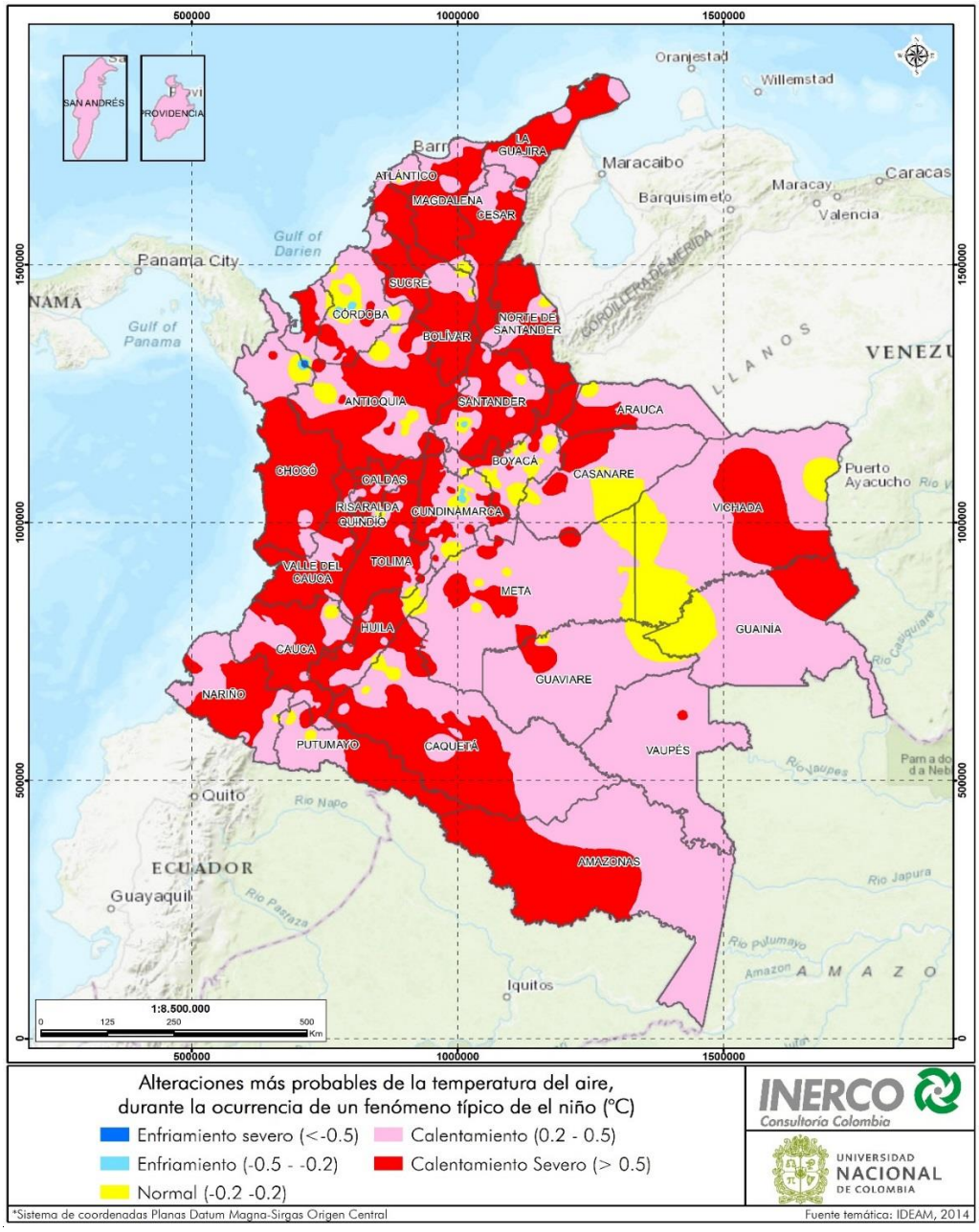
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

1.2.2 Fenómeno de El Niño

1.2.2.1 Mapas de escenarios de variabilidad climática

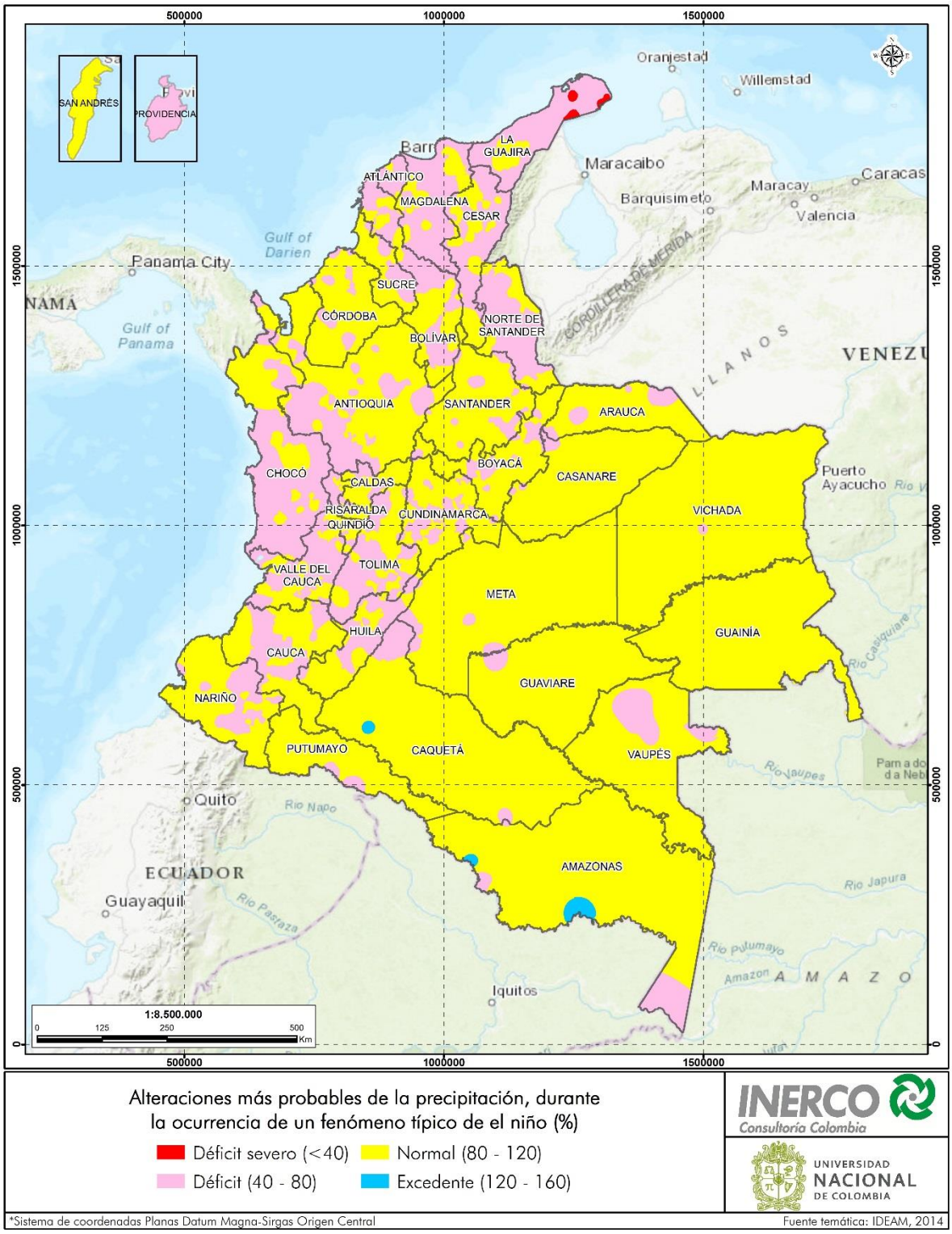
A continuación se presentan los mapas de escenarios de variabilidad climática: temperatura y precipitación para el fenómeno de El Niño.

Figura 1-21 Mapa de escenario de variabilidad climática para cambio de la temperatura - El Niño



Fuente: IDEAM. Adaptado por la U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 1-22 Mapa de escenario de variabilidad climática para cambio en la precipitación – El Niño

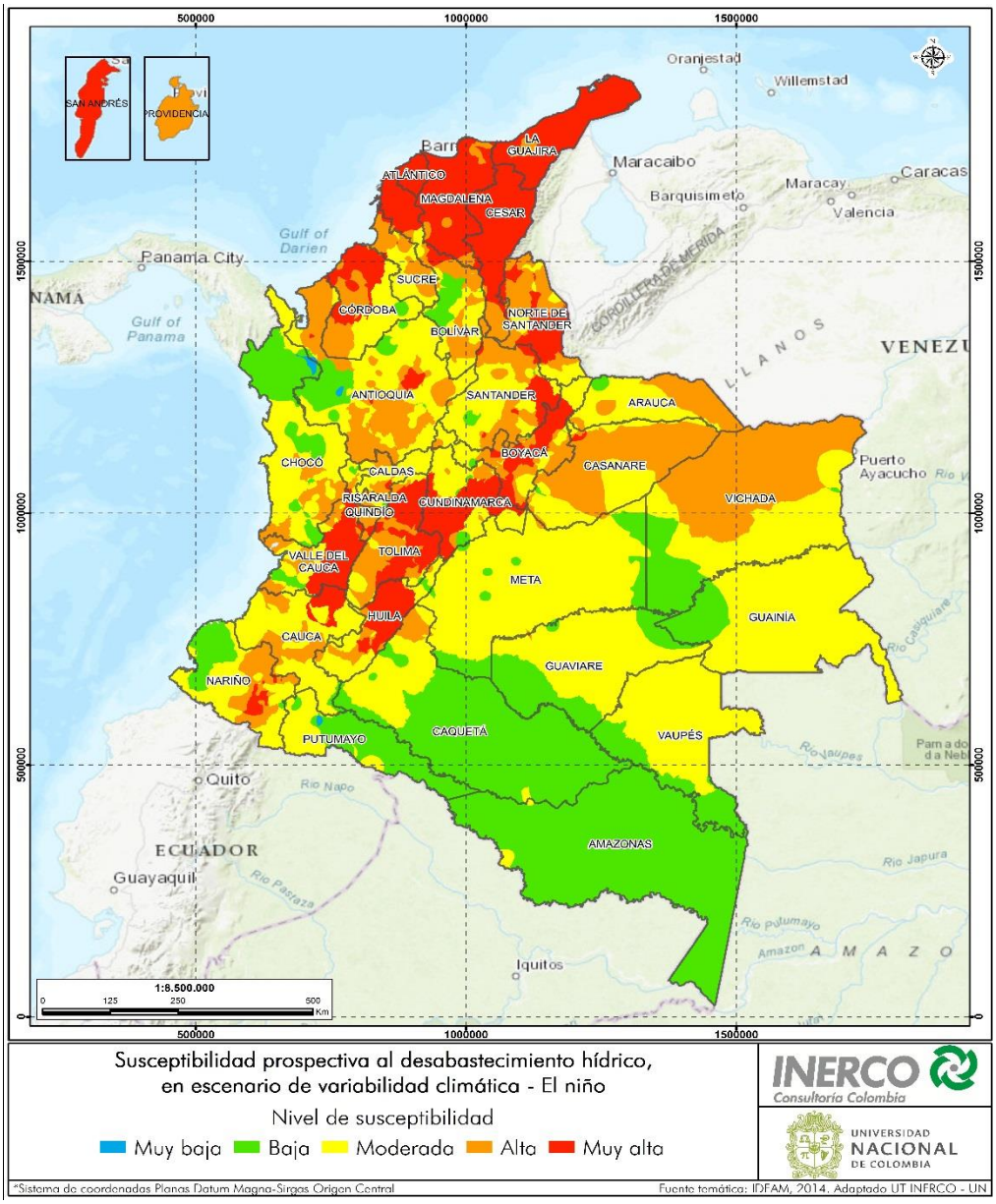


Fuente: IDEAM. Adaptado por la U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

1.2.2.2 Mapas de susceptibilidad prospectivos de eventos para variabilidad climática

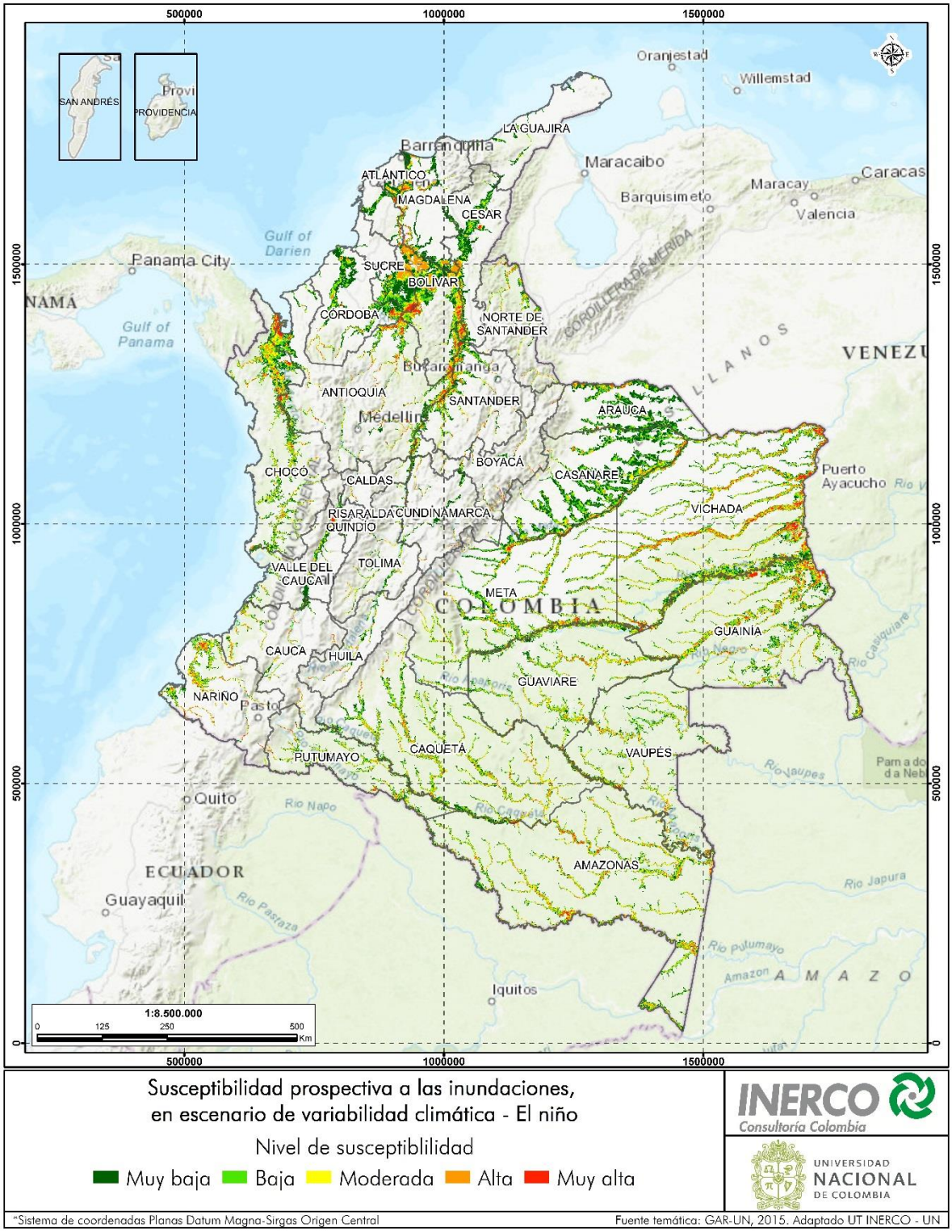
De acuerdo con la metodología propuesta, se cruzan los mapas de susceptibilidad virtual para los eventos relevantes con los mapas de escenarios de variabilidad climática del IDEAM, para generar los mapas de suceptibildad prospectivos de eventos para variabilidad climática de cada uno de los eventos amenazantes seleccionados en este estudio.

Figura 1-23 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para El Niño – desabastecimiento hídrico



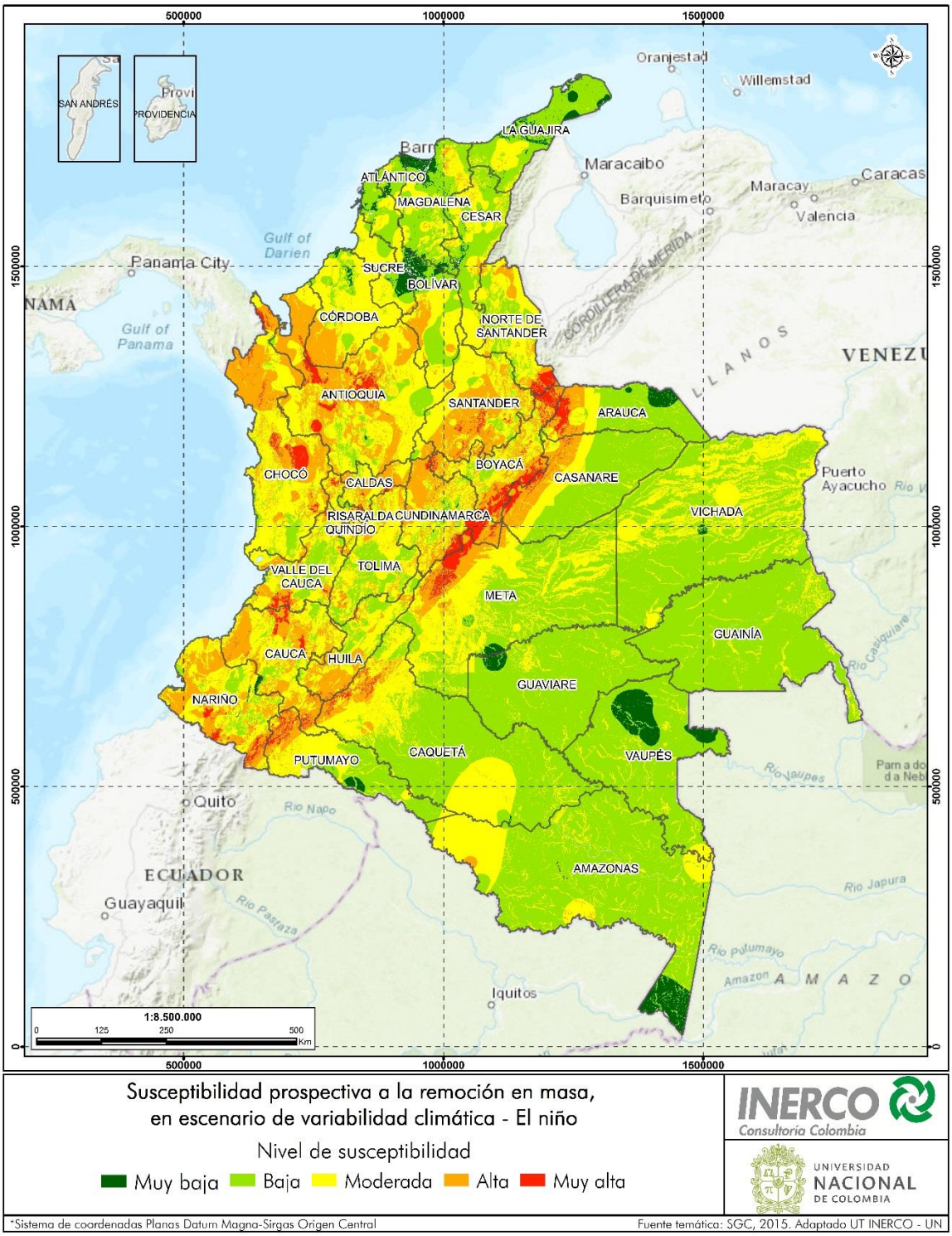
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 1-24 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para El Niño - inundación



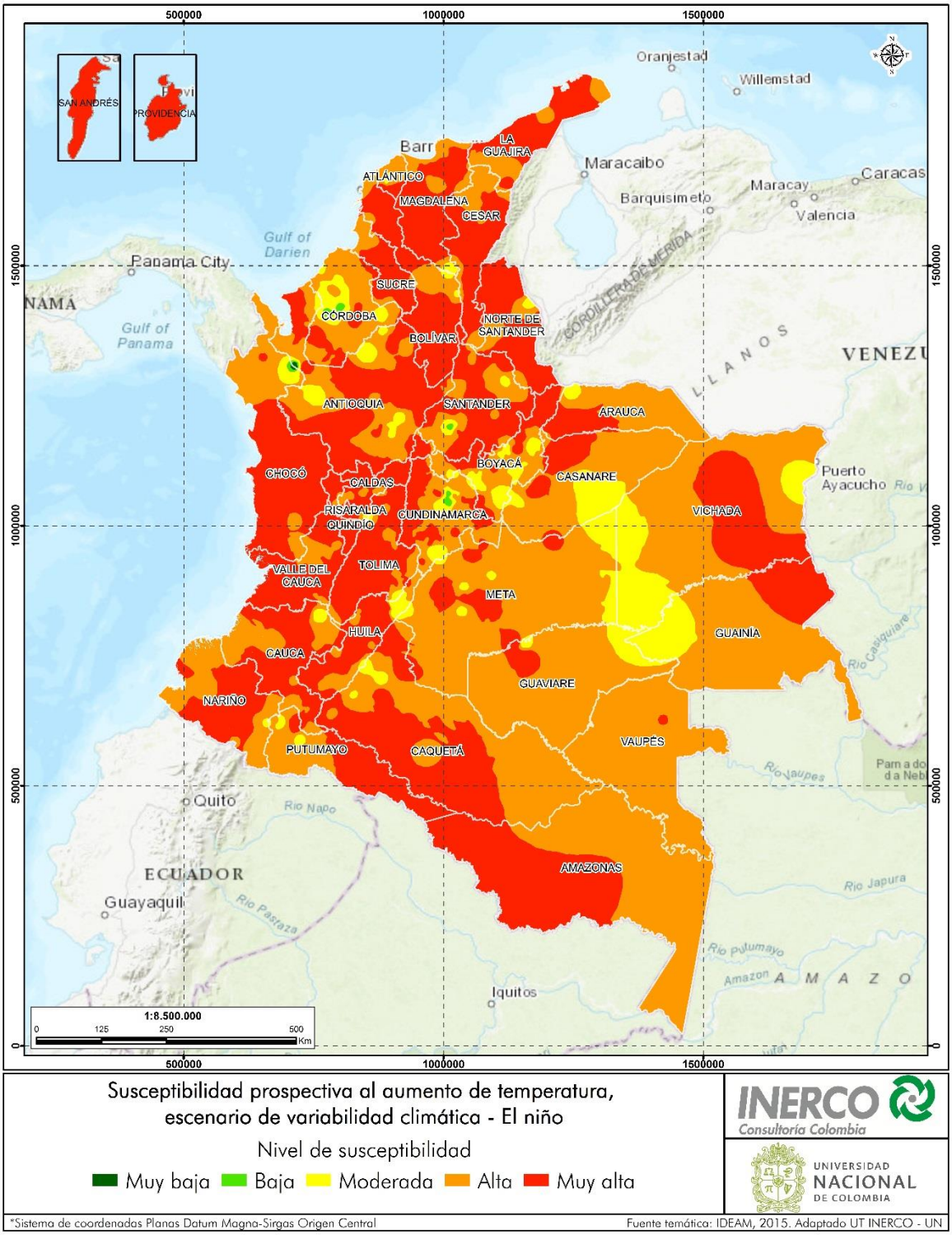
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 1-25 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para El Niño – remoción en masa



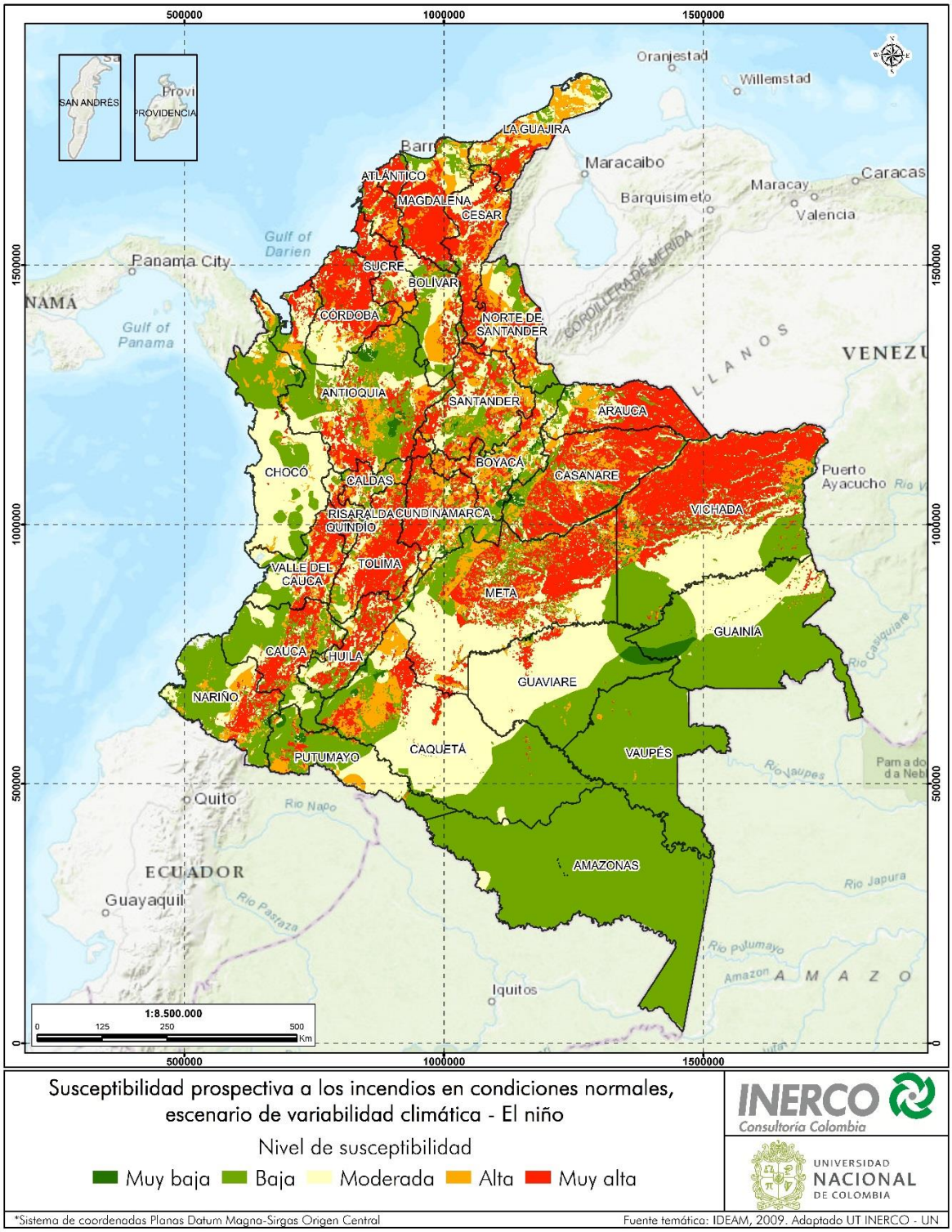
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 1-26 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para El Niño – aumento de la temperatura



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 1-27 Mapa de susceptibilidad prospectiva de variaiblidad climática para El Niño - incendios forestales



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

2. HIDROCARBUROS

2.1 Selección de eventos

A partir de este conjunto de eventos identificados el anexo 1, se inició un proceso de revisión de los eventos y verificación de afectaciones al sector de hidrocarburos por parte del grupo de trabajo para luego ser sometido a validación por un equipo de expertos del sector de hidrocarburos. Los resultados fueron presentados al Ministerio de Minas y Energía como parte de la consultoría: *"Diagnóstico subsectorial de vulnerabilidades y cálculo de riesgos derivados de los impactos asociados al cambio climático y a la variabilidad climática en la industria de hidrocarburos: Síntesis diagnóstico subsectorial de vulnerabilidades y cálculo de riesgos derivados de los impactos asociados al cambio climático",* realizado por INERCO Consultoría Colombia en 2016.

Los eventos identificados derivados del cambio climático y sus posibles impactos sobre componentes del sistema de hidrocarburos se presentan en la tabla 2-1:

Tabla 2-1 Impacto de los diferentes eventos de cambio climático sobre elementos del sistema de hidrocarburos

Eventos de cambio climático	**Subeventos de cambio climático**	**Componentes del sector de hidrocarburos**					
		Exploración	**Producción**	**Transporte**	**Infraestructura portuaria**	**Entorno**	***Offshore***
Cambios de la temperatura / Cambio en las precipitaciones	Desabastecimiento hídrico						
	Inundaciones pluviales y fluviales						
	Oleadas de calor o frío (heladas)						
	Remoción en masa / Deslizamientos / Avalanchas						
	Incendios forestales						
	Vendavales						
	Tormentas tropicales y huracanes						
Aumento del nivel del mar	Erosión costera / Inundaciones / Mar de leva / Marejadas						

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2016. Adaptado por la U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Los resultados se ajustaron a las condiciones territoriales de Colombia seleccionando los eventos a considerar a partir de criterios como la recurrencia del evento, la influencia del cambio climático sobre su ocurrencia o características, la sensibilidad del sistema de hidrocarburos o alguno de sus componentes frente al evento, y la gravedad o posibilidad de impacto sobre el sistema. La calificación de estos criterios es cualitativa y se presenta en la tabla 2-2:

Tabla 2-2 Selección de eventos amenazantes sobre el sistema de hidrocarburos según su comportamiento histórico con proyección a escenarios futuros de cambio climático

Eventos relacionados con el cambio climático aplicables al sector de Hidrocarburos en Colombia	Registro de ocurrencia según DESINVENTAR	Criterio de priorización		
		Recurrencia	Influencia del cambio climático	Sensibilidad del sistema
Inundaciones pluviales y fluviales	15.109	Alta	Alta	Media
Remoción en masa / Deslizamientos / Avenidas torrenciales / Avalanchas	Deslizamientos: 9.402 Avenidas Torrenciales: 1.047	Alta	Media	Alta
Vendavales	3.986	Alta	Alta	Media
Incendios forestales	3.211	Alta	Media	Alta
Crisis disponibilidad agua (sequías)	Sequías: 593	Baja	Alta	Alta
Aumento del nivel del mar / Erosión costera / Inundaciones por elevación del nivel del mar / Mar de leva / Marejada	Marejada: 159 Erosión Costera: 8	Baja	Alta	Media
Olas de calor y de frío (heladas)	Ola de Calor: 17 Helada: 62	Baja	Alta	Media
Tormentas tropicales / Huracanes	Huracán: 7	Baja	Alta	Media

Fuente: DESINVENTAR. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2016.

2.1.1 Socialización y validación de eventos en los talleres

En el taller de socialización del proyecto realizado el 1 de septiembre de 2016, con el fin de socializar y validar de los listados de eventos elaborados, se llevó a cabo mediante una metodología participativa[1] con los asistentes al taller[2] pertenecientes a instituciones del estado, empresas privadas y gremios del sector. Se adelantó una discusión y socialización sobre la pertinencia y los argumentos técnicos para considerar la importancia de los eventos propuestos en la generación de impactos sobre el sistema de hidrocarburos en Colombia; también, se indagó la posibilidad de incluir eventos adicionales con base en el conocimiento y la experiencia de los diferentes participantes en los subcomponentes administrativo, extractivo y de transporte.

Los eventos propuestos inicialmente fueron:

- Inundaciones
- Remoción en masa
- Desabastecimiento hídrico
- Olas de calor y heladas
- Efectos que afectan la infraestructura *offshore*: huracanes y tormentas, aumento del nivel del mar y eventos relacionados.

[1] Para mayor información, remitirse al entregable 4.1 memorias del Taller de socialización Nro. 1
[2] Los asistentes al taller fueron identificados previamente por el Ministerio de Minas y por la consultoría por su importancia como actores estratégicos para la elaboración del Plan sectorial de adaptación al cambio climático para el subsector de hidrocarburos.

2.1.2 Eventos considerados en los escenarios

Como resultado de un proceso de análisis y selección que consideró las singularidades del sistema del sector de hidrocarburos, las condiciones del país y la estimación de la vulnerabilidad y el riesgo, se obtuvo un conjunto de siete eventos derivados de las modificaciones de temperatura y precipitaciones provocadas por el cambio climático y la variabilidad climática establecidas en la consultoría de INERCO en 2016:

- Desabastecimiento hídrico
- Inundaciones
- Remoción en masa (deslizamientos)
- Incendios forestales
- Aumento de temperatura (olas de calor)
- Aumento del nivel del mar y eventos relacionados
- Tormentas (Huracanes)

En un inicio estos eventos se consideraron indistintamente tanto para los escenarios de cambio climático como para los de variabilidad climática, no obstante, luego de discusiones técnicas con personal del IDEAM y expertos sectoriales se vio necesario discriminar los eventos para uno y otro caso.

En todo caso se reconoce que la determinación de la relación exclusiva entre eventos extremos y la variabilidad climática o el cambio climático es muy compleja, pues este último también se puede entender como promotor de eventos extremos. Asimismo, los eventos tales como, inundaciones, incendios o sequias, que en general se asocian al cambio climático, también parecen relacionarse a la variabilidad climática en la literatura. Por esta razón el escenario de cambio climático considera los siete eventos.

Es bueno recordar igualmente que la flexibilidad metodológica del ejercicio de riesgo estructural desarrollada por la consultoría INERCO 2016, permite generar diferentes escenarios, que son ejercicios de plausibilidad razonada, no de comportamiento determinístico para variabilidad climática o cambio climático. Por ejemplo, un evento de oleadas de calor, generalmente asociado a la variabilidad climática, puede constituirse como un escenario de cambio climático de comportamiento plausible y razonable, mediante la relación de los datos de incremento de temperatura y los datos de susceptibilidad con el objetivo de realizar algún tipo de análisis.

Como conclusión general del proceso de consulta con los principales actores del sector, se pudo verificar que los eventos que más han impactado históricamente la industria de los hidrocarburos en Colombia, y cuyo análisis resultaría razonable, son las inundaciones y los procesos de remoción en masa, con una gravedad media moderada y grave

respectivamente. Estos eventos impactan parcialmente a la industria, aunque las inundaciones afectan en una mayor proporción de la cadena de valor del sector de hidrocarburos que la remoción en masa. La tabla 2-3 presenta el listado de eventos, ordenados de acuerdo con la calificación de la gravedad de los impactos sobre la industria de hidrocarburos en Colombia que se obtuvo del análisis con expertos durante la consultoría de INERCO 2016.

Tabla 2-3 Gravedad relativa del impacto de diferentes eventos sobre el sistema de hidrocarburos

Evento	¿El evento nos ha impactado? ¿Nos puede impactar en el futuro?	Gravedad	¿Afecta a todo el sector? O, ¿solo alguno de sus componentes?
Inundación	4,8	3,125	4,4
Remoción en masa	4,5	4,375	3,3
Incendios	1,6	2,375	2,4
Desabastecimiento hídrico	3,5	4	3,1
Olas de calor	3,2	2	3,3
Eventos *Offshore*	3	3,44	2,7

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2016.

De acuerdo con los resultados del taller, se evidenció que los participantes coincidieron en la calificación de la gravedad de los principales eventos climáticos, y validaron las amenazas más representativas del sector que afectan el cumplimiento de metas de producción y representan amenazas como la suspensión de actividades, incremento de costos y disminución de ingresos asociados a gestión logística tanto de personal, como de materiales e insumos requeridos por la industria de hidrocarburos y la afectación o pérdida de infraestructura como ruptura de ductos o infraestructura puntual.

A la fecha, no existe una base de datos del sector de hidrocarburos, en la que se plasmen las experiencias y los datos de los eventos climáticos que han afectado la operación y los costos asociados a estos, que facilite el análisis de las afectaciones y repercusiones en la planeación a futuro de los proyectos de explotación de hidrocarburos en el país. Sin embargo, además de las experiencias compartidas por las compañías durante el taller de socialización de los principales eventos amenazantes para el sector, se puede tener un panorama de las afectaciones por estos eventos en las operaciones de los componentes del sector, a través de las noticias publicadas en diferentes medios locales y de algunas referencias en informes internos que han sido publicados. Se pueden resaltar los siguientes desastres asociados a eventos climáticos que han afectado el sector:

- El poliducto de Guaduas se rompió por deslizamiento de tierra, 25 de abril de 2011. “El accidente se produjo debido a un deslizamiento de tierra, consecuencia de las lluvias que azotan al país[3].
- Deslizamiento provocó daño en oleoducto en Chinácota. 11 de diciembre de 2011. “Un derrumbe producto de fuerte temporada invernal, rompió un tramo del oleoducto Caño Limón-Coveñas que pasa por el municipio de Chinácota, Norte de Santander. El petróleo derramado se ha esparcido en la quebrada Iscalá que pasa por este sector”[4].
- El invierno produjo derrame de crudo sobre el río Magdalena. El hecho ocurrió en la planta de tratamiento de aguas residuales de la refinería en Barrancabermeja. 10 de octubre de 2017. “Ecopetrol explicó que por cuenta del invierno se reboso un tanque de almacenamiento cercano al afluente”[5].
- Invierno acaba con la vía Arauca-Caño Limón. Incomunicada quedó la capital del departamento de Arauca por la vía que comunica al complejo petrolero de Caño Limón y el municipio de Arauquita. 23 de junio de 2017. “De nada valieron los trabajos que provisionalmente se habían realizado para habilitar el paso para vehículos livianos, el día jueves 22 de junio, cuando se presentaron los primeros inconvenientes para los viajeros y los mismos trabajadores del campo petrolero. Por el desbordamiento del río Arauca, cientos de familias de corregimiento Todos los Santos, que hace parte del área petrolera, les tocó salir con sus pertenencias a la vía pavimentada como único refugio de las aguas que terminaron afectando las viviendas y los cultivos de los campesinos”[6].
- Un alud partió un oleoducto y contaminó el agua en Cúcuta. La ciudad colombiana de Cúcuta, de unos 75.000 habitantes, sufre desde hoy racionamientos de agua por la contaminación del río Pamplonita con crudo, a consecuencia de la rotura de un oleoducto debido a un alud ocasionado por las lluvias. 12 de diciembre de 2011[7].
- Un rayo provocó emergencias en una planta de Ecopetrol en Coveñas. El temor se apoderó de los habitantes del sector San José al pensar que el incendio se propagaría y explotaría, lo que habría producido una tragedia de grandes proporciones. 6 de julio de 2012. “Momentos de pánico generó en la madrugada de este viernes un incendio

[3] Poliducto de Guaduas se rompió por deslizamiento de tierra. Revista Semana. [en línea]. 1512 (abril, 2011). Bogotá. [Citado en 2017-12-07]. Sección Invierno. Disponible en Internet: <http://www.semana.com/nacion/articulo/poliducto-guaduas-rompio-deslizamiento-tierra/238875-3>

[4] Deslizamiento provocó daño en oleoducto en Chinácota. Vanguardia.com. [en línea]. 11 de diciembre de 2011. [Citado en 2017-12-07]. Sección Colombia. Disponible en Internet: <http://www.vanguardia.com/actualidad/colombia/135057-deslizamiento-provoco-dano-en-oleoducto-en-chinacota>

[5] Video: El invierno produjo derrame de crudo sobre el río Magdalena. Caracol Radio. [en línea]. 10 de mayo de 2017. Bucaramanga. [Citado en 2017-12-07]. Disponible en Internet: <http://caracol.com.co/emisora/2017/05/09/bucaramanga/1494346253_920218.html>

[6] Invierno acaba con la vía Arauca – Caño Limón. Caracol Radio. [en línea]. 23 de junio de 2017. [Citado en 2017-12-07]. Sección Regional. Disponible en Internet: <http://caracol.com.co/radio/2017/06/23/regional/1498225527_780330.html>

[7] Un alud partió un oleoducto y contaminó el agua en Cúcuta. Caracol Radio. [en línea]. 12 de diciembre de 2012. [Citado en 2017-12-07]. Sección Ecología. Disponible en Internet: <http://caracol.com.co/radio/2011/12/12/ecologia/1323680820_591082.html>

provocado por un rayo que cayó sobre la válvula de un tanque de crudo en las instalaciones de Ecopetrol en Coveñas, Sucre, cerca al terminal marítimo"[8].

- "En 2012 Ecopetrol registró 25 incidentes. Inundaciones asociadas con fuertes lluvias representaron la principal causa de los incidentes: estos causaron fugas, corrosión, malfuncionamiento de válvulas y bombas, desbordamiento de los productos, y accidentes y muchos otros problemas. New Horizon Exploration, compañía que explota en concesión el Bloque La Maye, presentó importantes pérdidas. Estas fueron causadas por inundaciones asociadas al fenómeno climático de La Niña. Específicamente, el aumento del nivel del agua en dos metros y el nivel remanente durante toda la temporada de lluvias, haciendo imposible el acceso por meses, después el dique El Hatillo permitió su evacuación"[9].

Como se puede observar la mayoría de los impactos sufridos por la industria, en este caso de los hidrocarburos, derivadas de fenómenos climáticos están asociadas a inundaciones, remociones en masa, y si sumáramos a la generación eléctrica, la escasez del recurso hídrico, es decir, se trata de definir efectos asociados a la variabilidad climática, más específicamente a los fenómenos de El Niño y La Niña.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos de acuerdo con la revisión de la literatura de científica internacional, de la búsqueda y análisis de las bases de datos de organismos multilaterales, de la discusión entre expertos del sector y de los resultados del taller de socialización, se realizó una selección de los eventos amenazantes derivados del cambio climático que pueden generar afectaciones potenciales sobre los componentes del sistema de hidrocarburos en Colombia y sobre su entorno.

Los eventos amenazantes seleccionados para el escenario de Cambio Climático son:

- Desabastecimiento hídrico
- Inundaciones
- Remoción en masa
- Incendios forestales
- Aumento de temperatura (que incorpora olas de calor)
- Aumento del nivel del mar y eventos relacionados
- Tormentas y huracanes.

Para el escenario de variabilidad climática, fenómeno de La Niña y El Niño, no obstante, se optó por limitar los eventos aquellos que han históricamente generado amenazas a las

[8] Un rayo provocó emergencia en una planta de Ecopetrol en Coveñas. Caracol Radio. [en línea]. 6 de julio de 2012. [Citado en 2017-12-07]. Sección Regional. Disponible en Internet: <http://caracol.com.co/radio/2012/07/06/regional/1341574380_718089.html>

[9] Puig, D., Haselip, J. A., & Naswa, P. (2015). Adaptation to climate change in Colombia's oil and gas industry: Recommendations to promote risk management. UN

actividades del sector. El criterio en este caso fue que dado el conocimiento del comportamiento histórico del sector ante estos fenómenos climáticos lo razonable era simular los eventos amenazantes que efectivamente habían tenido un impacto, como se recoge a continuación:

Escenario Variabilidad Climática Niña:

- Inundaciones
- Remoción en masa

Escenario Variabilidad Climática Niño:

- Desabastecimiento recurso hídrico
- Inundaciones
- Incendios forestales

2.2 Áreas del sistema del subsector hidrocarburos

La nación, a través de la Agencia Nacional de Hidracarburos (ANH), delimita y determina las áreas del sector de hidrocarburos en función de su naturaleza y localización geográfica, sus condiciones ambientales y sociales, y los tipos de contratos que se desarrollarán. Estas áreas corresponden al Mapa de tierras elaborado por la ANH a mayo de 2016, y serán las utilizadas para delimitar el sistema del sector de hidrocarburos para el respectivo análisis de los eventos de cambio climático y variabilidad climática y sus efectos sobre este.

2.2.1 Cambio Climático

2.2.1.1 Áreas de Evaluación Técnica (TEA) y Exploración

Por una parte, los contratos TEA tienen como objeto desarrollar estudios de evaluación técnica en una zona determinada de manera exclusiva, a costo y riesgo del contratista con arreglo a un programa específico, destinado a definir la factibilidad del área. Por otra parte, las áreas de exploración son desarrolladas a través de contratos E&P que implican el derecho exclusivo para acometer y desarrollar actividades exploratorias en un área determinada y a producir los hidrocarburos propiedad del Estado que se descubran dentro de la misma, a su costo y riesgo y con arreglo a un programa específico, a cambio de retribuciones económicas.

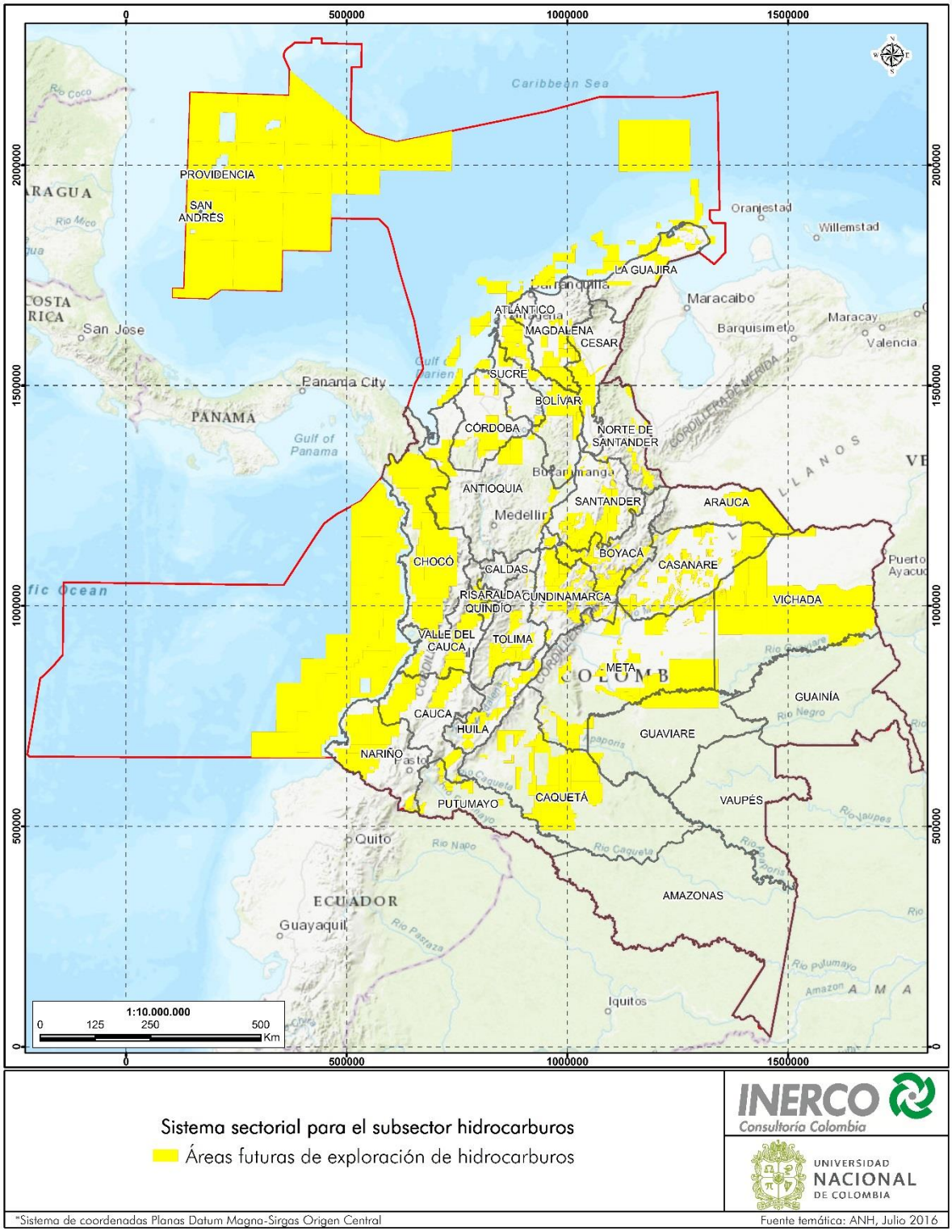
Las principales características de estas áreas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2-4 Características de las áreas de exploración y TEA

Tipo de áreas	Tipo de hidrocarburo	Tipo de actividades	Contratos vigentes a junio de 2017
Continental	Convencional	Geoquímica, sísmica 2D/3D, pozos exploratorios	274
Offshore	Convencional	Ensayos pistón core / Sísmica	11

Fuente: Asociación Colombiana del Petróleo, Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2017. Adaptada por la U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 2-1 Áreas futuras de exploración



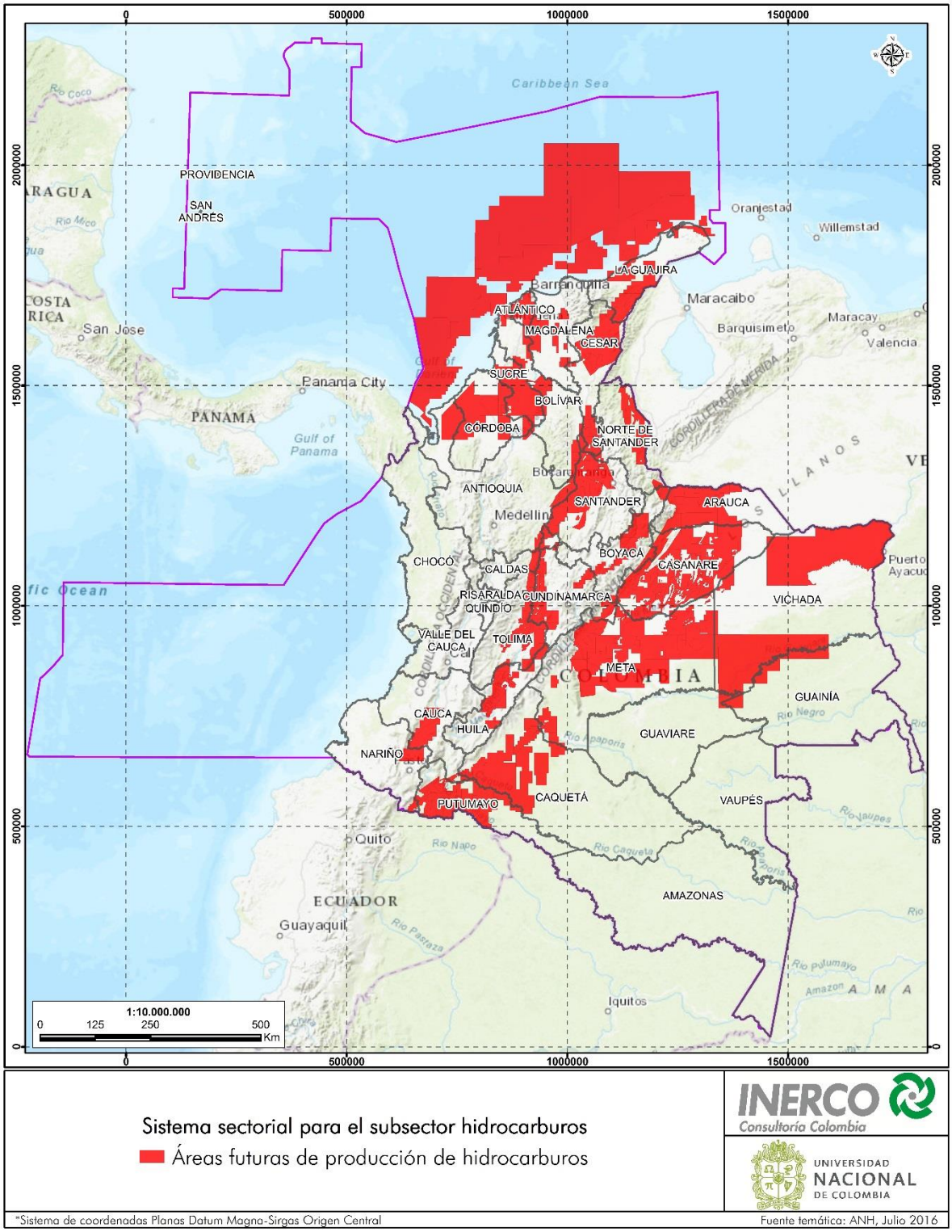
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

2.2.1.2 Áreas de producción

Las áreas de producción son desarrolladas a través de cuatro tipos de contratos diferentes que implican variaciones en los derechos y deberes de la empresa contratista, pero cuyo objetivo común es la producción de hidrocarburos, estos son: Contratos E&P, Convenios de Exploración y Explotación, Contratos de Asociación con ECP y Contrato de Concesión.

Las áreas de producción en el país cuentan con una extensión equivalente a 2.800.000 ha, distribuidas en 200 contratos a nivel continental y marítimo. Los pozos de desarrollo en esta área alcanzan a los 7.514 desde 2006. De la producción nacional del país, las empresas Ecopetrol y Meta Petroleum producen el 60 % del crudo del país; Occidental y Equion, el 12 %, y el resto de las compañías tienen menos del 5 %. Así mismo, cuatro campos producen el 40 % del total de la producción nacional: Rubiales, Castilla, Chichimene, Quifa, con más de 40.000 barriles producidos por día calendario (BDPC).

Figura 2-2 Áreas futuras de producción



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

2.2.1.3 Áreas disponibles y áreas reservadas

Teniendo en cuenta el escenario de cambio climático escogido (2011-2040), para el análisis se descartan las áreas reservadas y disponibles, dado que, en el primer caso, su clasificación no es sujeto de intervención y, en el segundo, son áreas que representan un alto grado de incertidumbre dentro de los procesos de producción y comercialización del crudo. Lo anterior quiere decir que la connotación de áreas reservadas justifica la imposibilidad de ser intervenidas para procesos dentro de la industria de hidrocarburos, y la clasificación como áreas disponibles obliga a evaluaciones posteriores que permitan clarificar la posibilidad de producción, procesos que dado el espacio temporal no se podrían catalogar dentro del escenario 2011-2040 de cambio climático.

2.2.1.4 Áreas de transporte

Las áreas de transporte del sistema del sector de hidrocarburos comprenden ductos especializados para gas natural o petróleo y el transporte terrestre a través de carreteras. La red de oleoductos del país tiene una longitud de 4.900 km y moviliza aproximadamente 1.218.600 barriles por día, conectando los campos petroleros con los puntos de refinación y comercialización a nivel de exportación e importación.

Por su parte, la red colombiana de gasoductos está conformada por el sistema de la Costa Atlántica y del Interior. El primer sistema se compone por dos subsistemas principales Ballena-Cartagena, el cual transporta gas natural proveniente de los campos de La Guajira, de Chuchupa, y Ballena con una longitud de 673,3 km. El segundo sistema cuenta con una longitud de 193 km, transporta el gas proveniente del yacimiento Guepajé, ubicado en el municipio de San Pedro (Sucre). La red del interior del país posee más de 3.900 km de gasoducto y está conformada por siete sistemas que transportan el gas desde Los Llanos hacia el interior del país.

Igualmente, los hidrocarburos son transportados a través de carro-tanque en algunas zonas del país, con los siguientes objetivos: transportar el petróleo desde aquellos puntos de extracción a un lugar donde pueda ser inyectado a la red de oleoductos o transportar hidrocarburos directamente a los puntos de exportación a través de otras rutas. Se calcula que aproximadamente el 5 % de la producción del país realiza algún tramo por carro-tanque.

Figura 2-3 Áreas para transporte terrestre



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

2.2.1.5 Áreas de Infraestructura marítima de hidrocarburos

En estas áreas se incluirán la ubicación y extensión de las siguientes infraestructuras:

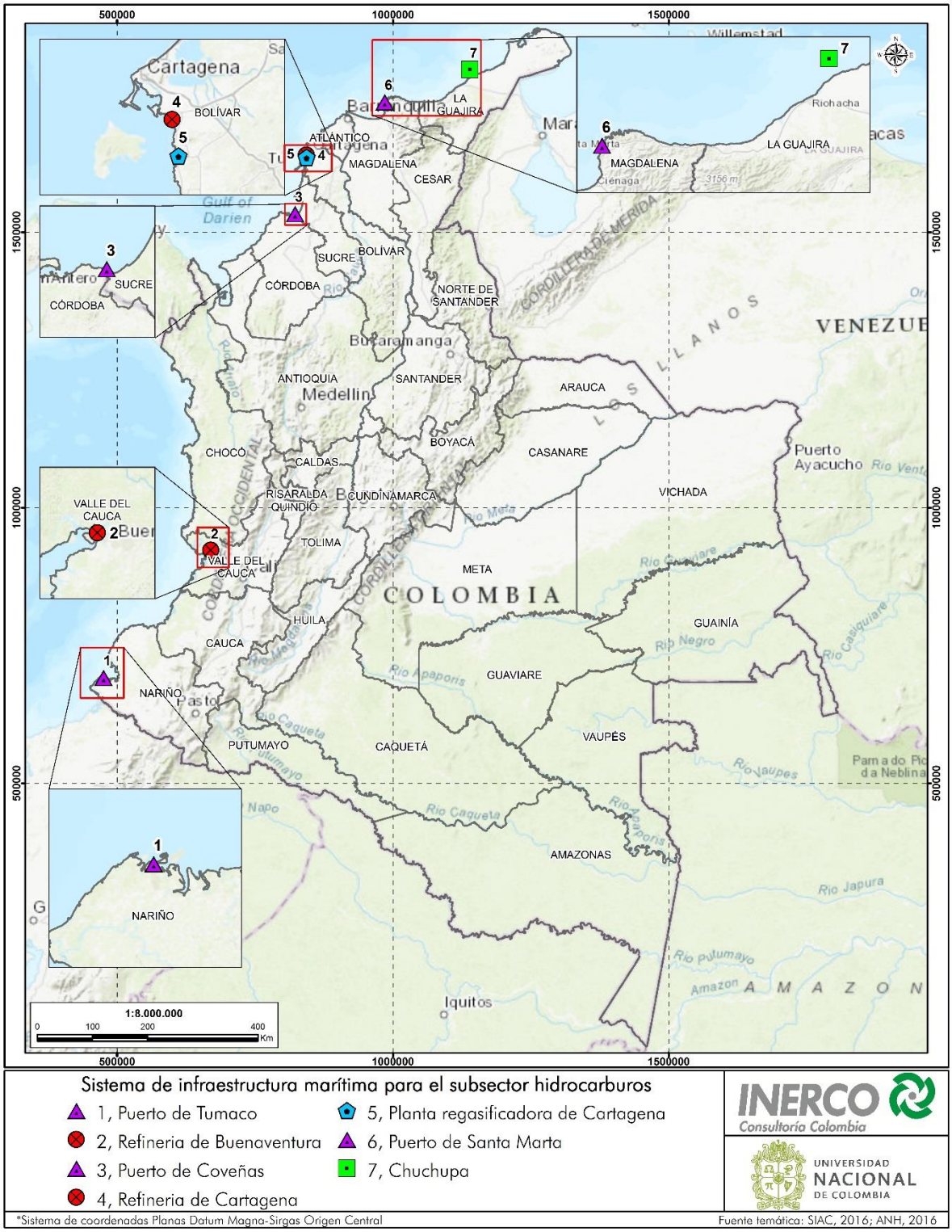
La Refinería de Cartagena, ubicada en la actual zona industrial, en el área de Mamonal. Ocupa cerca de 140 ha dedicadas a generar el 25 % de los derivados de petróleo y combustibles producidos en el país.

El Puerto de Coveñas, el cual es actualmente el principal puerto de exportación de petróleo, pues es el terminal de los oleoductos que transportan los crudos. Opera con unidades de cargue TLU (Tanker Loading Unit), operadas por Ecopetrol y OCENSA.

El muelle de la refinería de Cartagena y el terminal "Néstor Pineda" son la puerta que comunica al negocio de la refinación con los mercados del mundo, así como con la refinería de Barrancabermeja y la planta de Regasificación de Gas Natural Licuado del país (GNL), la cual está ubicada en la isla de Barú.

En la Costa Pacífica, el terminal del Oleoducto Transandino que transporta crudos desde los campos de Orito en el Putumayo y crudos ecuatorianos.

Figura 2-4 Áreas para infraestructura marítima



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

2.2.2 Variabilidad Climática

Tal como se han definido las áreas de análisis para cambio climático, las áreas consideradas para el escenario de variabilidad climática se basan en la información de las tres entidades oficiales para los componentes de minería (ANM), hidrocarburos (ANH) y energía eléctrica (UPME).

Para la definición de las áreas de análisis se consideran los eventos de variabilidad climática como fenómenos actuales y/o que su impacto se produce en un futuro corto. Dada esta consideración las áreas de análisis definidas corresponden a como cada entidad oficial las tiene caracterizadas a la fecha de este estudio.

De acuerdo la clasificación de la ANH para el mapa de tierras de 2016, se han seleccionado ciertas áreas de análisis de acuerdo al impacto que podría tener la variabilidad climática sobre cada tipo de infraestructura.

La tabla 2-5 expone las áreas de análisis contempladas para el análisis de variabilidad climática tanto para La Niña como El Niño.

Tabla 2-5. Áreas de análisis hidrocarburos

ÁREAS ANH	ÁREA DELIMITADA
Áreas en producción	Áreas en producción
Áreas disponibles	Descartada
Áreas en exploración	Áreas en exploración
Áreas en TEAs	
Áreas reservadas	Descartada

Fuente: Unión temporal INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

Adicional a las áreas de la tabla 2-5 consideradas (áreas en producción y áreas en exploración), se incluyen cómo áreas de análisis el transporte, dividido en terrestre y ductos (gasoductos y oleoductos) y las áreas de infraestructura marítima que comprende la regasificadora de Cartagena, los puertos actuales y el campo Chuchupa en el área offshore.

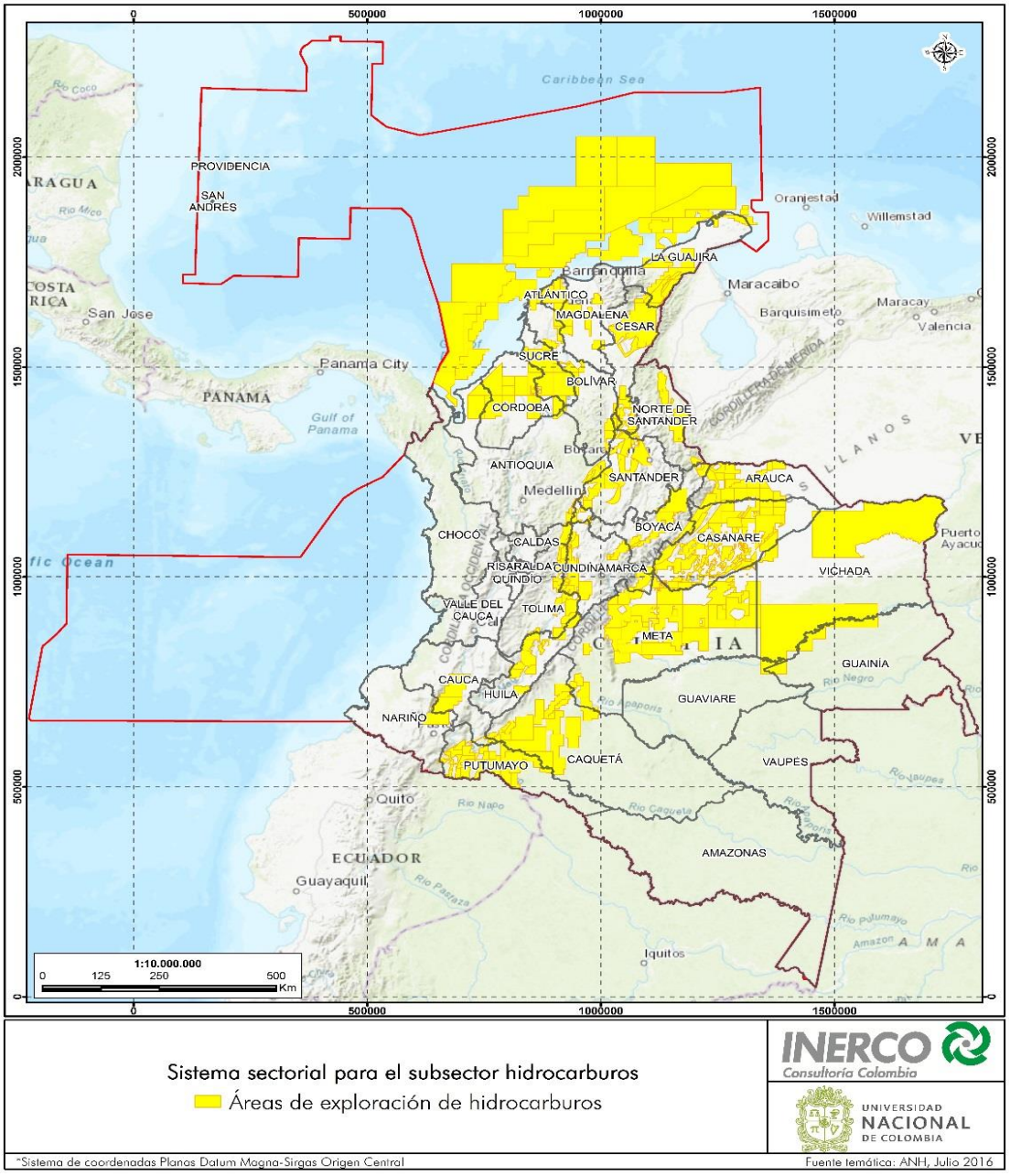
Por tanto las áreas de análisis para los escenarios de variabilidad quedan resumidas en las siguientes cuatro:

- Áreas de exploración
- Áreas de producción
- Logística terrestre
- Infraestructura marítima

2.2.2.1 Áreas en exploración

Las áreas de exploración son aquellas que en el estado actual (julio de 2016) se encuentran delimitadas como áreas en explotación y en TEAs. Por sus características estas dos áreas se pueden agrupar en sólo una, ya que tienen un fin estratégico similar. Estas áreas se muestran en la figura 2-5.

Figura 2-5 Áreas de exploración



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

2.2.2.2 Áreas en producción

Son las áreas que a julio de 2016 se encuentran delimitadas como áreas de producción en el mapa de tierras de la ANH. A diferencia de cambio climático, se establece esta área de análisis ya que los fenómenos en variabilidad climática son a corto plazo. Esta área se representa en la figura 2-6.

Figura 2-6 Áreas de producción



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

2.2.2.3 Logística terrestre

La logística terrestre se ha establecido bajo los mismos argumentos que en el escenario de cambio climático, debido a su importancia dentro de los procesos de transporte de gas y crudo, por carretera, ductos y gasoductos. La logística terrestre reúne las vías de transporte, gasoductos y oleoductos actuales más representativos dentro de las labores antes mencionadas. Esta área se muestra en la figura 2-7.

Figura 2-7 Áreas de logística terrestre

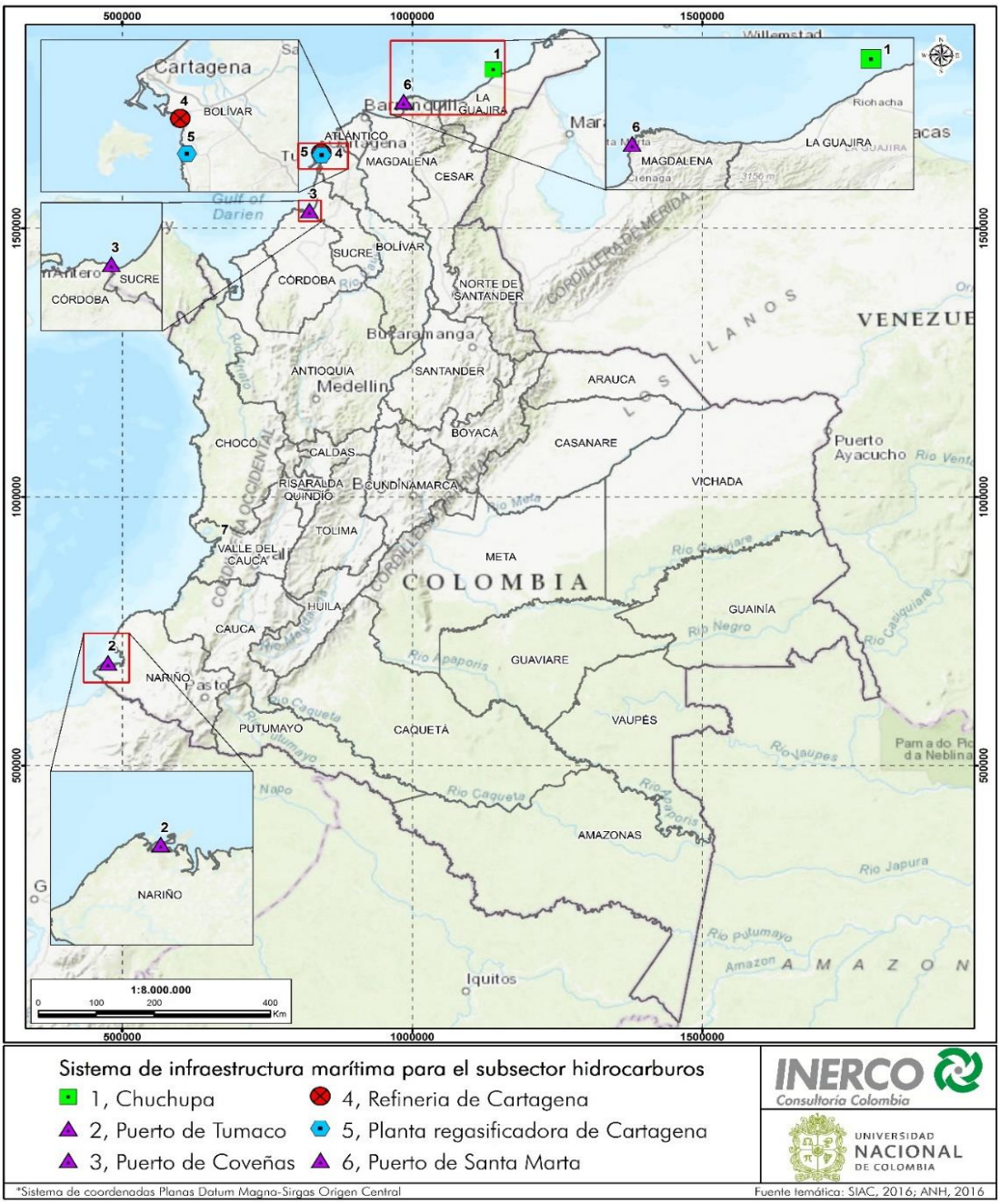


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

2.2.2.4 Infraestructura marítima

La infraestructura marítima involucra la infraestructura offshore y los puertos y regasificadoras importantes en la cadena de producción y refinación. La figura 2-8 muestra la infraestructura marítima del área de análisis.

Figura 2-8 Áreas de infraestructura marítima



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

2.3 Caracterización del subsector hidrocarburos

La industria de petróleo y gas en Colombia se define en adelante como un sistema con sus correspondientes delimitaciones para el respectivo análisis de los efectos del cambio climático y la variabilidad climática, según lo señala la Hoja de Ruta para la Elaboración de los Planes de Adaptación que se encuentra en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático: "la formulación de un Plan de Adaptación inicia con la delimitación del sistema, con el propósito de compatibilizar las capacidades o recursos requeridos con los que están disponibles"[10].

La delimitación del sistema consiste en la caracterización de cada uno de los componentes que la industria define para el adecuado desarrollo del negocio y de su extensión geográfica sobre el territorio nacional para valorar el impacto de cada una de las variables climáticas sobre las operaciones del sector. Adaptando la sectorización internacional de la industria de petróleo y gas, se definen los siguientes componentes: exploración, producción, transporte e infraestructura portuaria. La distribución regional de cada uno de los componentes es plasmada en los respectivos mapas elaborados por las agencias nacionales que administran cada una de las áreas.

- **Componentes del sistema**

Exploración

Para el desarrollo de la exploración de hidrocarburos en el país, el territorio nacional se ha dividido en cuencas (por sus características geológicas) y estas, a su vez, en bloques exploratorios continentales y de costa afuera (*offshore*) que se definen como áreas disponibles para desarrollar estudios y pruebas para el hallazgo de hidrocarburos. La asignación de estas áreas a empresas públicas o privadas se realiza a través de la celebración de contratos TEA[11] (Technical Evaluation Agreement) o E&P[12] (Exploration & Production). Cada uno de estos contratos supone compromisos contractuales de las empresas que incluyen el cumplimiento de requisitos mínimos de adquisición de información de cada bloque los cuales encierran: adquisición y procesamiento sísmico, estudios geológicos regionales y la perforación de pozos exploratorios y estratigráficos.

Debido a las diferencias de infraestructura y logísticas requeridas para la exploración continental y la de *offshore*, para el presente análisis se trabajarán por separado.

[10] DNP, MADS, IDEAM, UNGRD, 2013, pág. 15
[11] Contrato cuyo objetivo principal es evaluar el potencial de hidrocarburos de un área e identificar prospectos para celebrar un eventual contrato de E&P sobre una porción o la totalidad del área contratada.
[12] Este contrato presenta las siguientes características: etapa de exploración (seis años con prórroga hasta por cuatro años), etapa de evaluación (Uno a dos años prorrogables por un máximo de dos años) y etapa de explotación (24 años por yacimiento con posibilidad de prórroga).

- Producción

Finalizada la etapa exploratoria, las empresas deben evaluar los recursos y expresar su intención de explotar el yacimiento encontrado a través de una declaración de comercialidad, posterior a la cual entra en vigencia el contrato de producción. La empresa se compromete a realizar la perforación de pozos de desarrollo, los trabajos para mejorar el recobro de los campos y la adecuación de la infraestructura de producción y de transporte a los oleoductos principales.

Las actividades de producción se analizarán por separado para los yacimientos convencionales y los no convencionales, debido a las diferencias en los requerimientos para su aprovechamiento. Los hidrocarburos convencionales se encuentran en yacimientos que requieren solamente de la perforación vertical de la roca para su explotación, a diferencia de los no convencionales que requieren complejos sistemas de aprovechamiento de las características de la roca (fracking) y generalmente de la perforación horizontal de sus pozos con el mismo fin, lo cual requiere de una mayor área de cubrimiento para su desarrollo.

- Transporte

Los hidrocarburos obtenidos de cada uno de los pozos deben ser transportados para su procesamiento, almacenamiento, distribución y exportación. Dependiendo la naturaleza de los hidrocarburos, petróleo o gas natural, se establecen diferentes condiciones y especificaciones técnicas para su transporte, por lo cual se analizarán de la siguiente manera:

Transporte por ductos: el medio de transporte más utilizado son los oleoductos, los cuales recorre el país desde los diferentes puntos de producción hasta los centros de almacenamiento y despacho. En el caso del gas natural para consumo interno, este es transportado, mediante ductos denominados gasoductos, desde las áreas de producción hasta los centros poblados para su distribución y consumo.

Transporte terrestre: este transporte es exclusivo para petróleo de consumo interno. Aproximadamente el 5 % de la producción de petróleo en Colombia se transporta a través de carro-tanques, bien sea para entrega directa a los clientes o para ser inyectado posteriormente a la línea de oleoductos. Igualmente, se transportan importantes insumos como la Nafta para la adecuación del transporte en oleoductos.

Transporte fluvial: en Colombia el petróleo que es llevado desde y hacia las refinerías, utiliza barcazas que se desplazan por los principales ríos del país, especialmente el río Magdalena.

- Infraestructura portuaria

Las actividades de exportación y de importación de hidrocarburos o de insumos para la industria se realizan en el país a través de la infraestructura costera y de puertos marítimos con los que cuenta el país. El 65 % de la producción del país es transportada para su exportación a mercados internacionales. Estas exportaciones se realizan principalmente a través del puerto de Coveñas y en menor proporción a través del puerto de Cartagena y de Tumaco.

Para el gas natural, existe una infraestructura de exportación actual hacia Venezuela y se está construyendo una planta de regasificación en Cartagena con el objeto de realizar importaciones de gas natural. Dadas estas consideraciones, la matriz que describe el sistema de hidrocarburos y sus componentes y subcomponentes en Colombia se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2-6 Componentes y subcomponentes del subsector de Hidrocarburos

Sistema Sector de Hidrocarburos								
Componente	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura portuaria
Subcomponente	Continental	*Offshore*	Convencional	No convencional	*Offshore*	Ductos	Carretera	

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2016.

2.3.1 Distribución territorial del subsector

El panorama petrolero de la nación ha sufrido una gran transformación, a pesar de la dependencia de cuencas del Magdalena principalmente a tener como fuente de suministro principal al área de Los Llanos Orientales, que está produciendo el 73 % del total nacional, relegando a segundo y tercer plano las que fueron en su momento las más importantes cuencas productoras como las de los valles medio y superior del Magdalena y el Putumayo[13]. Así, la exploración y producción *offshore* se proyecta y desarrolla en la Costa Caribe y en la Costa Pacífica. La red de oleoductos y gasoductos del país, cubre gran parte del territorio nacional, permitiendo la salida de los hidrocarburos desde las áreas de producción hacia las refinerías y hacia el puerto de Coveñas y el puerto de Tumaco para su exportación.

2.3.2 El subsector en la economía nacional

[13] UPME. 2013. La Cadena del Petróleo. Pág. 107

La explotación de hidrocarburos es una actividad importante para el Colombia. Por sí sola, la extracción de petróleo crudo, gas natural y minerales de uranio y torio[14] representó, en promedio, 4,72 % del Producto Interno Bruto (PIB) entre 2000 y 2016. Así mismo, la tendencia de la participación en el PIB de la extracción de hidrocarburos es creciente desde 2007 hasta 2013, entre 2014 y 2016 la tendencia ha sido decreciente.

2.3.3 Niveles de producción

Por un lado, la producción de crudo presentó una tendencia creciente desde 2007 hasta 2013, años en los cuales la producción promedio mensual superó el millón de BPDC. Esta cifra fue nuevamente alcanzada en 2015 y en el año 2016 se disminuyó la producción mensual promedio a 886.000 BPDC. Por otro lado, el comportamiento de la producción de gas es similar al de la producción de crudo, pero más volátil. En 2009, la producción mensual promedio de gas fue de 1.250 millones ft^3, año con la mayor producción promedio mensual de gas del periodo 2009-2016, mientras, la menor producción promedio mensual del periodo analizado se alcanzó en 2012, con 970,65 millones de ft^3.

2.3.4 Comercio exterior (exportaciones)

Dentro del total de las exportaciones, el petróleo y sus derivados son el rubro más importante con una participación del 49,7% (carbón, 15 %; café, 4,6 %, y níquel, 1,5 %)[15]. De 2015 a 2016, la producción promedio de crudo disminuyó en 12 %, pasando de 1.005.837 barriles promedio en 2015 a 885.000 barriles durante 2016, lo que representó la producción más baja durante los últimos 5 años. Por el lado de las ventas al exterior, durante 2016, disminuyó la participación de las exportaciones petroleras sobre las exportaciones totales del país), pasando del 40 % durante 2015 al 33 % en 2016. Dicha disminución coincide con el comportamiento del total de exportaciones del país que cayeron frente al año anterior[16].

2.3.5 Precios

El comportamiento de la producción de crudo está relacionado con el precio del mismo en los mercados internacionales. Entre 2000 y 2016, el menor precio del barril de petróleo, según el precio indicativo WTI, se presentó en 2002, con un valor de 31,7 USD; mientras, el precio máximo, 100,9 USD, se alcanzó en 2008. En cuanto al precio de referencia de Brent, el valor mínimo por barril de petróleo fue de 24,5 USD en 2001 y el máximo de 111,6 USD en 2012. El precio promedio de exportación de crudo colombiano para el

[14] Se toma esta actividad como indicativa del subsector hidrocarburos, aunque no refleja el valor agregado de la refinación y otras actividades relacionadas con el subsector.
[15] Banco de la República. 2013. Borradores de Economía: La Economía petrolera en Colombia (Parte II). Relaciones intersectoriales e importancia en la Economía Nacional. Pág. 4.
[16] Superintendencia de Sociedades. 2017. Desempeño del sector de Hidrocarburos, Informe. Pág. 4.

periodo 2000-2016 es de 59,4 USD, con un precio mínimo de 23,8 USD en 2000 y 2001 y un máximo de 104,2 USD en 2012.

El precio de exportación promedio del barril de crudo colombiano entre 2007 y 2015, años en los cuales la producción fue más exhaustiva, alcanzó los 80,3 USD. Desde finales de 2013, el precio del barril de petróleo presenta una tendencia a la baja, en parte debido al aumento de la oferta internacional. Sin embargo, dada la alta demanda de hidrocarburos a nivel internacional, el petróleo y sus derivados se han configurado como productos de alta exportación para el país, aunque dicha caída de los precios produjo una tendencia decreciente en los niveles de exportación de estos productos que se mantiene en la actualidad.

La disminución en los niveles de exportación de petróleo y sus derivados provocada por la reducción de los precios internacionales también se tradujo en una menor representación de estos productos, en las exportaciones totales del país. Concretamente, las exportaciones de petróleo y sus derivados pasaron de 55,22 % del total en 2013 a un 33,20 % en 2016. El promedio de representación de estas exportaciones como porcentaje del total entre 2000 y 2016 fue de 35,74 %, mientras, el promedio entre 2007 y 2015 fue de 42,34 %.

2.3.6 Generación de empleo

La importancia relativa del empleo directo en la actividad petrolera ha aumentado en los últimos años según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y Fasecolda, los cuales reportan los trabajadores cubiertos por riesgos profesionales. Es probable, también, que algunos contratistas puedan ser reportados por empresas que no figuran en las estadísticas de empleo petrolero. En todo caso, si bien la importancia del empleo petróleo ha crecido, se trata de una actividad que no llega a aportar 1 % dentro del empleo total[17].

2.3.7 Principales retos y problemáticas del subsector

- El país enfrenta un panorama de escases de petróleo y gas a corto plazo de no ser posible un aumento de sus reservas de crudo, por lo cual debe enfocar su proyección y desarrollo en la explotación de los recursos *offshore*, crudos pesados, tecnologías más avanzadas y la recuperación mejorada de petróleo.
- Debido a que la mayoría de los campos de producción de petróleo se encuentran en producción primaria, con marcadas caídas en la energía del yacimiento, se hace necesario la implementación de nuevas tecnologías e incentivos para lograr el aumento del factor de recobro para el aprovechamiento de los recursos.

[17] Banco de la República. Óp. cit., pág. 9.

- La difícil estructuración de la exploración y producción de hidrocarburos no convencionales, la cual requiere de estudios y análisis especializados de viabilidad económica, ambiental y social, ha generado poco interés de parte de las compañías y sus inversiones en la nación.
- La incertidumbre legal sobre los proyectos exploratorios, debido especialmente al poder de las actuales consultas populares sobre la aceptación de la actividad petrolera en sus territorios, produce demoras y, en el peor escenario, la cancelación de los proyectos y, por tanto, de las inversiones que buscan evitar la reducción de las reservas del país.

2.3.8 Proyección del desarrollo del subsector, según la política y planificación del gobierno

Colombia cuenta con un interesante potencial para la incorporación y el desarrollo de hidrocarburos a mediano y largo plazo. El país tiene potencial para incorporar más de 9 mil millones de barriles de crudo y 6 TPC (terapies cúbicos) de gas natural en los próximos 18 años. Los escenarios propuestos dependen de unos niveles de inversión que, si bien se están alcanzando en Colombia, deben sostenerse a futuro y dependen de:

- Las variables externas (precios, términos contractuales, etc.) seguirán jugando un rol importante para favorecer los niveles de inversión.
- La atención se está centrando fundamentalmente en la actividad de desarrollo.
- Ecopetrol sigue jugando un rol preponderante por las inversiones necesarias para concretar los planes de optimización y expansión de sus refinerías, así como para introducir mejoras en la calidad de los productos y a través de su plan de negocios en el *upstream* y *midstream*.
- La ejecución de otros proyectos potencialmente requeridos (mejorador de crudo, oleoductos, exportación de gas) permitirá tener certidumbre para alcanzar los escenarios propuestos por lo se podrían incorporar socios estratégicos para asegurar la disponibilidad de capital.
- Es fundamental la definición de mecanismos de acceso y remuneración del uso de infraestructura de almacenamiento y transporte, a fin de garantizar un retorno aceptable a la inversión y permitir la participación privada.
- El desarrollo de recursos no convencionales no está técnicamente ni comercialmente garantizado, por lo que el país también podría enfrentar un escenario de escasez en el cual la oferta de hidrocarburos podría declinarse paulatinamente hacia niveles significativamente inferiores a los actuales.
- En Colombia está aumentando la sensibilidad ambiental y se anticipan políticas más deliberadas de preservación de la biodiversidad. Esto podría limitar la actividad en áreas de mayor vulnerabilidad y demandará, en general, un seguimiento más cercano a los proyectos por parte de las autoridades.

- El escenario de referencia implica un cambio de la política pública en materia de hidrocarburos.

Frente a la complejidad creciente del potencial incremental, el país debe intensificar sus esfuerzos para atraer inversión petrolera y asegurar la incorporación de las tecnologías y *know-how* operacional que permitan asegurar los nuevos desarrollos[18].

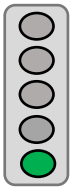
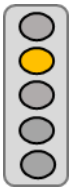
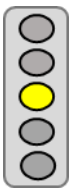
[18] UPME. 2012. Escenarios de oferta y demanda de hidrocarburos en Colombia. Pág. 37

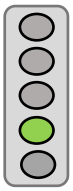
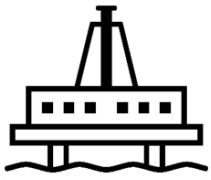
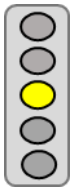
2.4 Identificación y valoración de la gravedad de las amenazas

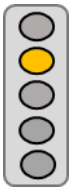
2.4.1 Cambio Climático

A continuación se presentan las amenazas para el subsector de hidrocarburos, derivado del cruce entre la calificación de las amenazas, realizado por el experto subsectorial correspondiente y el mapa de susceptibilidad virtual para el escenario de cambio climático y las áreas del sistema.

Tabla 2-7 Amenazas al sistema para el componente de exploración del subsector de hidrocarburos

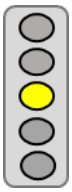
Exploración			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Continental		Para la exploración superficial, la inundación, al impedir el acceso, limita la realización de actividades de exploración en campo (p. ej.: limita la posibilidad de tender líneas sísmicas). Por su parte, en la subterránea, impide la realización de actividades de exploración. Adicionalmente, la inundación hace que se detengan actividades de exploración superficial, lo cual genera retrasos en la identificación de reservas y un incremento en los costos de exploración.
 Remoción en masa			Los procesos de remoción en masa pueden generar daño a la infraestructura, lo cual genera la necesidad de reemplazar los elementos afectados y asumir los cambios en las operaciones de exploración existentes. El impacto directo en las actividades de exploración o el acceso a los campos genera retrasos en la identificación de reservas e incrementos en los costos de exploración.
 Incendios forestales			Los incendios restringen el acceso a zonas, impidiendo temporalmente realizar las actividades de exploración. Adicionalmente, inducen a la postergación de las actividades de exploración superficial, lo que genera retrasos en la identificación de reservas con consecuencias en la inversión e incrementos en los costos de exploración.

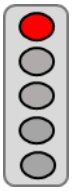
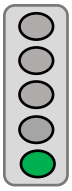
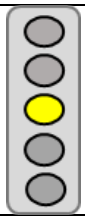
<table>
<tr><th colspan="4">Exploración</th></tr>
<tr><th colspan="4">Sistema</th></tr>
<tr><th>Evento amenazante</th><th>Subcomponente</th><th>Nivel de amenaza</th><th>Descripción</th></tr>
<tr><td rowspan="2">
Aumento de temperatura</td><td></td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">Los eventos de estrés térmico producto del aumento de temperatura pueden generar reducción en la eficiencia de la planta y los equipos, así como sobreesfuerzos en el personal encargado de realizar las actividades de exploración, producción, refinación y transporte, lo que provoca tiempos de inactividad durante el calor extremo e impactos sobre la productividad y continuidad del negocio.
Adicionalmente, se inducen nuevos requerimientos de equipos de refrigeración, aire acondicionado y posibles modificaciones a las edificaciones, y se afectan las necesidades de mantenimiento mecánico de los equipos al elevar sus exigencias de operación, pues se generan sobrecostos y pérdida de la eficiencia en actividades de exploración y producción.
Además, el incremento en la temperatura del agua del mar favorece la corrosión de las estructuras, lo cual implica mayor frecuencia de mantenimientos y sobrecostos en las actividades de exploración continental y offshore.
Igualmente, el incremento de la temperatura del agua de los ríos puede generar restricciones en cuanto a descargas de aguas residuales con altas temperaturas, dado que reducen las posibilidades de descarga para cumplir las normativas; también aplica para aguas marinas con implicaciones en operaciones offshore.
Así mismo, el incremento de la temperatura del mar aumenta la velocidad y potencia la propagación del ruido artificial generado en las instalaciones con repercusiones en la fauna marina.</td></tr>
<tr><td>
Offshore</td></tr>
<tr><td>
Aumento del nivel del mar</td><td></td><td></td><td>Los eventos relacionados con el incremento del nivel del mar pueden provocar el aumento de la acidificación del agua, lo cual modificaría potencialmente las regulaciones sobre el pH de descargas efluentes en instalaciones costeras y, también, generar contaminación por descargas de efluentes en instalaciones costeras.</td></tr>
</table>

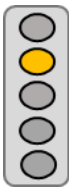
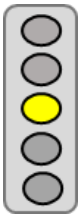
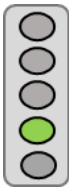
Exploración			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Tormentas y huracanes			La presencia de tormentas tropicales o huracanes genera interrupciones temporales de las actividades de exploración, de manera que se impide o retrasa la identificación de reservas, lo cual repercute en la inversión y representa un incremento en los costos de exploración.

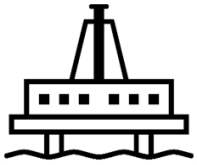
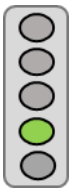
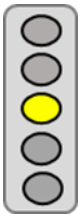
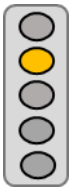
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 2-8 Amenazas al sistema para el componente de producción del subsector de hidrocarburos

Producción			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Convencional		En eventos de desabastecimiento hídrico, y en el proceso de perforación y producción pueden generarse impactos en la preparación de lodos para perforación; además, pueden retrasarse o interrumpirse temporalmente los procesos de explotación convencional en casos sumamente extremos, lo cual representa incrementos de costos de producción. La reducción del nivel de caudal en los ríos producto del desabastecimiento hídrico puede provocar incumplimientos en legislación sobre vertimientos; los coeficientes de dilución y las descargas autorizadas pueden verse modificadas por las reducciones de caudales, lo cual es muy relevante en la fase previa a explotación, que incluye la perforación de pozos utilizando lodos. Adicionalmente, se puede generar contaminación por vertimientos al no disponerse de caudal suficiente para la adecuada dilución de contaminantes.

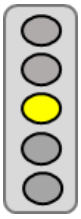
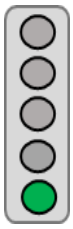
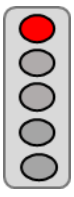
Producción			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 NO Convencional		El desabastecimiento hídrico reduce la disponibilidad de agua, lo cual tiene implicaciones directas sobre la producción no convencional, por ser el agua un insumo central dentro de los procesos. El efecto generado es retrasar y disminuir los procesos de producción (esta situación se hace más crítica aun dependiendo del material de sostenimiento del yacimiento - arena). Adicionalmente, el desabastecimeinto hídrico genera reducción del nivel de caudal en los ríos, lo cual puede provocar incumplimientos normativos sobre vertimientos: los coeficientes de dilución y las descargas autorizadas pueden verse modificadas por las reducciones de caudales y la contaminación por vertimientos al no disponerse de caudal suficiente para la adecuada dilución de contaminantes.
 Inundación	 Convencional		La inundación de subestaciones e infraestructura de producción genera daños directos en servicios auxiliares, incluidos los tratamiento de residuos (lodos, aguas residuales) y dificultades de acceso, es decir, se provocan cortes temporales en el proceso de producción. Además, se reduce la producción y se incrementan los costos, lo que incluye la generación de costos por reposición de infraestructura afectada. La inundación puede provocar que el agua llegue a los contrapozos, saque los contaminantes dispersos y los lleve al entorno, así, se generan derrames de residuos de hidrocarburos y contaminación. Si se presentan afectaciones en los sistemas de tratamiento pueden generarse derrames de agentes contaminantes.
	 NO Convencional		
 Remoción en masa	 Convencional		Los procesos de remoción en masa, pueden producir pérdidas directas en la infraestructura, lo cual genera la necesidad de reemplazar elementos afectados y asumir cambios en las operaciones de producción existentes. Además, impactan

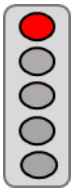
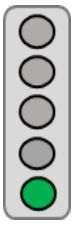
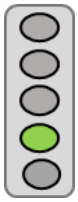
Producción			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 NO Convencional		directamente las actividades de producción o el acceso a los campos, generando detenciones en los procesos, reducción de la producción e incremento en los costos, y eventualmente reposición de infraestructura.
 Incendios forestales	 Convencional  NO Convencional		Los incendios forestales pueden, eventualmente, afectar infraestructuras con la consecuente interrupción de las actividades de producción, incluso por precaución, lo cual también provoca una reducción de producción e incremento de costos.
 Aumento de temperatura	 Convencional  NO Convencional		Los eventos de estrés térmico producto del aumento de temperatura pueden generar la reducción en la eficiencia de la planta, los equipos, y sobreesfuerzos en el personal encargado de realizar las actividades de exploración, producción, refinación y transporte, provocando tiempos de inactividad durante el calor extremo e impactos sobre la productividad y continuidad del negocio. Igualmente, se inducen nuevos requerimientos de equipos de refrigeración, aire acondicionado y posibles modificaciones a las edificaciones. Se afectan las necesidades de mantenimiento mecánico de equipos al elevar sus exigencias de operación, lo que

Producción			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Offshore		genera sobrecostos y pérdida de eficiencia en actividades de exploración y producción. El incremento en la temperatura del agua de mar favorece la corrosión de las estructuras, lo cual implica mayor frecuencia de mantenimientos y sobrecostos en actividades de exploración continental y *offshore*. Además, el incremento de temperatura del agua de los ríos puede generar restricciones en cuanto a descargas de aguas residuales con altas temperaturas, así, se reducen las posibilidades de descarga para cumplir las normativas. También aplica para aguas marinas con implicaciones en operaciones *offshore*. Así mismo, el incremento de la temperatura del mar aumenta la velocidad y potencia la propagación del ruido artificial generado en las instalaciones, con repercusiones en la fauna marina.
 Aumento del nivel del mar			Los eventos relacionados con el incremento del nivel del mar pueden provocar el incremento de la acidificación del agua, lo cual modificaría potencialmente las regulaciones sobre el pH de descargas efluentes en instalaciones costeras.
 Tormentas y huracanes			Las tormentas tropicales o huracanes inducen a un incremento del potencial de daño físico e implicaciones a la infraestructura, lo que genera interrupción temporal en los procesos y costes de reposición de infraestructura. Adicionalmente, cuando se impactan directamente las actividades de producción *offshore* o el acceso a las instalaciones, se generan detenciones en los procesos, reducción de la producción, incremento en los costos de producción, y eventualmente reposición de infraestructura.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 2-9 Amenazas al sistema para el componente de transporte del subsector de hidrocarburos

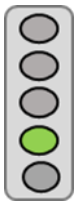
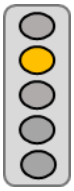
Transporte			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Ductos		El desabastecimiento hídrico puede inducir procesos geotécnicos en el suelo como la modificación del comportamiento volumétrico del suelo, los cuales pueden provocar daños directos sobre los elementos de soporte de ductos de transporte. Los daños generados en los ductos hacen que se interrumpa el transporte de crudo y se dificulte el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes. Adicionalmente, pueden producirse efectos de contaminación y vertimientos. En el caso de gas natural pueden producirse como efecto explosiones e incendios.
 Inundación			Los fenómenos de inundación por encharcamiento no impactan directamente el sistema de ductos de transporte. En el caso de avenidas torrenciales, puede presentarse exposición de la tubería a daños, lo cual genera interrupción en el proceso de transporte. Esta situación es más grave en gas que en petróleo en términos de suministro. Además, los daños que puedan provocarse a los ductos hacen que se interrumpa el transporte de crudo y se dificulte el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes. Adicionalmente, se pueden generar efectos de contaminación y vertimientos. En el caso de gas natural, pueden producirse explosiones e incendios.
 Remoción en masa			Los procesos de remoción en masa pueden afectar los apoyos de estructuras y generar un daño directo a la infraestructura de transporte de hidrocarburos (antecedente: Manizales). El daño en los ductos interrumpe el transporte de crudo y dificulta el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes. Igualmente, esta situación puede generar fenómenos de vertimientos y, por consiguiente, contaminación. En el caso de rotura a gasoductos, se generan problemas de suministro de gas natural a clientes y riesgo de explosión.

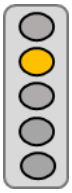
Transporte			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	Transporte terrestre		Los procesos de remoción en masa provocan daños directos sobre las carreteras, que pueden comprometer su tránsito y el transporte de crudo y dificultan el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes y de insumos al sistema.
 Aumento de temperatura			Los eventos de estrés térmico producto del aumento de temperatura pueden generar sobreesfuerzos en el personal encargado de realizar las actividades de transporte, provocando tiempos de inactividad durante el calor extremo e impactos sobre la productividad y continuidad del negocio. El incremento de temperatura del agua de los ríos puede generar restricciones en cuanto a descargas de aguas residuales con altas temperaturas, de modo que se reducen las posibilidades de descarga para cumplir las normativas. También aplica para aguas marinas, con implicaciones en operaciones *offshore*. El incremento de la temperatura del mar aumenta la velocidad y potencia la propagación del ruido artificial generado en las instalaciones con repercusiones en la fauna marina.
 Aumento del nivel del mar			Los eventos relacionados con el incremento del nivel del mar pueden provocar daños directos sobre las carreteras comprometiendo su tránsito y el transporte de crudo y dificultando el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 2-10 Amenazas al sistema para el componente de infraestructura portuaria del subsector hidrocarburos

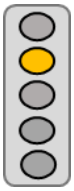
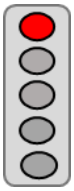
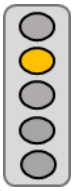
Infraestructura portuaria			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**

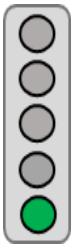
Infraestructura portuaria			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Aumento de temperatura	 Infraestructura portuaria		Los eventos de estrés térmico producto del aumento de temperatura pueden generar una reducción en la eficiencia de la planta y los equipos, y sobreesfuerzos en el personal encargado de realizar las actividades de exploración, producción, refino y transporte, lo que provoca tiempos de inactividad durante el calor extremo e impactos sobre la productividad y continuidad del negocio. Los eventos de estrés térmico inducen nuevos requerimientos de equipos de refrigeración, aire acondicionado y posibles modificaciones a las edificaciones; además, afectan las necesidades de mantenimiento mecánico de los equipos al elevar sus exigencias de operación, lo cual genera sobrecostos y pérdida de eficiencia en actividades de refino. El incremento de temperatura del agua de los ríos puede generar restricciones en cuanto a descargas de aguas residuales con altas temperaturas, así, se reducen las posibilidades de descarga para cumplir las normativas. También aplica para aguas marinas con implicaciones en operaciones *offshore*. El incremento de la temperatura del mar aumenta la velocidad y potencia la propagación del ruido artificial generado en las instalaciones con repercusiones en la fauna marina.
 Aumento del nivel del mar			Los eventos relacionados con el incremento del nivel del mar hacen que sistemas de almacenamiento y transporte cerca a la costa se vean amenazados por procesos erosivos o ser sumergidos. En el sentido positivo, puede incrementar los calados disponibles para navegación y atraque. Igualmente, las afectaciones en infraestructuras de producción pueden influir en la disponibilidad de combustibles, incrementando los costos de los procesos y paralización de la exportación e importación.

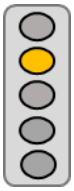
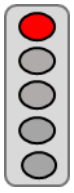
Infraestructura portuaria			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Tormentas y huracanes			Las tormentas tropicales o huracanes impactan directamente las actividades de refinación, exportación e importación y esto, a su vez, genera detenciones en los procesos, incremento de costos y, eventualmente, reposición de infraestructura.

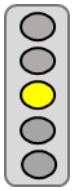
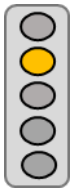
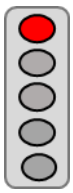
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

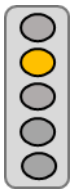
Tabla 2-11 Amenazas al entorno del subsector de hidrocarburos

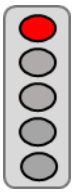
Entorno			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Producción Convencional		Se genera una amenaza directa al entorno debido a la escasez de agua para la agricultura, se disminuyen las cosechas y no hay suficiente agua para asegurar el consumo humano. En consecuencia, se afectan los niveles de producción pesquera. Así mismo, los problemas de disponibilidad de agua exacerban la competencia por el acceso al recurso y pueden generar pérdida de reputación por parte de las empresas.
	 Producción NO Convencional		
	 Transporte terrestre		Se genera una amenaza directa al entorno debido a la escasez de agua para la agricultura, se disminuyen las cosechas y no hay suficiente agua para asegurar el consumo humano. Como resultado, se afectan los niveles de producción pesquera. Además, los efectos geotécnicos generados en el suelo (cambios volumétricos del suelo) llevan a la interrupción del transporte de crudo, lo cual puede comprometer el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes y el transporte de suministros para la industria.

Entorno			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Exploración Continental		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas, afectan los campos de cultivos, producen daños directos en infraestructuras y afectaciones a la ganaderías, e interrupción de vías, acueductos y alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. La inundación genera afectación de las vías del entorno, lo cual dificulta el acceso a los campos de exploración, producción y refinerías, e induce el aislamiento de zonas inundadas.
	 Producción Convencional		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas, afectan los campos de cultivos, se producen daños directos en infraestructuras, afectaciones a ganaderías, interrupción de vías, acueductos, alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. La inundación, genera afectaciones a las vías del entorno, lo cual dificulta el acceso a los campos de exploración, producción y refinerías, e induce el aislamiento de zonas inundadas. Los vertimientos eventualmente generados, pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación o multas comerciales.
	 Producción NO Convencional		
	 Ductos		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas. Se inundan campos de cultivos, producen daños directos en infraestructuras y afectaciones a ganaderías, e interrupción de vías, acueductos y alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. La inundación puede inducir a la interrupción del suministro de Nafta por carretera, lo que genera que no se pueda realizar el transporte de crudo a través de ductos. A su vez, los daños de ductos y sus efectos pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad y pérdida de reputación o multas comerciales.
	 Transporte terrestre		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas, afectan los campos de cultivos, producen daños directos en infraestructuras y afectaciones a ganaderías, e interrupción de vías, acueductos y alcantarillados. En casos

Entorno			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
			extremos se pueden producir pérdidas de vidas y generar daños directos sobre las carreteras, lo cual interrumpe el transporte de crudo y se dificulta el cumplimiento de los compromisos de suministro de insumos al sistema y combustible a los clientes.
 Remoción en masa	 Exploración Continental		Los procesos de remoción en masa impactan de manera directa en el entorno; alterando el suelo de soporte; generan pérdidas de infraestructura (vías, edificios), zonas productivas e interrupción de accesos; en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades y crean dificultades de acceso a campos de exploración y esto, a su vez, genera por diversas vías un incremento de los costos de exploración.
	 Producción Convencional		Los procesos de remoción en masa impactan de manera directa en el entorno; alteran el suelo de soporte; generan pérdidas de infraestructura (vías, edificios), zonas productivas y vidas en comunidades y, además, interrupción de accesos; en eventos extremos, crean dificultades de acceso a campos de producción y lo anterior, a su vez, genera por diversas vías un incremento de los costos de producción.
	 Producción NO Convencional		
	 Ductos		Los procesos de remoción en masa impactan de manera directa en el entorno; alteran el suelo de soporte, y generan pérdidas de infraestructura (vías, edificios), interrupción de accesos y en zonas productivas; en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades. Además, se generan daños en ductos, los cuales pueden desencadenar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad y reputación o multas comerciales.

Entorno			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Transporte terrestre		Los procesos de remoción en masa impactan de manera directa en el entorno; alteran el suelo de soporte; generan pérdidas de infraestructura (vías, edificios) y zonas productivas, interrupción de accesos; en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades. Así mismo, las afectaciones directas a vías producen daños totales o parciales de la banca interrumpen el transporte de crudo y dificultan el cumplimiento de los compromisos de suministro de insumos al sistema y combustible a los clientes, también se generan desvíos de carreteras afectadas y lentitud en el transporte de crudo debida a mayores tráficos vehiculares.
 Incendios forestales	 Exploración Continental		Los incendios forestales impactan directamente sobre la cobertura vegetal, y se generan pérdidas de cobertura vegetal; pérdidas directas sobre la propiedad (infraestructura, cosechas, animales doméstico, ganado) y las actividades económicas, y aislamiento parcial de zonas y pérdida de productividad del suelo. Así mismo, el aislamiento parcial de las zonas impide el acceso a las áreas y genera una Interrupción temporal de actividades de exploración.
	 Producción Convencional		Los incendios forestales impactan directamente sobre la cobertura vegetal, y se generan pérdidas directas sobre la propiedad (infraestructura, cosechas, animales doméstico, ganado) y las actividades económicas; aislamiento parcial de zonas, y pérdida de productividad del suelo. Igualmente, el aislamiento parcial de las zonas impide el acceso a las áreas y genera una Interrupción temporal de actividades de producción.
	 Producción NO Convencional		

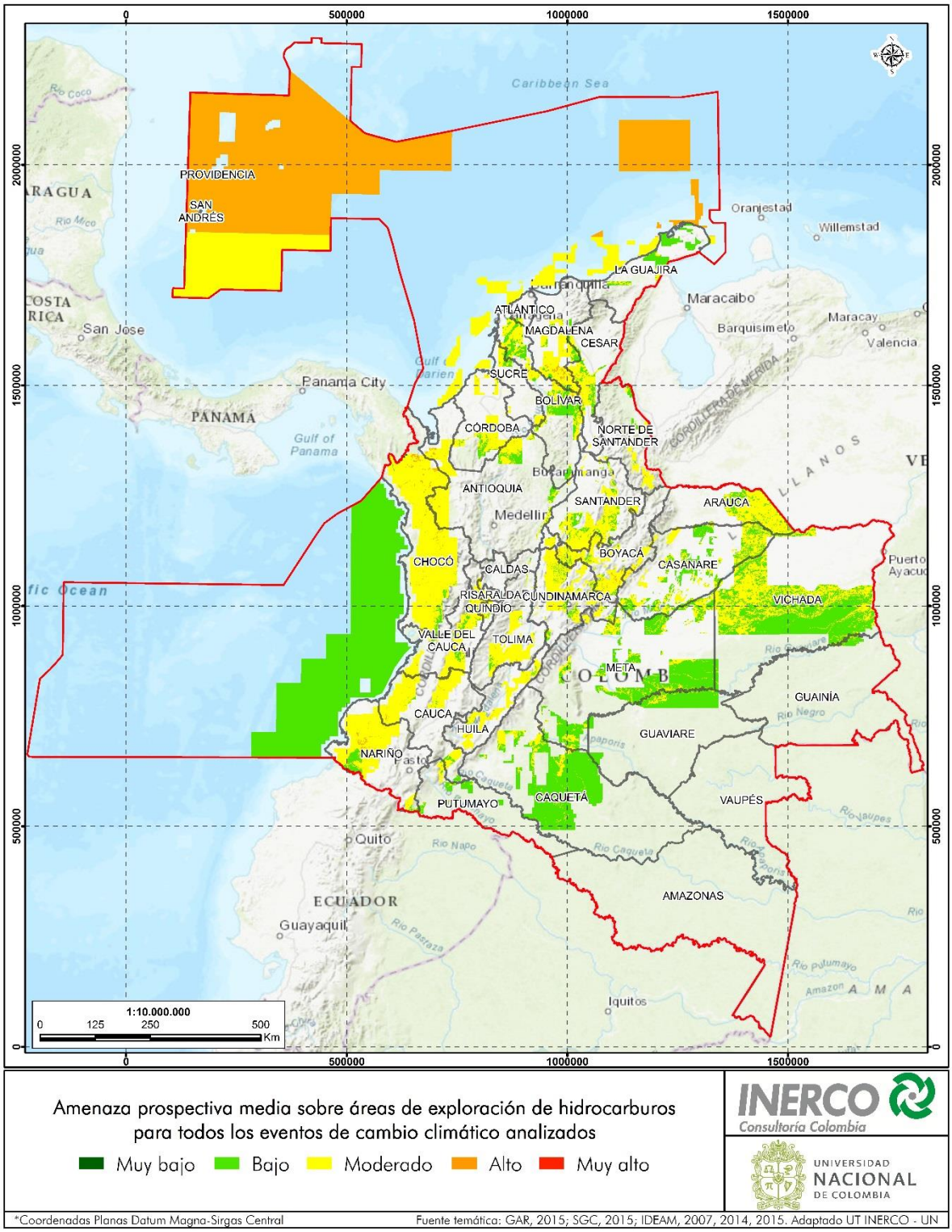
Entorno			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Transporte terrestre		Los incendios forestales impactan directamente sobre la cobertura vegetal, y generan pérdidas directas sobre la propiedad (infraestructura, cosechas, animales doméstico, ganado) y las actividades económicas; aislamiento parcial de zonas, y pérdida de productividad del suelo. Así mismo, la interrupción temporal del transporte por carretera del crudo dificulta el cumplimiento de los compromisos de suministro de insumos al sistema y combustible a los clientes.
 Aumento de temperatura	 Producción Convencional		El aumento de temperatura ambiente genera incrementos en la temperatura del agua de mar y de los ríos, lo que provoca la aparición de vectores, también induce cambios en la temperatura del aire, junto a cambios en humedad y velocidad y dirección del viento, es decir, se puede comprometer el cumplimiento de los límites en calidad de aire frente a la disminución de la disipación de agentes contaminantes.
	 Producción NO Convencional		El aumento de temperatura ambiente genera incrementos en la temperatura del agua de mar y de los ríos, provocando la aparición de vectores, también induce cambios en la temperatura del aire, junto a cambios en humedad, velocidad y dirección del viento, en otros palabras, se puede comprometer el cumplimiento de los límites en calidad de aire frente a la disminución de la disipación de agentes contaminantes.
	 Infraestructura portuaria		El aumento de temperatura ambiente genera incrementos en la temperatura del mar y de los ríos, provocando la aparición de vectores; también induce cambios en la temperatura del aire, junto a cambios en humedad y velocidad y dirección del viento, lo cual puede comprometer el cumplimiento de los límites en calidad de aire frente a la disminución de la disipación de agentes contaminantes.

Entorno			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Aumento del nivel del mar	 Infraestructura portuaria		El aumento del nivel del mar genera afectaciones al entorno y, además, se provocan pérdidas directas e indirectas en función de la cercanía a las costas, obstrucción de vías, afectaciones a la actividad económica e inundaciones de cultivos.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

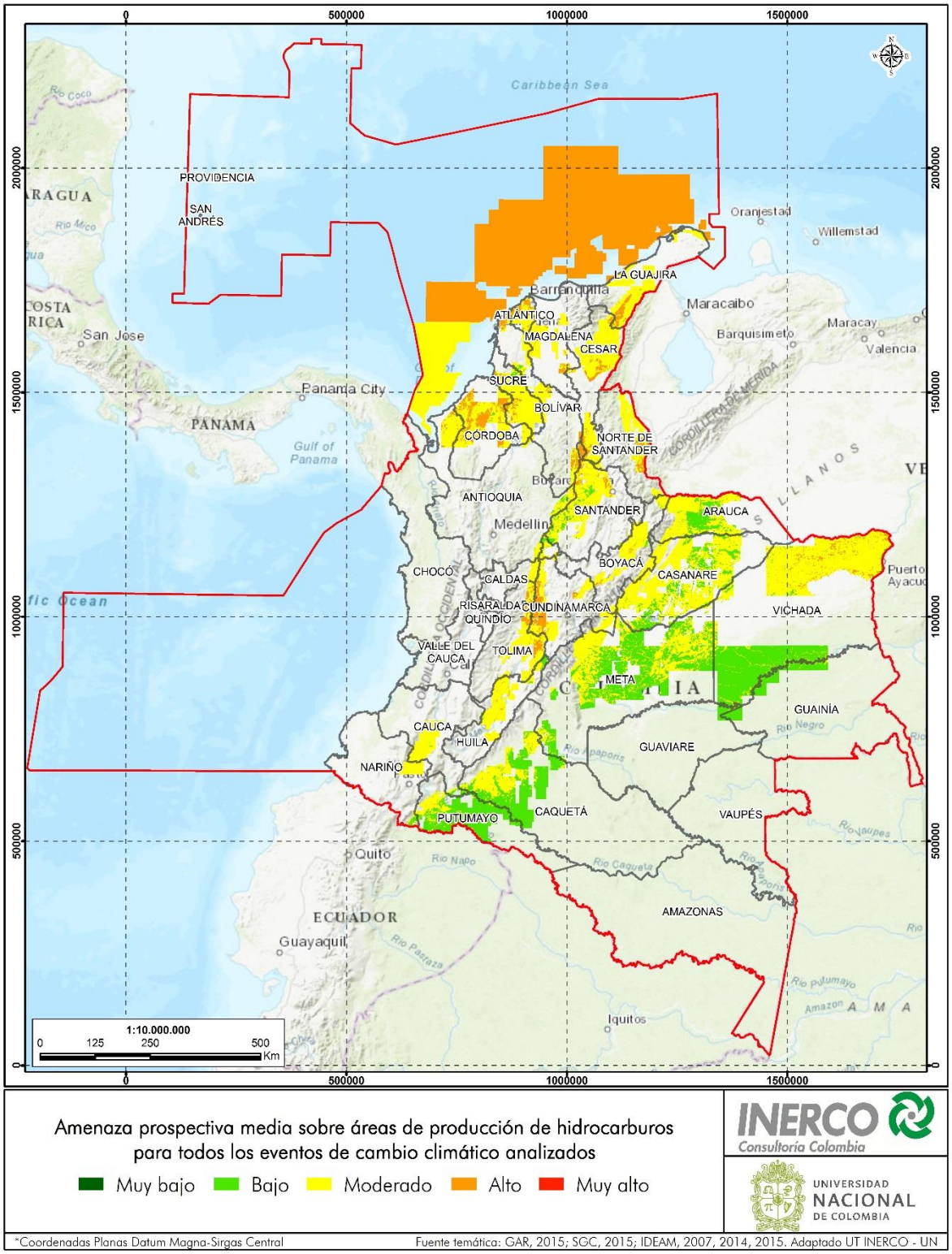
A continuación se presentan los mapas de amenaza por componente:

Figura 2-9 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de exploración



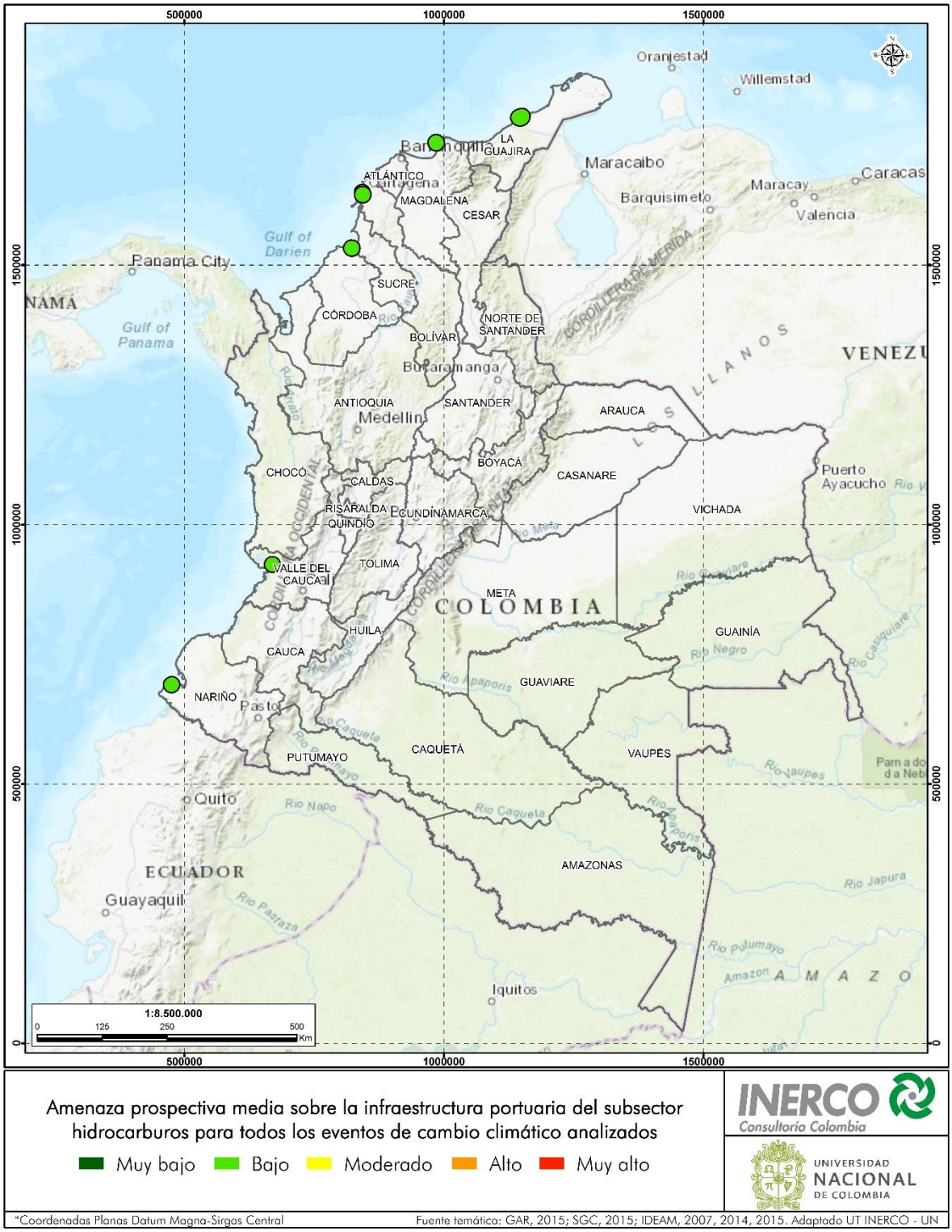
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 2-10 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción



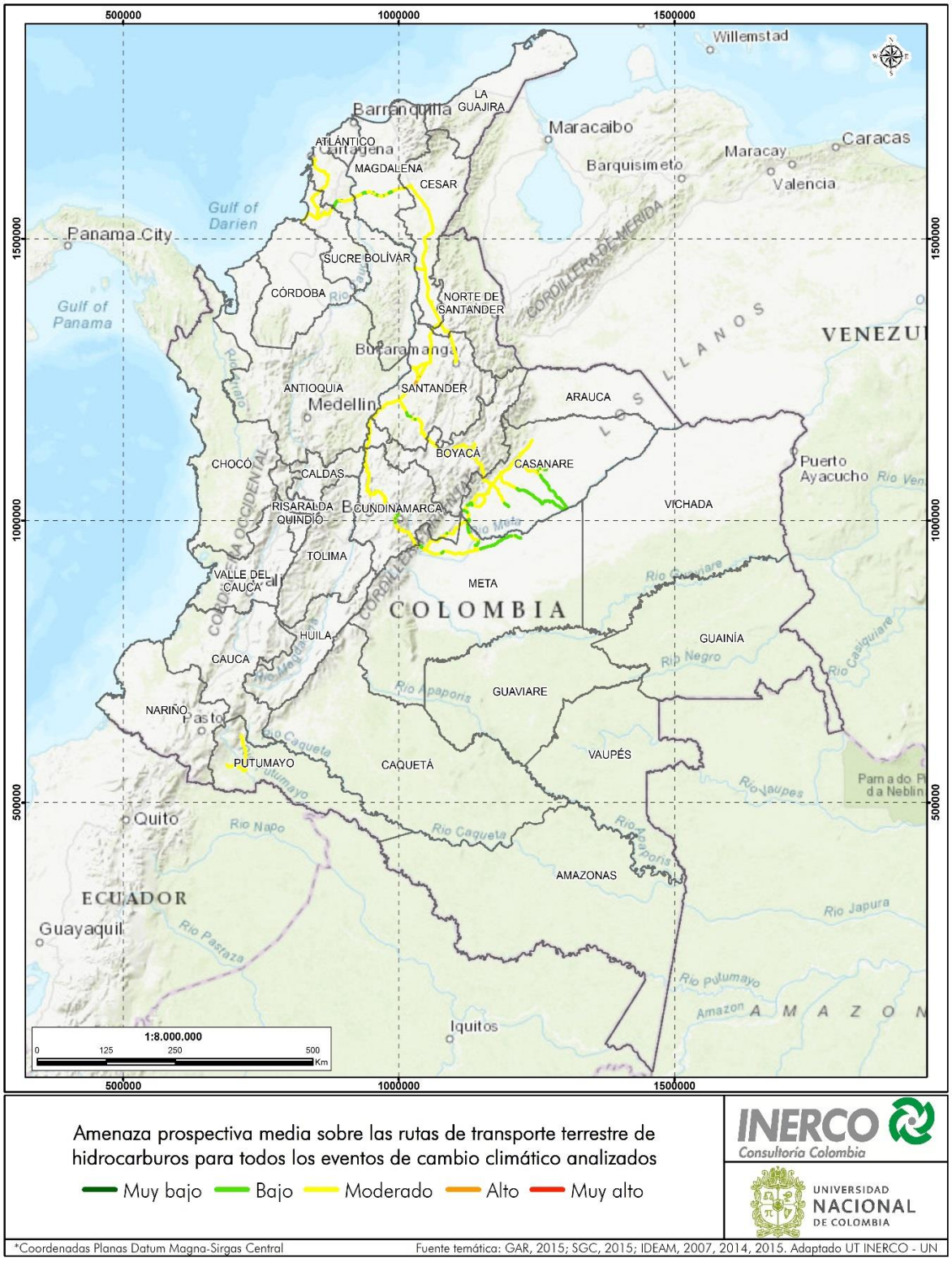
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 2-11 Amenaza prospectiva media sobre la infraestructura portuaria



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 2-12 Amenaza prospectiva media sobre las rutas de transporte terrestre



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 2-13 Amenaza prospectiva media sobre las rutas de transporte por ductos



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

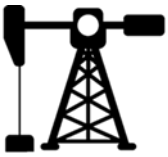
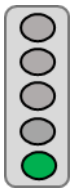
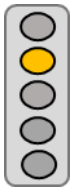
2.4.2 Variabilidad Climática

A continuación se presentan las amenazas para el subsector de hidrocarburos, derivado del cruce entre la calificación de las amenazas, realizado por el experto subsectorial correspondiente y el mapa de susceptibilidad virtual para los escenarios de variabilidad climática y las áreas del sistema.

2.4.2.1 Fenómeno de La Niña

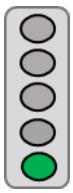
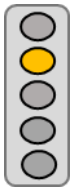
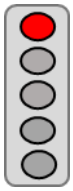
En el caso del fenómeno de La Niña sólo se consideraron los eventos de inundaciones, remoción en masa.

Tabla 2-12 Amenazas al sistema para el componente de exploración del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Exploración			
Sistema			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Continental		Para la exploración superficial, la inundación, al impedir el acceso, limita la realización de actividades de exploración en campo (p. ej.: limita la posibilidad de tender líneas sísmicas). Por su parte, en la subterránea, impide la realización de actividades de exploración. Adicionalmente, la inundación hace que se detengan actividades de exploración superficial, lo cual genera retrasos en la identificación de reservas y un incremento en los costos de exploración.
 Remoción en masa			Los procesos de remoción en masa pueden generar daño a la infraestructura, lo cual genera la necesidad de reemplazar los elementos afectados y asumir los cambios en las operaciones de exploración existentes. El impacto directo en las actividades de exploración o el acceso a los campos genera retrasos en la identificación de reservas e incrementos en los costos de exploración

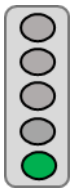
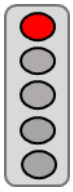
Fuente: Unión Temporal INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

Tabla 2-13 Amenazas al sistema para el componente de producción del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Producción			
Sistema			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Convencional		La inundación de subestaciones e infraestructura de producción genera daños directos en servicios auxiliares, incluidos los tratamiento de residuos (lodos, aguas residuales) y dificultades de acceso, es decir, se provocan cortes temporales en el proceso de producción. Además, se reduce la producción y se incrementan los costos, lo que incluye la generación de costos por reposición de infraestructura afectada. La inundación puede provocar que el agua llegue a los contrapozos, saque los contaminantes dispersos y los lleve al entorno, así, se generan derrames de residuos de hidrocarburos y contaminación. Si se presentan afectaciones en los sistemas de tratamiento pueden generarse derrames de agentes contaminantes.
	 NO Convencional		
 Remoción en masa	 Convencional		Los procesos de remoción en masa, pueden producir pérdidas directas en la infraestructura, lo cual genera la necesidad de reemplazar elementos afectados y asumir cambios en las operaciones de producción existentes. Además, impactan directamente las actividades de producción o el acceso a los campos, generando detenciones en los procesos, reducción de la producción e incremento en los costos, y eventualmente reposición de infraestructura.
	 NO Convencional		

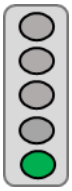
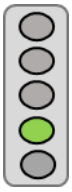
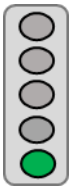
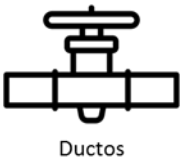
Fuente: Unión Temporal INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

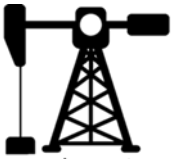
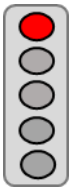
Tabla 2-14 Amenazas al sistema para el componente de transporte del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Transporte			
Sistema			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
			Los fenómenos de inundación por encharcamiento no impactan directamente el sistema de ductos de transporte. En el caso de avenidas torrenciales, puede presentarse exposición de la tubería a daños, lo cual genera interrupción en el proceso de transporte. Esta situación es más grave en gas que en petróleo en términos de suministro. Además, los daños que puedan provocarse a los ductos hacen que se interrumpa el transporte de crudo y se dificulte el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes. Adicionalmente, se pueden generar efectos de contaminación y vertimientos. En el caso de gas natural, pueden producirse explosiones e incendios
			Los procesos de remoción en masa pueden afectar los apoyos de estructuras y generar un daño directo a la infraestructura de transporte de hidrocarburos (antecedente: Manizales). El daño en los ductos interrumpe el transporte de crudo y dificulta el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes. Igualmente, esta situación puede generar fenómenos de vertimientos y, por consiguiente, contaminación. En el caso de rotura a gasoductos, se generan problemas de suministro de gas natural a clientes y riesgo de explosión.
			Los procesos de remoción en masa provocan daños directos sobre las carreteras, que pueden comprometer su tránsito y el transporte de crudo y dificultan el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes y de insumos al sistema.

Fuente: Unión Temporal INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

Tabla 2-15 Amenazas al entorno del subsector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Entorno			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Exploración Continental		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas, afectan los campos de cultivos, producen daños directos en infraestructuras y afectaciones a la ganaderías, e interrupción de vías, acueductos y alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. La inundación genera afectación de las vías del entorno, lo cual dificulta el acceso a los campos de exploración, producción y refinerías, e induce el aislamiento de zonas inundadas.
	 Producción Convencional		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas, afectan los campos de cultivos, se producen daños directos en infraestructuras, afectaciones a ganaderías, interrupción de vías, acueductos, alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. La inundación, genera afectaciones a las vías del entorno, lo cual dificulta el acceso a los campos de exploración, producción y refinerías, e induce el aislamiento de zonas inundadas. Los vertimientos eventualmente generados, pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación o multas comerciales.
	 Producción NO Convencional		
	 Ductos		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas. Se inundan campos de cultivos, producen daños directos en infraestructuras y afectaciones a ganaderías, e interrupción de vías, acueductos y alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. La inundación puede inducir a la interrupción del suministro de Nafta por carretera, lo que genera que no se pueda realizar el transporte de crudo a través de ductos. A su vez, los daños de ductos y sus efectos pueden provocar demandas,

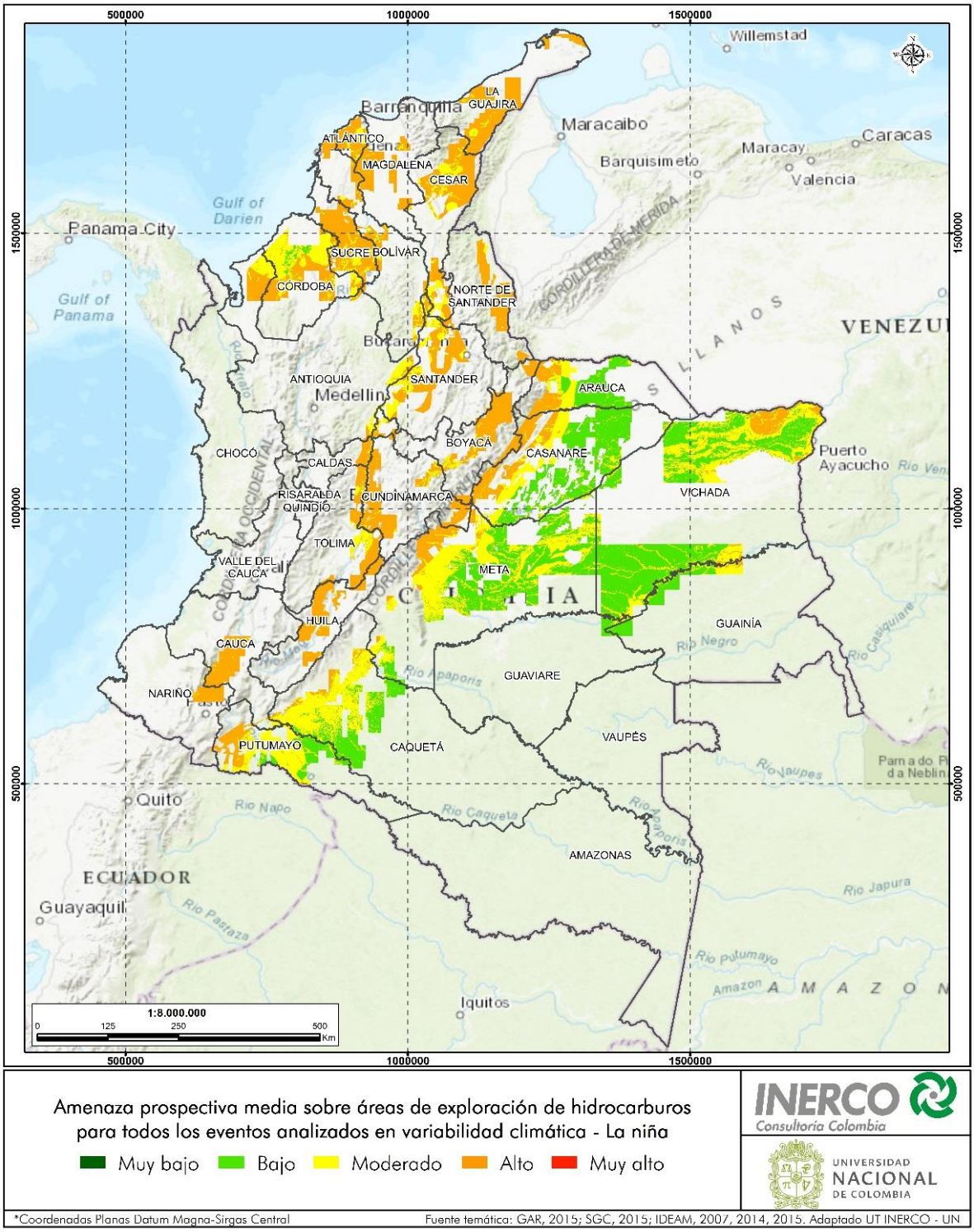
Entorno			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
			conflictos legales, pérdida de credibilidad y pérdida de reputación o multas comerciales.
	 Transporte terrestre		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas, afectan los campos de cultivos, producen daños directos en infraestructuras y afectaciones a ganaderías, e interrupción de vías, acueductos y alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas y generar daños directos sobre las carreteras, lo cual interrumpe el transporte de crudo y se dificulta el cumplimiento de los compromisos de suministro de insumos al sistema y combustible a los clientes.
 Remoción en masa	 Exploración Continental		Los procesos de remoción en masa impactan de manera directa en el entorno; alterando el suelo de soporte; generan pérdidas de infraestructura (vías, edificios), zonas productivas e interrupción de accesos; en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades y crean dificultades de acceso a campos de exploración y esto, a su vez, genera por diversas vías un incremento de los costos de exploración.
	 Producción Convencional		Los procesos de remoción en masa impactan de manera directa en el entorno; alteran el suelo de soporte; generan pérdidas de infraestructura (vías, edificios), zonas productivas y vidas en comunidades y, además, interrupción de accesos; en eventos extremos, crean dificultades de acceso a campos de producción y lo anterior, a su vez, genera por diversas vías un incremento de los costos de producción.
	 Producción NO Convencional		

Entorno			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Ductos		Los procesos de remoción en masa impactan de manera directa en el entorno; alteran el suelo de soporte, y generan pérdidas de infraestructura (vías, edificios), interrupción de accesos y en zonas productivas; en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades. Además, se generan daños en ductos, los cuales pueden desencadenar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad y reputación o multas comerciales.
	 Transporte Terrestre		Los procesos de remoción en masa impactan de manera directa en el entorno; alteran el suelo de soporte; generan pérdidas de infraestructura (vías, edificios) y zonas productivas, interrupción de accesos; en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades. Así mismo, las afectaciones directas a vías producen daños totales o parciales de la banca interrumpen el transporte de crudo y dificultan el cumplimiento de los compromisos de suministro de insumos al sistema y combustible a los clientes, también se generan desvíos de carreteras afectadas y lentitud en el transporte de crudo debida a mayores tráficos vehiculares.

Fuente: Unión Temporal INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

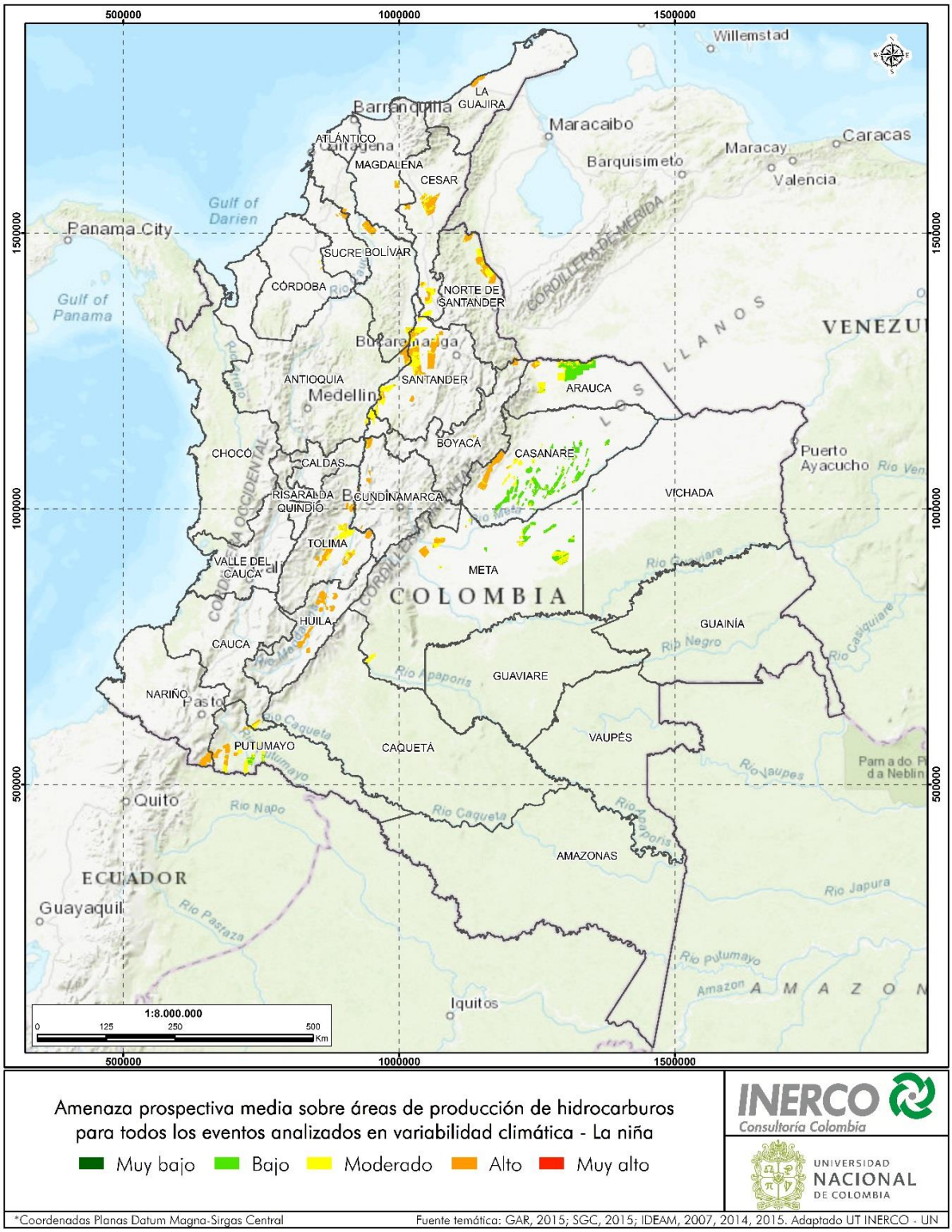
A continuación se presentan los mapas de amenaza por componente:

Figura 2-14 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de exploración



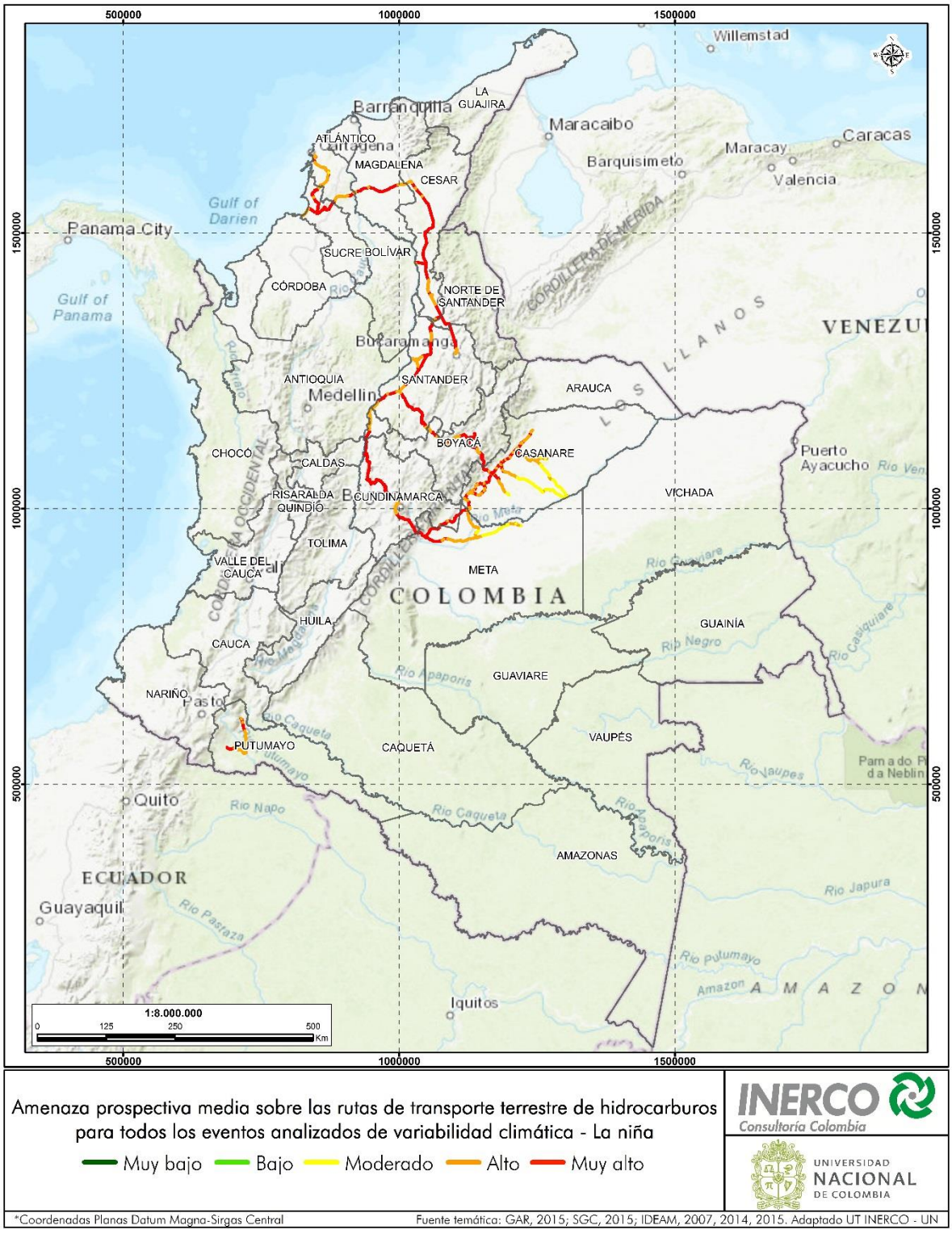
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 2-15 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción



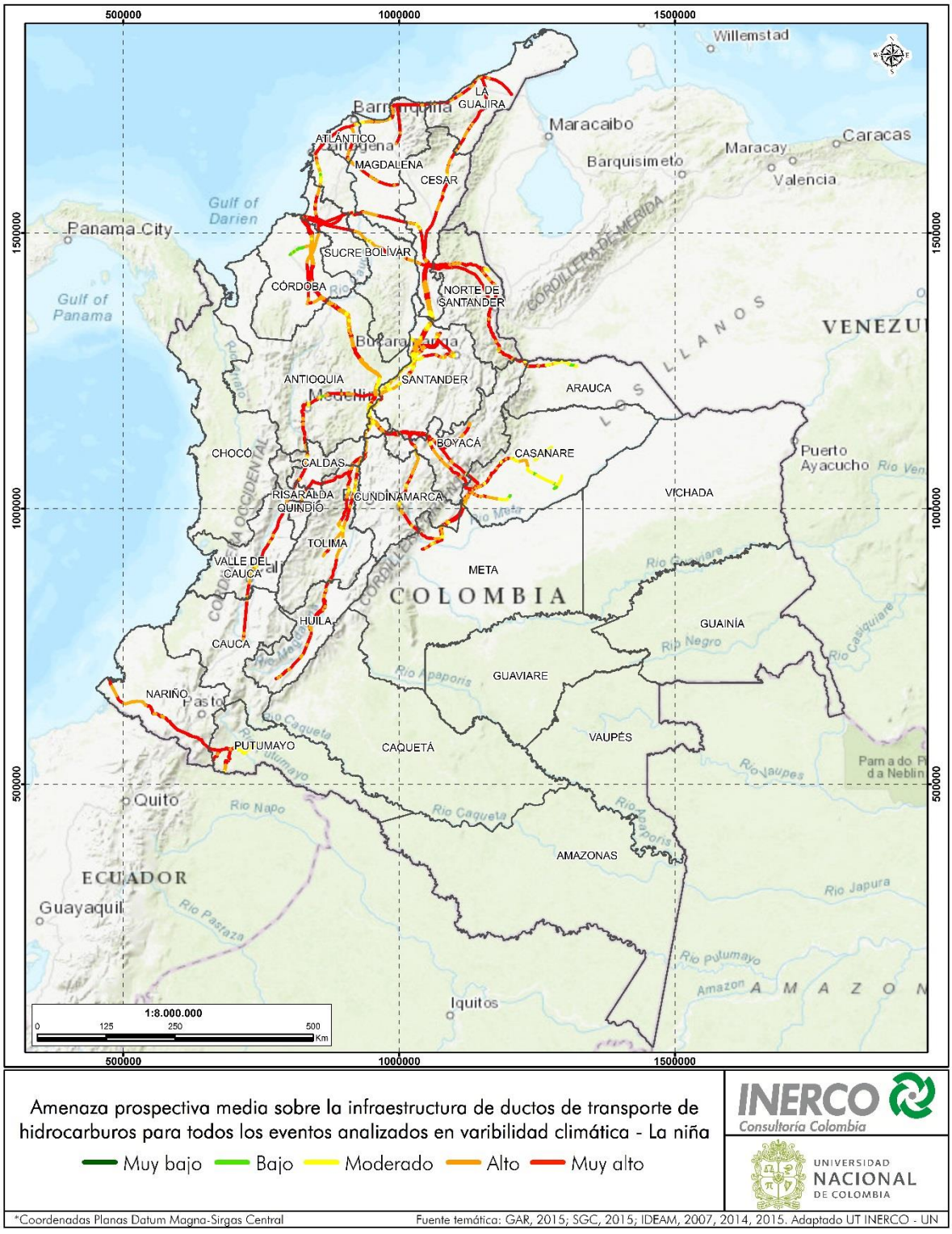
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 2-16 Amenaza prospectiva media sobre las rutas de transporte terrestre



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 2-17 Amenaza prospectiva media sobre las rutas de transporte por ductos

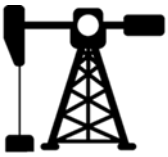
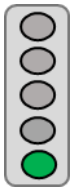
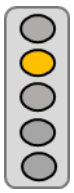


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

2.4.2.2 Fenómeno de El Niño

En el caso del fenómeno de El Niño sólo se consideraron los eventos de desabastecimiento hídrico, inundación e incendios forestales.

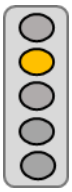
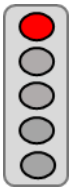
Tabla 2-16 Amenazas al sistema para el componente de exploración del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de El Niño

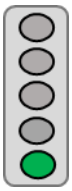
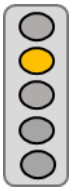
Exploración			
Sistema			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Continental		Para la exploración superficial, la inundación, al impedir el acceso, limita la realización de actividades de exploración en campo (p. ej.: limita la posibilidad de tender líneas sísmicas). Por su parte, en la subterránea, impide la realización de actividades de exploración. Adicionalmente, la inundación hace que se detengan actividades de exploración superficial, lo cual genera retrasos en la identificación de reservas y un incremento en los costos de exploración.
 Incendios forestales			Los incendios restringen el acceso a zonas, impidiendo temporalmente realizar las actividades de exploración. Adicionalmente, inducen a la postergación de las actividades de exploración superficial, lo que genera retrasos en la identificación de reservas con consecuencias en la inversión e incrementos en los costos de exploración.

Fuente: Unión Temporal INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

Tabla 2-17 Amenazas al sistema para el componente de producción del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Producción			
Sistema			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**

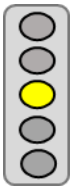
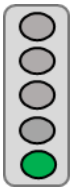
Producción			
Sistema			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento hídrico	 Convencional		En eventos de baja disponibilidad de agua, y en el proceso de perforación y producción pueden generarse impactos en la preparación de lodos para perforación; además, pueden retrasarse o interrumpirse temporalmente los procesos de explotación convencional en casos sumamente extremos, lo cual representa incrementos de costos de producción. La reducción del nivel de caudal en los ríos producto del desabastecimiento hídrico puede provocar incumplimientos en legislación sobre vertimientos; los coeficientes de dilución y las descargas autorizadas pueden verse modificadas por las reducciones de caudales, lo cual es muy relevante en la fase previa a explotación, que incluye la perforación de pozos utilizando lodos. Adicionalmente, se puede generar contaminación por vertimientos al no disponerse de caudal suficiente para la adecuada dilución de contaminantes.
	 NO Convencional		El desabastecimiento hídrico reduce la disponibilidad de agua, lo cual tiene implicaciones directas sobre la producción no convencional, por ser el agua un insumo central dentro de los procesos. El efecto generado es retrasar y disminuir los procesos de producción (esta situación se hace más crítica aun dependiendo del material de sostenimiento del yacimiento - arena). Adicionalmente, el desabastecimeinto hídrico genera reducción del nivel de caudal en los ríos, lo cual puede provocar incumplimientos normativos sobre vertimientos: los coeficientes de dilución y las descargas autorizadas pueden verse modificadas por las reducciones de caudales y la contaminación por vertimientos al no disponerse de caudal suficiente para la adecuada dilución de contaminantes.

Producción			
Sistema			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Convencional		La inundación de subestaciones e infraestructura de producción genera daños directos en servicios auxiliares, incluidos los tratamiento de residuos (lodos, aguas residuales) y dificultades de acceso, es decir, se provocan cortes temporales en el proceso de producción. Además, se reduce la producción y se incrementan los costos, lo que incluye la generación de costos por reposición de infraestructura afectada. La inundación puede provocar que el agua llegue a los contrapozos, saque los contaminantes dispersos y los lleve al entorno, así, se generan derrames de residuos de hidrocarburos y contaminación. Si se presentan afectaciones en los sistemas de tratamiento pueden generarse derrames de agentes contaminantes.
	 NO Convencional		
 Incendios forestales	 Convencional		Los incendios forestales pueden, eventualmente, afectar infraestructuras con la consecuente interrupción de las actividades de producción, incluso por precaución, lo cual también provoca una reducción de producción e incremento de costos.
	 NO Convencional		

Fuente: Unión Temporal INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

Tabla 2-18 Amenazas al sistema para el componente de transporte del sector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de El Niño

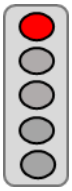
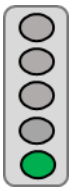
Transporte
Sistema

Evento Amenazante	Subcomponente	Nivel de amenaza	Descripción
 Desabastecimiento hídrico	 Ductos		El desabastecimiento hídrico puede inducir procesos geotécnicos en el suelo como la modificación del comportamiento volumétrico del suelo, los cuales pueden provocar daños directos sobre los elementos de soporte de ductos de transporte. Los daños generados en los ductos hacen que se interrumpa el transporte de crudo y se dificulte el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes. Adicionalmente, pueden producirse efectos de contaminación y vertimientos. En el caso de gas natural pueden producirse como efecto explosiones e incendios.
 Inundación			Los fenómenos de inundación por encharcamiento no impactan directamente el sistema de ductos de transporte. En el caso de avenidas torrenciales, puede presentarse exposición de la tubería a daños, lo cual genera interrupción en el proceso de transporte. Esta situación es más grave en gas que en petróleo en términos de suministro. Además, los daños que puedan provocarse a los ductos hacen que se interrumpa el transporte de crudo y se dificulte el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes. Adicionalmente, se pueden generar efectos de contaminación y vertimientos. En el caso de gas natural, pueden producirse explosiones e incendios.

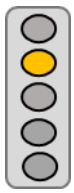
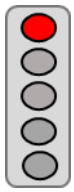
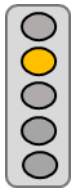
Fuente: Unión Temporal INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

Tabla 2-19 Amenazas al entorno del subsector de hidrocarburos – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Entorno

Evento Amenazante	Subcomponente	Nivel de amenaza	Descripción
 Desabastecimiento hídrico	 Producción Convencional		Se genera una amenaza directa al entorno debido a la escasez de agua para la agricultura, se disminuyen las cosechas y no hay suficiente agua para asegurar el consumo humano. En consecuencia, se afectan los niveles de producción pesquera. Así mismo, los problemas de disponibilidad de agua exacerban la competencia por el acceso al recurso y pueden generar pérdida de reputación por parte de las empresas
	 Producción NO Convencional		
	 Transporte terrestre		Se genera una amenaza directa al entorno debido a la escasez de agua para la agricultura, se disminuyen las cosechas y no hay suficiente agua para asegurar el consumo humano. Como resultado, se afectan los niveles de producción pesquera. Además, los efectos geotécnicos generados en el suelo (cambios volumétricos del suelo) llevan a la interrupción del transporte de crudo, lo cual puede comprometer el cumplimiento de los compromisos de suministro de combustible a los clientes y el transporte de suministros para la industria.
 Inundación	 Exploración Continental		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas, afectan los campos de cultivos, producen daños directos en infraestructuras y afectaciones a la ganaderías, e interrupción de vías, acueductos y alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. La inundación genera afectación de las vías del entorno, lo cual dificulta el acceso a los campos de exploración, producción y refinerías, e induce el aislamiento de zonas inundadas.

Entorno			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Producción Convencional		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas, afectan los campos de cultivos, se producen daños directos en infraestructuras, afectaciones a ganaderías, interrupción de vías, acueductos, alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. La inundación, genera afectaciones a las vías del entorno, lo cual dificulta el acceso a los campos de exploración, producción y refinerías, e induce el aislamiento de zonas inundadas. Los vertimientos eventualmente generados, pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación o multas comerciales.
	 Producción NO Convencional		
	 Ductos		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas. Se inundan campos de cultivos, producen daños directos en infraestructuras y afectaciones a ganaderías, e interrupción de vías, acueductos y alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. La inundación puede inducir a la interrupción del suministro de Nafta por carretera, lo que genera que no se pueda realizar el transporte de crudo a través de ductos. A su vez, los daños de ductos y sus efectos pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad y pérdida de reputación o multas comerciales.
	 Transporte terrestre		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos y actividades económicas, afectan los campos de cultivos, producen daños directos en infraestructuras y afectaciones a ganaderías, e interrupción de vías, acueductos y alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas y generar daños directos sobre las carreteras, lo cual interrumpe el transporte de crudo y se dificulta el cumplimiento de los compromisos de

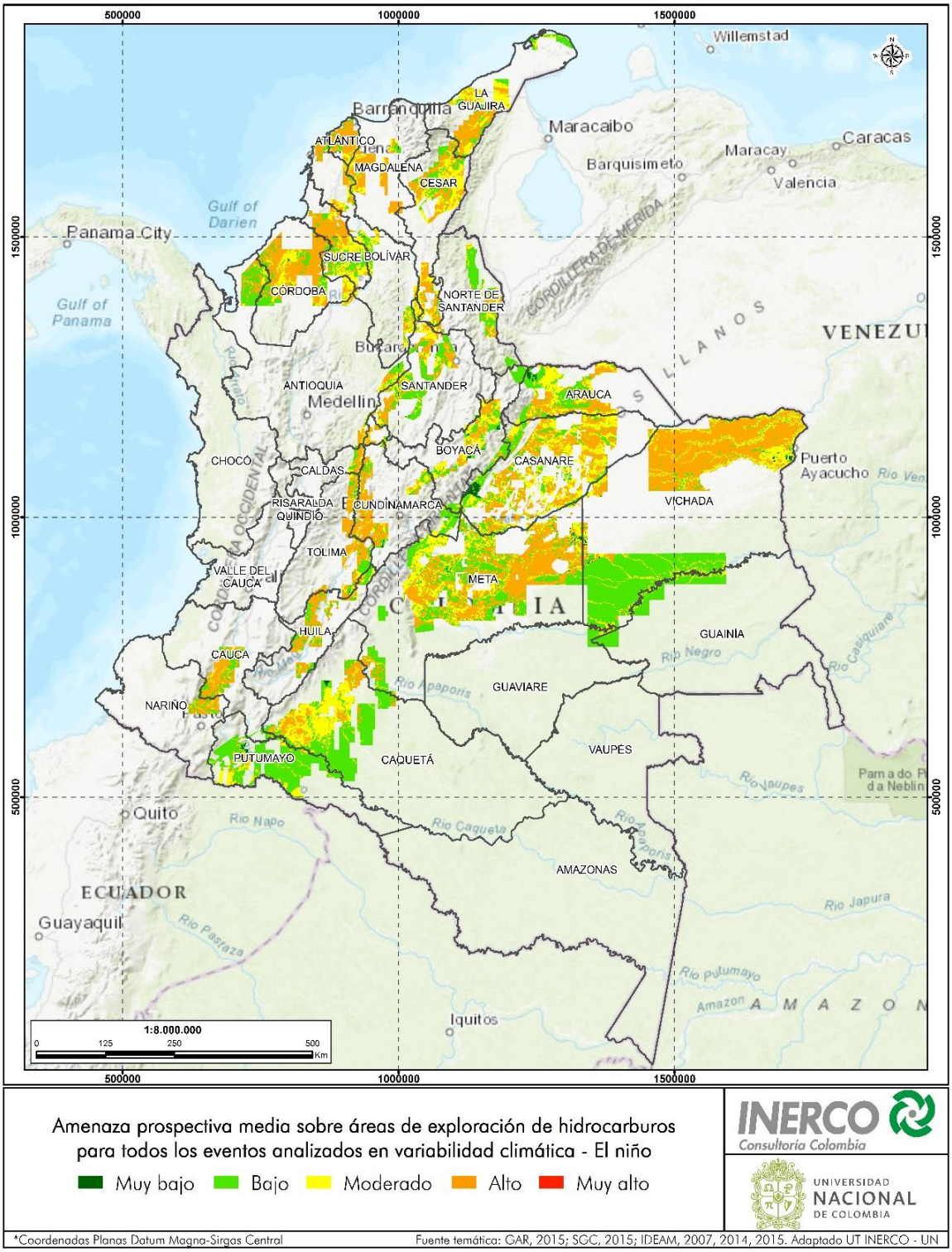
Entorno			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
			suministro de insumos al sistema y combustible a los clientes.
 Incendios forestales	 Exploración Continental		Los incendios forestales impactan directamente sobre la cobertura vegetal, y se generan pérdidas de cobertura vegetal; pérdidas directas sobre la propiedad (infraestructura, cosechas, animales doméstico, ganado) y las actividades económicas, y aislamiento parcial de zonas y pérdida de productividad del suelo. Así mismo, el aislamiento parcial de las zonas impide el acceso a las áreas y genera una Interrupción temporal de actividades de exploración.
	 Producción Convencional		Los incendios forestales impactan directamente sobre la cobertura vegetal, y se generan pérdidas directas sobre la propiedad (infraestructura, cosechas, animales doméstico, ganado) y las actividades económicas; aislamiento parcial de zonas, y pérdida de productividad del suelo. Igualmente, el aislamiento parcial de las zonas impide el acceso a las áreas y genera una Interrupción temporal de actividades de producción.
	 Producción NO Convencional		
	 Transporte Terrestre		Los incendios forestales impactan directamente sobre la cobertura vegetal, y generan pérdidas directas sobre la propiedad (infraestructura, cosechas, animales doméstico, ganado) y las actividades económicas; aislamiento parcial de zonas, y pérdida de productividad del suelo. Así mismo, la interrupción temporal del transporte por carretera del crudo dificulta el

Entorno			
Evento Amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
			cumplimiento de los compromisos de suministro de insumos al sistema y combustible a los clientes.

Fuente: Unión Temporal INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

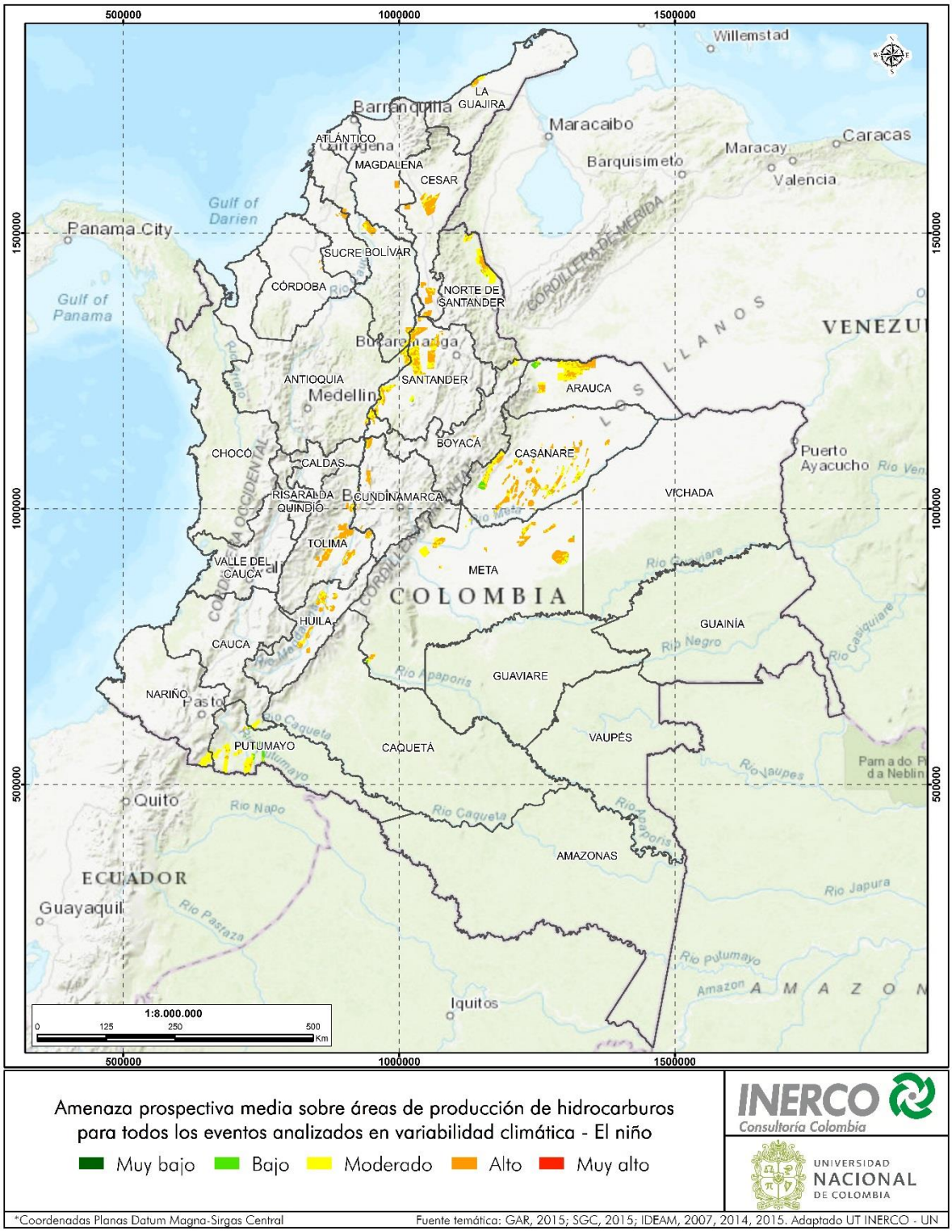
A continuación se presentan los mapas de amenaza por componente:

Figura 2-18 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de exploración



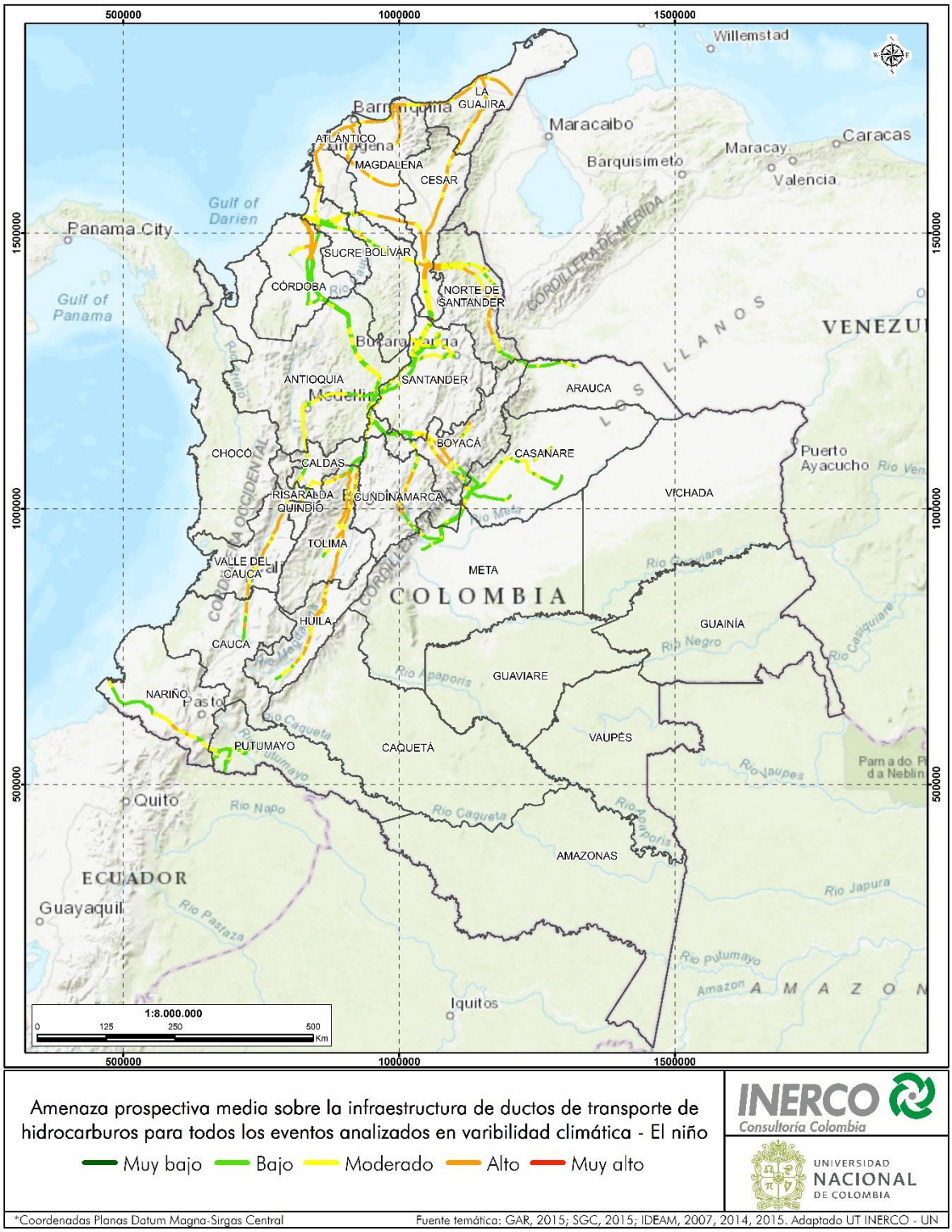
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 2-19 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 2-20 Amenaza prospectiva media sobre las rutas de transporte por ductos



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

2.5 Índice Vulnerabilidad

2.5.1 Índice de sensibilidad de los componentes del sistema de hidrocarburos

Tabla 2-20 Indicadores de sensibilidad del subsector hidrocarburos para el componente exploración

Aspecto	Peso aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
Estructura empresarial	60 %	Eficiencia en la planeación, administración y ejecución de las actividades	20,00 %	Cumplimiento de los compromisos contractuales de exploración y producción con la ANH.	Porcentaje de contratos en procesos de renuncia, suspensión e incumplimiento o en instancias ejecutivas.	4,91 %	10,00 %	0,49 %
				Cumplimiento de los compromisos ambientales y sociales con la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).	Porcentaje de contratos sancionados por deterioro ambiental, incumplimiento de actos administrativos, no informar a la ANLA.	18,60 %	10,00 %	1,86 %
		Capacidad operativa	20,00 %	Cantidad de reservas, producción, capacidad de refinación y mercados.	Porcentaje de empresas operando en Colombia que no se encuentran entre las 50 más grandes del mundo según Petroleum Intelligence Weekly (PIW).	72,63 %	20,00 %	14,53 %
		Calidad de los procesos	20,00 %	Adopción de normas de calidad de procesos, de responsabilidad social y de responsabilidad ambiental institucionalizadas.	Porcentaje de empresas sin certificaciones en calidad de los procesos, responsabilidad social y gestión ambiental.	0,00 %	10,00 %	0,00 %
				Calidad de la seguridad Industrial, salud ocupacional y	Porcentaje de incumplimiento en la calidad de la seguridad industrial salud ocupacional y medio ambiente.	0,00 %	10,00 %	0,00 %

Aspecto	Peso aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
				medio ambiente.				
Operación técnica	40 %	Sensibilidad de la operación	40,00 %	Cantidad de bienes y servicios que requieren transporte para su uso en la operación.	Porcentaje de compra de bienes y servicios de origen NO local.	50,00 %	13,00 %	6,67 %
				Calidad de las vías del país.	Porcentaje de la red pavimentada en mal estado.	46,90 %	13,00 %	6,25 %
					Porcentaje de la red afirmada en mal estado.	90,51 %	13,00 %	12,07 %
						Total	**100,00 %**	**41,87 %**
						Moderado		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 2-21 Indicadores de sensibilidad del subsector hidrocarburos para el componente producción

Aspecto	Peso aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
Estructura empresarial	60 %	Eficiencia en la planeación, administración y ejecución de las actividades	20,00 %	Cumplimiento de compromisos contractuales de exploración y producción con la ANH.	Porcentaje de contratos en procesos de renuncia, suspensión e incumplimiento o en instancias ejecutivas.	0,00 %	10,00 %	0,00 %
				Cumplimiento de compromisos ambientales y sociales con la ANLA.	Porcentaje de contratos sancionados por deterioro ambiental, incumplimiento de actos administrativos, no informar a la ANLA.	18,60 %	10,00 %	1,86 %
		Capacidad operativa	20,00 %	Cantidad de reservas, producción, capacidad de refinación y mercados.	Porcentaje de producción de petróleo en Colombia realizado por empresas que no se encuentran entre las 50 más grandes del mundo, según PIW.	55,13 %	20,00 %	11,03 %
		Calidad de los procesos	20,00 %	Adopción de normas de calidad de procesos, de responsabilidad social y de responsabilidad ambiental institucionalizadas.	Porcentaje de empresas sin certificaciones en calidad de los procesos, responsabilidad social y gestión ambiental.	0,00 %	10,00 %	0,00 %
				Calidad de la seguridad Industrial, salud ocupacional y medio ambiente.	Porcentaje de incumplimiento en la calidad de la seguridad industrial salud ocupacional y medio ambiente.	0,00 %	10,00 %	0,00 %
Operación técnica	40 %	Sensibilidad de la operación	40,00 %	Cantidad de bienes y servicios que requieren transporte para su uso en la operación.	Porcentaje de compra de bienes y servicios de origen NO local.	50,00 %	13,00 %	6,67 %

Aspecto	Peso aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
				Calidad de las vías del país.	Porcentaje de la red pavimentada en mal estado.	46,90 %	13,00 %	6,25 %
					Porcentaje de la red afirmada en mal estado.	90,51 %	13,00 %	12,07 %
Infraestructura física		Calidad de la infraestructura		Antigüedad de la infraestructura.	Porcentaje de la infraestructura de producción con antigüedad mayor a la mitad de su vida útil (25 años).			
						Total	**100,00 %**	**37,87 %**
						Moderado		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 2-22 Indicadores de sensibilidad del subsector hidrocarburos para el componente transporte

Aspecto	Peso aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
Estructura empresarial	60 %	Eficiencia en la planeación, administración y ejecución de las actividades	40,00 %	Cumplimiento de compromisos contractuales con los remitentes.	Porcentaje de incumplimiento de las cantidades de crudo o diluyente pactadas para transportar.	0,00 %	20,00 %	0,00 %
				Cumplimiento de compromisos ambientales y sociales con la ANLA.	Porcentaje de empresas sancionadas por deterioro ambiental, incumplimiento de actos administrativos, no informar a la ANLA.	0,00 %	20,00 %	0,00 %
		Calidad de los procesos	20,00 %	Adopción de normas de calidad de procesos institucionalizados.	Porcentaje de empresas sin certificaciones en calidad de los procesos, responsabilidad social y gestión ambiental.	50,00 %	6,67 %	3,33 %
				Calidad de la seguridad Industrial, salud ocupacional y medio ambiente.	Porcentaje de incumplimiento en la calidad de la seguridad industrial salud ocupacional y medio ambiente.	0,00 %	6,67 %	0,00 %
				Crudo derramado por fallas en la operación.	Porcentaje de crudo derramado producido por fallas operativas y volcamiento de vehículos.	0,46 %	6,67 %	0,03 %
Operación técnica	20 %	Sensibilidad de la operación	20,00 %	Cantidad de bienes y servicios que requieren transporte para su uso en la operación.	Porcentaje de compra de bienes y servicios de origen NO local.	97,00 %	10,00 %	9,70 %
					Porcentaje de la red pavimentada en mal estado.	46,90 %	10,00 %	4,69 %
Infraestructura física	20 %	Calidad de la infraestructura	20,00 %	Efectividad global de los equipos.	Porcentaje de ineficiencia de la infraestructura de transporte.	6,00 %	20,00 %	1,20 %
						Total	**100,00 %**	**18,95 %**
						Bajo		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 2-23 Indicadores de sensibilidad del subsector hidrocarburos para el componente infraestructura portuaria

Aspecto	Peso aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
Estructura empresarial	100 %	Eficiencia en la planeación, administración y ejecución de las actividades	50,00 %	Cumplimiento de compromisos ambientales con la ANLA.	Porcentaje de contratos sancionados por deterioro ambiental, incumplimiento de actos administrativos, no informar a la ANLA.	3,77 %	50,00 %	1,89 %
		Calidad de los procesos	50,00 %	Adopción de normas de calidad de procesos, de responsabilidad social y de responsabilidad ambiental institucionalizadas.	Porcentaje de empresas sin certificaciones en calidad de los procesos, responsabilidad social y gestión ambiental.	0,00 %	16,67 %	0,00 %
				Calidad de la seguridad Industrial, salud ocupacional y medio ambiente.	Porcentaje de incumplimiento en la calidad de la seguridad industrial salud ocupacional y medio ambiente.	0,00 %	16,67 %	0,00 %
				Crudo derramado por fallas en la operación.	Porcentaje de crudo derramado producido por fallas operativas y volcamiento de vehículos sobre los derrames totales.	2,95 %	16,67 %	0,49 %
Infraestructura física	0 %	Calidad de la infraestructura		Antigüedad de la infraestructura.	Porcentaje de la infraestructura costera con antigüedad mayor a la mitad de su vida útil.			
				Protección de la infraestructura.	Porcentaje de la infraestructura sin medidas de protección costera.			
						Total	**100,00 %**	**2,38 %**
						Bajo		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

2.5.2 Índice de capacidad de adaptación del sistema de los hidrocarburos

Tabla 2-24 Indicadores de capacidad de adaptación del sector hidrocarburos para el componente exploración

Recursos	Peso	Factores	Peso	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso	Valor ponderado
Recursos financieros	60,00 %	Activos	30,00 %	Cantidad de empresas con los mayores activos.	Porcentaje de contratos de exploración de petróleo que operan las empresas entre las top 50 del mundo, según PIW.	27,37 %	30,00 %	8,21 %
		Nivel de liquidez media (Activo corriente / Pasivo corriente)	30,00 %	Cantidad de empresas con la mayor liquidez.	Porcentaje de empresas con contratos de exploración con la mayor liquidez.	70,00 %	30,00 %	21,00 %
Recursos empresariales	30,00 %	Recursos humanos	10,00 %	Condiciones del recurso humano.	Porcentaje de contratación directa.	13,00 %	5,00 %	0,65 %
					Porcentaje de empleo calificado.	66,000 %	5,00 %	3,30 %
		Compromiso empresarial	10,00 %	Existencia de medidas concretas hacia el cambio climático o sus efectos.	Las compañías han elaborado o están elaborando planes de adaptación/respuesta a emergencias/información (S/N).	100,00 %	10,00 %	10,00 %
		Mecanismos de colaboración y difusión de experiencias	10,00 %	Existencias de gremios o asociaciones de empresas.	Porcentaje de empresas asociadas al gremio más grande del sector.	100,00 %	10,00 %	10,00 %
Recursos institucionales	10,00 %	Marco normativo sectorial	10,00 %	Existencia de reglamentos técnicos y normativas nacionales que incluyan consideraciones del cambio climático.	Número de medidas nacionales referentes al cambio climático incorporadas en la normativa del sector.	100,00 %	10,00 %	10,00 %
						Total	**100,00 %**	**63,16 %**
						Alto		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 2-25 Indicadores de capacidad de adaptación del sector hidrocarburos para el componente producción

Recursos	Peso	Factores	Peso	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso	Valor ponderado
Recursos financieros	60,00 %	Activos	30,00 %	Cantidad de empresas con los mayores activos.	Porcentaje de contratos de producción de petróleo que operan las empresas entre las top 50 del mundo, según PIW.	44,87 %	30,00 %	13,46 %
		Nivel de liquidez media (Activo corriente / Pasivo corriente)	30,00 %	Cantidad de empresas con la mayor liquidez.	Porcentaje de empresas con la mayor liquidez (≥1) entre las 10 más grandes del país en el sector de petróleo y gas.	50,00 %	30,00 %	15,00 %
Recursos empresariales	30,00 %	Recursos humanos	10,00 %	Condiciones del recurso humano.	Porcentaje de contratación directa.	13,00 %	5,00 %	0,65 %
					Porcentaje de empleo calificado.	66,00 %	5,00 %	3,30 %
		Compromiso empresarial	10,00 %	Existencia de medidas concretas hacia el cambio climático o sus efectos.	Las compañías han elaborado o están elaborando planes de adaptación/respuesta a emergencias/información (S/N).	100,00 %	10,00 %	10,0 %
		Mecanismos de colaboración y difusión de experiencias	10,00 %	Existencias de gremios o asociaciones de empresas.	Porcentaje de empresas asociadas al gremio más grande del sector.	100,00 %	10,00 %	10,00 %
Recursos institucionales	10,00 %	Marco normativo sectorial	10,00 %	Existencia de reglamentos técnicos y normativas nacionales que incluyan consideraciones del cambio climático.	Número de medidas nacionales referentes al cambio climático incorporadas en la normativa del sector.	100,00 %	10,00 %	10,00 %
						Total	**100,00 %**	**62,41%**
						Alto		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 2-26 Indicadores de capacidad de adaptación del sector hidrocarburos para el componente transporte

Recursos	Peso	Factores	Peso	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso	Valor ponderado
Recursos financieros	60,00 %	Activos	30,00 %	Cantidad de empresas con los mayores activos.	Porcentaje de refinación de petróleo y cargue en puerto con las empresas entre las 50 más grandes del país, según PIW (Activos).	100,00 %	30,00 %	30,00 %
		Nivel de liquidez media (Activo corriente / Pasivo corriente)	30,00 %	Cantidad de empresas con la mayor liquidez.	Porcentaje de la operación en puerto (refinación, almacenamiento, cargue) que está a cargo de empresas con un índice de liquidez superior a 1.	100,00 %	30,00 %	30,00 %
Recursos empresariales	30,00 %	Recursos Humanos	10,00 %	Calidad de las condiciones del recurso humano.	Contratación directa.	89,76 %	5,00 %	4,49 %
					Empleo calificado.	66,00 %	5,00 %	3,30 %
		Compromiso empresarial	10,00 %	Existencia de medidas concretas hacia el cambio climático o sus efectos.	Las compañías han elaborado o están elaborando planes de adaptación/respuesta a emergencias/información (S/N).	100,00 %	10,00 %	10,00 %
		Mecanismos de colaboración y difusión de experiencias	10,00 %	Existencias de gremios o asociaciones de empresas.	Porcentaje de empresas asociadas al gremio más grande del sector.	100,00 %	10,00 %	10,00 %
Recursos institucionales	10,00 %	Marco normativo sectorial	10,00 %	Existencia de reglamentos técnicos y normativas sectoriales que incluyan consideraciones del cambio climático.	Número de medidas nacionales referentes al cambio climático incorporadas en la normativa del sector.	100,00 %	10,00 %	10,00 %
						Total	**100,00 %**	**97,79 %**
						Alto		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

Tabla 2-27 Indicadores de capacidad de adaptación del sector hidrocarburos para el componente de infraestructura portuaria

Recursos	Peso	Factores	Peso	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso	Valor ponderado
Recursos financieros	60,00 %	Activos	30,00 %	Cantidad de empresas con los mayores activos.	Porcentaje de transporte de petróleo de las empresas entre las 50 más grandes del país, según PIW.	50,00 %	30,00 %	15,00 %
		Nivel de liquidez media (Activo corriente / Pasivo corriente)	30,00ŭ%	Cantidad de empresas con la mayor liquidez.	Porcentaje del transporte que está a cargo de empresas con un índice de liquidez ≥ 1.	50,00 %	30,00 %	15,00 %
Recursos empresariales	30,00 %	Recursos humanos	10,00 %	Calidad de las condiciones del recurso humano.	Contratación directa.	9,26 %	5,00 %	0,46 %
					Empleo calificado.	29,49 %	5,00 %	1,47 %
		Compromiso empresarial	10,00 %	Existencia de medidas concretas hacia el cambio climático o sus efectos.	Las compañías han elaborado o están elaborando planes de adaptación/respuesta a emergencias/información (S/N).	100,00 %	10,00 %	10,00 %
		Mecanismos de colaboración y difusión de experiencias	10,00 %	Existencias de gremios o asociaciones de empresas.	Porcentaje de empresas asociadas al gremio más grande del sector.	100,00 %	10,00 %	10,00 %
Recursos institucionales	10,00 %	Marco normativo sectorial	10,00 %	Existencia de reglamentos técnicos y normativas sectoriales que incluyan consideraciones del cambio climático.	Número de medidas nacionales referentes al cambio climático incorporadas en la normativa del sector.	100,00 %	10,00 %	10,00 %
						Total	**100,00 %**	**61,94 %**
						Alto		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

2.5.3 Vulnerabilidad del sistema de los hidrocarburos

En la tabla 2-28 se combinan de forma cualitativa los criterios de sensibilidad y capacidad de adaptación del proyecto, descritos en cada celda de la matriz, con el fin de obtener la vulnerabilidad del sistema.

Tabla 2-28 Vulnerabilidad del subsistema para el subsector hidrocarburos

Aspecto	Exploración	Producción	Transporte	Infraestructura portuaria
Sensibilidad	Moderado	Moderado	Bajo	Bajo
Capacidad de adaptación	Alto	Alto	Alto	Alto
Vulnerabilidad del sistema	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

2.6 Análisis de riesgo

2.6.1 Cambio Climático

En un escenario de susceptibilidad virtual del sistema, resultado del procesamiento de los datos del SIG y que evidencian la plausibilidad que los eventos ocurran en las áreas de desarrollo de las operaciones del subsector de hidrocarburos (Anexo 1), se posiciona la intensidad del posible daño de cada una de las amenazas detectadas, para el sistema, y de esta manera se establece el panorama para la valoración de la amenaza prospectiva para el sistema (tabla 2-29).

2.6.1.1 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del sistema sobre el subsector

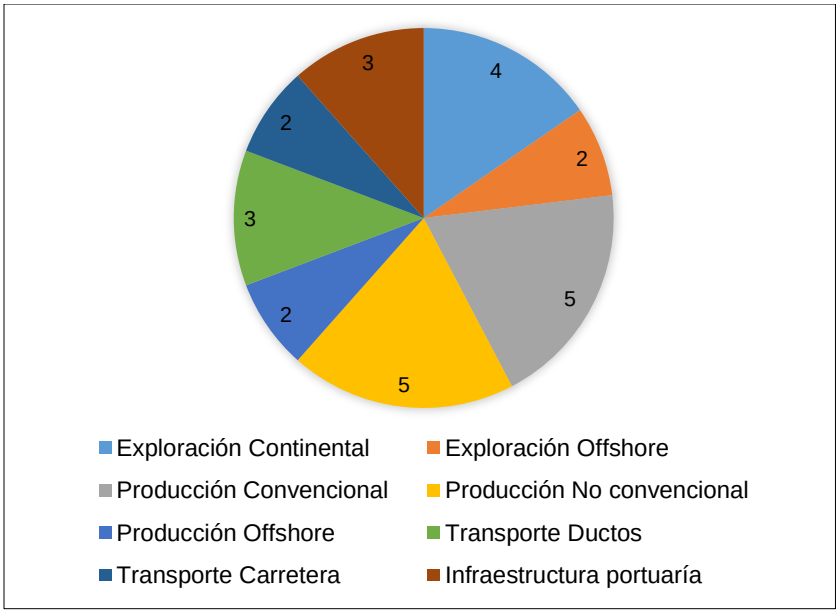
Tabla 2-29 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema para el subsector de hidrocarburos

Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura portuaria
	Continental	*Offshore*	Convencional	No convencional	*Offshore*	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico			Moderado	Muy alto		Moderado		
Inundaciones	Muy bajo		Muy bajo	Muy bajo		Muy bajo		
Remoción en masa	Alto		Moderado	Alto		Muy alto	Muy alto	
Incendios forestales	Moderado		Moderado	Moderado				
Aumento de temperatura (olas de calor)	Bajo		Bajo	Bajo			Bajo	Bajo
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados		Moderado			Moderado			Alto
Tormentas (huracanes)		Alto			Alto			Alto

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

De la tabla anterior se puede concluir que el componente con mayor número de amenazas es el de producción (12), seguido por el componente de exploración (6) y el de transporte (5) y con menor número de amenazas se presenta el componente de infraestructura portuaria (3).

Gráfico 2-1 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente

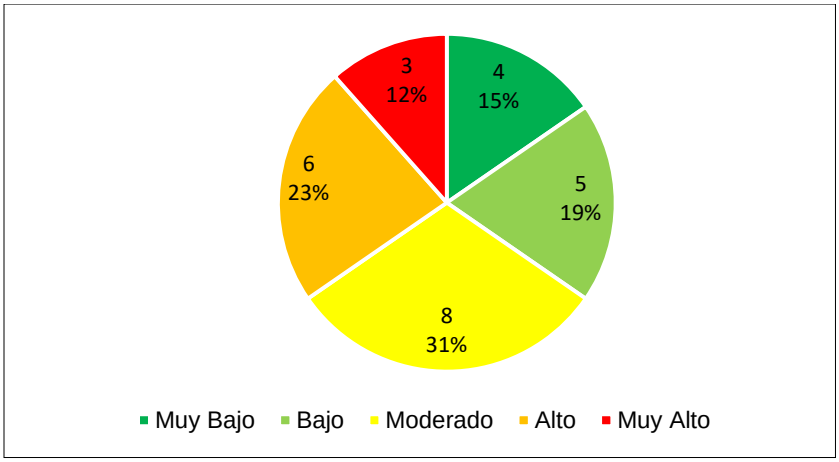


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

En total se obtuvieron 26 amenazas prospectivas sobre el sistema, de las cuales el 35 % corresponde a los niveles alto y muy alto, el 31 % es de nivel moderado, y en menor proporción el nivel bajo con el 19 % y el nivel muy bajo con 15 % como se puede observar en el gráfico 2-2.

En general, para todo el subsector se debe dar mayor importancia a los niveles muy alto, alto y moderado de amenazas prospectivas que corresponden al 66 % de todas las amenazas sobre el sistema; es decir, que los eventos debidos al cambio climático amenazan considerablemente y de manera directa al sistema en cada uno de los componentes del subsector de hidrocarburos.

Gráfico 2-2 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector



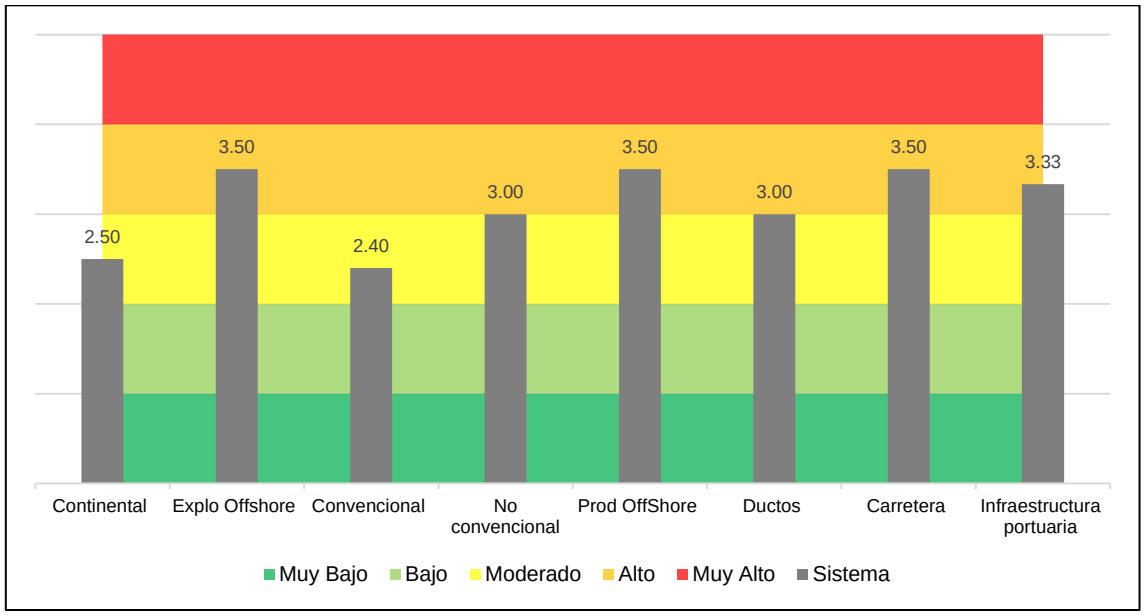
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

De este porcentaje de niveles altos de amenaza prospectiva, se puede concluir que la amenaza de mayor importancia para el sistema es la remoción en masa, por su presencia en la mayoría de los componentes y por su nivel de impacto. Le sigue en importancia, el desabastecimiento hídrico, las tormentas y huracanes, el aumento del nivel del mar y los incendios forestales en menor nivel de impacto.

2.6.1.1.1 Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por componentes o subcomponentes

La distribución por componentes (gráfico 2-3) muestra que aquellos con mayor exposición a las amenazas consideradas son los componentes de producción convencional y no convencional, con cinco fenómenos amenazantes. En segundo lugar, se encuentra la exploración continental con cuatro, seguido por infraestructura portuaria y transporte por ductos con tres y, finalmente, transporte por carretera, exploración y producción *offshore* con dos.

Gráfico 2-3 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

- Exploración

El componente de exploración no presenta nivel de amenaza muy alto; no obstante, los niveles de amenaza altos se deben a los eventos de remoción en masa en la exploración continental y tormentas y huracanes en la exploración *offshore*. El nivel moderado de amenaza prospectiva se presenta en la exploración continental debido a los incendios forestales, y para el componente de exploración *offshore* en el aumento del nivel del mar; le sigue con nivel bajo el aumento de temperatura y nivel muy bajo las inundaciones en la exploración continental.

En general, el componente de exploración presenta un nivel de amenaza medio, debido a que 4 de las 6 amenazas al sistema se encuentran en los niveles moderado y alto y todas ellas ponen en riesgo la continuidad de las operaciones, limitan o restringen por completo el acceso a las áreas de operaciones y causan daño a la infraestructura costera necesaria para la continuidad de las mismas. La distribución territorial de las amenazas con valoraciones más altas indica el alto grado de afectación sobre las operaciones de exploración continental del evento de remoción en masa, seguido de los incendios forestales, y en menor grado de afectación las inundaciones.

Para la exploración *offshore* la distribución indica el mayor grado de afectación territorial del evento de tormentas y huracanes seguido del aumento del nivel del mar. El impacto de estas amenazas puede verse disminuido debido a la

temporalidad de las operaciones de exploración (2 a 6 años), sin embargo, estas áreas se proyectan siempre como áreas potenciales de desarrollo futuro tras los éxitos exploratorios.

- Producción

El componente de producción presenta un nivel de amenaza prospectiva muy alto solamente en la producción no convencional debido al evento de disponibilidad del agua (sequía). El nivel de amenaza alto se presenta en la producción no convencional como consecuencia del evento de remoción en masa, y en la producción *offshore* como resultado del evento de tormentas y huracanes. El nivel moderado se presenta en la producción convencional producto de los eventos de disponibilidad de agua (sequías), remoción en masa e incendios forestales; así, la producción no convencional se debe al evento de incendios forestales, y en la producción *offshore* por el aumento del nivel del mar. El nivel de amenaza bajo se presenta en la producción convencional y en la no convencional debido al evento del aumento de la temperatura; y en nivel muy bajo de amenaza se presenta para la producción convencional y no convencional debido al evento de inundaciones.

En general, el componente de producción presenta un nivel de amenaza moderado, teniendo en cuenta que el grado de impacto para la producción *offshore* es alto y para los subcomponentes convencionales y no convencionales es moderado. La amenaza de disponibilidad de agua (sequía) para la producción no convencional presenta un nivel muy alto por los volúmenes de agua requeridos para las operaciones de explotación de estos yacimientos (en el fracking, el uso de agua puede superar en 10 o más veces el uso convencional[19]). Estos eventos impactan en alto grado la producción por la posibilidad de interrupción de las operaciones, la limitación o restricción de acceso a las áreas de operaciones y el posible daño a la infraestructura que permite su normal desarrollo. Así mismo, el evento de remoción en masa presenta una valoración más alta en la producción no convencional debido a la mayor extensión (área) requerida para el desarrollo de sus actividades, a diferencia de la operación convencional.

Para la producción convencional el evento más influyente que se presenta como amenaza es el desabastecimiento hídrico, puesto que este recurso es materia prima importante en las actividades de perforación de pozos de desarrollo e inyección y en las pruebas de los pozos; por tanto durante la ejecución de dichas actividades también se hace muy necesario el recurso agua para el mantenimiento de los campamentos. Le siguen las amenazas de remoción en masa e incendios forestales en una distribución similar en las áreas de producción, debido a la localización de los campos de desarrollo en zonas rurales que necesitan distancias considerables para su acceso en la mayoría de los

[19] IDEAM, MINAMBIENTE. Estudio nacional del agua. Bogotá D.C. 2015. Pág. 386

casos. En menor grado de influencia territorial se encuentra la amenaza por inundación, principalmente porque los campos de producción se localizan en zonas altas y a distancias consideradas ambientalmente desde el inicio de la planeación del campo.
En la producción no convencional, la amenaza de muy alta influencia se encuentra la amenaza de disponibilidad de agua (sequía), dado que dicha producción se desarrolla en regiones relativamente apartadas y de menor influencia territorial. Posteriormente y relacionada con la distribución geográfica es la remoción en masa, como resultado de la extensión territorial que requieren estos campos. Adicionalmente, la producción *offshore* está más influenciada en el territorio por el evento de tormentas y huracanes (bloques y zonas de acceso), seguida por la amenaza del aumento del nivel del mar (zona costera), principalmente porque es la mayor área de contacto directo con cada una de estas amenazas.

- Transporte

Por un lado, el componente de transporte presenta niveles muy altos de amenaza prospectiva por eventos de remoción en masa tanto en el transporte por ductos como en el transporte por carretera, mientras, en el componente de transporte por ductos se evidencia un nivel de amenaza moderado debido al desabastecimiento hídrico. Por otro lado, un nivel de amenaza bajo se presenta en el transporte por carretera debido al aumento de temperatura y un nivel de amenaza muy bajo se presenta en el transporte por ductos debido a las inundaciones.

En general, el componente del transporte en el subsector de hidrocarburos es el que registra un nivel de amenaza de considerable importancia debido a que el mismo evento, remoción en masa, tiene el mismo nivel de impacto, muy alto, en sus dos subcomponentes, lo que implica la suspensión de las operaciones y el posible daño a la infraestructura. El impacto de el desabastecimiento hídrico para el componente de transporte por ductos se centra en la implicación de los tiempos de sequía en el comportamiento de las condiciones de competencia de los suelos, donde se puede ver afectada la infraestructura en los sectores en los que la misma se encuentra soportada en el suelo. Los eventos de inundaciones y aumento de temperatura no se constituyen en importantes amenazas al componente, debido a que su impacto es reducido o controlable por las características operativas de estos subcomponentes.

La distribución territorial de las amenazas con valoraciones más altas muestra la importante y fuerte influencia del evento de remoción en masa en el transporte por ductos y por carretera, que se deriva de la amplia distribución geográfica de estas operaciones a través de todo el territorio nacional. Posteriormente, le sigue el evento de Desabastecimiento hídrico y en menor grado de influencia las inundaciones.

- Infraestructura portuaria

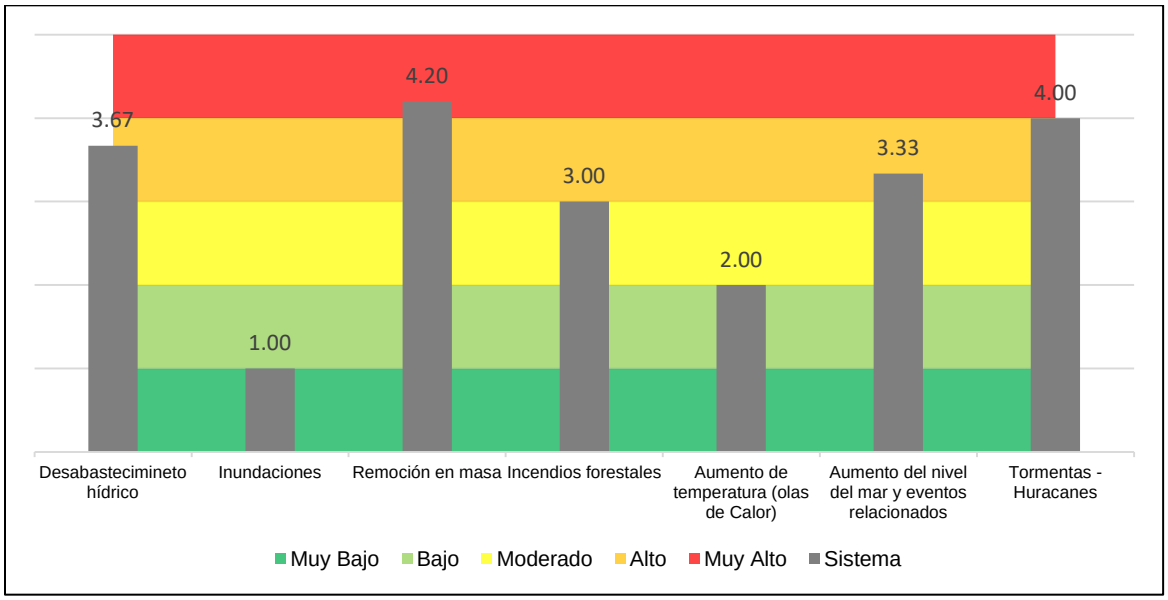
En el componente de infraestructura portuaria se presenta un nivel de amenaza alto debido a los eventos de aumento del nivel del mar, y tormentas y huracanes; mientras, el nivel de valoración bajo se debe al evento de aumento de la temperatura. Este componente posee el menor número de amenazas; sin embargo, dos de las tres presentes tienen un nivel de amenaza considerable.

En general, en este componente se evidencian amenzas, aunque pocas, con una valoracion alta, relacionadas con su cercanía a las costas, debido a su implicación en la suspensión de las operaciones, el acceso restringido a sus operaciones y otros componentes de la cadena de valor, y el posible daño a la infraestructura costera. Así mismo, la distribución territorial de las amenazas con valoraciones más altas es la misma para los eventos de aumento del nivel del mar, y tormentas y huracanes (cercana al 100 %), como consecuencia de la totalidad de la operación de refinación, almacenamiento y cargue de los hidrocarburos que se localiza en las zonas costeras del país y bajo influencia directa de los fenómenos climáticos marinos.

2.6.1.1.2 Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por evento

Los cambios en los patrones de precipitación son el efecto del cambio climático con mayor incidencia en el subsector, dado que generan las más importantes amenazas a las operaciones: la remoción en masa (valores muy altos de precipitación) y el desabastecimiento hídrico (valores muy bajos de precipitación). Le siguen en orden de afectación al subsector, los cambios en el comportamiento e intensidad de las tormentas y huracanes, el cambio del nivel del mar y por último el aumento de la temperatura en los continentes y océanos.

Gráfico 2-4 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema sobre el subsector de hidrocarburos por evento



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

- Remoción en masa y aumento de la temperatura

Las amenazas con mayor número de componentes afectados son la remoción en masa y el de aumento de la temperatura. Sin embargo, el aumento de la temperatura en todos los componentes es valorado como amenaza prospectiva baja para el sistema, lo que lo constituye como el evento de menor influencia en el sistema del subsector de hidrocarburos. A diferencia del evento de remoción en masa, el cual, además de estar presente en los componentes de operación continental, tiene una valoración como amenaza prospectiva de muy alta, alta y moderada, debido principalmente a su influencia sobre la continuidad de las operaciones, la posibilidad de acceso a las áreas y, en menor proporción, al daño sobre la infraestructura.

- Desabastecimiento hídrico e incendios forestales

Los eventos con el mismo número de componentes afectados y con un nivel de amenaza prospectiva mayormente moderada son el desabastecimiento hídrico y los incendios forestales. En general, estos eventos impactan la mayoría de las actividades continentales, además, la amenaza prospectiva muy alta sobre el sistema y el componente de producción no convencional es de marcada importancia ya que, como resultado, impacta en la disponibilidad de agua y, así, es influencia directa sobre la continuidad de la operación.

- Inundaciones

El evento de inundaciones se presenta con un nivel de amenaza muy bajo en los componentes de exploración, producción continental y transporte por ductos, ya que muestra una importancia baja de este evento para el sistema del subsector de hidrocarburos y poca afectación a la infraestructura y a la operación.

- Aumento del nivel del mar y tormentas y huracanes

Los eventos de aumento del nivel del mar y de tormentas y huracanes tienen el mismo número de componentes afectados con un nivel de amenaza prospectiva alta y moderada en los componentes que desarrollan sus operaciones en área de influencia costera. La valoración de la amenaza prospectiva alta para las tormentas y huracanes en todas las áreas donde se presenta, la posicionan como un evento de alta influencia para el sistema del sector hidrocarburos. La valoración alta que constituye la amenaza de aumento del nivel del mar para el componente de infraestructura portuaria se debe principalmente a la mayor área de exposición de sus operaciones a los fenómenos marinos y costeros y a la perdurabilidad de toda su infraestructura en el tiempo de desarrollo de la actividad de refinación, almacenamiento y cargue de los hidrocarburos

2.6.1.2 Análisis de nivel de amenaza prospectiva del entorno sobre el subsector

De acuerdo con el anexo 1, se posiciona la intensidad del posible daño de cada una de las amenazas detectadas desde el entorno y, de esta manera, se establece el panorama para la valoración de la amenaza prospectiva desde el entorno al sistema del subsector de hidrocarburos (tabla 2-30).

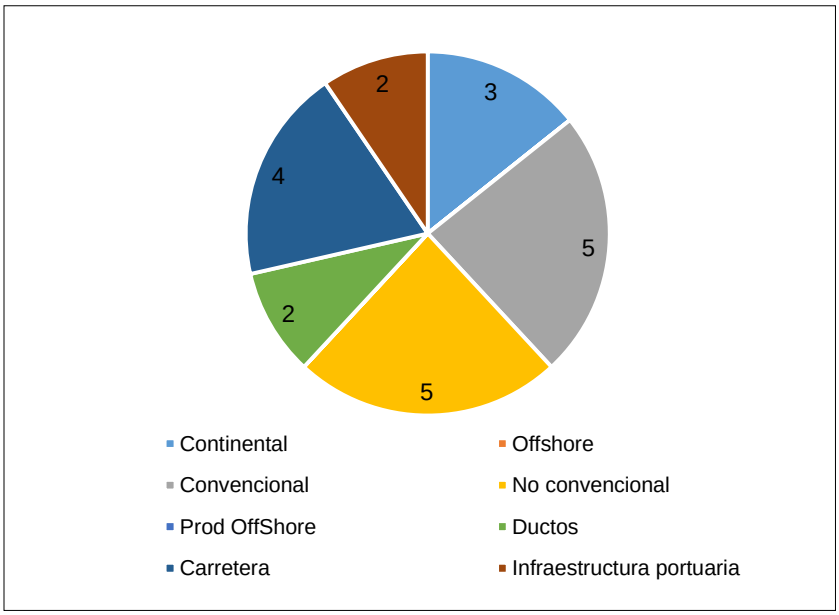
Tabla 2-30 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector de hidrocarburos

Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura portuaria
	Continental	*Offshore*	Convencional	No convencional	*Offshore*	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico			Alto	Alto			Alto	
Inundaciones	Muy bajo		Muy bajo	Muy bajo		Muy bajo	Muy bajo	
Remoción en masa	Alto		Alto	Muy alto		Muy alto	Muy alto	
Incendios forestales	Moderado		Alto	Muy alto			Alto	
Aumento de temperatura (olas de calor)			Bajo	Bajo				Bajo
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados								Muy alto
Tormentas (huracanes)								

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Del análisis anterior se puede concluir que el componente con mayor número de amenazas desde el entorno es el de producción (10), seguido por el componente de transporte (6) y el de exploración (3) y, con menor número de amenazas, el componente de infraestructura portuaria (2).

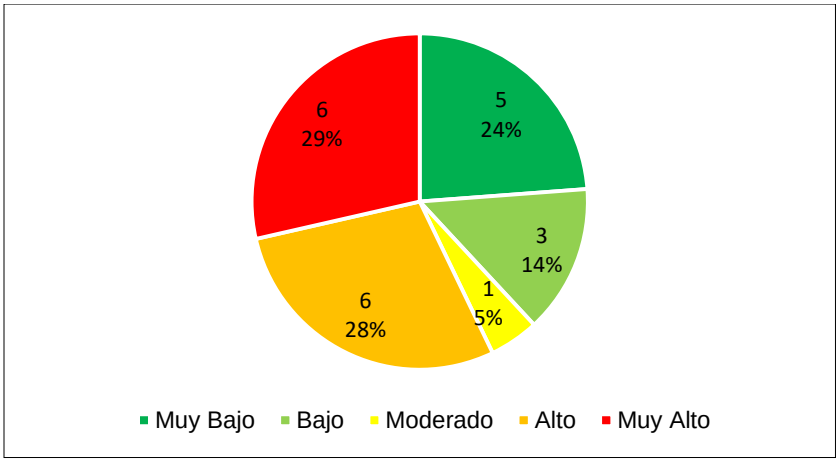
Gráfico 2-5 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

En total, se obtuvieron 21 amenazas prospectivas desde el entorno. El 62 % de las amenazas se ubica en los niveles muy alto, alto, y moderado; y el restante 38 % corresponde a las amenazas con valoración baja y muy baja; como se puede observar en el gráfico 2-6. En general, los eventos debidos al cambio climático amenazan considerablemente y de manera directa desde el entorno al sistema en cada uno de los componentes del subsector de hidrocarburos.

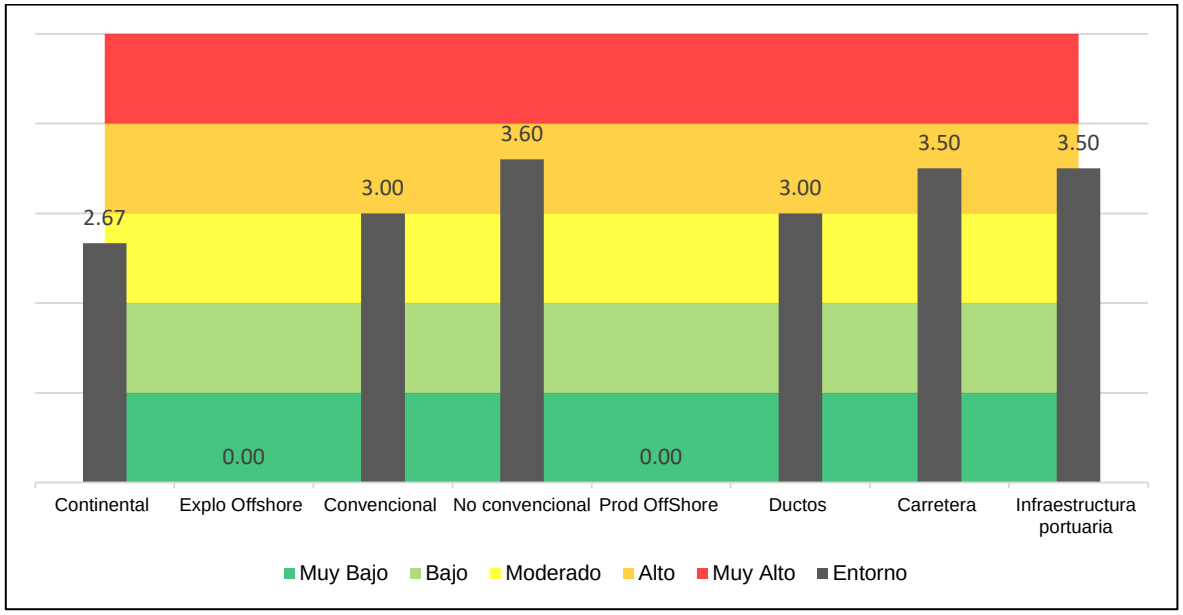
Gráfico 2-6 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

2.6.1.2.1 Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por componentes o subcomponentes

Gráfico 2-7 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

- Exploración

En el componente de exploración *offshore* no se presentan amenazas desde el entorno. En el componente de exploración continental la valoración para el evento de remoción en

masa es alta, seguido de los incendios forestales con valoración moderada e inundaciones con valoración muy baja. Se puede determinar que este componente presenta importantes amenazas desde el entorno, debido principalmente a que dos de estos tres eventos alteran en mayor o menor proporción el acceso a las áreas rurales donde se desarrollan las operaciones del subsector y además causan pérdidas significativas de los recursos agrícolas y de servicios en las áreas de influencia de los proyectos, razón que compromete el posicionamiento social y de influencia económica de la industria en las comunidades.

- Producción

El componente de producción presenta niveles de amenaza prospectiva desde el entorno muy alta y alta, correspondientes a los eventos de remoción en masa, incendios forestales y desabastecimiento hídrico para los componentes de operación convencional y no convencional, dado que estos alteran la continuidad de los servicios en las áreas de influencia de los proyectos y aumentan la posibilidad de daño en los bienes agrícolas y de servicios, y comprometen el posicionamiento social y de influencia económica de la industria en la sociedad por la competencia por los recursos. Los eventos de aumento de la temperatura e inundaciones son valorados como amenazas de nivel bajo y muy bajo respectivamente y no comprometen la infraestructura ni la continuidad de la operación.

- Transporte

El componente de transporte presenta una amenaza prospectiva desde el entorno muy alta por el evento de remoción en masa para el transporte por ductos y por carreteras, puesto que se causan importantes afectaciones en el acceso a las áreas rurales donde se desarrollan las operaciones del subsector e interrumpen la cadena de valor de muchos de los servicios de estas regiones. En menor grado de valoración alta, se presentan los eventos de incendios forestales y Desabastecimiento hídrico de fuerte influencia para la continuidad de los servicios y actividades económicas de la región.

El evento de disponibilidad del agua es una amenaza prospectiva importante desde el entorno, valorada como alta para el componente de transporte por carretera, debido a que la competencia que se genera en la región y en las comunidades en donde transita la cadena de suministro del subsector por el acceso al recurso y, en menor proporción, a los cambios en el suelo de las regiones más áridas y apartadas del país donde se dificulta el tránsito por fallas en las carreteras.

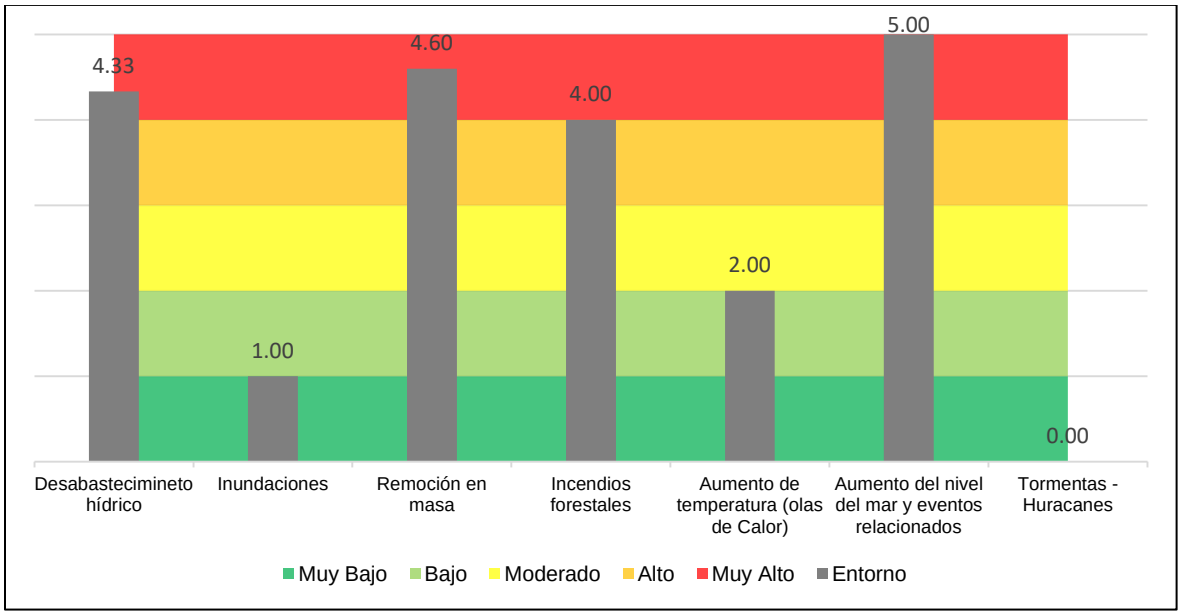
- Infraestructura portuaria

El componente de infraestructura portuaria presenta una valoración muy alta para el evento de aumento de nivel del mar como amenaza prospectiva desde el entorno, como

resultado de la importancia de la estabilidad de las áreas costeras donde se desarrollan las operaciones y en donde transita parte de la cadena de suministro del subsector. Este evento pone en grave riesgo el desarrollo de las actividades económicas de la región y posibilita el daño a la infraestructura de vías, bienes y servicios que se desplazan hacia y desde el interior del país, especialmente por el cambio fuerte que pueden sufrir las condiciones de accesibilidad de los buques a los puertos, debido a disposición de los tajamares; mientras, que el evento de aumento de la temperatura es valorado como amenaza de grado bajo.

2.6.1.2.2 Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por evento

Gráfico 2-8 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno sobre el subsector por evento



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Los eventos con valoraciones muy alta, alta y moderada de su amenaza prospectiva desde el entorno son: Desabastecimiento hídrico, remoción en masa, incendios forestales y aumento del nivel del mar. La amenaza más influyente al sistema desde el entorno para las operaciones continentales es la remoción en masa, seguida por los incendios forestales y, por último, el desabastecimiento hídrico. Para las operaciones *offshore* la amenaza con mayor nivel de impacto es el aumento del nivel del mar.

La amenaza de estos eventos es de gran impacto sobre los componentes del sistema, especialmente por la afectación directa sobre la continuidad de la cadena de bienes y servicios de las regiones y de las actividades agrícolas e industriales de las áreas de influencia de los proyectos del subsector de hidrocarburos (gráfico 2-8).

2.6.1.3 Análisis del riesgo prospectivo del sistema sobre el subsector

La valoración de los riesgos prospectivos del sistema es el resultado de la aplicación de la metodología (anexo 1), la cual posiciona el nivel de las amenazas prospectivas en un panorama de vulnerabilidad prospectiva, dando como resultado el nivel atención que requieren las amenazas por efecto del cambio climático en el subsector de hidrocarburos (tabla 2-31)

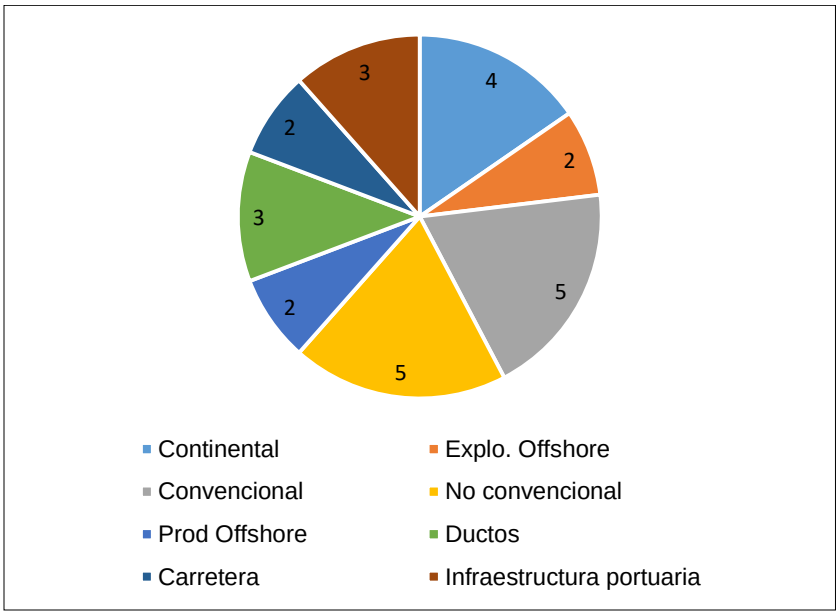
Tabla 2-31 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema para el escenario de cambio climático en el subsector de hidrocarburos

Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura portuaria
	Continental	*Offshore*	Convencional	No convencional	*Offshore*	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico			Moderado	Alto		Moderado		
Inundaciones	Muy bajo		Muy bajo	Muy bajo		Muy bajo		
Remoción en masa	Moderado		Moderado	Alto		Alto	Alto	
Incendios forestales	Moderado		Moderado	Moderado		0		
Aumento de temperatura (olas de calor)	Bajo		Bajo	Bajo			Bajo	Bajo
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados		Bajo			Bajo			Moderado
Tormentas (huracanes)		Moderado			Moderado			Moderado

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

En total, se presentan 26 riesgos prospectivos del sistema, de los cuales el 56 % corresponde a los niveles alto y moderado; mientras, el 44 % restante corresponde a los niveles bajo y muy bajo. En otras palabras, las amenazas debidas al cambio climático que impactan considerablemente y de manera directa al sistema en cada uno de los componentes se constituyen en riesgos potenciales del subsector de hidrocarburos (gráfico 2-9). No se obtuvieron niveles de riesgo de valoración muy alta para el sistema.

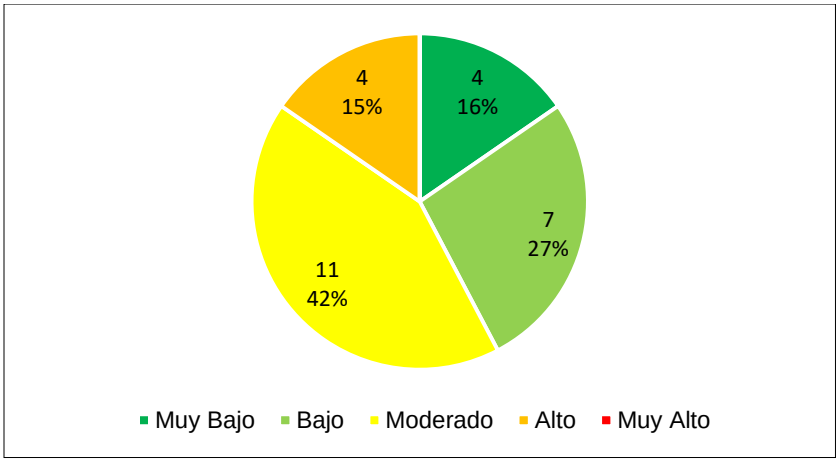
Gráfico 2-9 Número de riesgos prospectivos del sistema del subsector de hidrocarburos por componenente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Del porcentaje de niveles importantes de atención de riesgos prospectivos (56 %), se puede concluir que el riesgo de mayor impacto para las operaciones continentales del subsector de hidrocarburos es la remoción en masa, por su presencia en la mayoría de los componentes y por su nivel de afectación. Posteriormente, se encuentra, por su presencia e impacto, el riesgo por Desabastecimiento hídrico y, por último, el riesgo por incendios forestales. En las operaciones *offshore* y costeras del subsector de hidrocarburos los riesgos de alto impacto que se presenta son consecuencia de las tormentas y huracanes, y el aumento del nivel del mar que se valoran el mismo nivel, pero varian su presencia en los componentes del subsector (gráfico 2-10).

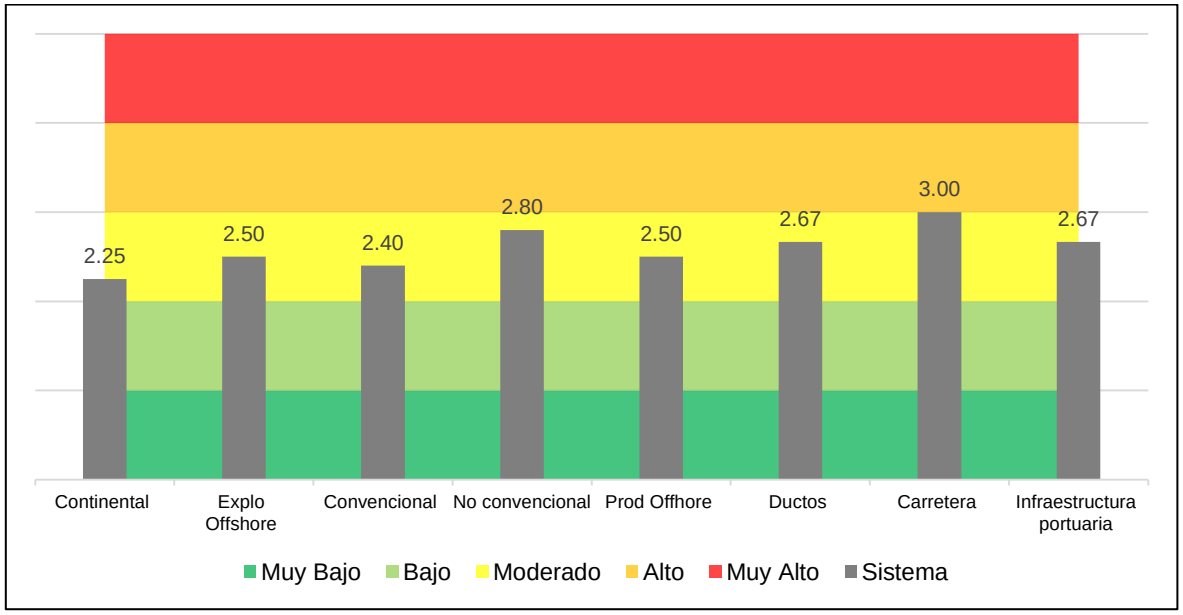
Gráfico 2-10 Distribución de riesgos prospectivos del sistema para el subsector



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

2.6.1.3.1 Análisis de los riesgos prospectivos en el sistema por componente o subcomponente

Gráfico 2-11 Grado de impacto de los riesgos prospectivas del sistema por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

- Exploración continental

Este componente presenta una vulnerabilidad moderada, con buenas herramientas sectoriales para adaptarse a los cambios generados por las amenazas del cambio

climático, pero con el grado de sensibilidad más alto como componente del sector, debido a que actualmente se configura como la operación con mayor dinamismo de la cadena de valor, lo que se traducen en la participación de muchas empresas en su desarrollo; además, porque la operación depende en gran medida del transporte de sus insumos, bienes y servicios a través de las vías terrestres del país. En este escenario se presentan dos riesgos de valoración moderada en este componente, la remoción en masa y los incendios forestales.

- Producción convencional y no convencional

Al igual que en el anterior aparte, se evidencia una vulnerabilidad moderada, con buenas herramientas sectoriales para adaptarse a los cambios generados por las amenazas del cambio climático, aunque con sensibilidad moderada como componente del sector, dado a que esta operación depende en gran medida de: el transporte de sus insumos, bienes y servicios a través de las vías terrestres del país, al área requerida para las operaciones de los campos de desarrollo (mayor que las áreas para la operación de exploración) y la duración de los contratos de las operadoras con el país (a mediano y largo plazo).

También, en este escenario se presenta un riesgo (incendios forestales) de valoración moderada en los componentes de producción convencional y producción no convencional y dos riesgos (desabastecimiento hídrico y remoción en masa) de valoración moderada para el componente de producción convencional, pero que aumentan de nivel, a una valoración alta, en el componente de producción no convencional. Por lo tanto, el subcomponente de producción no convencional aumenta el potencial de estos riesgos y se constituye en una de las operaciones con la mayor necesidad de priorización para adaptarse a los cambios que, por efectos del cambio climático, alterarán el normal desarrollo de los proyectos.

- Transporte

Este componente tiene una vulnerabilidad moderada, con buenas herramientas sectoriales para adaptarse a los cambios generados por las amenazas del cambio climático, pero una sensibilidad moderada como componente del subsector que se presenta por el grado de exposición de la infraestructura (superficial, puentes colgantes y enterramiento superficial), los fenómenos naturales y la distribución espacial por gran parte del territorio colombiano, así como de su dependencia del transporte de insumos para su operación en especial, y para algunas áreas del Nafta, a través de las vías terrestres del país.

Así, en este escenario se presenta el desabastecimiento hídrico con una valoración moderada en el componente de transporte por ductos, y la remoción en masa con una valoración alta para los componentes de transporte por ductos y transporte por carretera;

por lo tanto, que el mismo riesgo sea valorado alto en los dos subcomponentes coloca a las operaciones de transporte del subsector en un nivel alto de priorización para adaptarse a los cambios que, por efectos del cambio climático, alterarán el normal desarrollo de sus proyectos.

- Exploración y producción marino-costero

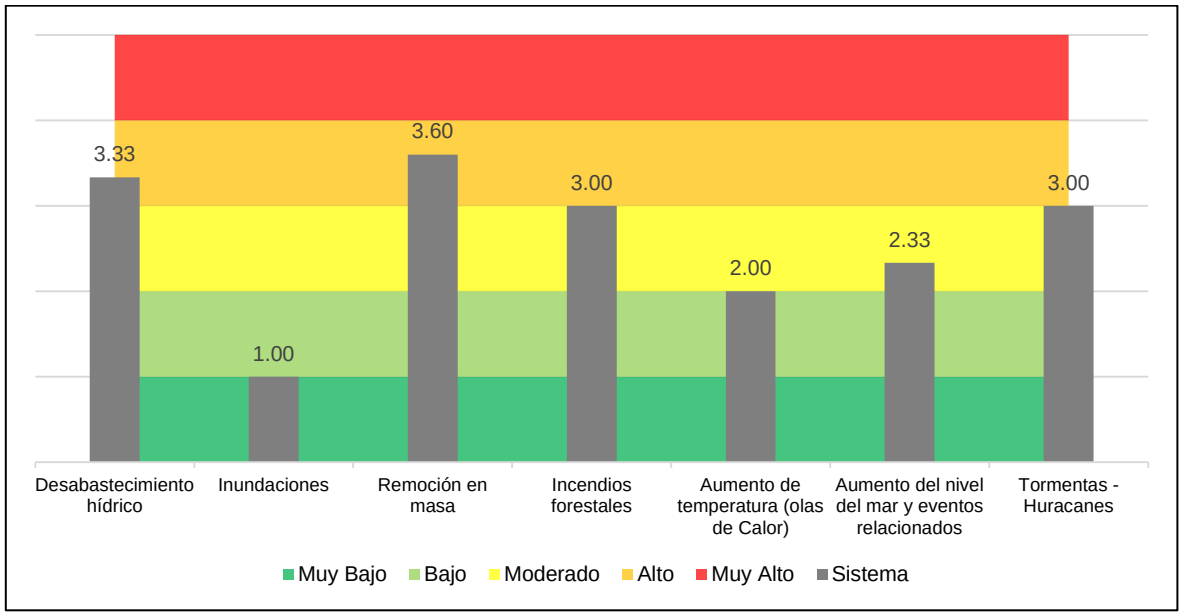
Estos componentes (con igual distribución espacial en el territorio colombiano, pero con diferente proyección en tiempo de sus operaciones) presentan una vulnerabilidad baja, con excelentes herramientas sectoriales para adaptarse a los cambios generados por las amenazas del cambio climático y con una dimensión de la operación apropiada para sus implementaciones, pero con un alto grado de potencialidad de la amenaza por tormentas y huracanes. En este escenario, el riesgo derivado de tormentas y huracanes se presenta en los dos componentes con valoración moderada, lo cual permite tener más tiempo para la priorización de su adaptación a los cambios que, por efectos del cambio climático, alterarán el normal desarrollo de sus proyectos con respecto a otros componentes del subsector.

- Infraestructura portuaria

Este componente presenta una vulnerabilidad baja con excelentes herramientas sectoriales para adaptarse a los cambios generados por las amenazas del cambio climático y una dimensión de la operación apropiada para sus implementaciones, pero con un alto grado de potencialidad de las amenazas por tormentas y huracanes, y el aumento del nivel del mar, debido a la ubicación geográfica de gran parte de su operación y la extensión en tiempo (largo plazo) de su operación. En este escenario, estos dos riesgos con valoración moderada permiten a este componente tener mayor tiempo para la priorización de su adaptación a los cambios que, por efectos del cambio climático, alterarán el normal desarrollo de sus proyectos con respecto a otros componentes del subsector.

2.6.1.3.2 Análisis de los riesgos prospectivos en el sistema por evento

Gráfico 2-12 Grado de impacto de los riesgos prospectivas del sistema por eventos



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

- Remoción en masa

Este riesgo se presenta mayor afectación en el subsector de hidrocarburos, debido a la distribución de su impacto en todas las etapas de las operaciones continentales que se desarrollan, y a su alta probabilidad de ocurrencia en gran parte del territorio nacional. La distribución geográfica de este riesgo condiciona el nivel del mismo, haciéndose más alto el riesgo donde mayor área del territorio se exponga a la amenaza; por tanto, los componentes de producción convencional y exploración continental tienen un riesgo moderado, y los componentes de producción no convencional, transporte por carretera y transporte por ductos, riesgos altos.

Los componentes donde estos riesgos son valorados como altos, tienen en común la duración a largo plazo de sus operaciones y el aumento de su exposición por diferentes factores. El componente de producción no convencional aumenta su valoración debido al requerimiento de mayores áreas para el desarrollo de sus campos; en el componente de transporte por carretera se debe a la amplia distribución de la red vial utilizada por el subsector para sus operaciones, y en el componente de transporte por ductos como consecuencia de la presencia de su infraestructura a través de gran parte del territorio nacional. En todos los componentes el impacto generado es la suspensión de las operaciones puesto que estas amenazas restringen el acceso a las áreas de operaciones de todos los bienes y servicios requeridos por la operación; además, se produce el daño

que afecta a la infraestructura asociada a cada operación. Para el componente de transporte por ductos, el riesgo es más potencial y directo, resultado, en primera medida, del daño en su infraestructura y por consiguiente la suspensión de su operación.

- Desabastecimiento hídrico

Este riesgo se presenta, junto con la remoción en masa, como de mayor afectación al subsector de hidrocarburos, debido a su alta probabilidad de ocurrencia en las áreas por donde transitan los ductos de transporte y de desarrollo de los componentes de producción que requieren como insumo de primer grado el agua para sus operaciones. El alto riesgo que presenta la producción no convencional aumenta su impacto por la gran diferencia de volumen de agua requerido para su operación, a diferencia de la producción convencional. La distribución geográfica de este riesgo condiciona el nivel del mismo, puesto que se hace más alto el riesgo cuando mayor área del territorio se exponga a la amenaza; por tanto, los componentes de transporte por ductos y producción convencional tienen un riesgo moderado, mientras, el componente de producción no convencional es un riesgo alto.

Los componentes de producción presentan un mayor impacto por este riesgo asociado a la disponibilidad del recurso agua; para el componente de transporte por ductos, el mayor riesgo lo genera las condiciones de desabastecimiento hídrico, las cuales alteran las condiciones del suelo, soporte en la gran mayoría del territorio y de la infraestructura.

- Incendios forestales

Este riesgo es moderado para el subsector de hidrocarburos, debido a la baja exposición de los componentes de exploración y producción continental a la amenaza por incendios forestales y a al menor impacto que se pueda presentar sobre la continuidad de las operaciones y daño a la infraestructura. En general, el riesgo aumenta del componente de exploración al de producción producto de las mayores áreas requeridas para el desarrollo de las operaciones.

- Inundaciones

Este riesgo presenta similares condiciones de ocurrencia que el riesgo de remoción en masa por su distribución a través de todos los componentes continentales, excepto en el componente de transporte por carretera. Este riesgo es el de menor valoración en el sistema, muy bajo en todos los componentes, debido a la reducción del grado de exposición de las áreas de operaciones a esta amenaza, y al menor impacto que sobre la continuidad de los proyectos y sobre el daño a la infraestructura este puede causar.

- Tormentas y huracanes

Este riesgo es de valoración moderada y se incrementa en los componentes marinos-costeros del subsector de hidrocarburos en la medida que aumenta el área de operaciones expuesta a la amenaza y a la larga duración de cada una de las operaciones. El impacto de este riesgo aumenta por la probabilidad de suspensión de las operaciones y por la magnitud de los daños que pueda sufrir la infraestructura. Para el componente de infraestructura portuaria esta posibilidad de daño aumenta, debido a la presencia de estructuras de transporte, almacenamiento y cargue no solo en tierra (costeras), sino también marinas (amarraderos flotantes) y líneas submarinas de cargue.

- Aumento del nivel del mar

Este riesgo es de valoración moderada para el subsector de hidrocarburos en el componente de infraestructura portuaria, debido a la duración de los procesos que origina la amenaza (mediano y largo plazo), conjuntamente con la duración de las operaciones (largo plazo) de este componente. El impacto de este riesgo aumenta producto del porcentaje (casi un 100 %) de distribución geográfica de la amenaza en las operaciones de infraestructura portuaria. Condición opuesta, se presenta nivel de riesgo bajo para los componentes de exploración y producción *offshore*, debido a que no se logró obtener información de la vulnerabilidad sistema-entorno de estas operaciones para este análisis; por lo tanto, el riesgo mantuvo el nivel de amenaza bajo de este evento para estas operaciones.

2.6.1.4 Análisis del riesgo prospectivo del entorno sobre el subsector

En total, se presentan 20 riesgos prospectivos sobre el sistema (no se incluyen los riesgos provenientes de las amenazas de aumento del nivel del mar, y tormentas y huracanes por la imposibilidad de obtener mediciones de vulnerabilidad para los correspondientes territorios) (tabla 2-32), de los cuales el 60 % corresponde a los niveles alto y moderado, 15 % corresponde al nivel bajo; mientras, un 25 % hace parte del nivel muy bajo de riesgo; es decir, que los eventos debidos al cambio climático que amenazan desde el entorno al sistema en cada uno de los componentes se constituyen en riesgos potenciales del subsector de hidrocarburos. No se obtuvieron niveles de riesgo de valoración muy alta desde el entorno para el sistema.

Tabla 2-32 Nivel de riesgo medio prospectivo desde el entorno para el subsector de hidrocarburos

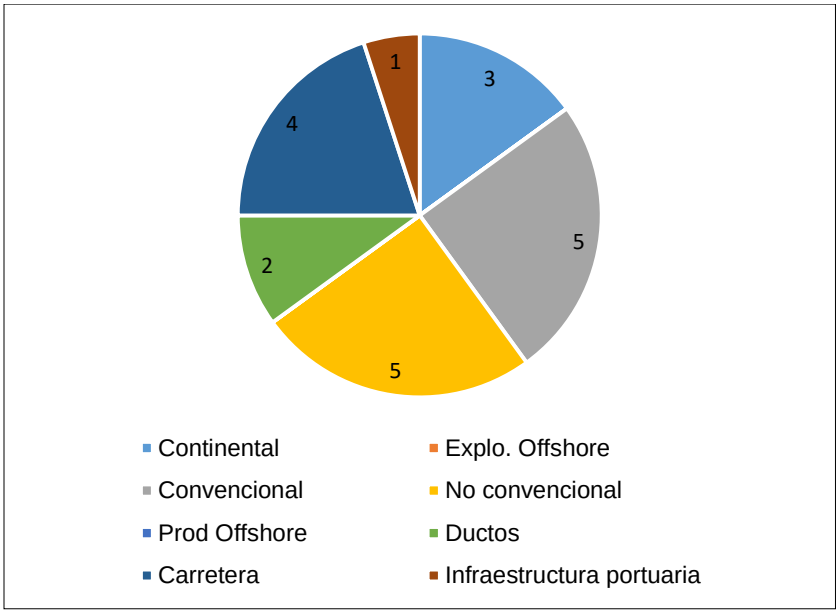
Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura portuaria
	Continental	*Offshore*	Convencional	No convencional	*Offshore*	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico			Alto	Alto			Alto	

Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura portuaria
	Continental	*Offshore*	Convencional	No convencional	*Offshore*	Ductos	Carretera	
Inundaciones	Muy bajo		Muy bajo	Muy bajo		Muy bajo	Muy bajo	
Remoción en masa	Moderado		Alto	Alto		Alto	Alto	
Incendios forestales	Moderado		Moderado	Alto			Moderado	
Aumento de temperatura (olas de calor)			Bajo	Bajo				Bajo
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados								
Tormentas (huracanes)								

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

El nivel de valoración alto y moderado para estos riesgos coincide con el impacto que estas amenazas causan directamente al sistema y, por tanto, con el grado de prioridad con el que los componentes del subsector se deben preparar para las alteraciones que sus proyectos puedan tener. Lo anterior ocurre debido a los efectos del cambio climático en sus operaciones y en la manera como el subsector se posiciona y desarrolla dentro de las comunidades a nivel regional y en el nivel de respuesta en el ámbito nacional.

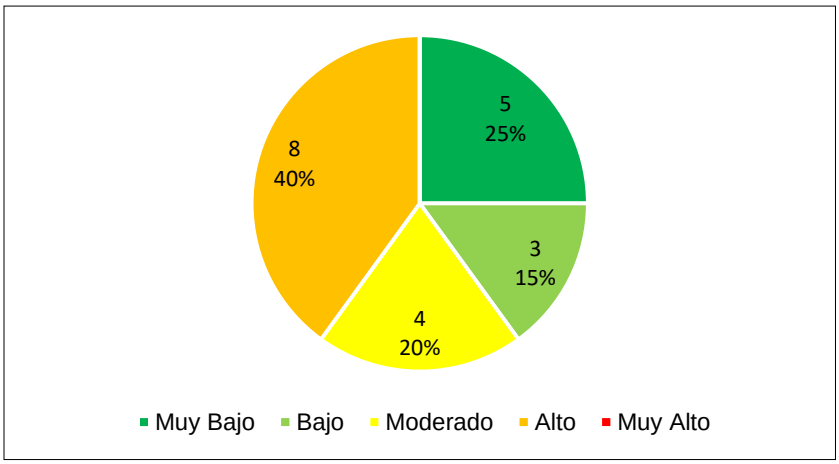
Gráfico 2-13 Número de riesgos prospectivas del entorno por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Del gráfico anterior se puede concluir que los componentes que presentan un mayor número de riesgos son producción convencional y no convencional (5 c/u), seguido por el componente de transporte por carretera (4) y exploración continental (3) y, finalmente, con menor número de amenazas están los componentes de transporte por ductos (2) e infraestructura portuaria (1).

Gráfico 2-14 Distribución de riesgos prospectivos desde el entorno para el subsector de hidrocarburos

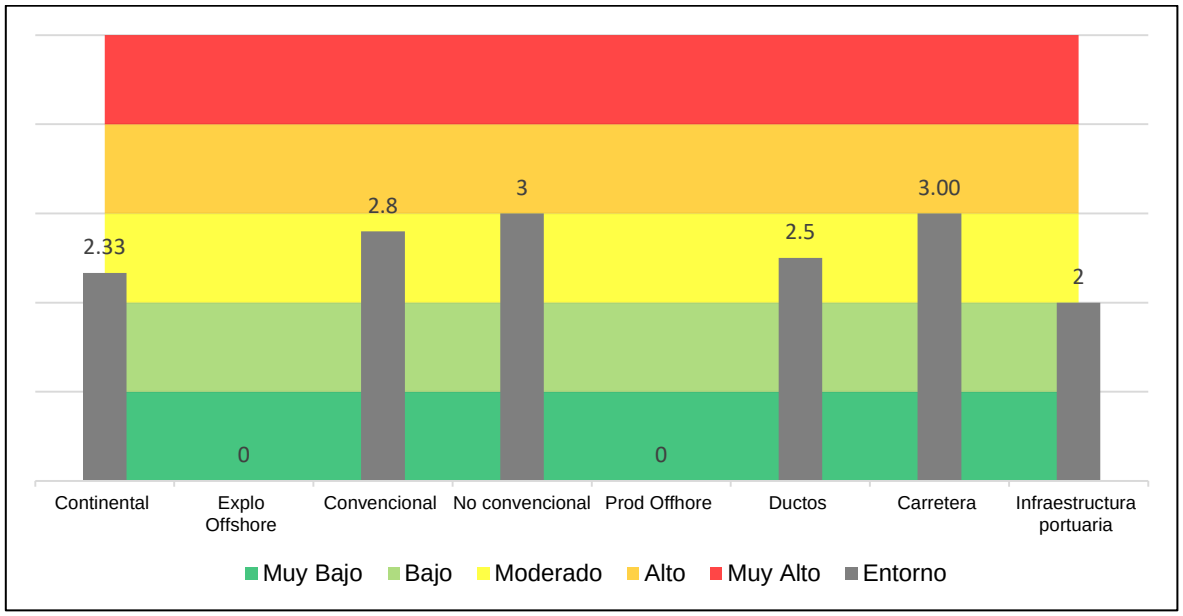


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Del porcentaje de niveles importantes de atención de riesgos prospectivos desde el entorno (60 %), se puede concluir que el riesgo de mayor impacto para las operaciones continentales del subsector de hidrocarburos es consecuencia de la remoción en masa, por su presencia en la mayoría de los componentes y por su nivel de impacto (alto). Posteriormente, se encuentra, por su importancia, presencia e impacto alto, el riesgo por Desabastecimiento hídrico y, por último, el riesgo por incendios forestales con mayor presencia en los componentes que el riesgo de Desabastecimiento hídrico, pero con un nivel menor de impacto (moderado).

2.6.1.4.1 Análisis de los riesgos prospectivos en el entorno por componente o subcomponente

Gráfico 2-15 Grado de impacto de los riesgos prospectivas del entorno por componente o subcomponente

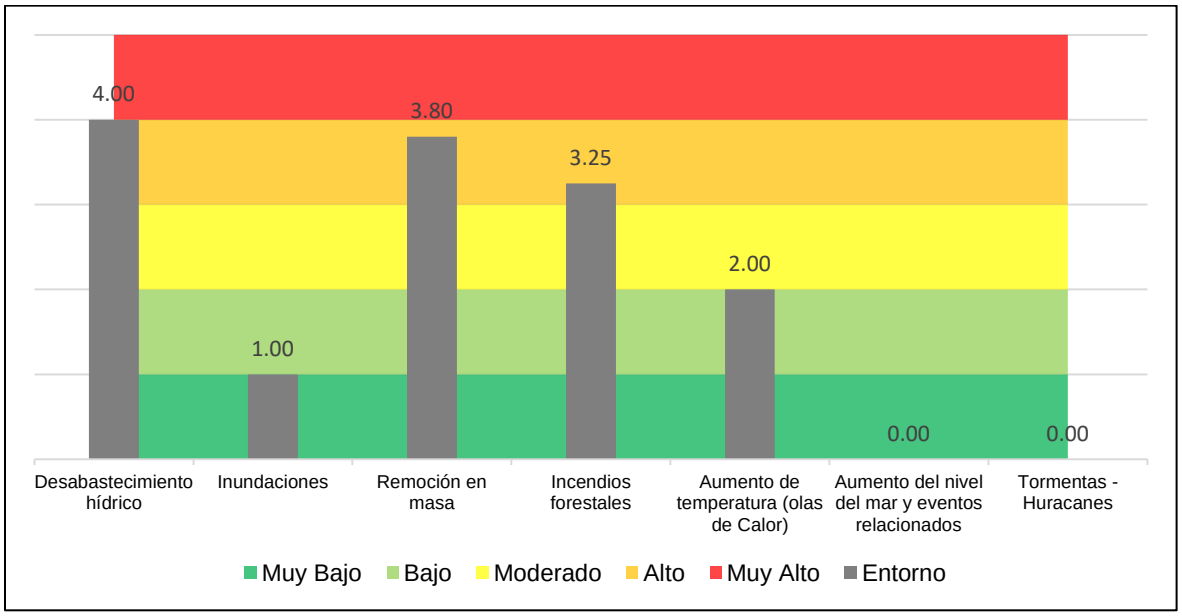


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

Los riesgos evidenciados desde el entorno que amenazan el subsector y que son valorados como altos y moderados corresponden a las mismas amenazas directas al sistema en los componentes continentales, las cuales pueden amplificar o intensificar la conflictividad en el territorio. Dicha conflictividad es causada por el aumento de las poblaciones, la migración, la urbanización o el desarrollo costero y en un grado de mayor importancia, debida a la competencia por los recursos de agua y suelo de las regiones, y la industria. Lo anterior genera un mayor impacto en la viabilidad de los proyectos de la industria por el aumento de las regulaciones y el mayor compromiso reputacional de las empresas y del subsector.

2.6.1.4.2 Análisis de los riesgos prospectivos en el entorno por evento

Gráfico 2-16 Grado de impacto de los riesgos prospectivas del entorno por evento



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

El riesgo que enfrenta el sector de hidrocarburos ante los efectos del cambio climático, se concentra en tres amenazas claves para la continuidad y eficiencia de sus operaciones y para el control financiero de sus proyectos en el país; estas son en orden de importancia, la remoción en masa, el desabastecimiento hídrico y las tormentas y huracanes. Estos riesgos con valoración de moderada a alta, amenazan los aspectos operativos de los proyectos, especialmente por la posibilidad de suspender o retrasar las actividades (exploración, producción, transporte y el cargue y despacho de los hidrocarburos) de la cadena de valor del sector; y en menor proporción causan daños estructurales, generando en ambos casos sobrecostos importantes a mediano y largo plazo. Los demás riesgos de importancia para el sector son tres, todos de valoración moderada para el sector, dos en las operaciones continentales (exploración, producción y transporte por ductos); por amenaza de inundaciones y por incendios forestales, y uno en la operación marino-costera (infraestructura portuaria): por amenaza del aumento del nivel del mar. Estos impactan en menor grado la continuidad de la operación y los daños estructurales, que en ambos casos aumentan los sobrecostos de las operaciones; por lo cual, requieren un monitoreo y seguimiento permanente de su desarrollo en el sector de hidrocarburos.

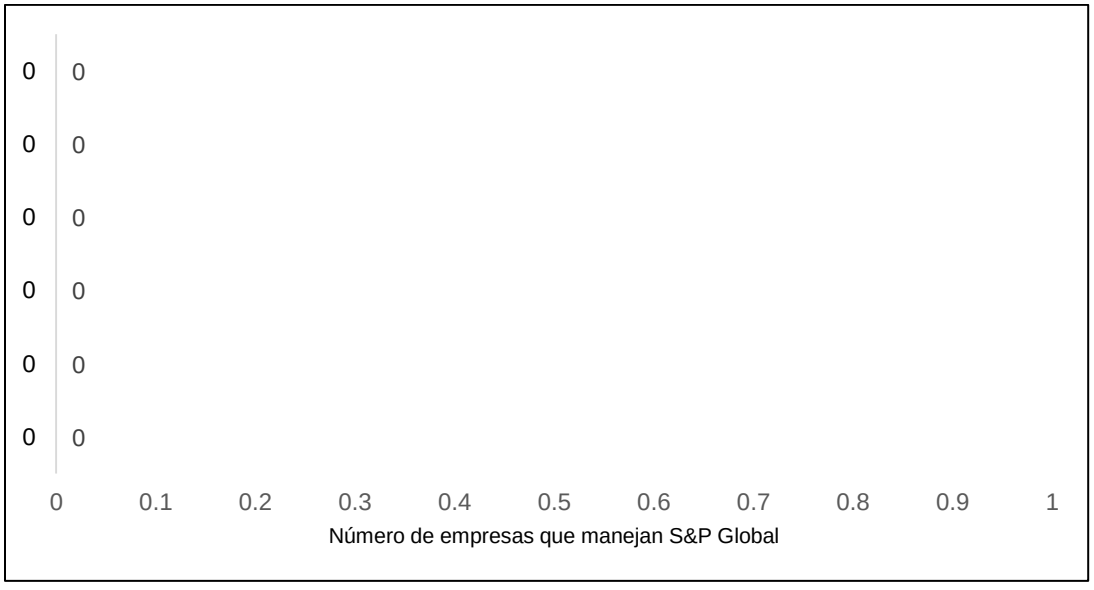
2.6.1.5 Escenario de riesgo

El riesgo que enfrenta el subsector de hidrocarburos ante los efectos del cambio climático se concentra en tres amenazas claves para la continuidad y eficiencia de sus operaciones

y para el control financiero de sus proyectos en el país; estas son, en orden de importancia, la remoción en masa, el desabastecimiento hídrico, y las tormentas y huracanes. Estos riesgos de valoración moderada a alta amenazan los aspectos operativos de los proyectos, por la posibilidad de suspender o retrasar las actividades (exploración, producción, transporte y el cargue y despacho de los hidrocarburos) de la cadena de valor del subsector, y, en menor proporción, causan daños estructurales que producen en ambos casos sobrecostos importantes a mediano y largo plazo.

Los resultados del presente análisis son consistentes con las proyecciones internacionales que sobre la adaptación a los riesgos, resultado del cambio climático, se han elaborado por parte de los analistas económicos que consideran el cambio climático más allá de una amenaza netamente ambiental. Según un informe del Centro de soluciones climáticas y energéticas, un grupo de expertos en medio ambiente, 57 de las 100 empresas que maneja la global *Standard & Poor's*, han identificado los impactos directos del cambio climático en la capacidad de producción como daños a la propiedad o interrupciones en el suministro, e impactos en los costos operativos como mayores precios de productos básicos o costos de mantenimiento, como se observa en el gráfico 2-17. Los ejemplos incluyen preocupaciones sobre la disponibilidad de agua para procesos o los posibles impactos en los insumos críticos y las cadenas de suministro[20].

Gráfico 2-17 Top 5 de los impactos actuales o esperados debidos al cambio climático



Fuente: C2ES[21] Adaptado por U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

[20] Center for Climate and Energy Solutions. C2ES. Weathering the storm: Building Business Resilience to Climate Change. 2013. Pág. 11.
[21] C2ES. Investigación basada en Proyecto de divulgación de carbono y otras fuentes de información

Cada uno de los riesgos detectados sobre el sistema del subsector de hidrocarburos tiene implicaciones sobre la cadena de valor de la industria. Para el caso del riesgo por remoción en masa es importante destacar el porcentaje de territorio nacional que está expuesto a esta amenaza y sobre el cual se ejecutan o planean ejecutar las actividades de exploración (49,3 % en la operación continental) y producción (32,3 % - 89,6 % en la producción continental), las cuales, a su vez, condicionan la planeación de la operación del transporte (afectada en un 95 %) y la distribución de los hidrocarburos.

El riesgo por amenaza por desabastecimiento hídrico también tiene un alto porcentaje de exposición del territorio: para producción continental, un 45 % a 92 %, y un 11 % para transporte por ductos. El riesgo por la amenaza de tormentas y huracanes afecta a las operaciones *offshore* (exploración y producción) y al componente marino-costero del subsector (infraestructura portuaria), que alcanza una alta distribución en las áreas de operaciones: para exploración, un 53 %; para producción, un 83 %, y para infraestructura portuaria, un 98 %. Por lo anterior, estos riesgos de alto impacto para el secto, son la prioridad en la búsqueda, planeación y ejecución de las medidas de adaptación al cambio climático, que las instituciones y la industria de petróleo y gas del país deben enfrentar para proteger y fortalecer dicha estructura socioeconómica.

Los demás riesgos de importancia para el subsector son los de valoración modera, uno en las operaciones continentales (exploración, producción y transporte por ductos) por amenaza de incendios forestales y, uno en la operación marino-costera (infraestructura portuaria) por amenaza del aumento del nivel del mar. Estos impactan en menor grado la continuidad de la operación y los daños estructurales que, en ambos casos, aumentan los sobrecostos de las operaciones, por lo cual, las intervenciones necesarias para su manejo pueden incluir mejoras en la información disponible y un continuo seguimiento a sus valoraciones.

En general, los cinco riesgos expuestos anteriormente como amenazas importantes y directas sobre la continuidad y solidez del subsector de hidrocarburos en Colombia pueden ser tratados como riesgos aceptables, en la medida en que el subsector asume o tolera la imposibilidad de la reducción de la amenaza dado el contexto existente.

> Riesgo aceptable: posibles consecuencias sociales y económicas que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera en forma consciente por considerar innecesaria, inoportuna o imposible una intervención para su reducción dado el contexto económico, social, político, cultural y técnico existente. La noción es de pertinencia formal y técnica e condiciones donde la información existe y cierta racionalización en el proceso de toma de decisiones puede ejercerse, y sirve para

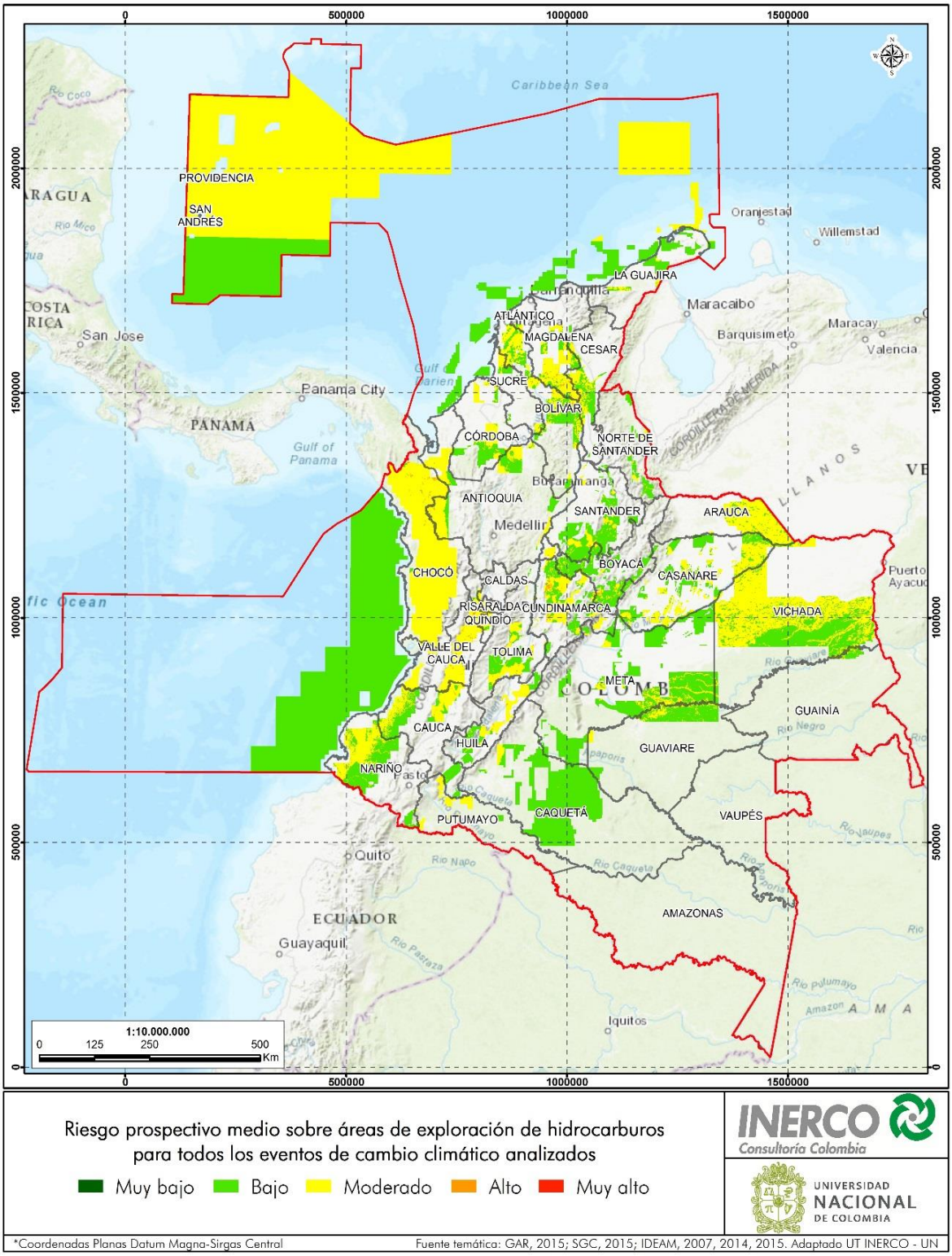
> determinar las mínimas exigencias o requisitos de seguridad, con fines de protección y planificación, ante posibles fenómenos peligrosos (Lavel, 2007)[22].

Por lo tanto, la gestión del riesgo debe dar prioridad a la continua evaluación de los planes de adaptación que incluyan mejoras en el conocimiento de las amenazas y sus impactos y la sensibilización y capacitación de cada uno de los actores en el escenario de cambio climático en el país.

A continuación, se presentan los mapas de riesgos por componente:

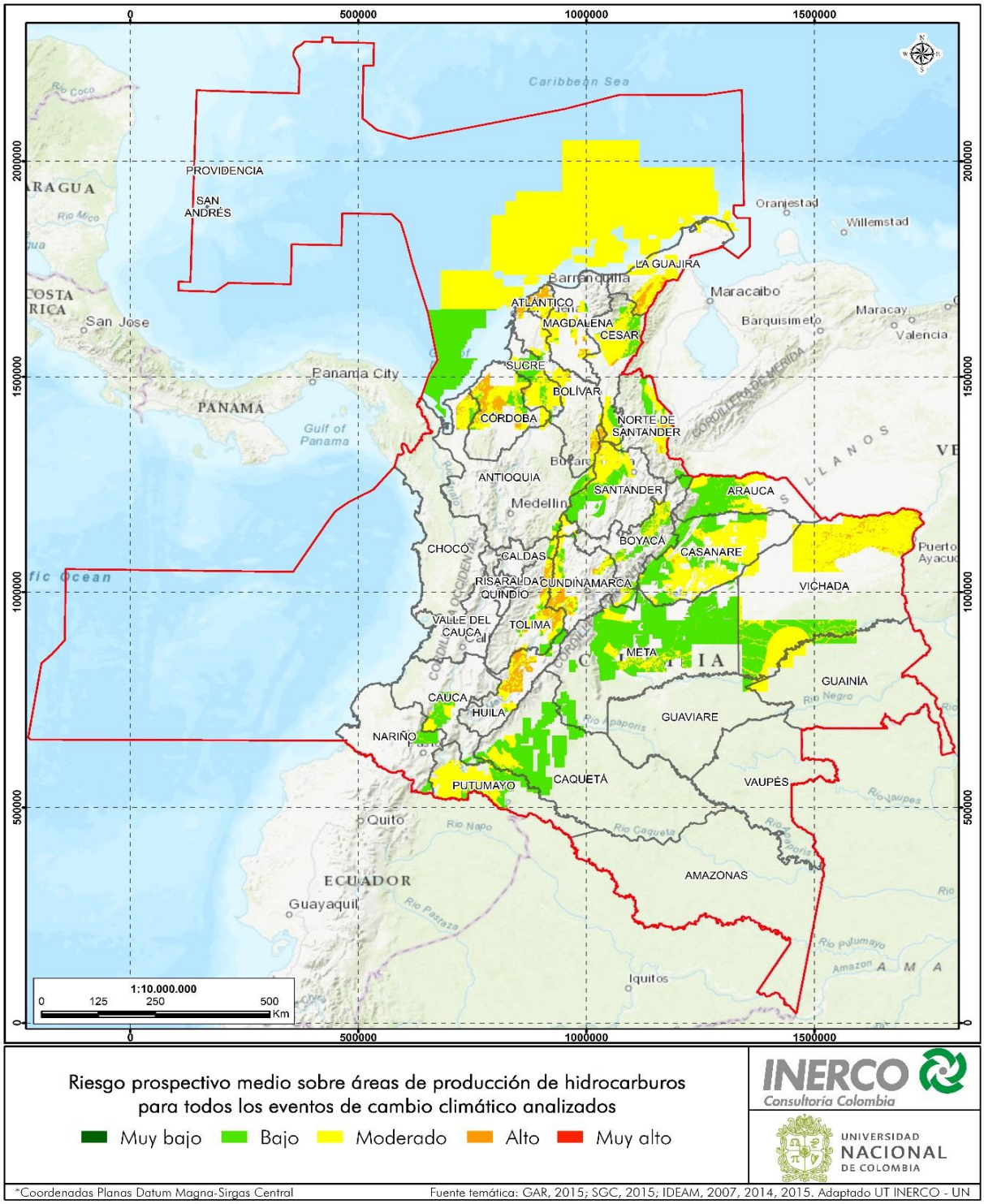
[22] UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES. Terminología sobre gestión del riesgo de desastres y fenómenos amenazantes. Comité Nacional para el conocimiento del riesgo SNGRD. Bogotá, 2017. Página 30

Figura 2-21 Riesgo prospectivo medio para el componente de exploración



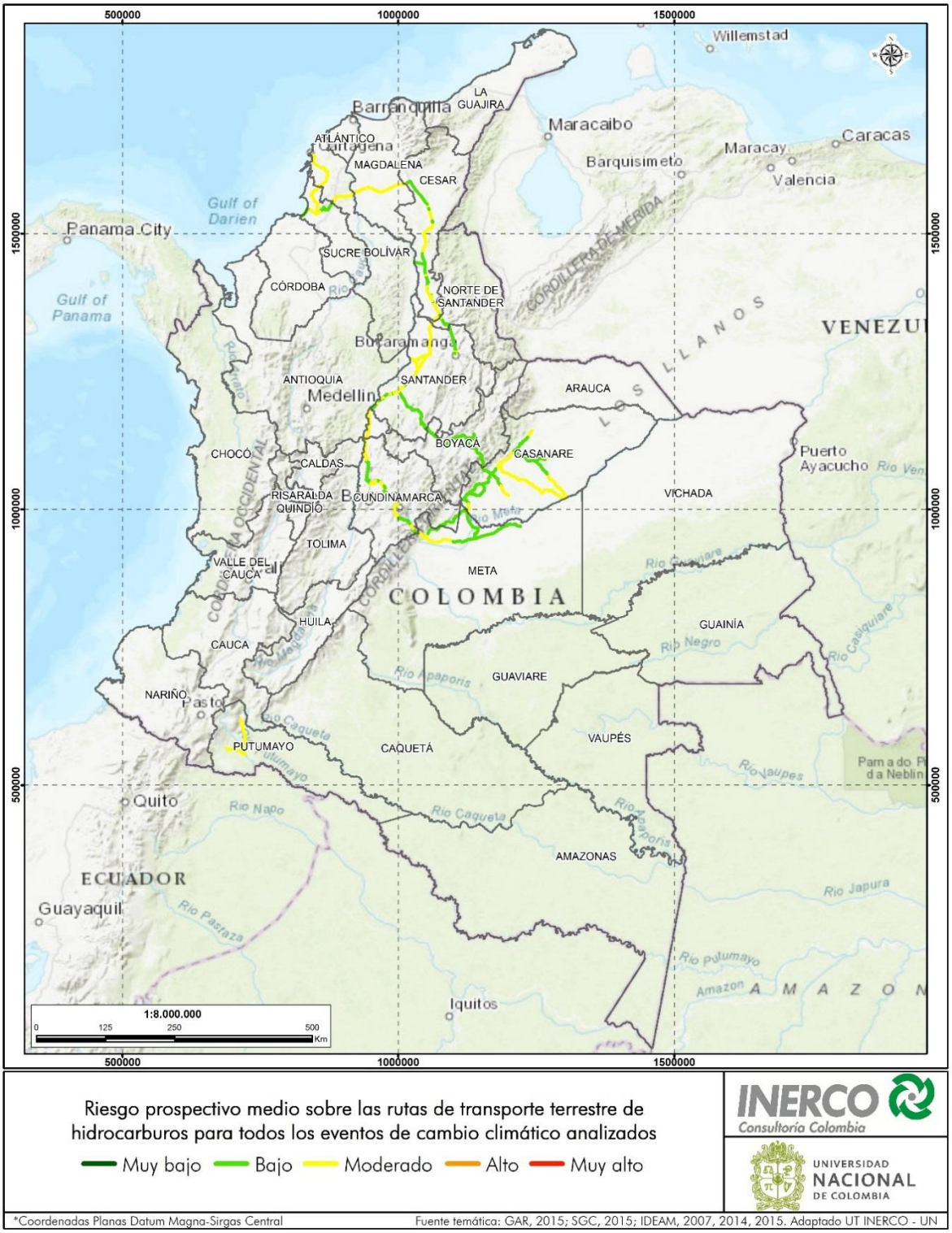
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 2-22 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 2-23 Riesgo prospectivo medio para el componente de transporte terrestre



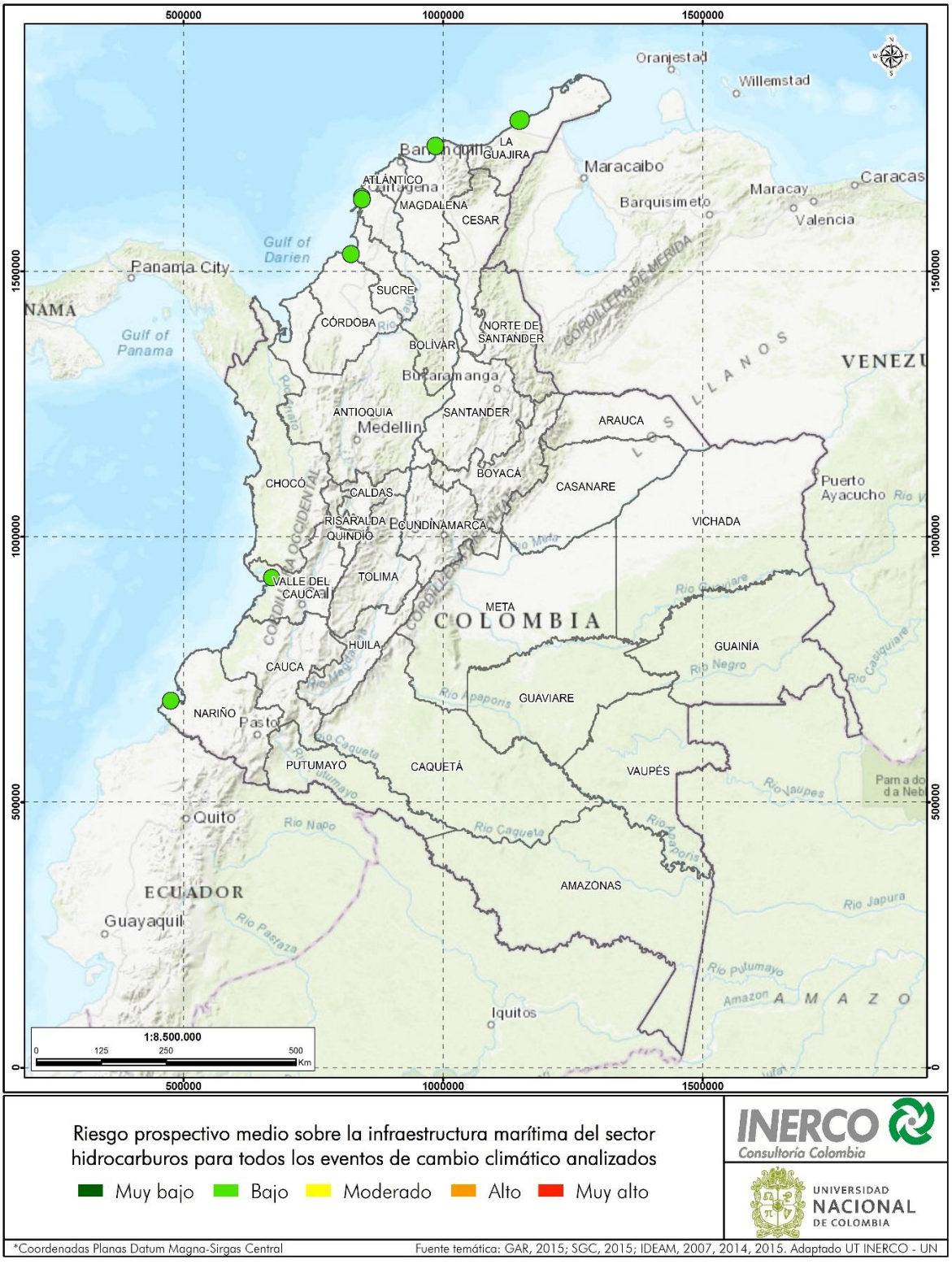
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 2-24 Riesgo prospectivo medio para el componente de transporte por ductos



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 2-25 Riesgo prospectivo medio para el componente de infraestructura marítima



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

2.6.2 Variabilidad Climática

2.6.2.1 Fenómeno de La Niña

2.6.2.1.1 Análisis del nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector

Aplicando el mismo tipo de procesamiento de datos para el escenario de cambio climático, se obtuvo el respectivo análisis de valoración de riesgos por variabilidad climática debida al fenómeno de La Niña para el sector de hidrocarburos, evaluando la susceptibilidad virtual del sistema a este fenómeno, y la intensidad del posible daño de cada una de las amenazas detectadas, para el sistema, estableciendo la valoración de la amenaza prospectiva para el sistema.

A diferencia de la evaluación de los efectos por cambio climático en el sector de hidrocarburos, no se valoran los eventos de: aumento del nivel del mar, y tormentas y huracanes, por la diferencia en la naturaleza de estos eventos climáticos; por lo tanto, en variabilidad climática no se valoran los componentes de exploración y producción *offshore*.

Tabla 2-33 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

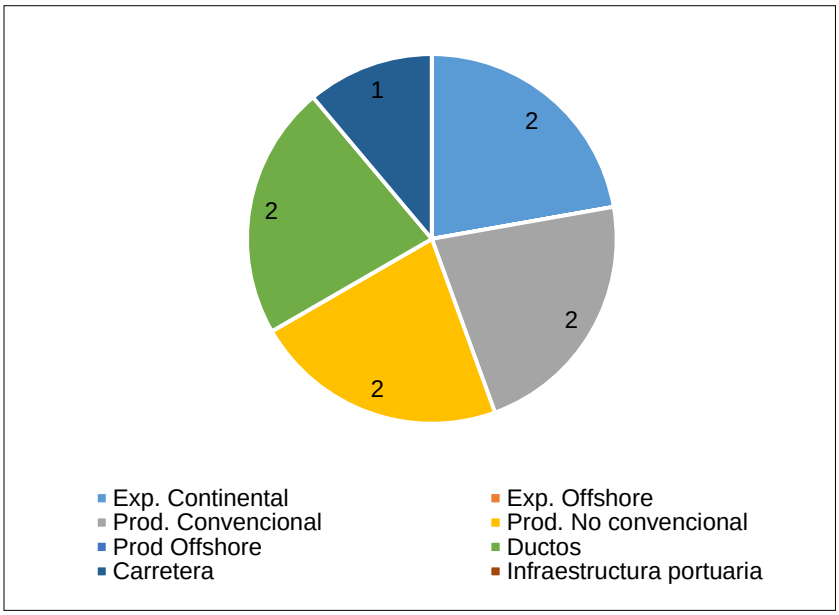
Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura Portuaria
	Continental	Offshore	Convencional	No convencional	Offshore	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico								
Inundaciones	Muy Bajo		Muy Bajo	Muy Bajo		Muy Bajo		
Remoción en masa	Alto		Alto	Muy Alto		Muy Alto	Muy Alto	
Incendios forestales								
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)								
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados								
Tormentas (Huracanes)								

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan nueve amenazas prospectivas del sistema sobre el subsector de hidrocarburos las cuales se distribuyen de a dos en los subcomponentes: exploración continental, producción convencional, producción no convencional y transporte por ductos;

y una amenaza para el transporte por carretera, que se pueden evidenciar en el siguiente gráfico.

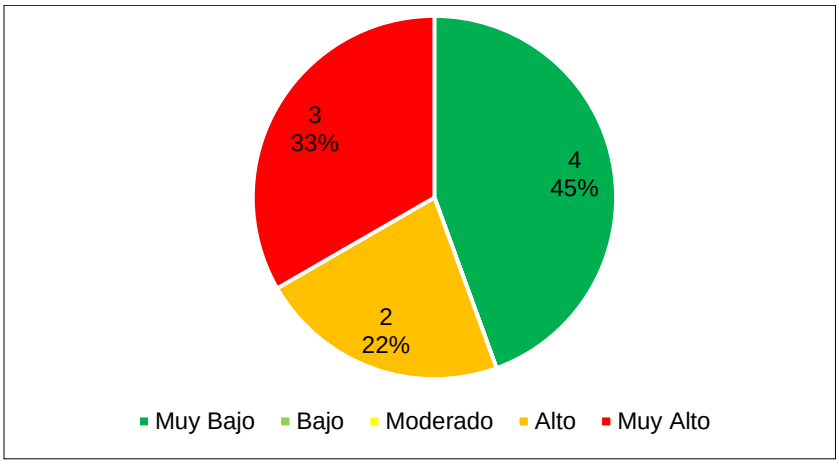
Gráfico 2-18 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 2-19 se puede evidenciar la distribución de los niveles de amenazas que se presentan en el sistema. El 33 % de las amenazas presentes corresponden a un nivel muy alto, el 22 % son altas y el 45 % restante presenta un nivel muy bajo. En general, para todo el sector se debe dar mayor importancia a los niveles muy alto y alto de amenazas prospectivas que corresponden al 55 % de todas las amenazas sobre el sistema; es decir, que los eventos debidos al fenómeno de La Niña, amenazan considerablemente y de manera directa al sistema en cada uno de los componentes del sector de hidrocarburos.

Gráfico 2-19 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

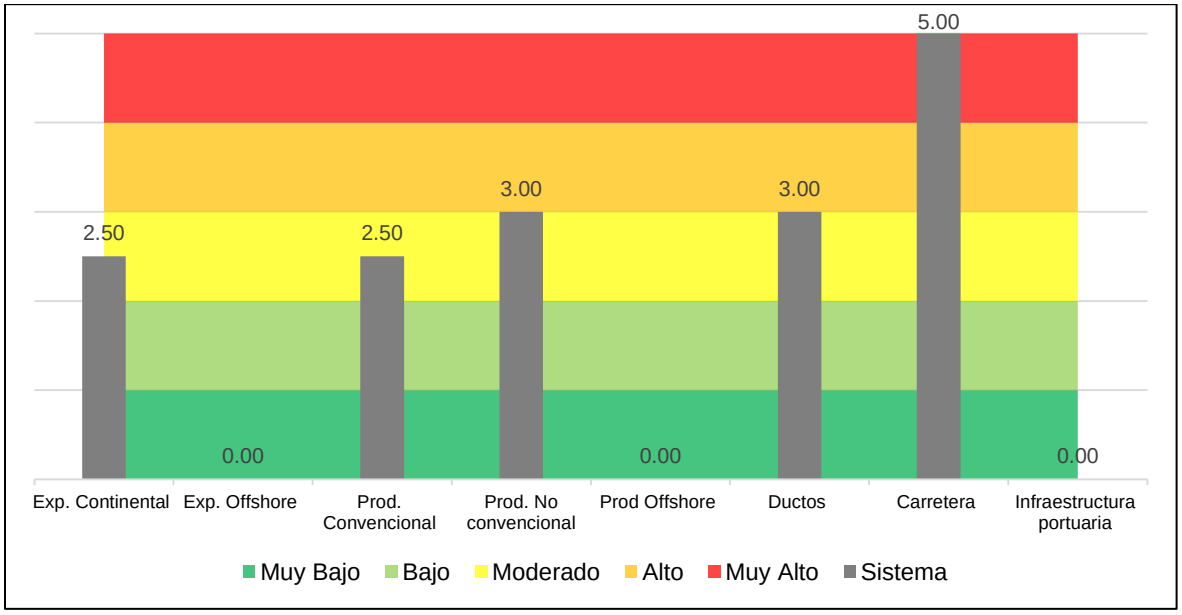


Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por componentes o subcomponentes

A continuación en el gráfico 2-20 se presenta la clasificación del nivel de amenaza para cada uno de los componentes.

Gráfico 2-20 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Transporte por ductos y carretera

El grado de impacto moderado y muy alto que tiene el componente de transporte, para el transporte de hidrocarburos por ductos y para el transporte del crudo, sus derivados y los insumos de la industria por carretera, se debe a la valoración de la amenaza muy alta por el evento de remoción en masa y muy baja para inundaciones, que se presenta en áreas por donde se establece la red de ductos de la industria y la red nacional que cubre las necesidades del sector.

- Producción convencional y no convencional

El componente de producción convencional al igual que la producción no convencional tiene un grado de impacto moderado que se ve influenciado por el nivel de amenaza alta y muy alta, respectivamente, en el evento de remoción en masa y muy bajo en inundaciones para los dos subcomponentes.

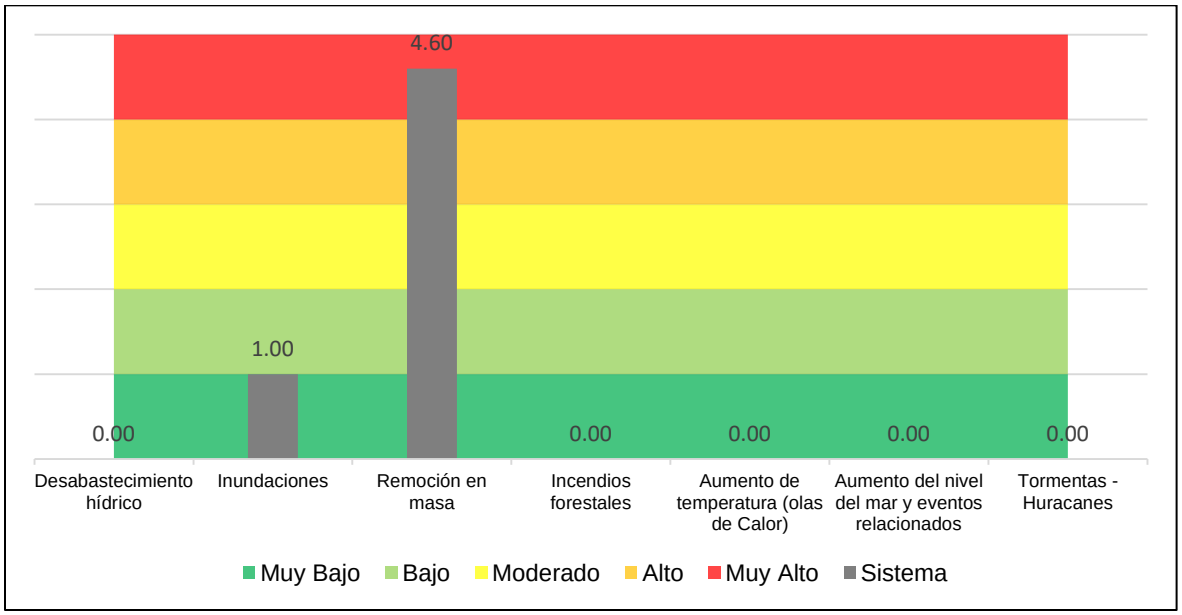
- Exploración continental

El subcomponente de exploración continental presenta un grado de impacto moderado, ya que las amenazas que tienen un nivel alto y muy bajo que corresponden a los eventos de remoción en masa e inundaciones respectivamente.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por eventos

A continuación en el gráfico 2-21 se presenta la clasificación del nivel de amenaza del sistema por evento climático.

Gráfico 2-21 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Remoción en masa

La amenaza de mayor importancia para el sistema es la remoción en masa, por su grado de impacto muy alto y por la presencia de niveles de amenazas altas para la exploración continental y la producción convencional, y muy alto en la producción no convencional.

Un importante factor para la valoración de estas amenazas sobre cada uno de los componentes del sistema, es la escala de los mapas de amenaza utilizados para el análisis, son a escala nacional, por lo que cualquier estudio adicional sobre un área específica requiere de estudios más detallados.

2.6.2.1.2 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del entorno sobre el subsector

De acuerdo a la metodología presentada en el anexo metodológico, se posiciona la intensidad del posible daño de cada una de las amenazas detectadas, desde el entorno, y de esta manera se establece el panorama para la valoración de la amenaza prospectiva desde el entorno al sistema del sector de hidrocarburos en el escenario de variabilidad climática fenómeno de La Niña.

Tabla 2-34 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

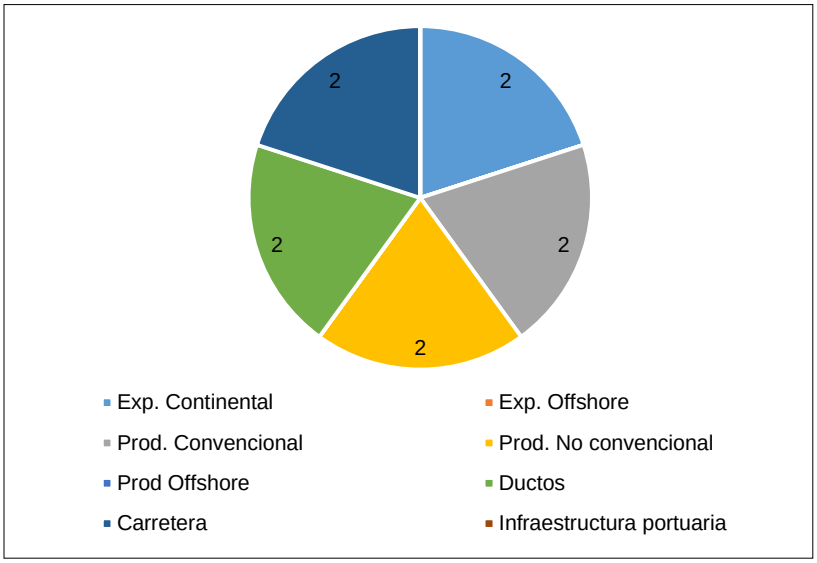
Evento	Áreas

	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura Portuaria
	Continental	Offshore	Convencional	No convencional	Offshore	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico								
Inundaciones	Muy Bajo		Bajo	Muy Bajo		Muy Bajo	Muy Bajo	
Remoción en masa	Muy Alto		Muy Alto	Muy Alto		Muy Alto	Muy Alto	
Incendios forestales								
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)								
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados								
Tormentas (Huracanes)								

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan 10 amenazas prospectivas del sistema sobre el subsector de hidrocarburos las cuales se distribuyen de a dos en los subcomponentes: exploración continental, producción convencional, producción no convencional, transporte por ductos y transporte por carretera, como se evidencian en el siguiente gráfico.

Gráfico 2-22 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña

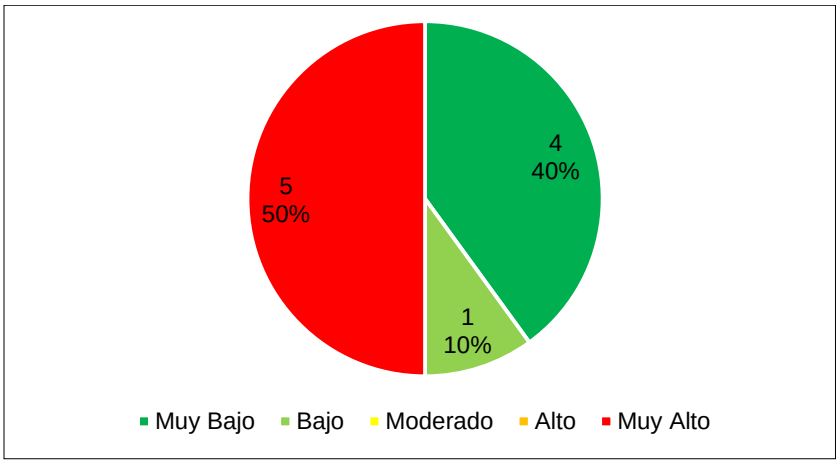


Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 2-23 se puede evidenciar la distribución de los niveles de amenazas que se presentan en el entorno del subsector hidrocarburos para el fenómeno de La Niña. El 50 % de las amenazas corresponden a niveles muy altos, seguido de los niveles muy bajos

correspondientes al 40 % y finalmente en menos proporción el nivel bajo con el 10 %. En general, los eventos debidos a la variabilidad climática - Fenómeno de La Niña amenazan considerablemente y de manera directa desde el entorno al sistema en cada uno de los componentes del sector de hidrocarburos.

Gráfico 2-23 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

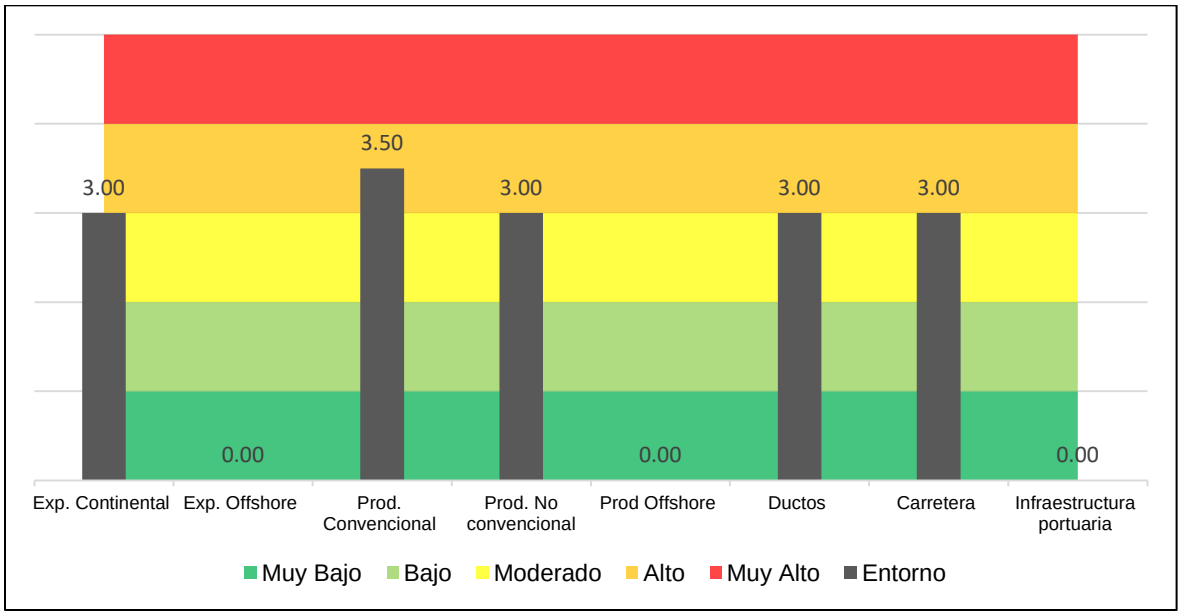


Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por componentes o subcomponentes

A continuación en el gráfico 2-24 se presenta la clasificación del nivel de riesgo del entorno por componente o subcomponente.

Gráfico 2-24 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Exploración continental

El subcomponente de exploración continental presenta dos amenazas del entorno correspondientes a los eventos de inundaciones con un nivel muy bajo, y remoción en masa con nivel muy alto, por lo cual indica que el grado de impacto para este subcomponente es moderado.

- Producción convencional y no convencional

El grado de impacto alto del entorno por el subcomponente de producción convencional se presenta por los niveles de amenaza en remoción en masa (alto) e inundaciones (bajo), diferente al grado que presenta el subcomponente producción no convencional, para este caso es moderado por tener un nivel muy bajo en el evento inundaciones.

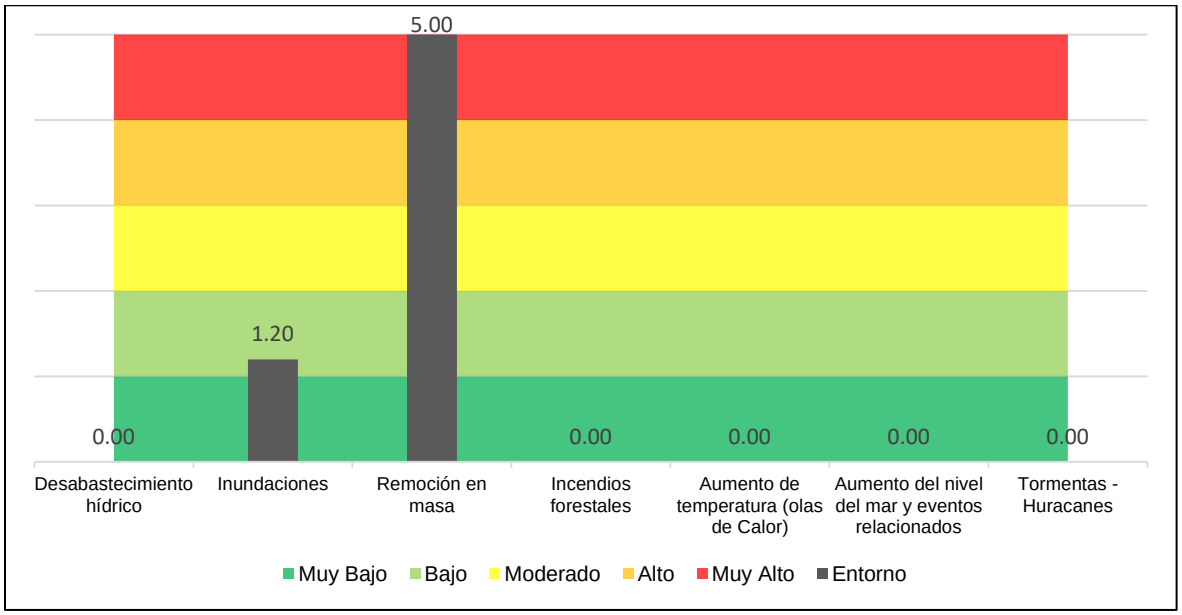
- Transporte por carretera y ductos

Para el componente de transporte (ductos y carretera) se presenta la misma cantidad y niveles de amenaza del entorno sobre el subsector, generando un grado de impacto moderado por la presencia alta en los niveles de remoción en masa y baja en inundaciones.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por eventos

A continuación en el gráfico 2-25 se presenta la clasificación del nivel de riesgo del entorno por evento climático.

Gráfico 2-25 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Remoción en masa

El evento que genera mayor impacto en el entorno es la remoción en masa, ya que presenta un grado de impacto muy alto, debido a que se presenta en los cinco subsectores evaluados con un nivel de amenaza muy alto.

- Inundaciones

Con menor impacto se presentan las inundaciones, con un grado de impacto bajo por los niveles de amenaza muy bajos en los componentes evaluados a excepción de la producción convencional el cual presenta un nivel bajo.

2.6.2.1.3 Análisis del riesgo prospectivo del sistema sobre el subsector

La valoración de los riesgos prospectivos del sistema es el resultado de la aplicación de la metodología (ver Anexo 1), la cual posiciona el nivel de las amenazas prospectivas en un panorama de vulnerabilidad prospectiva, dando como resultado el nivel atención que

requieren las amenazas por efecto de la variabilidad climática fenómeno de La Niña en el sector de hidrocarburos.

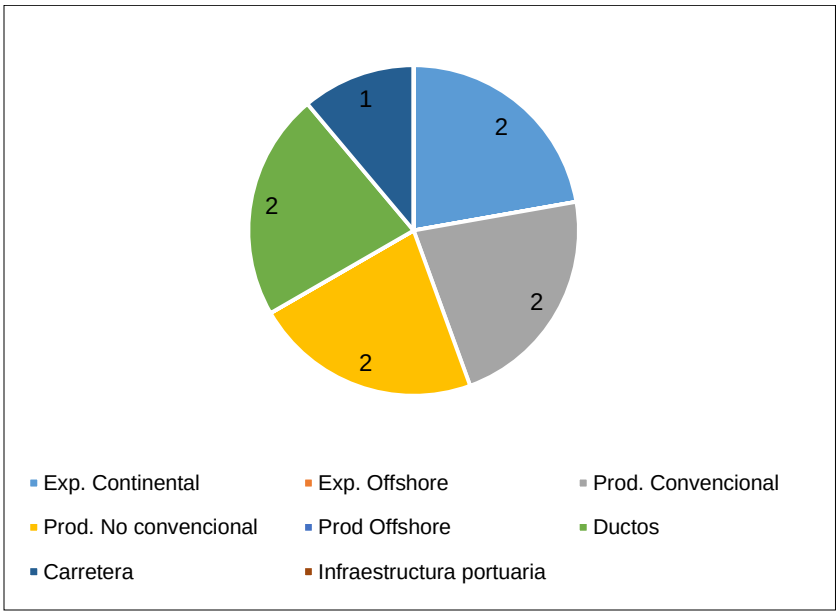
Tabla 2-35 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura Portuaria
	Continental	Offshore	Convencional	No convencional	Offshore	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico								
Inundaciones	Muy Bajo		Muy Bajo	Muy Bajo		Muy Bajo		
Remoción en masa	Moderado		Moderado	Alto		Alto	Alto	
Incendios forestales								
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)								
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados								
Tormentas (Huracanes)								

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Los riesgos que impactan al sector afectan en igual proporción a los subcomponentes de exploración continental, producción convencional, producción no convencional y transporte por ductos, con dos riesgos cada uno; y en menor proporción al transporte por carretera con solo un riesgo alto, como se evidencia en el siguiente gráfico.

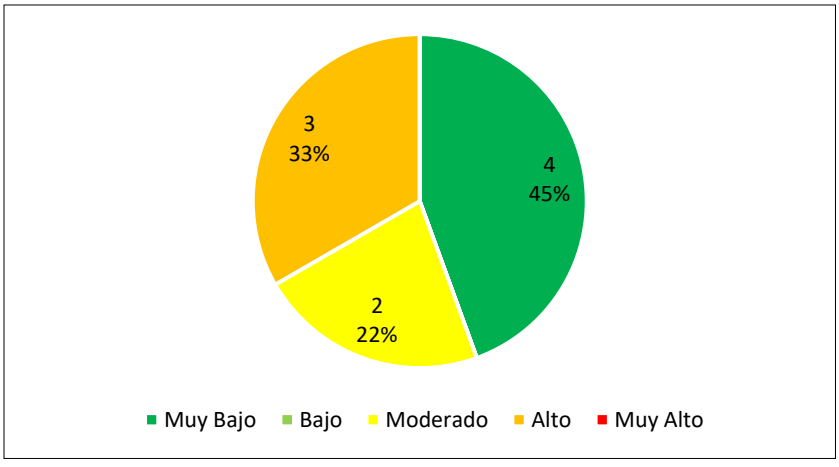
Gráfico 2-26 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan nueve riesgos prospectivos sobre el sistema, de los cuales el 33 % corresponde a los niveles alto, el 22 % a niveles moderados, mientras que el 45 % restante, corresponde al nivel muy bajo; es decir, que las amenazas debidas a la variabilidad climática fenómeno de La Niña que impactan considerablemente y de manera directa al sistema en cada uno de los componentes, se constituyen en riesgos potenciales del sector de hidrocarburos.

Gráfico 2-27 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña



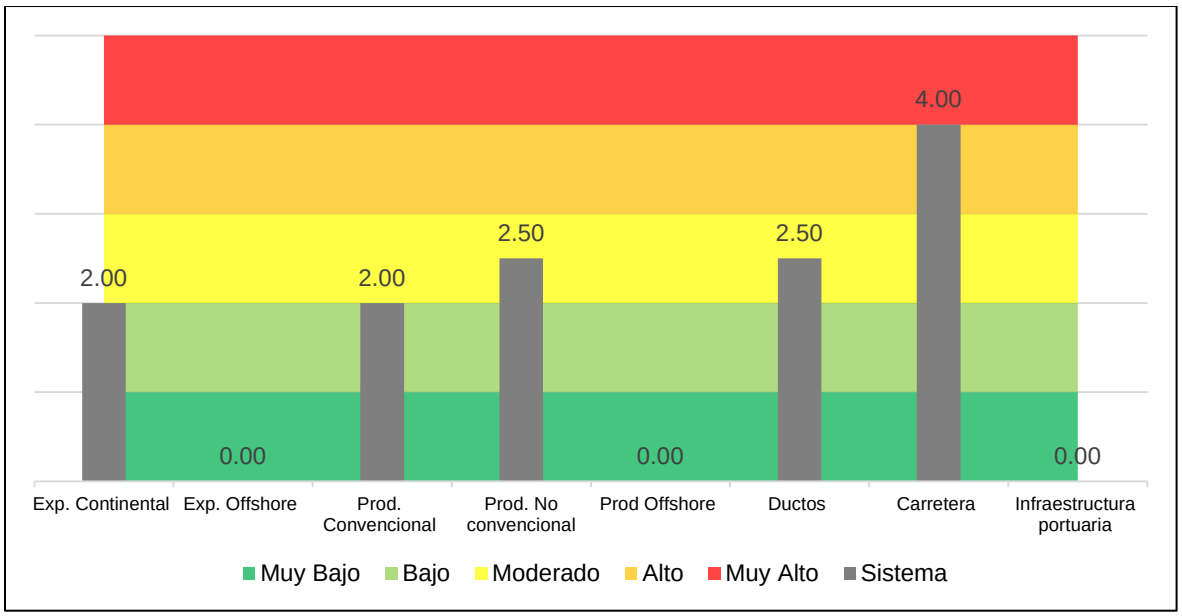
Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Del porcentaje de niveles importantes de atención de riesgos prospectivos (55 %), se puede concluir que el riesgo de mayor impacto para las operaciones continentales del sector de hidrocarburos es debido al evento de remoción en masa, por su presencia en la mayoría de los componentes y por su nivel de afectación alto y moderado.

A. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por componentes o subcomponentes

A continuación en el gráfico 2-28 se presenta la clasificación del nivel de riesgo del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 2-28 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Transporte por carretera y ductos

El componente transporte presenta vulnerabilidad moderada, con buenas herramientas sectoriales para adaptarse a los cambios generados por las amenazas de variabilidad climática fenómeno de La Niña. En este escenario, se presenta una valoración alta de riesgo por el evento de remoción en masa y muy baja para el evento de inundaciones. Lo anterior indica un grado de impacto de riesgos alto para transporte por carretera y moderado para transporte por ductos, constituyendo estas operaciones como las áreas de mayor necesidad de priorizar su adaptación a los efectos de variabilidad climática.

- Producción convencional y no convencional

El componente de producción presenta vulnerabilidad moderada, con buenas herramientas sectoriales para adaptarse a los cambios generados por las amenazas de variabilidad climática fenómeno de La Niña. Este escenario, presenta un grado de impacto de riesgos moderados para la producción no convencional y bajo para producción convencional debido a la valoración alta y moderada de riesgo por el evento de remoción en masa, y muy baja para los dos subcomponentes.

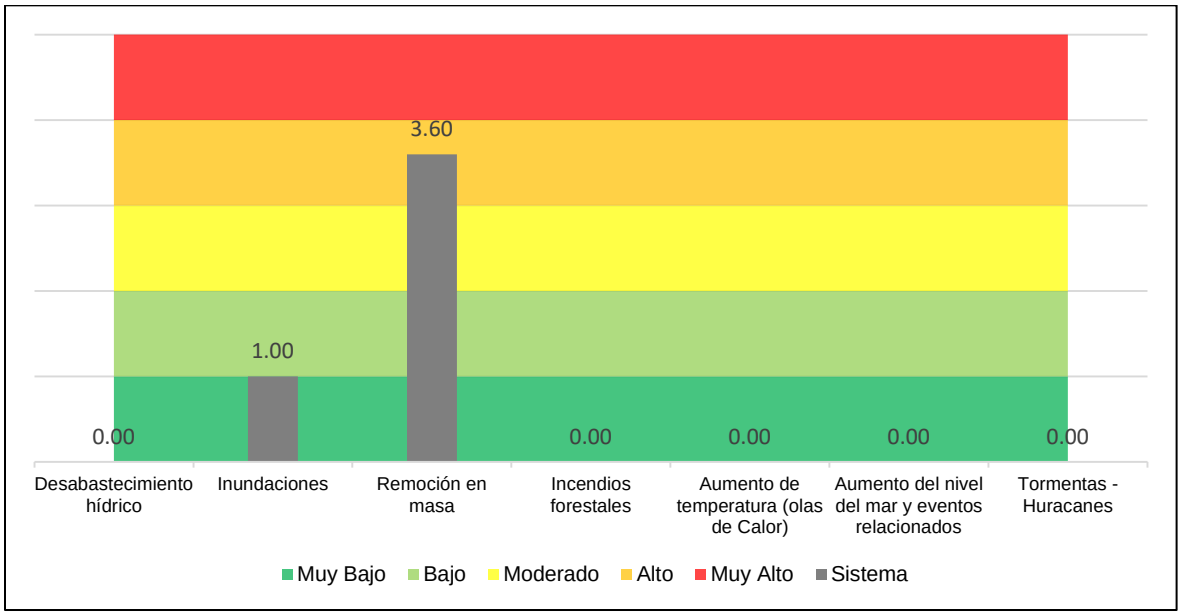
- Exploración continental

El componente de exploración continental presenta un grado de impacto de riesgos bajo por la valoración moderada en remoción en masa y muy baja en inundaciones.

B. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por eventos

A continuación en el gráfico 2-29 se presenta la clasificación del nivel de riesgo del sistema por eventos climáticos

Gráfico 2-29 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Remoción en masa

Este riesgo por el evento de remoción en masa se presenta como el de mayor afectación al sector de hidrocarburos, debido principalmente, a la distribución de su impacto en todas las etapas de las operaciones continentales que se desarrollan, y a su alta probabilidad de ocurrencia en gran parte del territorio nacional. La distribución geográfica de este riesgo condiciona el nivel del mismo, haciéndose más alto el riesgo donde mayor área del territorio se exponga a la amenaza.

2.6.2.1.4 Análisis del riesgo prospectivo del entorno sobre el subsector

En la tabla 2-36 se presentan los resultados del análisis de los riesgos prospectivos sobre el entorno

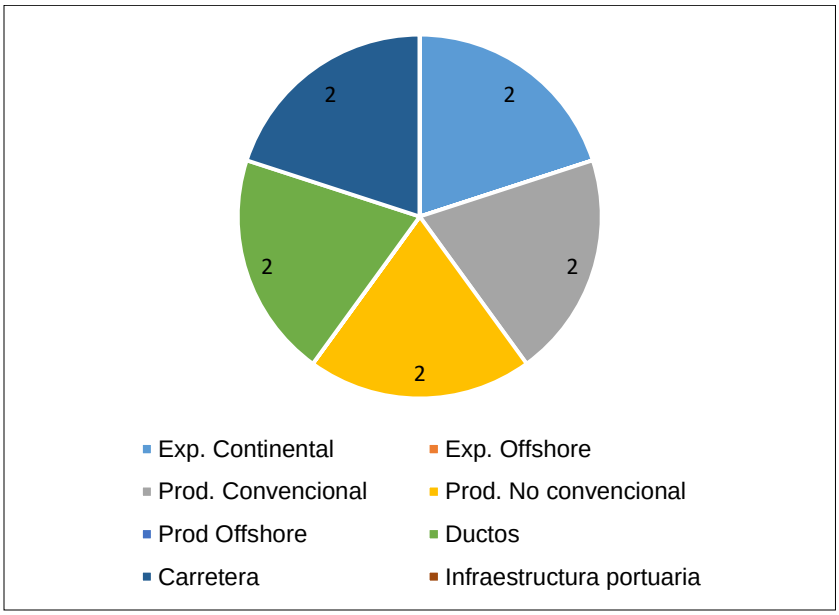
Tabla 2-36 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura Portuaria
	Continental	Offshore	Convencional	No convencional	Offshore	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico								
Inundaciones	Muy Bajo		Muy Bajo	Muy Bajo		Muy Bajo	Muy Bajo	
Remoción en masa	Alto		Alto	Alto		Alto	Alto	
Incendios forestales								
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)								
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados								
Tormentas (Huracanes)								

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan 10 riesgos prospectivas del entorno sobre el subsector de hidrocarburos los cuales se distribuyen de a dos en los subcomponentes: exploración continental, producción convencional, producción no convencional, transporte por ductos y transporte por carretera, como se evidencian en el siguiente gráfico.

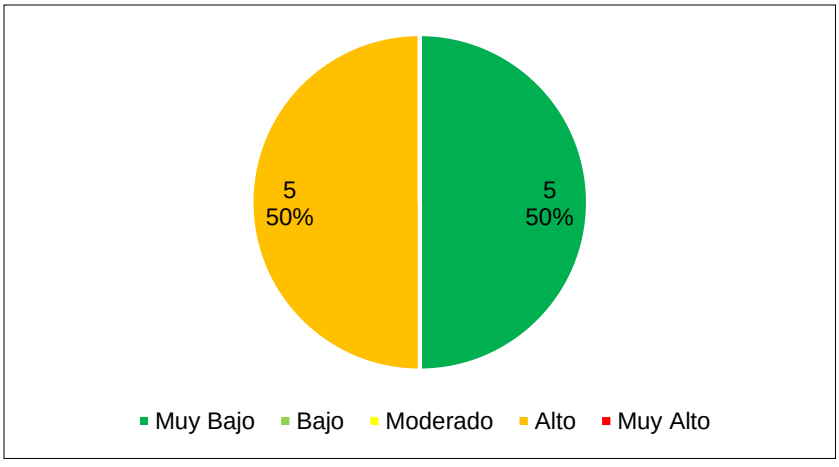
Gráfico 2-30 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 2-31 se puede evidenciar la distribución de los niveles de amenazas que se presentan en el entorno del subsector hidrocarburos para el fenómeno de La Niña. El 50 % de las amenazas corresponden a niveles muy altos y el 50 % restante de las amenazas corresponden a un nivel muy bajo. En general, los eventos debidos a la variabilidad climática fenómeno de La Niña que amenazan desde el entorno al sistema en cada uno de los componentes, se constituyen en riesgos potenciales del sector de hidrocarburos.

Gráfico 2-31 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña



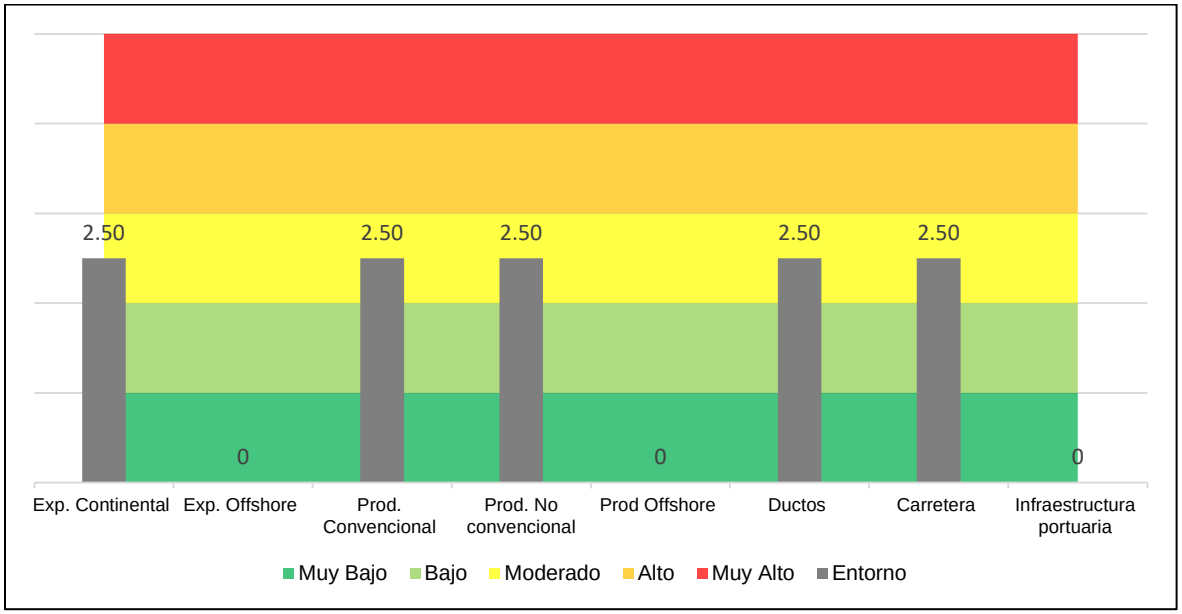
Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Del porcentaje de niveles importantes de atención de riesgos prospectivos desde el entorno (50%), se puede concluir que el riesgo de mayor impacto para las operaciones continentales del sector de hidrocarburos es el debido a la remoción en masa, por su presencia en la mayoría de los componentes y por su nivel de impacto (alto). El nivel de valoración alto para este riesgo, coincide con el impacto que esta amenaza causa directamente al sistema y por tanto con el grado de prioridad con el que los componentes del sector se deben preparar para las alteraciones que sus proyectos puedan tener debido a los efectos de la variabilidad climática en sus operaciones y en la manera como el sector se posiciona y desarrolla dentro de las comunidades a nivel regional y en el nivel de respuesta en el ámbito nacional.

A. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por componentes o subcomponentes

En el siguiente gráfico se puede evidenciar que todos los subcomponentes presentan un grado de impacto moderado del entorno, por los niveles de riesgo alto para remoción en masa y muy bajo para inundaciones.

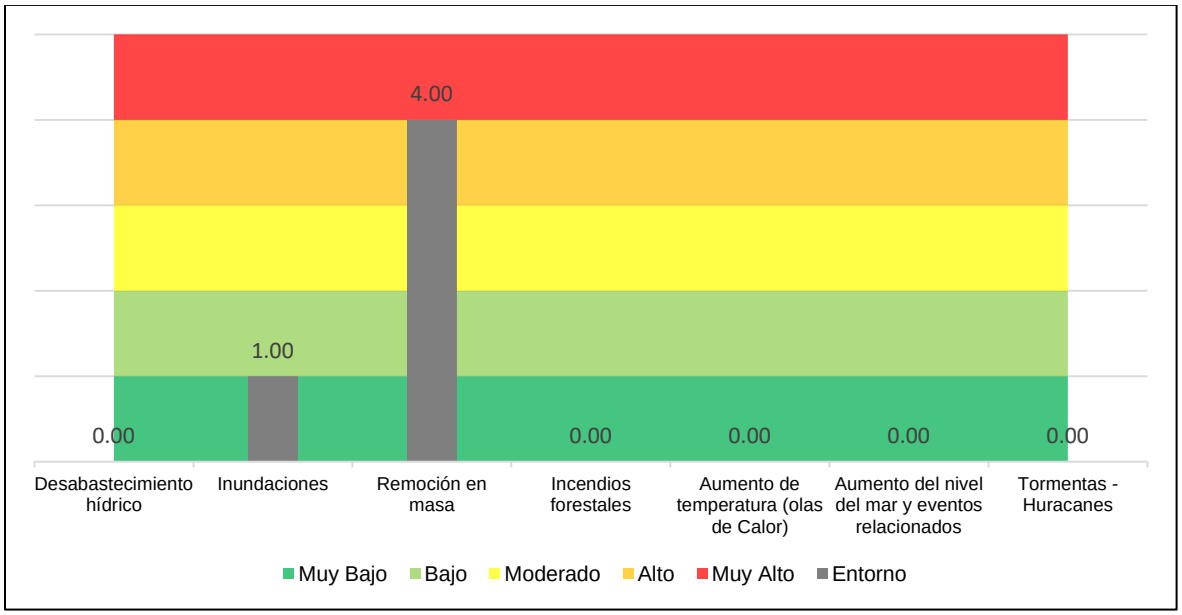
Gráfico 2-32 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

B. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por eventos

Gráfico 2-33 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Remoción en masa

Del porcentaje de niveles importantes de atención de riesgos prospectivos desde el entorno (50%), se puede concluir que el riesgo de mayor impacto para las operaciones continentales del sector de hidrocarburos es el debido a la remoción en masa, por su presencia en la mayoría de los componentes y por su nivel de impacto (alto). El nivel de valoración alto para este riesgo, coincide con el impacto que esta amenaza causa directamente al sistema y por tanto con el grado de prioridad con el que los componentes del sector se deben preparar para las alteraciones que sus proyectos puedan tener debido a los efectos de la variabilidad climática en sus operaciones y en la manera como el sector se posiciona y desarrolla dentro de las comunidades a nivel regional y en el nivel de respuesta en el ámbito nacional

2.6.2.2 Fenómeno de El Niño

2.6.2.2.1 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del sistema sobre el subsector

Aplicando el mismo tipo de procesamiento de datos para el escenario de cambio climático, se obtuvo el respectivo análisis de valoración de riesgos por variabilidad climática fenómeno de El Niño, evaluando la susceptibilidad virtual del sistema a este

fenómeno y la intensidad del posible daño de cada una de las amenazas detectadas, para el sistema, estableciendo la valoración de la amenaza prospectiva para el sistema.

En la tabla 2-37, a diferencia de la evaluación de los efectos por cambio climático, no se valoran los eventos: aumento del nivel del mar y tormentas y huracanes, por la diferencia en la naturaleza de estos eventos climáticos; por lo tanto, en variabilidad climática no se valoran los componentes de exploración y producción offshore.

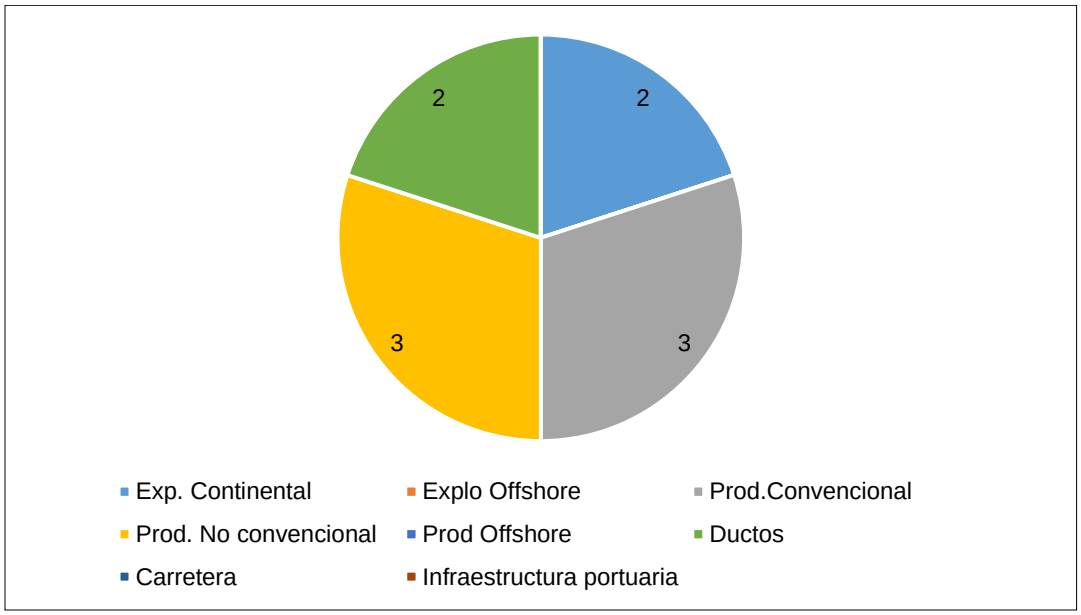
Tabla 2-37 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática - fenómeno de El Niño

Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura Portuaria
	Continental	Offshore	Convencional	No convencional	Offshore	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico			Alto	Muy Alto		Moderado		
Inundaciones	Muy Bajo		Muy Bajo	Muy Bajo		Muy Bajo		
Remoción en masa								
Incendios forestales	Alto		Alto	Alto				
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)								
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados								
Tormentas (Huracanes)								

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

De la tabla anterior se puede concluir que las amenazas de mayor importancia para el sistema son el desabastecimiento hídrico, y los incendios forestales, por su presencia en la mayoría de los componentes y por su nivel de impacto; siendo el componente de producción el más impactado seguido por exploración continental y el transporte por ductos. La amenaza de menor valoración en el sistema es de nivel muy bajo y corresponde a los eventos de inundaciones.

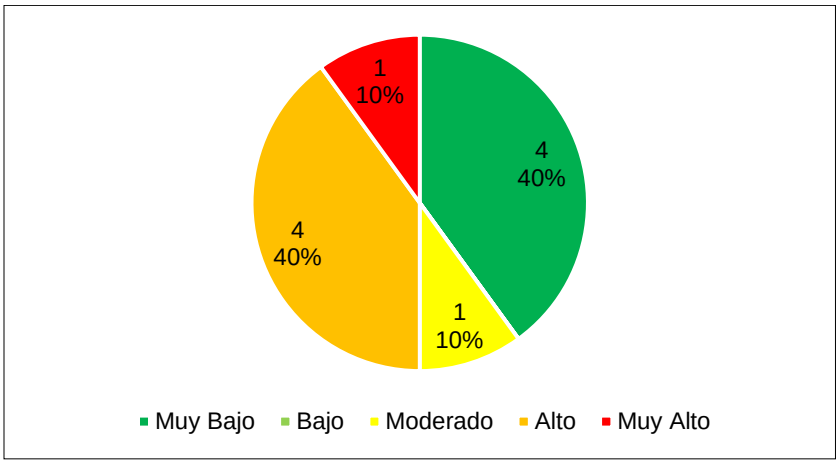
Gráfico 2-34 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se obtuvieron 10 amenazas prospectivas sobre el sistema, en donde el componente de producción convencional y no convencional cuentan con tres amenazas, y dos para los subcomponentes de exploración continental y transporte por ductos, como se puede observar en el gráfico 2-34.

Gráfico 2-35 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño

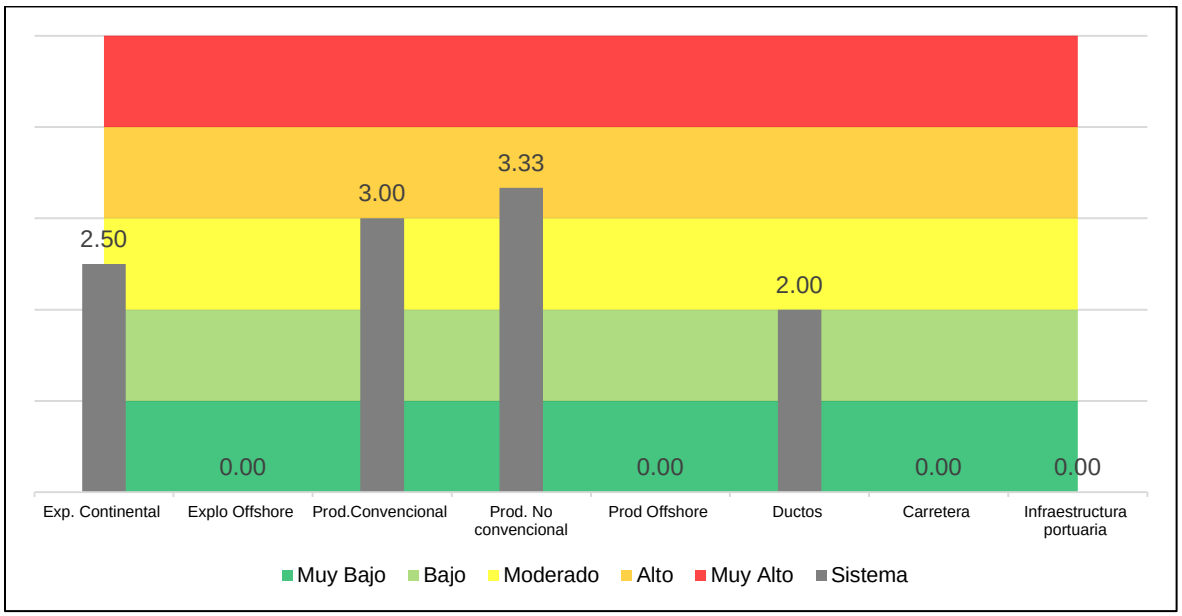


Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Para todo el subsector se debe dar mayor importancia a los niveles muy alto, alto y moderado de amenazas prospectivas que corresponden al 10 %, 40 %, y 10 % respectivamente, para un total del 60 % del total de las amenazas sobre el sistema; es decir, que los eventos debidos en el fenómeno de El Niño, amenazan considerablemente y de manera directa al sistema en cada uno de los componentes.

A. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 2-36 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Exploración continental

El componente de exploración continental presenta grado de impacto moderado como se evidencia en el gráfico 2-36, debido a que el subcomponente de incendios forestales presenta un nivel de amenaza alto en grandes áreas de producción donde se desarrollan las operaciones actuales, y un nivel de amenaza muy bajo en eventos de inundaciones dentro del área de las operaciones.

- Producción

Dentro del componente de producción se evidencia que el grado de impacto es alto por las amenazas presentes en sus subcomponentes convencional y no convencional, los cuales muestran un nivel de amenaza moderado y alto para el componente de

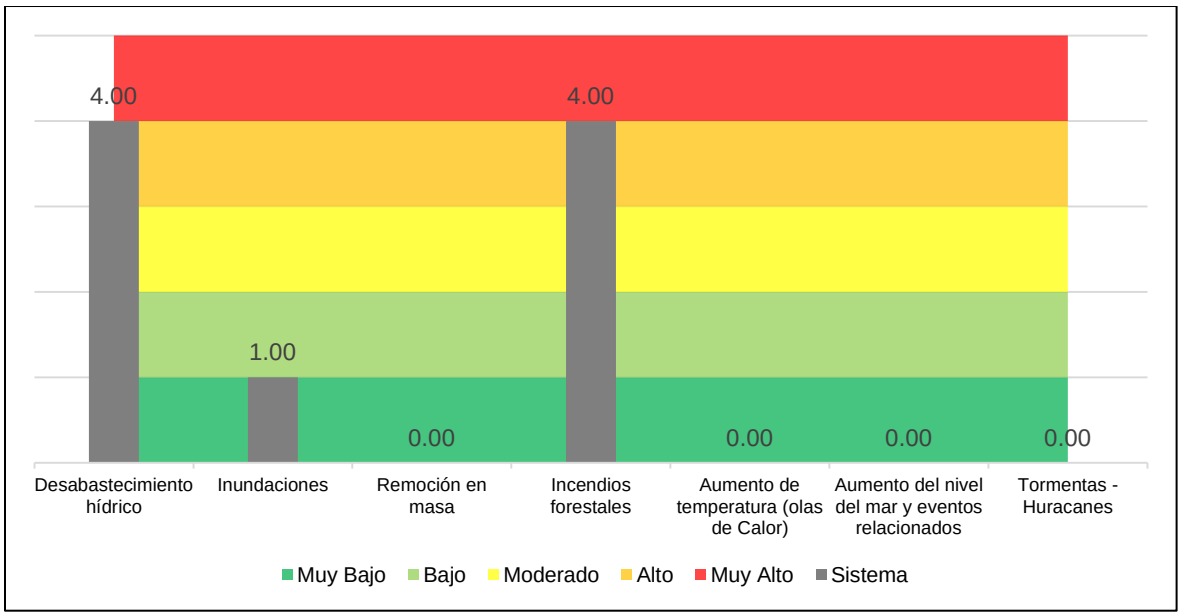
desabastecimiento hídrico respectivamente, alto para incendios forestales y finalmente muy bajo en inundaciones.

- Transporte

El subcomponente de transporte por ductos presenta un grado de amenaza bajo ya que presenta dos niveles de amenaza prospectiva: moderado para el evento de desabastecimiento hídrico y muy bajo para inundaciones.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por eventos

Gráfico 2-37 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Desabastecimiento hídrico

Los cambios en los patrones de precipitación generan importantes amenazas en las operaciones, el desabastecimiento hídrico (valores muy bajos de precipitación), tiene un grado de impacto alto por los niveles de amenaza presente en los diferentes componentes. Los subcomponentes de producción convencional y no convencional se calificaron con niveles alto y muy alto respectivamente, transporte por ductos tiene un nivel moderado. Este evento impacta la mayoría de las actividades continentales, además es demarcada la importancia de la amenaza prospectiva muy alta que sobre el sistema y en el componente de producción no convencional genera el desabastecimiento hídrico, debido a su influencia directa sobre la continuidad de la operación.

- Incendios forestales

El alto grado de impacto de los incendios forestales en el sistema se debe a la calificación obtenida en los niveles de amenaza para cada uno de los subsectores evaluados, la cual fue alta para los tres subcomponentes: exploración continental, producción convencional y producción no convencional

- Inundaciones

El evento de inundaciones se presenta con un nivel de amenaza muy bajo en los subcomponentes de exploración continental, producción convencional y no convencional, y ductos dentro del sistema, por lo tanto se puede decir que el grado de impacto de este evento es bajo para el sistema.

2.6.2.2.2 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del entorno sobre el subsector

De acuerdo a la metodología, se posiciona la intensidad del posible daño de cada una de las amenazas detectadas, desde el entorno, y de esta manera se establece el panorama para la valoración de la amenaza prospectiva desde el entorno al sistema del sector de hidrocarburos en el escenario de variabilidad climática fenómeno de El Niño.

Tabla 2-38 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño

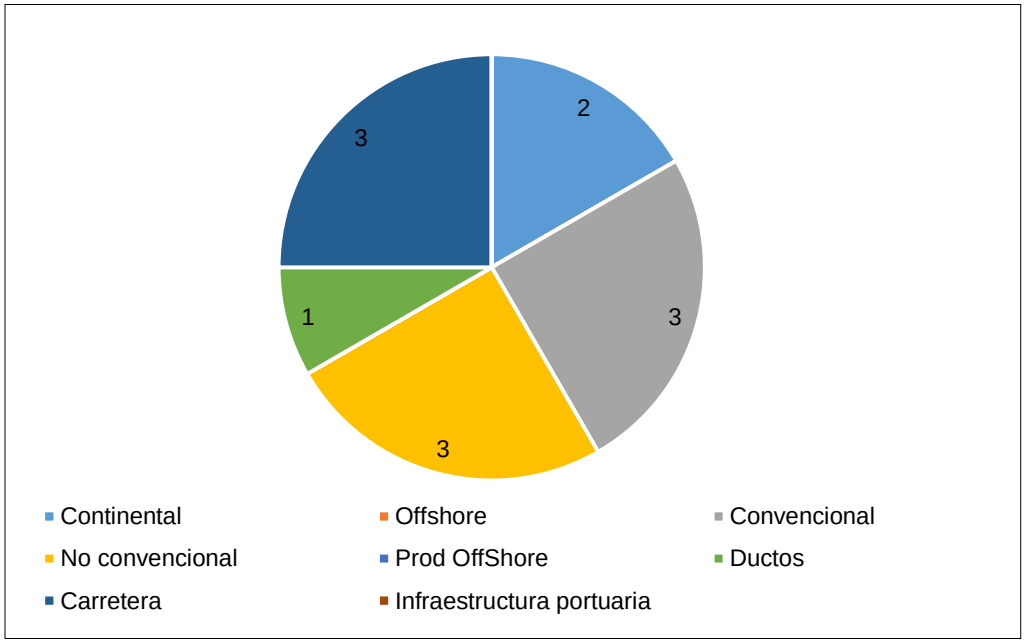
Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura Portuaria
	Continental	Offshore	Convencional	No convencional	Offshore	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico			Muy Alto	Muy Alto			Muy Alto	
Inundaciones	Muy Bajo		Muy Bajo	Muy Bajo		Muy Bajo	Muy Bajo	
Remoción en masa								
Incendios forestales	Alto		Alto	Muy Alto			Alto	
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)								
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados								
Tormentas (Huracanes)								

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan 12 amenazas prospectivas del entorno sobre el subsector de hidrocarburos que se distribuyen de la siguiente manera: dos amenazas para el

subcomponente de explotación continental; tres para los subcomponentes de: producción convencional, no convencional, y transporte por carretera; y una para el subcomponente de transporte por ductos, que se pueden evidenciar en el siguiente gráfico.

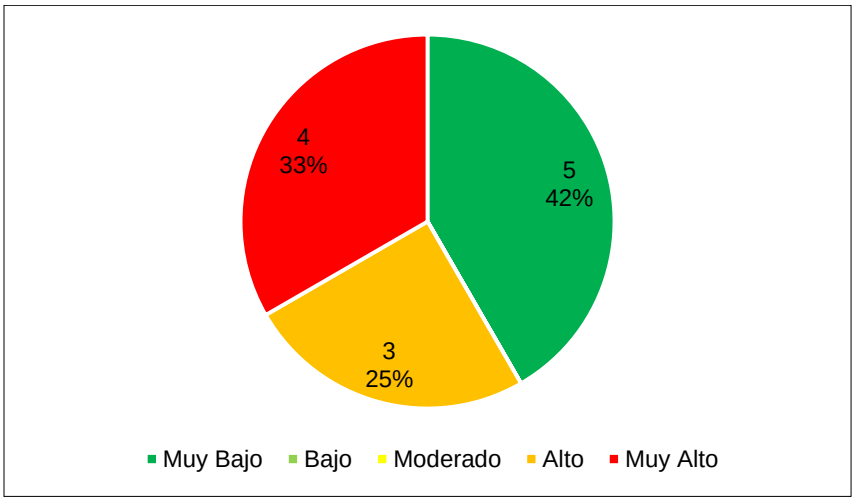
Gráfico 2-38 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 2-39 se puede evidenciar la distribución de los niveles de amenazas que se presentan en el sistema. El 33 % de las amenazas presentes se encuentran calificadas como muy altas, el 25 % son altas y finalmente está presente un nivel muy bajo en un 42 %. En general, los eventos debidos a la variabilidad climática fenómeno de El Niño, amenazan considerablemente y de manera directa desde el entorno al sistema en cada uno de los componentes del sector de hidrocarburos.

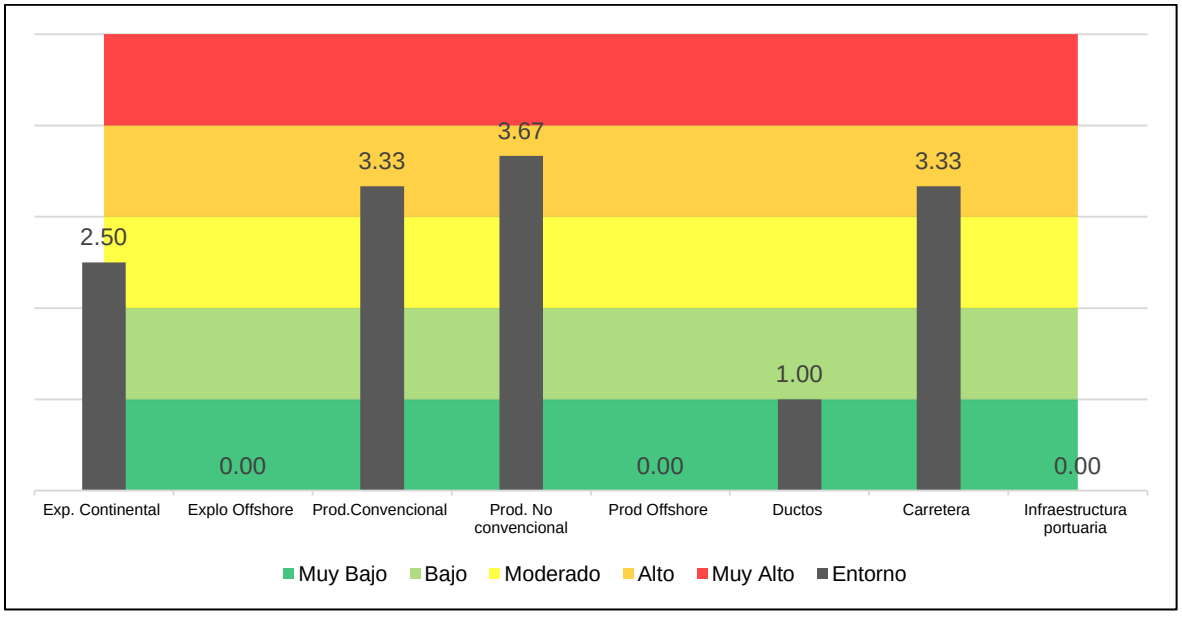
Gráfico 2-39 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por componentes o subcomponentes

Gráfico 2-40 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Exploración continental

El grado de impacto que presenta el subcomponente de exploración continental es moderado debido a que se presentan dos eventos (inundaciones e incendios forestales) con niveles de amenaza muy bajo y alto respectivamente.

- Producción convencional y no convencional

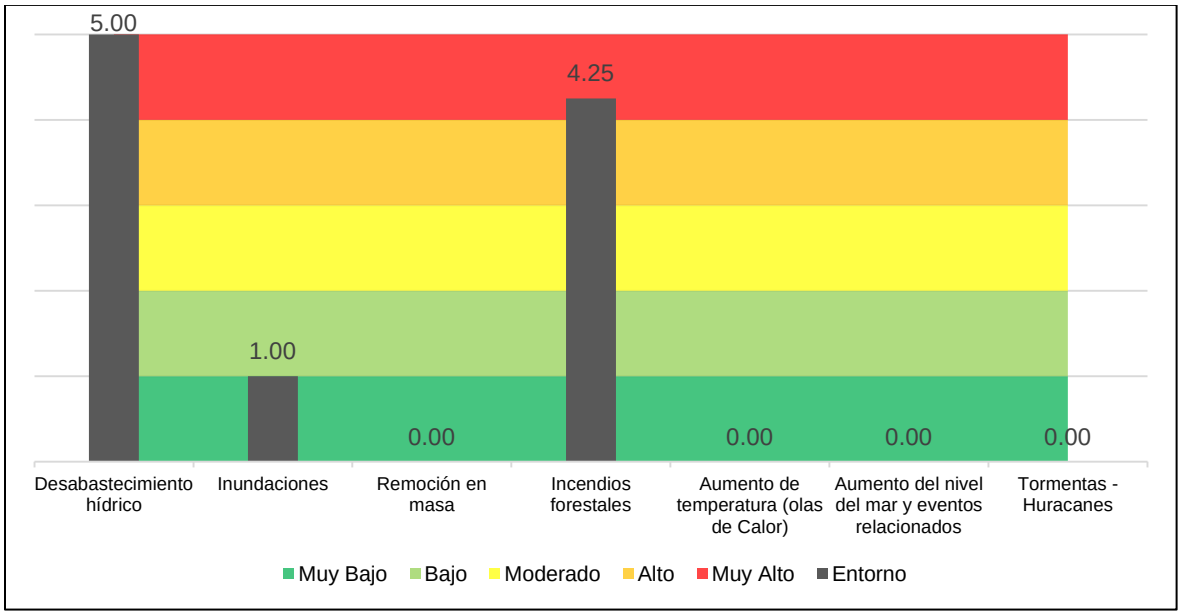
El componente de producción (convencional y no convencional) es el que más eventos amenazantes presenta sobre el entorno para el subsector de hidrocarburos, por lo tanto el grado de impacto de las amenazas es alto, lo anterior se debe a la calificación de los eventos presentes, para desabastecimiento hídrico se tiene una valoración muy alta, ya que se presentan en todas las áreas y territorios donde se desarrollan las operaciones actualmente; inundaciones muy baja; y finalmente los incendios forestales se presentan con niveles altos para producción convencional y muy altos para producción no convencional.

- Transporte por carretera y ductos

Dentro de este componente se evidencia la presencia de eventos con diferentes niveles de amenaza. Para el subcomponente de transporte por ductos se presenta únicamente un nivel de amenaza muy bajo proveniente de las inundaciones, lo cual indica un grado de impacto muy bajo para este subcomponente, contrario al grado que presenta el subcomponente de transporte por carretera “alto” por la presencia de niveles muy alto en desabastecimiento hídrico, alto en incendios forestales y muy bajo en inundaciones.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por eventos

Gráfico 2-41 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Desabastecimiento hídrico

El evento desabastecimiento hídrico presenta un grado de impacto muy alto en el entorno por la presencia de niveles de amenaza muy altos en los subcomponentes de producción convencional, no convencional y transporte por carreteras.

- Incendios forestales

Las amenazas por incendios forestales en el entorno, se presentan con un nivel alto para la exploración continental; producción convencional; y transporte por carretera; para el subcomponente de producción no convencional, se presenta con un nivel muy alto. Lo cual indica que el grado de impacto sobre el entorno es muy alta.

- Inundaciones

El grado de impacto de las inundaciones es muy bajo ya que los niveles de amenaza presentes en el entorno del subsector de hidrocarburos son muy bajos para los subcomponentes evaluados (exploración continental, exploración convencional y no convencional, y transporte por ductos y carretera).

2.6.2.2.3 Análisis del riesgo prospectivo del sistema sobre el subsector

La valoración de los riesgos prospectivos del sistema es el resultado de la aplicación de la metodología, la cual posiciona el nivel de las amenazas prospectivas en un panorama de vulnerabilidad prospectiva, dando como resultado el nivel atención que requieren las amenazas por efecto de la variabilidad climática fenómeno de El Niño en el sector hidrocarburos (tabla 2-39)

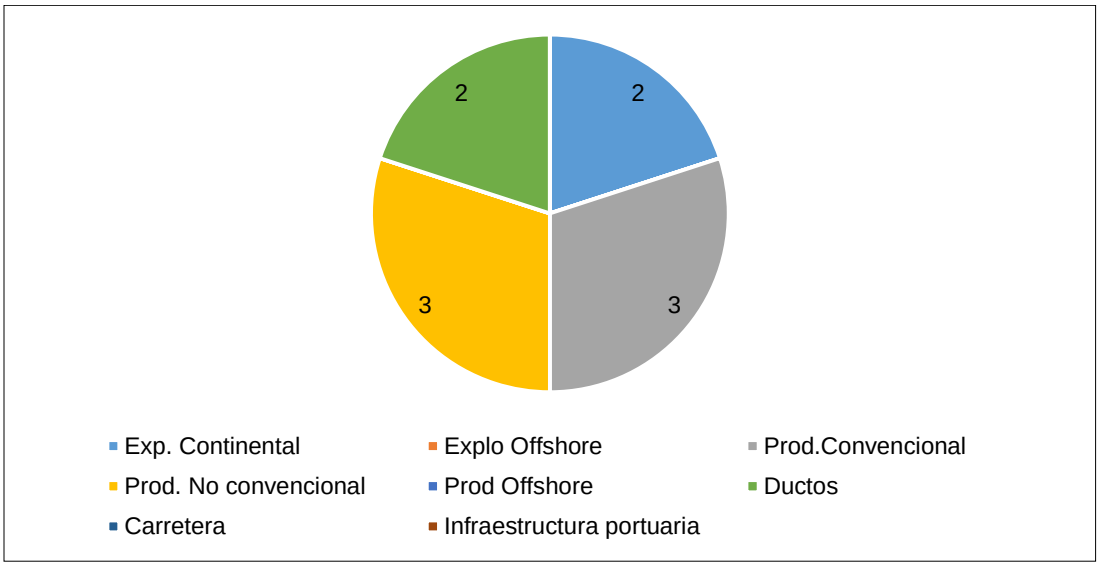
Tabla 2-39 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura Portuaria
	Continental	Offshore	Convencional	No convencional	Offshore	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico			Moderado	Alto		Moderado		
Inundaciones	Muy Bajo		Muy Bajo	Muy Bajo		Muy Bajo		
Remoción en masa								
Incendios forestales	Moderado		Moderado	Moderado				
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)								
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados								
Tormentas (Huracanes)								

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan 10 riesgos prospectivos del sistema sobre el subsector de hidrocarburos que se distribuyen de la siguiente manera: dos para el subcomponente de exploración continental; tres para los subcomponentes de: producción convencional y no convencional; y dos para el transporte por ductos, que se pueden evidenciar en el siguiente gráfico.

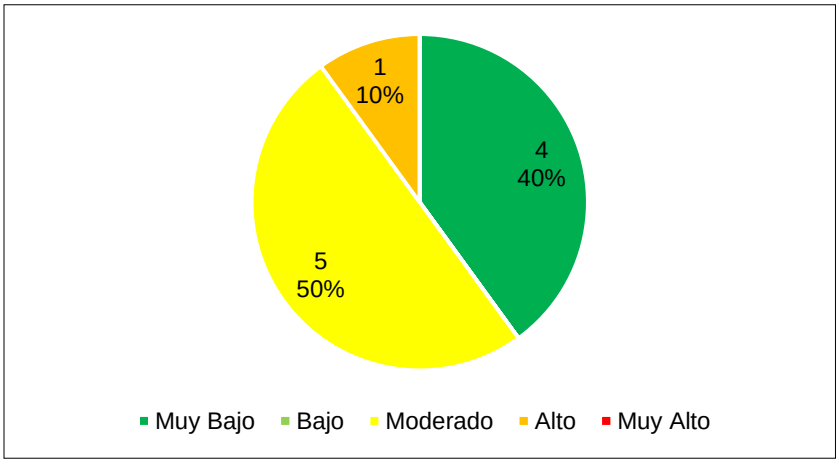
Gráfico 2-42 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 2-43 se puede evidenciar la distribución de los niveles de amenazas que se presentan en el sistema. El 10 % de los riesgos presentes corresponden a un nivel alto, el 50 % son moderadas y finalmente está presente un nivel muy bajo en un 40 %; es decir, que los riesgos debidas a la variabilidad climática fenómeno de El Niño que impactan considerablemente y de manera directa al sistema en cada uno de los componentes, se constituyen en riesgos potenciales del sector de hidrocarburos. No se obtuvieron niveles de riesgo de valoración muy alta para el sistema.

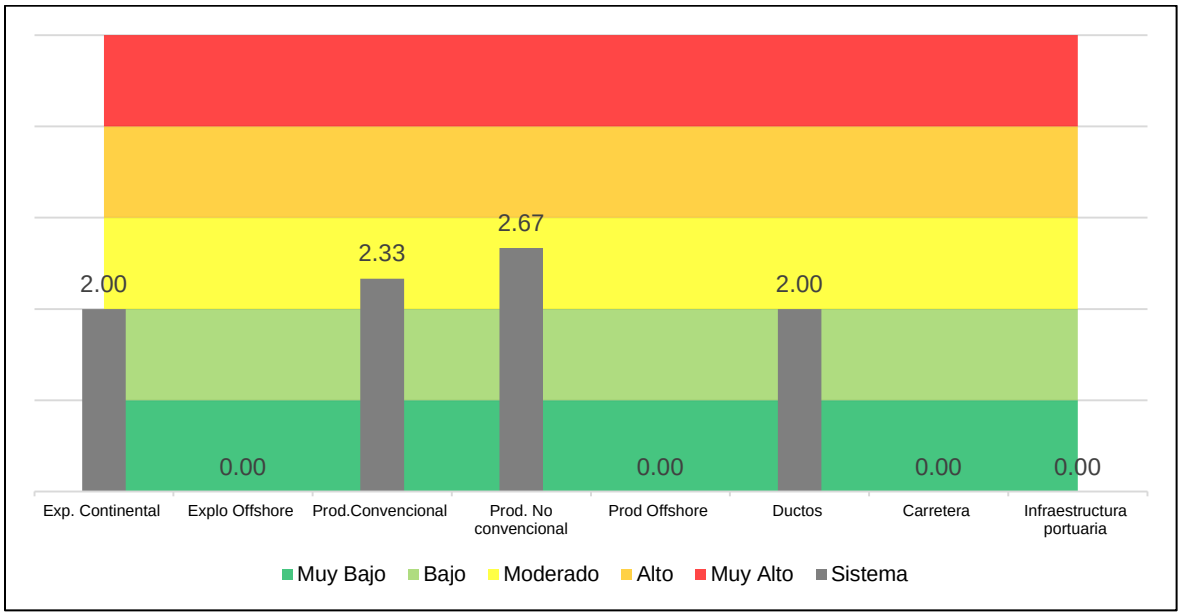
Gráfico 2-43 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 2-44 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Exploración continental

El subcomponente de exploración continental presenta grado de impacto de riesgos bajo por la presencia de inundaciones muy bajas e incendios forestales moderados. Además presenta una vulnerabilidad moderada, con buenas herramientas sectoriales para adaptarse a los cambios generados por las amenazas de la variabilidad climática fenómeno de El Niño.

- Producción convencional y no convencional

El grado de impacto por los riesgos presentes en el subcomponente de producción convencional y no convencional es moderado, teniendo en cuenta que estos subcomponentes presentan un nivel de riesgos moderado para el evento de incendios forestales y un nivel muy bajo para inundaciones; sin embargo el subcomponente de producción convencional presenta un nivel alto en desabastecimiento hídrico a diferencia del subcomponente producción no convencional el cual presenta un nivel moderado.

Lo anterior indica que es en el subcomponente de producción no convencional que aumenta el potencial de estos riesgos y se constituye en una de las operaciones con la

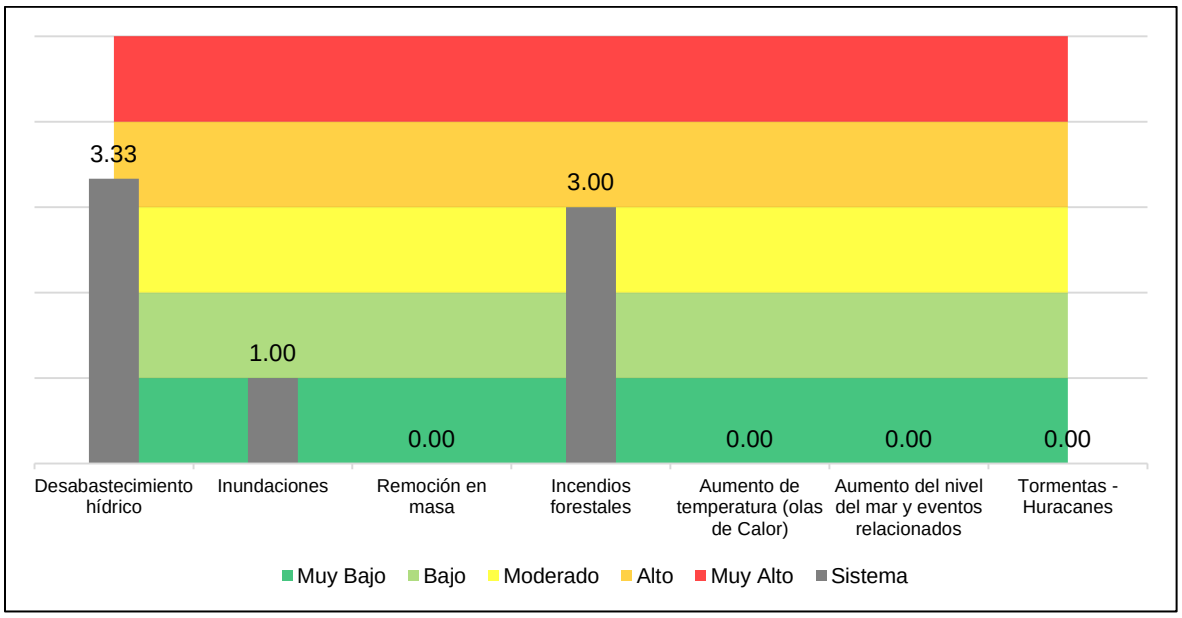
mayor necesidad de priorizar su adaptación a los cambios que por efectos de la variabilidad climática alterarán el normal desarrollo de sus proyectos y operaciones.

- Transporte por ductos

En este escenario se presenta un riesgo de valoración moderada debido al evento de Desabastecimiento hídrico; y un riesgo de valoración muy baja para el evento de inundaciones, lo cual indica que el grado de impacto de estos riesgos en el sistema por este subcomponente es bajo.

B. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por eventos

Gráfico 2-45 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Los riesgos sobre el sistema impactan la continuidad de las operaciones, debido a la imposibilidad del acceso a las áreas, a la interrupción del transporte de los hidrocarburos, a la interrupción de la cadena de abastecimiento de las operaciones, especialmente de materias primas (agua) y bienes y servicios. Estas interrupciones y demoras en la operación conllevan a sobrecostos operacionales y en algunos casos en los planes de mantenimiento y reparaciones.

- Desabastecimiento hídrico

El grado de impacto alto para el desabastecimiento hídrico se debe al nivel alto en el subcomponente de producción no convencional, y moderado en los subcomponentes de producción convencional y transporte por ductos.

- Incendios forestales

La presencia de los incendios forestales en los subcomponentes exploración continental y producción convencional y no convencional presentan un nivel de riesgo moderado en el sistema, lo cual indica que el grado de impacto en el subsector de hidrocarburos es moderado.

2.6.2.2.4 Análisis del riesgo prospectivo del entorno sobre el subsector

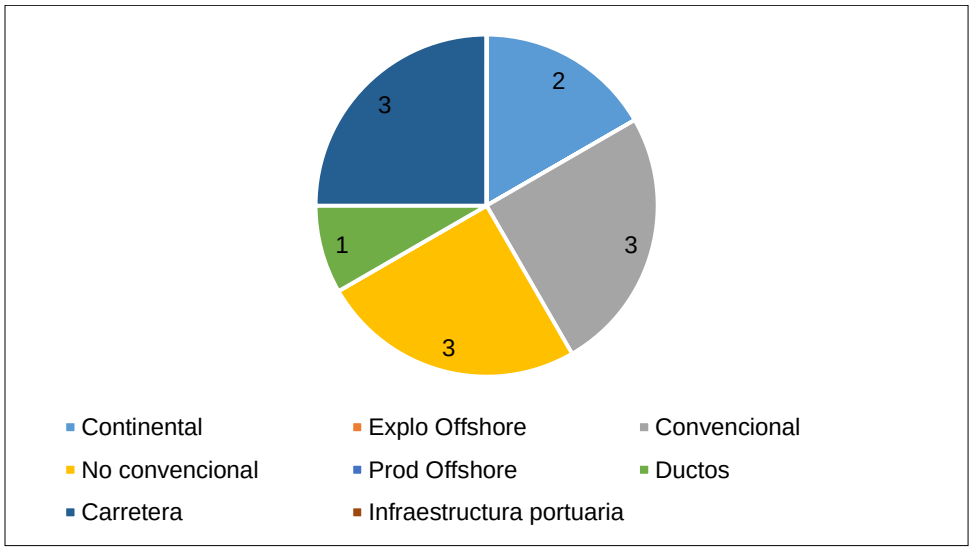
Tabla 2-40 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Evento	Áreas							
	Exploración		Producción			Transporte		Infraestructura Portuaria
	Continental	Offshore	Convencional	No convencional	Offshore	Ductos	Carretera	
Desabastecimiento hídrico			Alto	Alto			Alto	
Inundaciones	Muy Bajo		Muy Bajo	Muy Bajo		Muy Bajo	Muy Bajo	
Remoción en masa								
Incendios forestales	Alto		Alto	Alto			Moderado	
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)								
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados								
Tormentas (Huracanes)								

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan 12 riesgos prospectivos del entorno sobre el subsector de hidrocarburos que se distribuyen de la siguiente manera: dos para el subcomponente de exploración continental; tres para los subcomponentes de: producción convencional y no convencional; uno para transporte por ductos y tres para el transporte por carretera, que se pueden evidenciar en el siguiente gráfico.

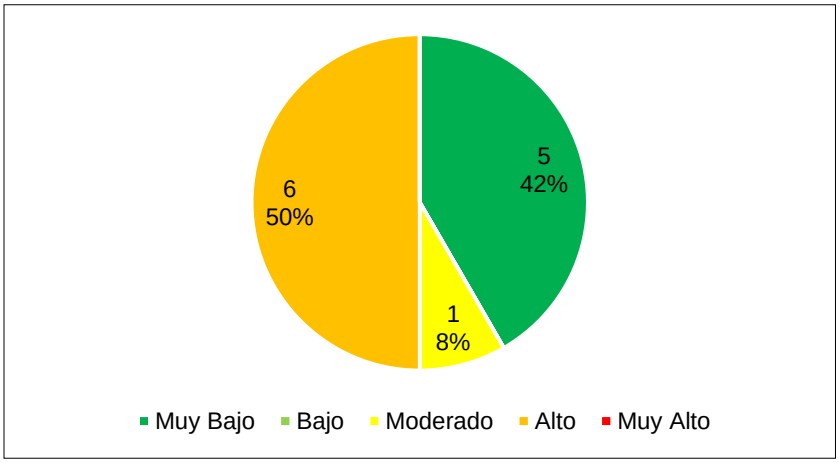
Gráfico 2-46 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

En el gráfico 2-47 se puede evidenciar la distribución de los niveles de amenazas que se presentan en el sistema. El 50 % de los riesgos presentes corresponden a un nivel alto, el 8 % son moderadas y finalmente está presente un nivel muy bajo en un 42 %; es decir, que los riesgos debidas a la variabilidad climática fenómeno de El Niño que impactan considerablemente y de manera directa al sistema en cada uno de los componentes, se constituyen en riesgos potenciales del sector de hidrocarburos. No se obtuvieron niveles de riesgo de valoración muy alta para el entorno.

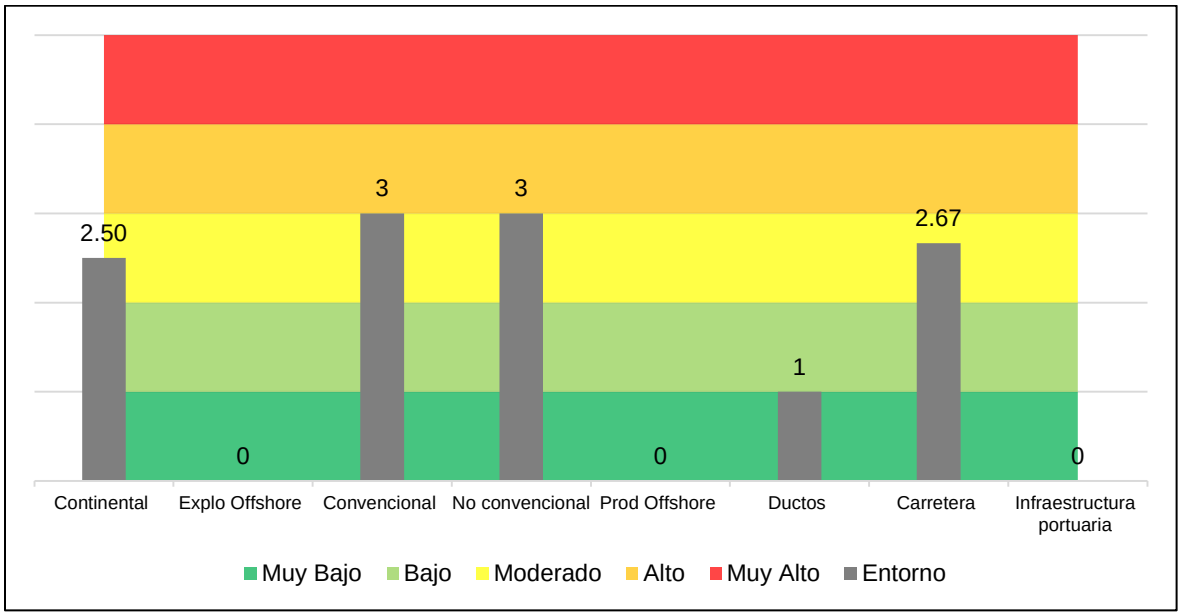
Gráfico 2-47 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

A. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por componentes o subcomponentes

Gráfico 2-48 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

El nivel de valoración alto y moderado para estos riesgos, coincide con el impacto que estas amenazas causan directamente al sistema y por tanto con el grado de prioridad con el que los componentes o subcomponentes del sector se deben preparar para las alteraciones que sus proyectos puedan tener debido a los efectos de la variabilidad climática fenómeno de El Niño, en sus operaciones y en la manera como el sector se posiciona y desarrolla dentro de las comunidades a nivel regional y en el nivel de respuesta en el ámbito nacional

- Exploración continental

En el subcomponente de exploración continental se presentan dos riesgos prospectivos en el entorno correspondientes a inundaciones con nivel muy bajo, e incendios forestales con nivel alto. Lo cual indica que el grado de impacto para este subcomponente es moderado como se puede observar en la gráfica anterior.

- Producción convencional y no convencional

El componente de producción presenta un grado de impacto moderado ya que cuenta con riesgos de mayor impacto para las producciones convencionales y no convencionales son

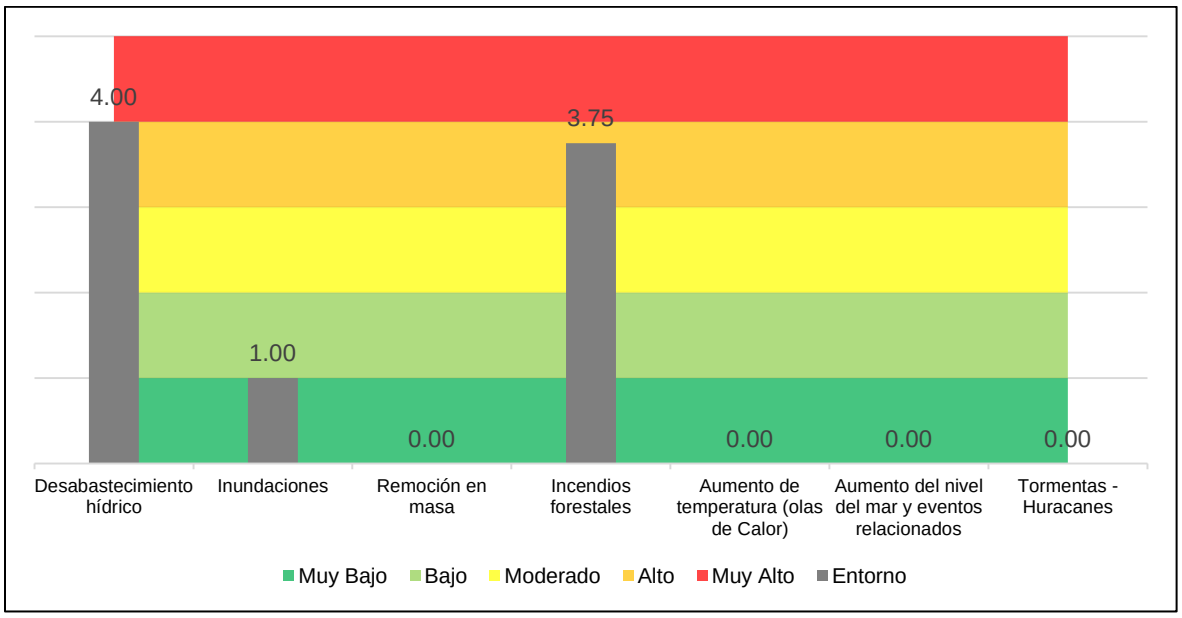
por el desabastecimiento hídrico e incendios forestales; con un nivel alto, seguido de la presencia de niveles bajos de inundaciones para ambos subcomponentes.

- Transporte por carretera y ductos

El riesgo de mayor impacto para las operaciones del componente de transporte por carretera es el debido al desabastecimiento hídrico, por su distribución y por su nivel de impacto (alto), seguido en importancia por su presencia e impacto alto el riesgo por incendios forestales

B. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por eventos

Gráfico 2-49 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

- Desabastecimiento hídrico

El grado de impacto de los riesgos presentes en este evento es alto debido al nivel de riesgo alto presente en los subcomponentes de producción convencional, producción no convencional y transporte por carretera.

- Incendios forestales

Seguido en importancia por su presencia y grado de impacto alto se presenta el riesgo por incendios forestales por la presencia de niveles de riesgo altos en los subcomponentes de

exploración continental, y producción convencional y no convencional. Además se evidencia un nivel moderado para el subsector de transporte por carretera.

El nivel de valoración alto y moderado para este riesgo coincide con el impacto que esta amenaza causa directamente al sistema y por tanto con el grado de prioridad con el que los componentes del sector se deben preparar para las alteraciones que sus proyectos puedan tener debido a los efectos de la variabilidad climática en sus operaciones y en la manera como el sector se posiciona y desarrolla dentro de las comunidades a nivel regional y en el nivel de respuesta en el ámbito nacional

2.6.2.3 Escenario del riesgo

2.6.2.3.1 Fenómeno de La Niña

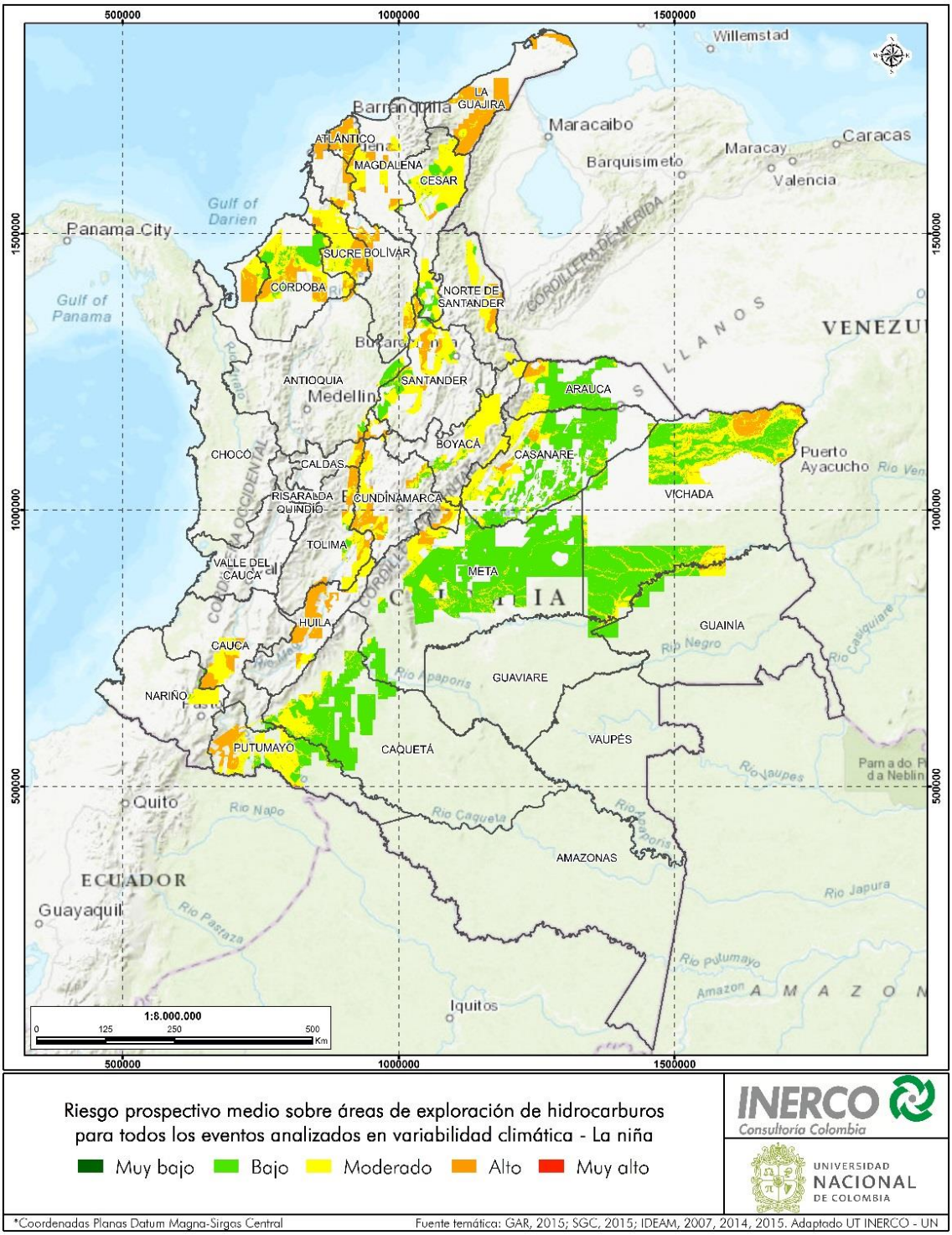
El sector de hidrocarburos no presenta riesgos de valoración muy alta debido a la variabilidad climática fenómeno de La Niña en ninguno de los componentes del sistema; sin embargo, el riesgo alto por el evento de remoción en masa, constituye el 50 % de sus riesgos, lo cual evidencia la priorización de las medidas para la disminución de los impactos de dicho evento a los que el sistema es más susceptible y está expuesto.

El riesgo alto por remoción en masa afecta a los componentes de exploración y producción continental, y transporte con el mismo nivel de impacto. Este riesgo sobre el sistema impacta la continuidad de las operaciones, debido a la imposibilidad del acceso a las áreas, a la interrupción del transporte de los hidrocarburos, a la interrupción de la cadena de abastecimiento de las operaciones, especialmente de materias primas (agua) y bienes y servicios. Estas interrupciones y demoras en la operación conllevan a sobrecostos operacionales y en algunos casos en los planes de mantenimiento y reparaciones.

Del anterior análisis se puede concluir que, los riesgos sobre el sistema del sector de hidrocarburos debidos al cambio climático son de mayor impacto que los valorados para variabilidad climática fenómeno de La Niña, excepto por el riesgo de remoción en masa, permitiendo priorizar medidas que disminuyan su afectación a las operaciones, disminuyendo la vulnerabilidad del sector al aumentar su capacidad de adaptación, asumiendo desde el presente dichas medidas con proyección a los escenarios futuros.

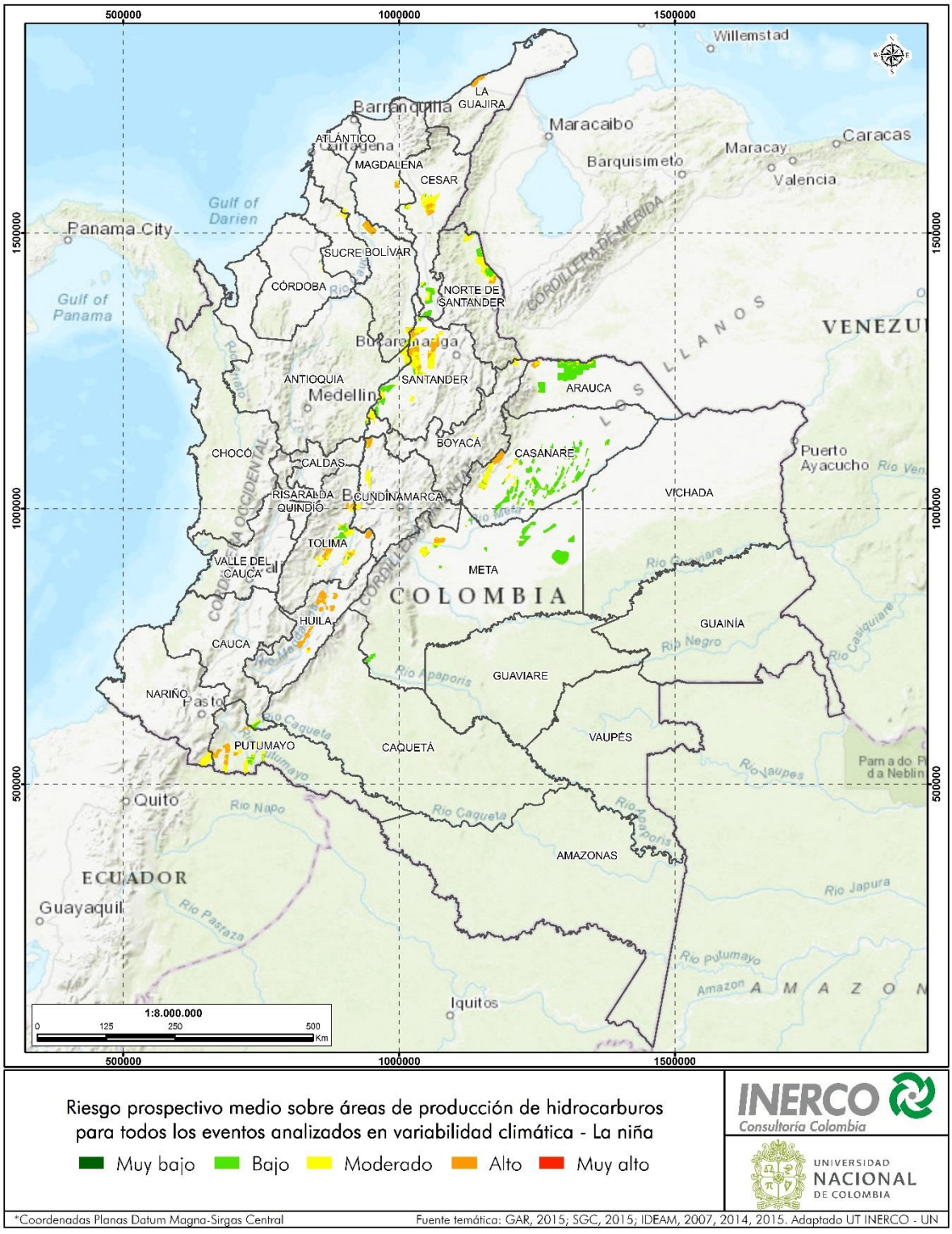
A continuación, se presentan los mapas de riesgos por componente:

Figura 2-26 Riesgo prospectivo medio para el componente de exploración



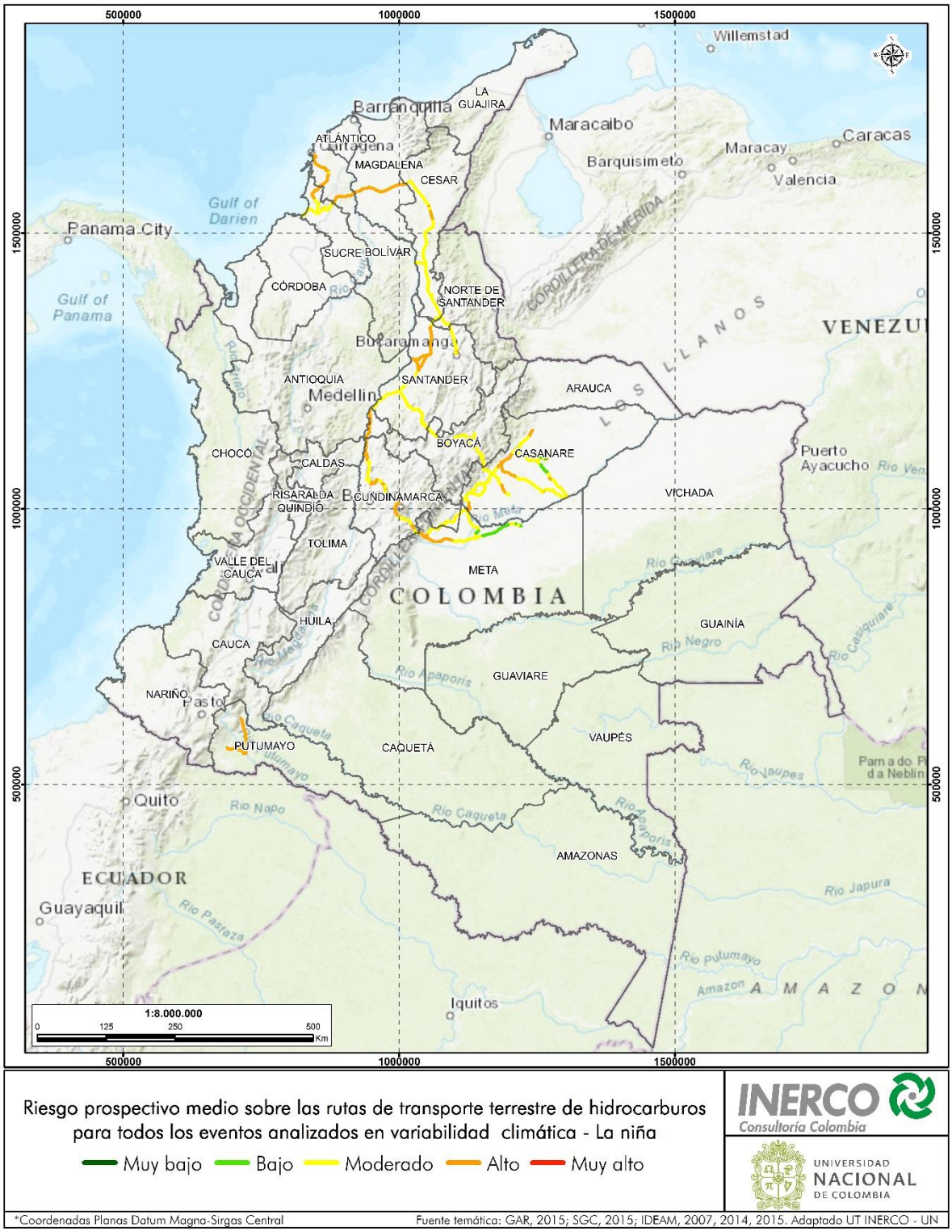
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 2-27 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción



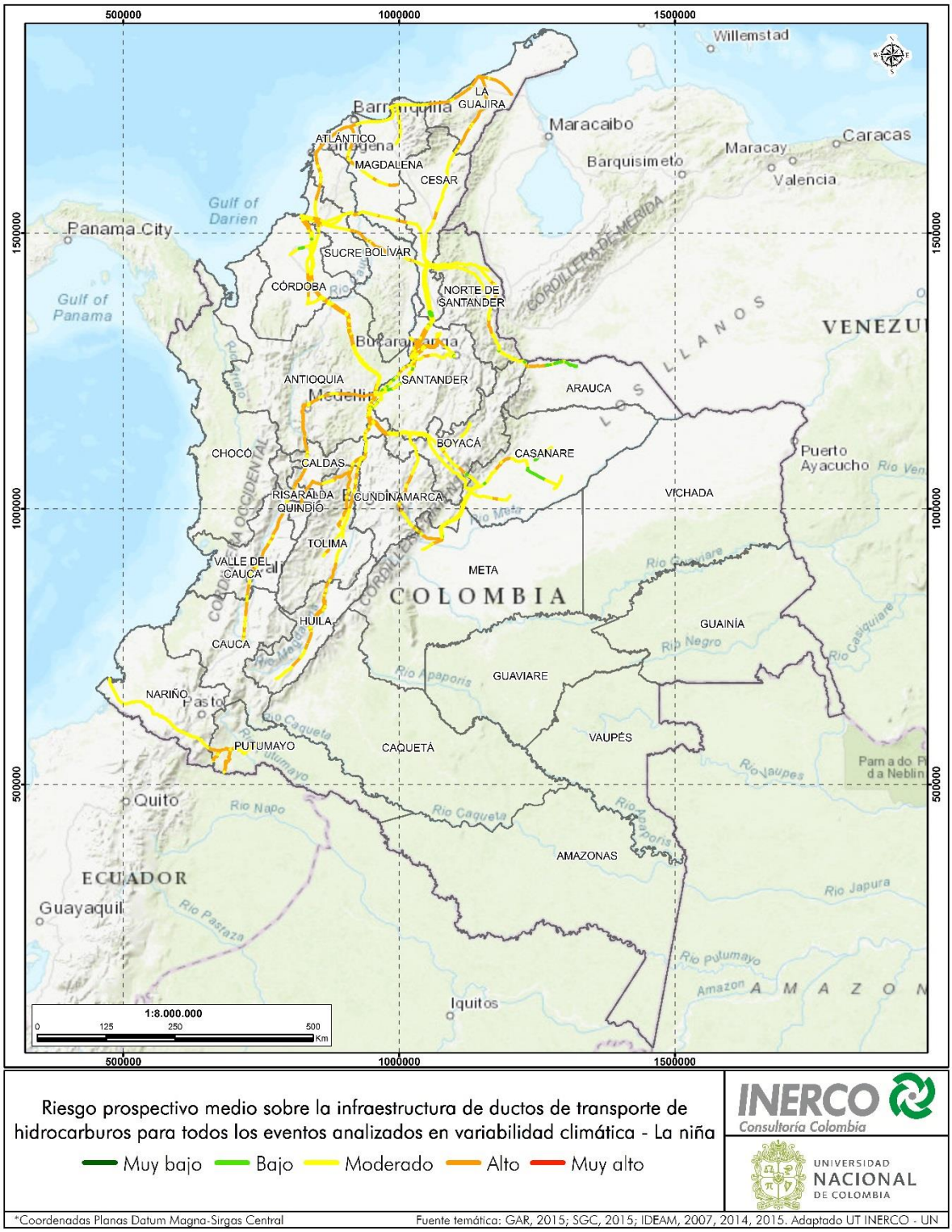
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 2-28 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de transporte terrestre



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 2-29 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de transporte por ductos



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

2.6.2.3.2 Fenómeno de El Niño

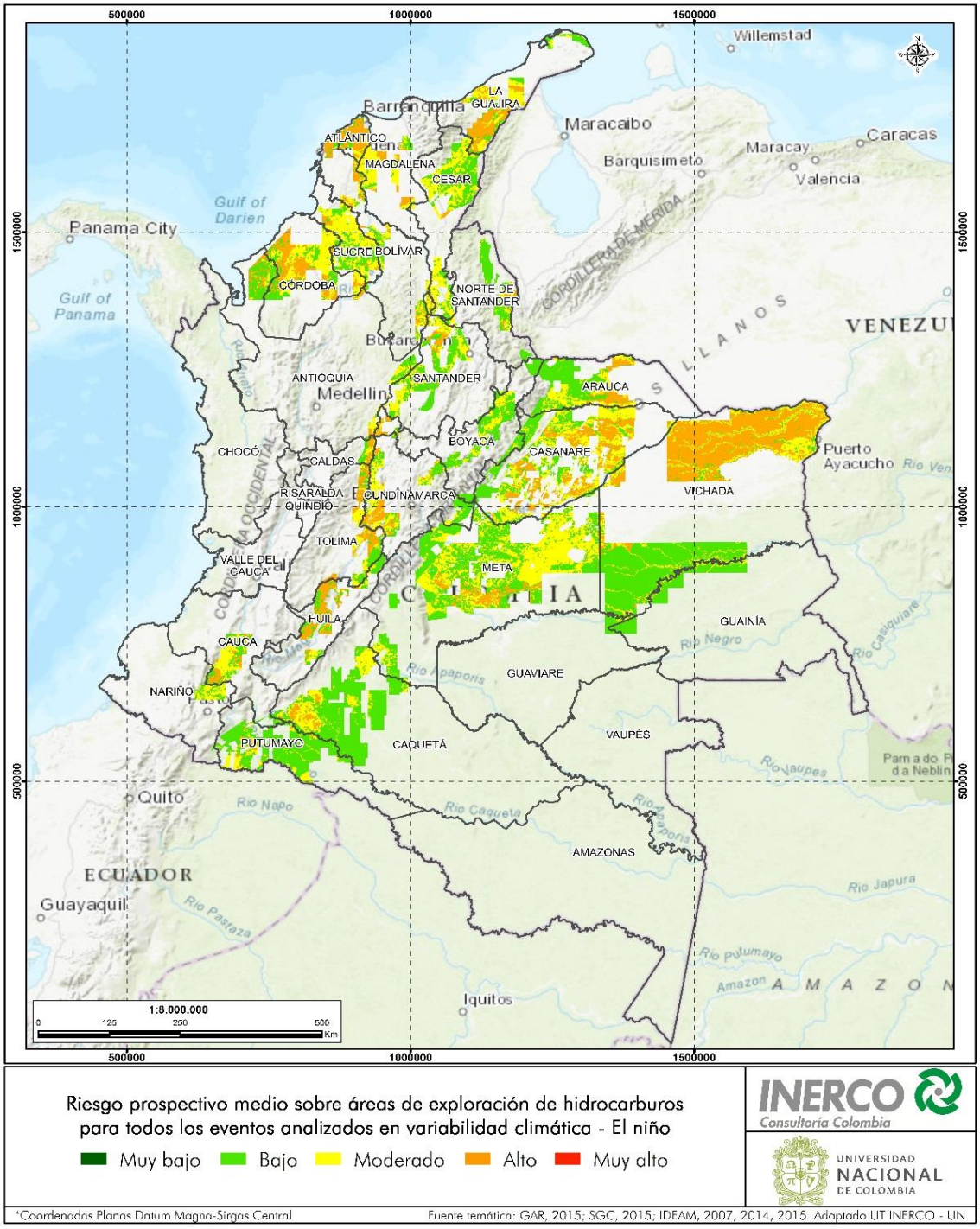
El sector de hidrocarburos no presenta riesgos de valoración muy alta debido a la variabilidad climática fenómeno de El Niño en ninguno de los componentes del sistema; sin embargo, los riesgos de valoración alta y moderada constituyen el 60 % de sus riesgos totales, lo que permite priorizar las medidas para la disminución de los impactos de los eventos a los que el sistema es más susceptible y está expuesto. Los eventos en orden de importancia son desabastecimiento hídrico e incendios forestales.

El riesgo alto por Desabastecimiento hídrico, afecta al componente de producción no convencional y disminuye su impacto a moderado en los componentes de producción convencional y transporte por ductos. El riesgo por incendios forestales es de impacto moderado para los componentes de exploración y producción. Estos riesgos sobre el sistema impactan la continuidad de las operaciones, debido a la imposibilidad del acceso a las áreas, a la interrupción del transporte de los hidrocarburos, a la interrupción de la cadena de abastecimiento de las operaciones, especialmente de materias primas (agua) y bienes y servicios. Estas interrupciones y demoras en la operación conllevan a sobrecostos operacionales y en algunos casos en los planes de mantenimiento y reparaciones.

Del anterior análisis se puede concluir que, los riesgos sobre el sistema del sector de hidrocarburos debidos al cambio climático tienen el mismo impacto que los valorados para variabilidad climática fenómeno de El Niño, permitiendo priorizar medidas que disminuyan su afectación a las operaciones, disminuyendo la vulnerabilidad del sector al aumentar su capacidad de adaptación, asumiendo desde el presente dichas medidas con proyección a los escenarios futuros.

A continuación, se presentan los mapas de riesgos por componente:

Figura 2-30 Riesgo prospectivo medio para el componente de exploración



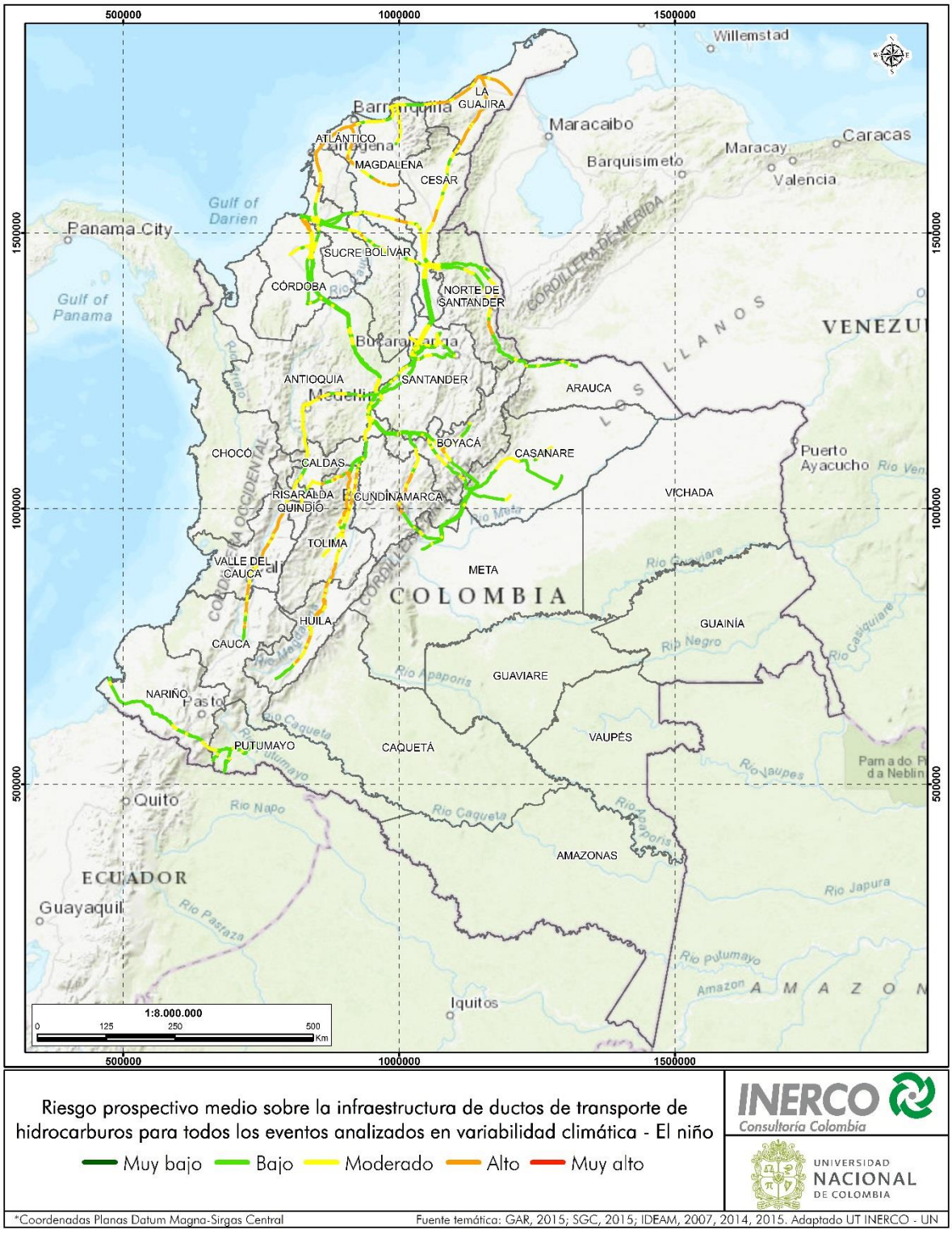
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 2-31 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 2-32 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de transporte por ductos



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

2.7 Identificación medidas de adaptación

A continuación se presenta la revisión de medidas a nivel nacional e internacional realizada por los expertos sectoriales de la Unión temporal INERCO – Universidad Nacional de Colombia.

Tabla 2-41 Revisión internacional de medidas para subsector de hidrocarburos

Revisión internacional de medidas de adaptación	
Gobernanza climática	
Planes comunitarios para la instalación de "bio-poros" (pequeños hoyos que se llenan de hojarasca) para reducir la salida rápida del agua del sistema de drenaje.	Advisian & Acclimatise. Climate Change Adaptation and Resilience. Water in the Oil & Gas Sector.
Implementar planes piloto para el uso compartido del recurso hídrico.	Ebinger, J., Vergara, W. The world bank. 2011. Climate Impacts on Energy Systems. Key Issues for Energy Sector Adaptation.
Resiliencia/Seguridad en la distribución	
Proveer una mayor capacidad de almacenamiento de productos y materiales en caso de interrupción de la cadena de suministro.	Acclimatise. 2009. Briefing report for Henderson Global Investors, Insight Investment, Railpen Investments and Universities Superannuation Scheme. Oil and gas. Understanding the investment implications of adapting to climate change.
• Construir apropiados corta-fuegos en los escenarios futuros de amenazas. • Diversificar las fuentes de adquisición de insumos para la operación, bienes y servicios. • Uso de múltiples rutas/formas de transporte.	Australian National University & Investor Group on Climate Change. 2016. Assessing climate change risks and opportunities for investors. Oil and Gas Sector
Considerar estructuras de transporte subterráneo.	Ebinger, J., Vergara, W. The world bank. 2011. Climate Impacts on Energy Systems. Key Issues for Energy Sector Adaptation.
Resiliencia/Seguridad energética/sectorial	
Preposicionamiento de generadores portátiles e insumos para proveer electricidad a las facilidades más críticas durante la crisis (DOE, 2010).	U.S. Department of Energy. 2013. US. Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather.
Resiliencia/Seguridad operativa	
• Considerar tasas proyectadas de calentamiento y los impactos en el enfriamiento durante el diseño de nuevas facilidades. • Explorar e implementar medidas de manejo del agua, que incluyan desarrollo de aportes alternativos de agua, consiguiendo nuevos reservorios y pozos, procesos de manejo eficiente del agua, captación y almacenamiento de agua lluvia y reciclaje del agua.	Acclimatise. 2009. Briefing report for Henderson Global Investors, Insight Investment, Railpen Investments and Universities Superannuation Scheme. Oil and gas. Understanding the investment implications of adapting to climate change.

Revisión internacional de medidas de adaptación	
• Incorporar sistemas de drenaje para incrementar la capacidad de resistir la intensidad de mayores precipitaciones y la instalación de SuDS (Sustainable Drainage Systems. • Revisar los programas de mantenimiento de la infraestructura y las facilidades incorporando estimaciones ante eventos climáticos extremos fuera de los históricos registrados.	
• Adquirir seguros que cubran las interrupciones en las operaciones, en la cadena de suministro y los daños a la infraestructura. • Mejorar los estándares de los ductos a resistencias extremas de calentamiento por incendios.	Australian National University & Investor Group on Climate Change. 2016. Assessing climate change risks and opportunities for investors. Oil and Gas Sector
Aceleramiento del desarrollo de tecnologías de desalinización de baja energía.	Ebinger, J., Vergara, W. The world bank. 2011. Climate Impacts on Energy Systems. Key Issues for Energy Sector Adaptation.
• Acondicionamiento y reúso los fluidos de fracturamiento para reducir los requerimientos de agua fresca. • Construcción de barreras contra las inundaciones para las facilidades más vulnerables. • Incentivo de tecnologías para recuperar el gas de los *shale*, como los procesos de fracturamiento en seco (usando reacciones exotérmicas en lugar de agua para la fractura de la roca).	U.S. Department of Energy. 2013. US. Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather.
Impulso del desarrollo de tecnologías alternativas para el reciclaje del agua.	UND, IFC & IPIECA. 2017. Mapping the oil and gas industry to the sustainable development goals: An atlas.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 2-42 Revisión nacional de medidas para subsector de hidrocarburos

Revisión internacional de medidas de adaptación	
Resiliencia/Seguridad en la distribución	
Incorporación en la planificación de las operaciones una plataforma de monitoreo de amenazas naturales que permita realizar ajustes en el mantenimiento de la red.	García, H., Colonia, J., Corrales, J. Plataforma tecnológica para el monitoreo de amenazas naturales en el oleoducto Ocensa.
Incorporación de los planes de mantenimiento y ampliación de la red vial nacional, las estimaciones ante eventos climáticos extremos fuera de los históricos registrados.	MinTransporte, DNP, MinAmbiente, ANI, INVIAS, NGRD, IDEAM. Plan vías-CC: vías compatibles con el clima. Plan de Adaptación de la Red vial primaria de Colombia
Resiliencia/Seguridad operativa	
• Instalación de sistemas de alertas tempranas que permitan una mejor	MinAmbiente, MinTransporte, Invemar. 2016. Plan de gestión del cambio climático para los

Revisión internacional de medidas de adaptación	
preparación para reducir los impactos del cambio climático. • Mejoramiento de los sistemas de drenajes y obras de protección costera. • Recuperación de los ecosistemas costeros que se encuentran en los alrededores de las terminales.	puertos marítimos de Colombia

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

2.7.1 Priorización medidas de adaptación

En el marco del estudio se analizó la propuesta metodológica de priorización de medias de adaptación elaborada por la Universidad Nacional (UN) de Mendellin para la Unidad de Planificación Minero Energética (UPME), con el propósito de analizar su aplicabilidad al contexto de la formulación del PIGCC. El modelo de priorización desarrollado por la UN Medellín, aunque es muy útil, está diseñado para priorizar las medidas o acciones en un contexto decisional distinto al de la formulación de un plan de las características del PIGCC.

La metodología de priorización propuesta consiste básicamente en un diseño de análisis multiciriterio para ordenar opciones alterativas para la consecución de un objetivo. Esto significa que cada medida de adaptación o cada acción tiene un mismo propósito. No obstante, el PIGCC está estructurado no sólo en torno a un objetivo y varios objetivos específicos, dentro de los cuales se alinean las acciones de adaptación identificadas, sino que, ademas, esas líneas y acciones dentro de un misma línea estratégica, antes que alternativas, son complementarias las unas con las otras. En este contexto, la aplicación de un proceso de priorización de medias o acciones no parece una opción adecuada.

2.8 Indice de confiabilidad

Coincidiendo con la metodolgía planteada, a continuación en la tabla 3-31 se presenta los resultados del indice de confiabilidad del sector de hidrocarburos:

Tabla 2-43 Índice de confiabilidad del sector hidrocarburos

Operaciones	¿Considera que la información utilizada para la operación ha sido?	¿Considera que la/las operacion de cálculo utilizada en la operación ha/han sido?	¿Considera que la métrica utilizada en la operación ha sido?	¿Considera que la validación de la operación con actores claves ha sido?
Rango de calificación	5= la más adecuada y mejor disponible 4=la más decuada y más aproximada a la mejor disponible 3=la disponible que permitia operar 2=insuficiente 1=muy insuficiente	5=suficientemente rigurosas 4=adecuada 3=la única disponible que permitia operar 2=mejorable 1=notablemente mejorable	5=suficientemente rigurosas 4=adecuada 3=la única disponible que permitia operar 2=mejorable 1=notablemente mejorable	5=muy amplia 4=amplia 3=suficiente 2=mejorable 1=notablemente mejorable
Promedio	4,1	4,9	4,0	4,0
Indice metodológico	0,40	0,40	0,30	0,40
Indice operativo	0,82	0,97	0,40	0,40

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

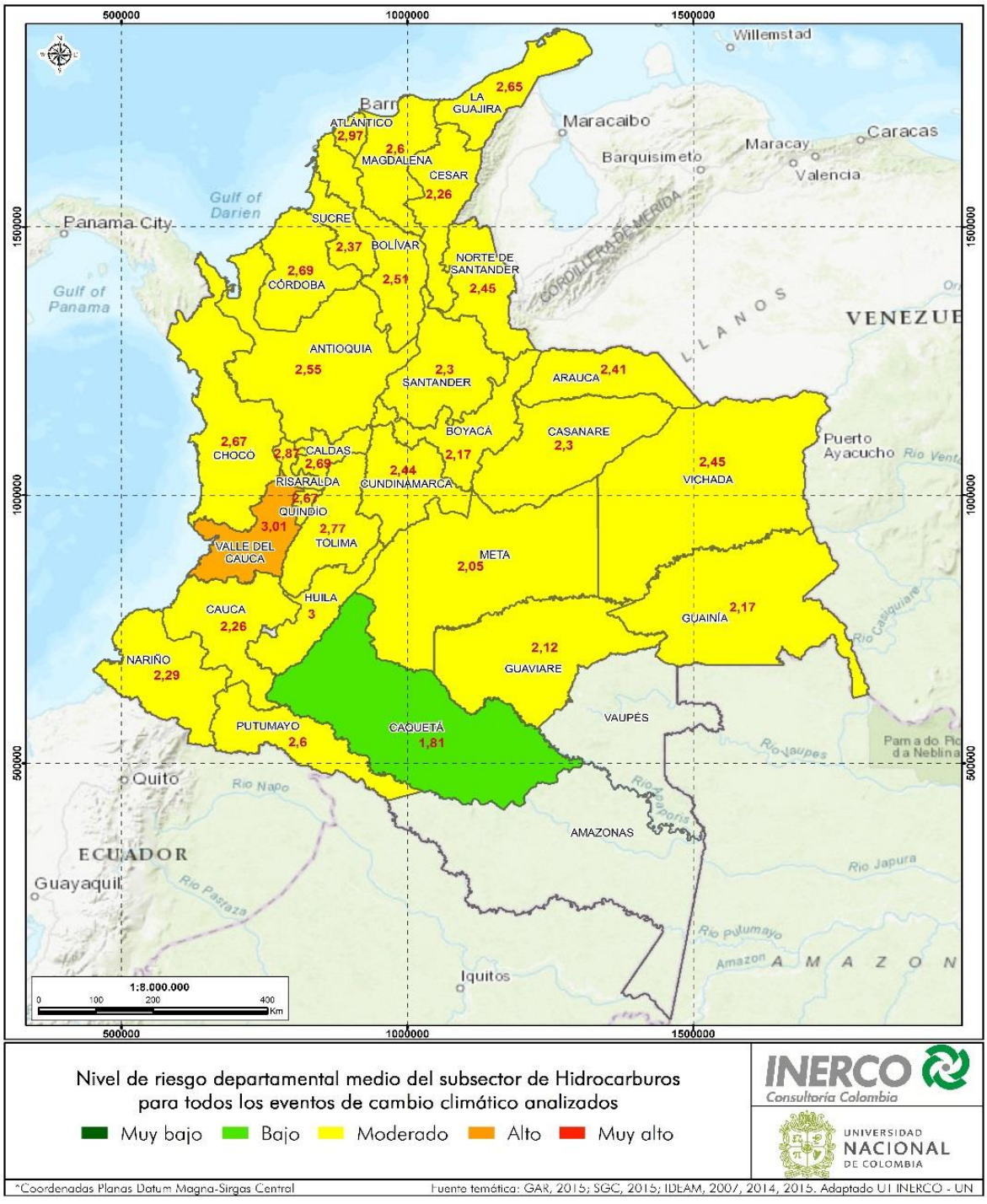
En total, se calcula un índice de 4,1, lo que se traduce en un índice operativo y metodológico riguroso, y que el nivel de confianza del escenario es ALTO.

2.9 Indice de riesgo departamental

2.9.1 Cambio Climático

Como se evidencia en la figura 2-33, el departamento que mayor riesgo representa para el subsector de hidrocarburos es el Valle del Cauca, con un nivel de riesgo alto. Por otro lado, los demás departamentos a excepción de Vichada y Amazonas, presentan un nivel de riesgo moderado para este subsector, mientras que el departamento de Caquetá presenta un riesgo bajo.

Figura 2-33 Riesgo departamental medio del subsector de hidrocarburos para todos los eventos de cambio climático analizados



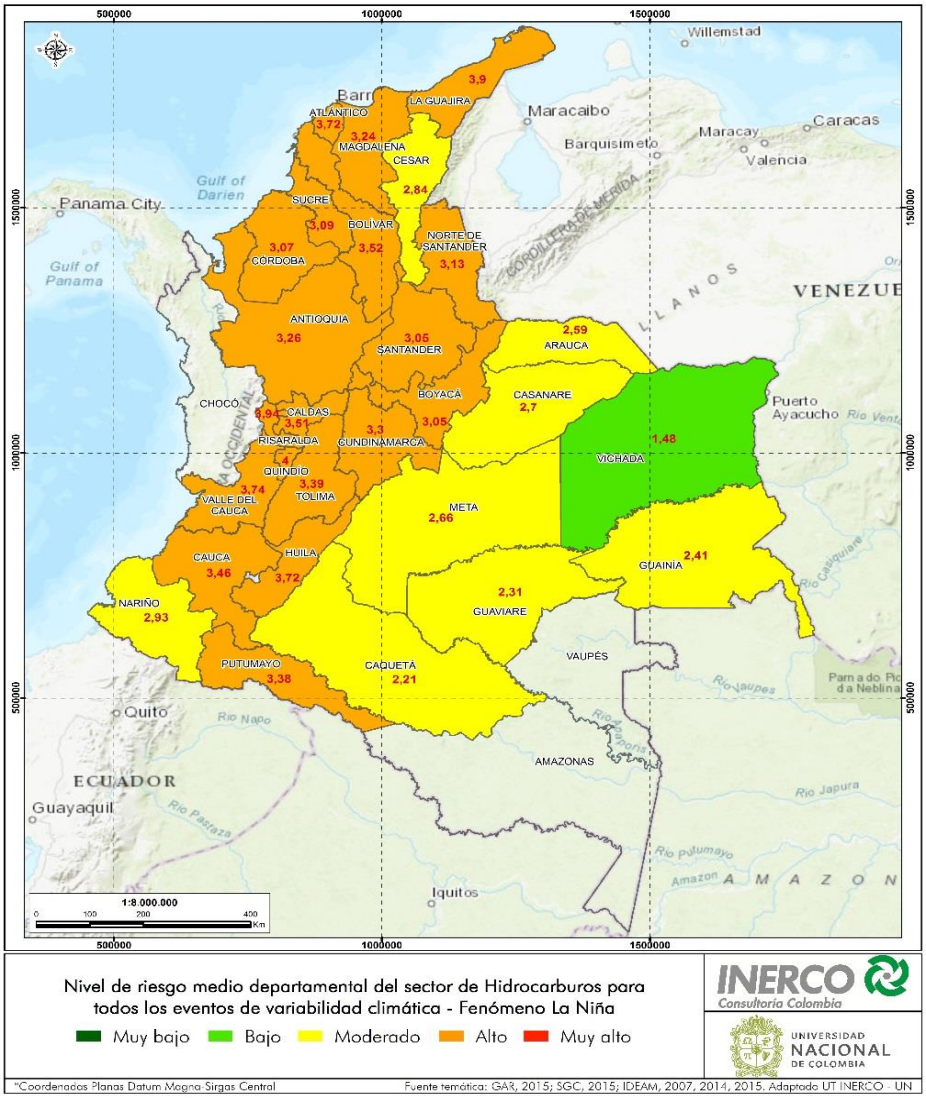
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

2.9.2 Variabilidad Climática

2.9.2.1 Fenómeno de La Niña

Como se evidencia en la figura 2-34, los departamentos que presentan un nivel de riesgo alto para el subsector de hidrocarburos, se encuentran en la región andina y caribe, a excepción de los departamentos de Cesar y Nariño, cada uno con nivel de riesgo moderado, al igual que los departamentos de Arauca, Casanare, Meta, Caquetá, Guaviare y Guainía. Por otro lado, Vichada es el único departamento que presenta nivel de riesgo bajo para este subsector.

Figura 2-34 Riesgo departamental medio del subsector de hidrocarburos para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de La Niña

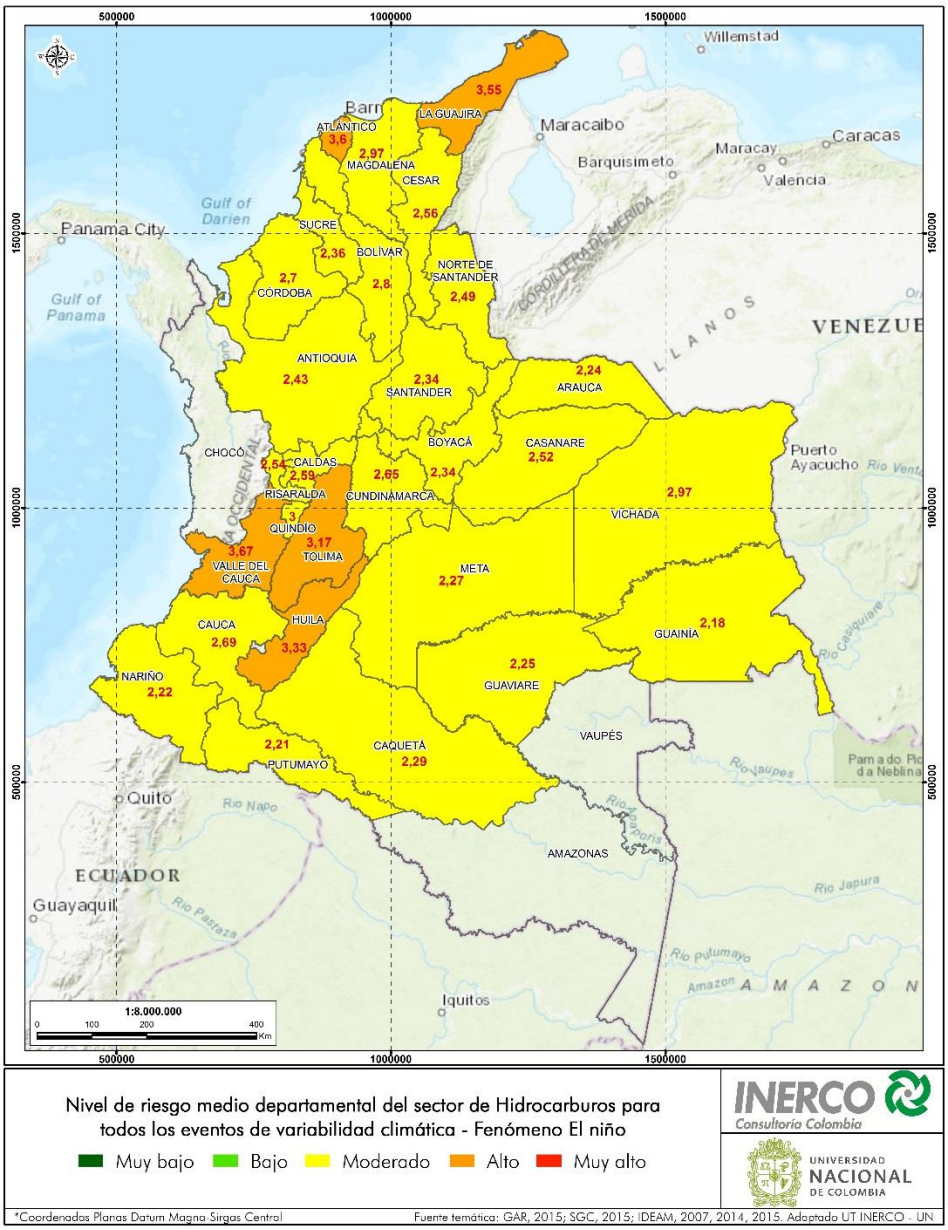


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

2.9.2.2 Fenómeno de El Niño

Como se evidencia en la figura 2-35, los departamentos que mayor riesgo representan para el subsector de hidrocarburos son Valle del Cauca, Atlántico, La Guajira, Huila y Tolima con nivel de riesgo alto, mientras que los demás departamentos a excepción de Chocó, Vaupés y Amazonas, presentan un riesgo con un nivel de riesgo moderado.

Figura 2-35 Riesgo departamental medio del subsector de hidrocarburos para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de El Niño



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

3. GRAN MINERÍA DE CARBÓN

3.1 Selección de eventos

La escogencia de los eventos climáticos amenazantes en las áreas con presencia del subsector de la gran minería de carbón se realizó con base en los reportes técnicos y de prensa. Posteriormente, se sustentó y validó la selección durante un taller realizado con los representantes de las empresas mineras, funcionarios del Ministerio de Minas y Energía y la UPME.

Desabastecimiento hídrico

De acuerdo con Hurtado[23], las regiones con mayor amenaza de desabastecimiento hídrico en el país son La Alta Guajira, la cuenca del río Cesar y la franja litoral del Caribe; mientras, las cuencas del río Sinú y San Jorge cuentan con un nivel de amenaza bajo a este fenómeno. Lo anterior indica que en las zonas con mayor presencia del subsector de la gran minería del carbón, los departamentos de La Guajira y Cesar, es donde se han presentado los mayores eventos de desabastecimiento hídrico y, en consecuencia, para los que se esperan mayores impactos futuros.

Así, la ocurrencia de este fenómeno en el pasado ha afectado directa o indirectamente a la actividad extractiva. Por ejemplo, durante la sequía registrada en 2014, la producción en La Guajira debió ser paralizada para no ocasionar impactos ambientales debido a la dificultad para controlar el material particulado[24]. Durante ese mismo período, la compañía Carbones del Cerrejón distribuyó mensualmente más de 500 m^3 de agua potable proveniente de La Mina y de la planta desalinizadora de Puerto Bolívar entre 89 comunidades indígenas. En agosto de 2016, ante la fuerte escasez hídrica y por instrucción de la autoridad ambiental, Cerrejón debió suspender las operaciones de transporte y cargue en el puerto debido al aumento de las emisiones de polvillo[25]. Aunque no se reportaron situaciones tan extremas en el Cesar durante la sequía de 2014, la compañía Drummond distribuyó cerca de 1.000 m^3 de agua en comunidades del Cesar y Magdalena.

[23] Hurtado, G. (2012). Sequía meteorológica y sequía agrícola en Colombia: incidencias y tendencias. Contrato 223-2012. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Sequias+Incidencias+y+Tendencias.pdf/3e72c86c-cf4a-42f9-95f1-07e7cf88861a

[24] ANM (2014). Producción de minas y canteras. Tercer trimestre de 2014. Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/produccion_minerales_3_trimestre_2014.pdf

[25] RCN Noticias (31 de agosto de 2016). Cerrejón reanuda sus exportaciones de carbón tras suspensión por contaminación. Disponible en: http://www.noticiasrcn.com/nacional-economia/cerrejon-reanuda-exportaciones-carbon-tras-suspension-contaminacion

Incendios forestales

Durante los largos períodos de desabastecimiento hídrico se incrementa la amenaza de ocurrencia de incendios forestales, por ejemplo, según Corpocesar en 2016 se presentaron 112 incendios que afectaron 1.160 km^2 (116 mil hectáreas) en el departamento, incluidos los municipios de La Jagua de Ibirico, Agustín Codazzi, El Paso, El Copey y Becerril, donde se encuentra ubicada la gran minería del carbón[26]. Sin embargo, esta es una situación recurrente en las sabanas del Cesar, en 2014, cuando fueron afectadas más de 111 familias fue necesario utilizar más de 160 m^3 (42 mil galones) de agua con líquido retardante suministrado por la empresa Drummond[27].

Según la Resolución 1762 de 2009[28], un proceso de compensación realizado por Drummond en el que se habían plantado casi 11 mil árboles en una zona protectora fue consumido por el fuego en 2006. En la misma resolución, se indica que estos incendios forestales son cíclicos y afectan el material vegetal plantado por las empresas mineras. Así, durante el taller de concertación realizado en Valledupar en octubre de 2017, los representantes de las empresas mineras indicaron que existe una condición recurrente en la vía que de Bosconia conduce a La Jagua de Ibirico, en la que los viajeros arrojan botellas de vidrio a los lados de la vía, y estas actúan como lupas causando incendios que, posteriormente, son atribuidos por la comunidad al subsector de la gran minería del carbón.

El alcance de estos procesos impacta a las compañías mineras como lo expresa una nota de prensa de marzo de 2017, según la cual se presentan incendios "… como el ocurrido a comienzos de esta semana en La Jagua de Ibirico, donde las llamas consumieron una gran extensión de un lote en la vía al matadero perteneciente a Prodeco"[29].

Aumento de temperatura – olas de calor

Durante la ocurrencia del fenómeno El Niño en 2016, el IDEAM declaró la alerta roja por aumento de temperatura en 14 departamentos del país[30], entre ellos se encontraban La

[26] El Heraldo (11 de enero de 2017). "La imprudencia humana es la que más genera incendios forestales": Corpocesar. Disponible en: https://www.elheraldo.co/cesar/la-imprudencia-humana-es-la-que-mas-genera-incendios-forestales-corpocesar-318837

[27] El Espectador (2 de abril de 2014). "Responsables de incendios forestales irán a la cárcel": Santos. Disponible en: https://www.elespectador.com/noticias/politica/responsables-de-incendios-forestales-iran-carcel-santos-articulo-484575

[28] Minambiente (2009). Resolución número 1762 del 15 de septiembre de 2009. Disponible en: http://anla.gov.co/sites/default/files/res_1762_150909.pdf

[29] Radio Guatapurí (01 de marzo de 2017). IDEAM pronostica continuidad en la temporada seca en marzo en el Cesar. Disponible en: http://radioguatapuri.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=44446:ideam-pronostica-continuidad-de-temporada-seca-en-marzo-en-el-cesar&Itemid=218

[30] El Espectador (17 de enero de 2016). Altas temperaturas rompen récord. Disponible en: https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/altas-temperaturas-rompen-record-articulo-611104

Guajira, Cesar y Córdoba, los tres departamentos donde tienen operaciones las empresas del subsector de la gran minería del carbón. Aunque este evento no presenta reportes públicos acerca de sus impactos, se considera una amenaza importante debido al trabajo al aire libre de un gran número de empleados del subsector, lo que significa posibles reducciones en los horarios laborales para preservar la salud.

Remoción en masa

La ocurrencia de procesos denudativos durante los períodos invernales y la ocurrencia de huracanes son altamente frecuente. Para el caso del subsector de la gran minería del carbón, se han considerado los efectos sobre los taludes en las minas, los botaderos y los retrollenados, donde es factible el desencadenamiento de estos fenómenos. Aunque no se cuenta con información sobre la recurrencia de estos eventos dentro de las áreas de extracción, pues la gestión de estos fenómenos forma parte de la operación de cada empresa, se sabe que son fenómenos que se presentan con relativa frecuencia. Estos procesos también afectan los diferentes modos de transporte, en particular el portuario debido a la erosión costera y el carretero por afectación de taludes viales.

Inundaciones

Durante el fenómeno de La Niña, ocurrido entre el segundo semestre de 2010 y el primero de 2011 y conocido como la ola invernal, la producción de la gran minería del carbón se vio afectada por las fuertes precipitaciones, lo que significó retrasos en algunos compromisos contractuales con compradores internacionales. Según el presidente de Cerrejón para esa época, hubo días de 23,5 horas de lluvia seguida que impidieron la operación[31]. Por su parte, Drummond reportó pérdidas cercanas a los 200 millones de dólares en el primer semestre de 2011 por efecto del mismo fenómeno, debido a que ocasionaron cerca de 1.000 horas de parálisis de la mina Pribbenow[32].

Tormentas y huracanes

La región Caribe colombiana se ha visto afectada por el paso o la cercanía de diferentes eventos ciclónicos, entre los más recordados está el huracán Joan en 1988; así como los huracanes César – Douglas (1996) e Irene (2011), junto con la tormenta tropical Bret (1993).
Durante el paso del huracán Matthews por la región Caribe colombiana en septiembre de 2016, el corredor ferroviario entre Chiriguaná y Santa Marta sufrió afectaciones en un

[31] Revista Dinero (11 de diciembre de 2010). ¿Cuánto nos cuesta el invierno? Disponible en: http://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/cuanto-cuesta-invierno/109351
[32] El Pilón (5 de diciembre de 2011). Casi US$200 millones le ha costado el invierno a Drummond. Disponible en: http://elpilon.com.co/casi-us200-millones-le-ha-%E2%80%98costado%E2%80%99-el-invierno-a-drummond/

tramo de 1,5 km[33] El IDEAM declaró la alerta roja en los arroyos Tabaco, Cerrejón y Bruno en inmediaciones de El Cerrejón por incremento súbito de los caudales, al igual que en el río Cesar y sus afluentes[34] y, finalmente, las fuertes precipitaciones asociadas con este fenómeno redujeron sus expectativas de producción para ese año. Igualmente, el departamento del Cesar fue uno de los más impactados por el paso de este huracán causando fuertes lluvias y desbordamiento de ríos[35].

Aumento del nivel del mar

Este fenómeno tiene muy pocos registros técnicos o científicos; sin embargo, el IDEAM ha reportado que para Cartagena, entre 1952 y 1993, se evidencia una tendencia creciente a una tasa promedio de 3,6 mm/año para un total de elevación de 15,2 cm en el período considerado[36]. En 1993, la estación fue reubicada por lo que la serie quedó interrumpida.

De acuerdo con el Invemar, existe una marcada y creciente tendencia en la generación de erosión costera derivada del aumento del nivel del mar en las áreas donde se ubican los puertos carboneros en el departamento del Magdalena[37]. No obstante, el informe de esta entidad no presenta datos soportados técnicamente para sus conclusiones, entre las que se atribuye la erosión costera exclusivamente a la presencia de puertos carboneros, una idea que ha sido adoptada por los residentes de los municipios afectados[38]. Aun en ausencia de información técnica y científica sólida con respecto a la tasa de aumento del nivel del mar, la ocurrencia de erosión costera se ha hecho evidente en las costas de los departamentos de Magdalena y La Guajira, donde se encuentran asentados los puertos carboneros. Por ejemplo, en el municipio de Ciénaga la erosión costera ya ha alcanzado el área urbana[39].

[33] ANI (7 de octubre de 2016). Se reactivó operación del corredor férreo Santa Marta – Chiriguaná, luego de daños ocasionados por el huracán Matthew. Disponible en: http://www.ani.gov.co/se-reactivo-operacion-del-corredor-ferreo-santa-marta-chiriguana-luego-de-los-danos-ocasionados-por

[34] IDEAM (3 de octubre de 2016). Informe técnico. Diario N° 277. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/78690/547726/10_IDA_OCTUBRE_03_2016.pdf/035c718a-1e97-41f4-9236-c689604076d4?version=1.0

[35] RCN Radio (2 de octubre de 2016). El Cesar uno de los departamentos más afectados por el paso del huracán Matthew. Disponible en: http://www.rcnradio.com/medioambiente/cesar-uno-los-departamentos-mas-afectados-paso-del-huracan-matthew/

[36] Málikov, Í. (2010). Análisis de las tendencias del nivel del mar a nivel local y su relación con las tendencias mostradas por los modelos internacionales. Nota técnica del IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/21021/23877/TENDENCIAS+DEL+NIVEL+DEL+MAR.pdf/2fc812e5-d4e4-4628-ac61-a5b34aa500f1

[37] Invemar (2016). Evaluación de la vulnerabilidad por ANM en la zona costera del departamento Magdalena. Disponible en: http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/a248991d-a78a-4d22-8ef5-8ce517a0625d/EvaluacionANM.pdf?ticket=TICKET_656a795fe003c76ba9c2c0826a93cdc6549cb44b

[38] El Tiempo (16 de enero de 2016). Erosión costera tiene en alerta roja a Ciénaga. Disponible en: http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16483006

[39] *Ibídem*

A los procesos de erosión costera se suma el impacto que el aumento del nivel del mar tiene sobre los ríos al represarlos en la desembocadura causando sedimentación en las bocas y, por lo tanto, incrementando su potencial de desbordamiento. Según lo anterior, se consideró que los eventos seleccionados para el subsector hidrocarburos, analizados en los capítulos anteriores eran totalmente pertinentes para el análisis de la gran minería del carbón, no siendo adecuado añadir nuevos eventos.

3.2 Áreas del sistema

3.2.1 Cambio climático

Las áreas del sistema de la gran minería del carbón se distribuyen según su producción y el modo de transporte utilizado para la exportación desde los puertos marítimos.

3.2.1.1 Áreas de producción

La producción de la gran minería se encuentra ubicada en los departamentos de La Guajira, Cesar y Córdoba.

La Guajira

El área productiva de este departamento se encuentra entre los municipios de Fonseca al sur y Albania al norte. Las operaciones para lograr minería a gran escala comenzaron a finales de la década de los ochenta y principios de los noventa (Mundo Minero, 2016). De acuerdo con Ingeominas (1999), actual Servicio Geológico Colombiano, los carbones se encuentran en la Formación Cerrejón que cuenta con un espesor promedio de 900 m. El yacimiento cuenta con algunos rasgos estructurales sobresalientes como la falla de Oca al norte, la del Cerrejón al oeste que se constituye en el límite entre la serranía de Perijá y el valle del río Ranchería y, finalmente, la de Ranchería ubicada en el centro del yacimiento. Los carbones de este yacimiento se clasifican como bituminosos altos en volátiles, tipo B, bajos en azufre y óptimos para usos térmicos (Consorcio Silva Carreño y Asociados – Hugo Millán, 2004).

Cesar

El área carbonera del departamento se encuentra entre los municipios de Becerril, El Paso, Codazzi, La Jagua y La Loma. Las extracciones de gran minería, es decir, mayores a 1,3 millones de toneladas (Mt) anuales, comenzaron a partir de 2003 cuando la empresa Drummond superó las 16 Mt. Las formaciones carboneras corresponden a Los Cuervos y

Cerrejón, cuyos carbones se clasifican como bituminosos altos en volátiles, tipo C, óptimos para usos térmicos[40]

Córdoba

Los carbones se encuentran dentro de la Formación Ciénaga de Oro y las operaciones se realizan en las estribaciones de la serranía de San Jerónimo y Ayapel. Los carbones se clasifican como sub-bituminosos Tipo B y C (Consorcio Silva Carreño y Asociados – Hugo Millán, 2004).

La máxima producción registrada en las operaciones del municipio de Puerto Libertador corresponden a 2016 cuando alcanzó las 1.4 Mt anuales permitiendo a esta zona catalogarse como de gran minería. El carbón de Puerto Libertador tiene como destinación principal la planta termoeléctrica Gecelca 3 ubicada en el mismo municipio; adicionalmente, se abastecen algunas plantas cementeras en algunos departamentos de la zona Caribe.

[40] Consorcio Silva Carreño y Asociados – Hugo Millán. Plan de infraestructura de transporte y portuaria para el desarrollo minero en Colombia. Informe final Módulo I. 2004

Figura 3-1 Áreas de producción, cierre y abandono

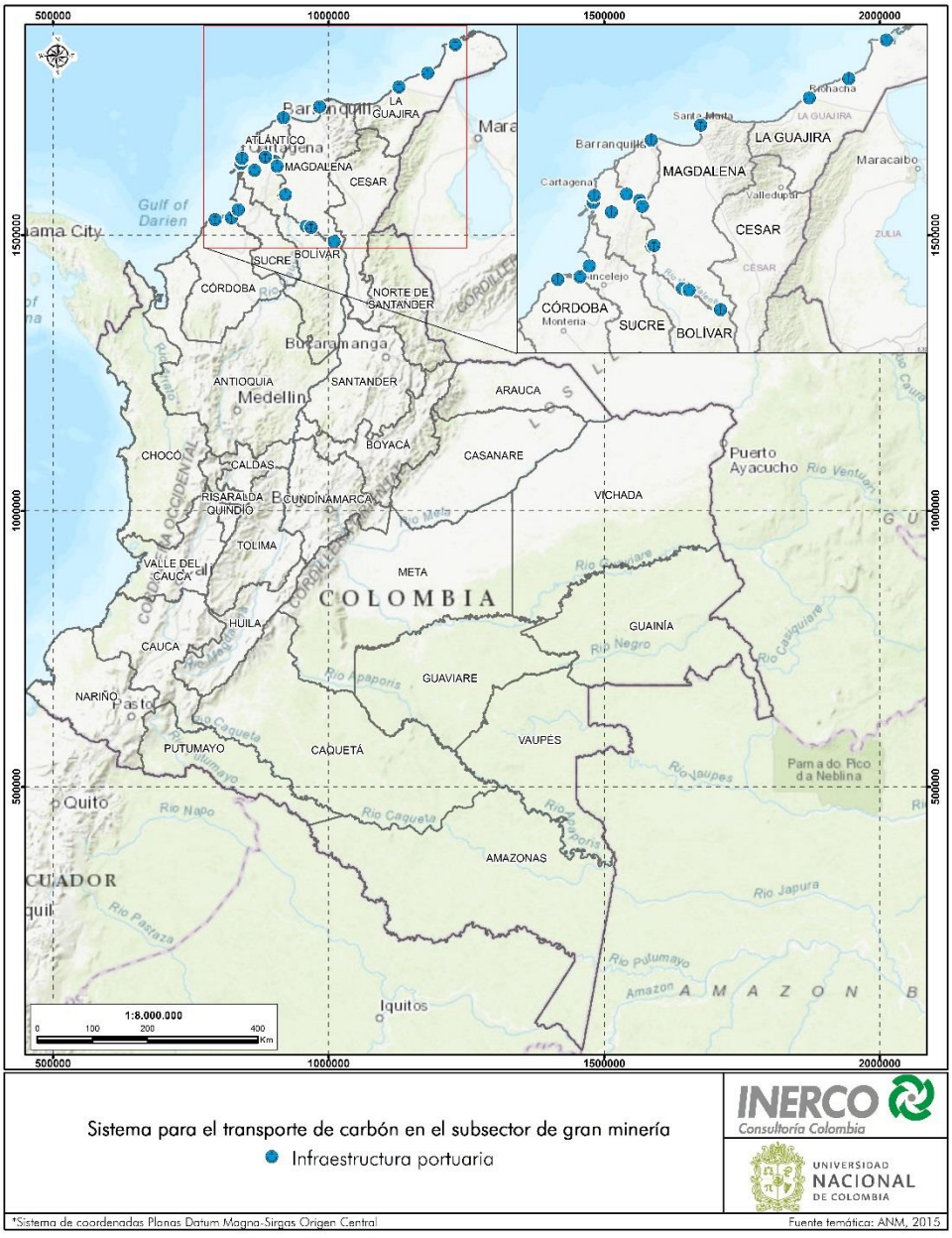


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

3.2.1.2 Áreas de infraestructura portuaria

La infraestructura portuaria consiste en áreas de almacenamiento temporal y sistemas de cargue directo a los buques de gran calado. Los puertos carboneros para exportación de la gran minería se encuentran en los municipios de Uribia en La Guajira (Cerrejón), y Santa Marta y Ciénaga en Magdalena; en este último se encuentran los puertos de Drummond, Prodeco (Glencore) y Colombia Natural Resources (CNR).

Figura 3-2 Áreas de infraestructura portuaria



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

3.2.1.3 Áreas de transporte lineal

Para la exportación de carbón del norte del país, se utilizan cuatro modos de transporte hasta los puertos marítimos, el de mayor capacidad es el ferroviario, seguido del carretero y en menor medida el fluvial.

Corredores viales

En general, se utiliza la red vial nacional para el transporte desde las minas hasta los puertos así: desde La Guajira utiliza el corredor Barrancas – Cuestecitas – El Ebanal – Santa Marta a lo largo de 187 km, desde el Cesar se usa el corredor La Jagua – Ciénaga – Santa Marta con una longitud de 285 km y, finalmente, desde Córdoba se emplea la vía Montelíbano – Cerromatoso y Montelíbano – Cartagena.

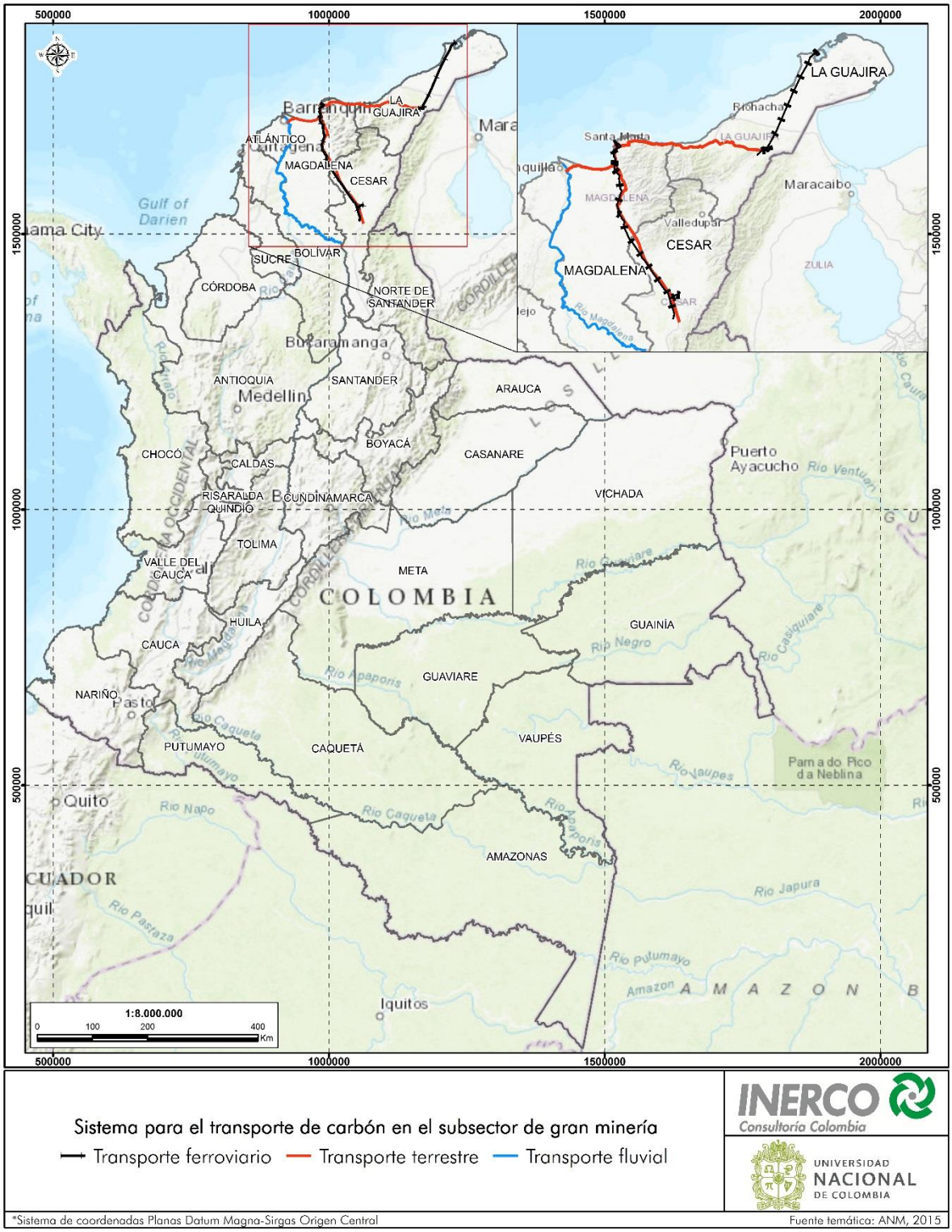
Corredores ferroviarios

El carbón de Cerrejón se transporta desde Barrancas hasta Puerto Bolívar a través de una línea con 150 km de longitud propiedad de Cerrejón y el del Cesar desde La Loma hasta Ciénaga y Santa Marta por una línea con una longitud de 210 km, administrada por Ferrocarriles del Norte de Colombia, una empresa de la que son accionistas las compañías exportadoras de carbón.

Ruta fluvial

La ruta por el río Magdalena se compone de un sistema combinado consistente en transportar el carbón por modo carretero desde La Jagua hasta Tamalameque (117 km) en el Cesar y desde allí hasta Barranquilla o Cartagena.

Figura 3-3 Áreas para transporte lineal



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

3.2.1.4 Áreas de cierre minero

Coincidentes con las áreas de producción carbonera de gran escala.

3.2.2 Variabilidad climática

El componente de minería se basa en las áreas de gran minería de carbón, relacionadas con los bloques con potencial de carbón donde existe producción y a su vez, se puede dar explotación de este mineral.

La gran minería de carbón está igualmente dividida en seis áreas de análisis al igual que el escenario de cambio climático. Un área de producción, una de transporte, dividida en cuatro sub-áreas (carretera, ferroviario, fluvial y portuario) y una última área de cierre y abandono.

De acuerdo a lo anterior, se definieron para la gran minería de carbón tres áreas de análisis, integrando a partir de ellas las que se pueden analizar de la misma manera. Esta integración se realiza con la finalidad de buscar el mejor análisis posible de acuerdo a la mejor representación cartográfica de las mismas.

Tabla 3-1. Áreas de análisis gran minería

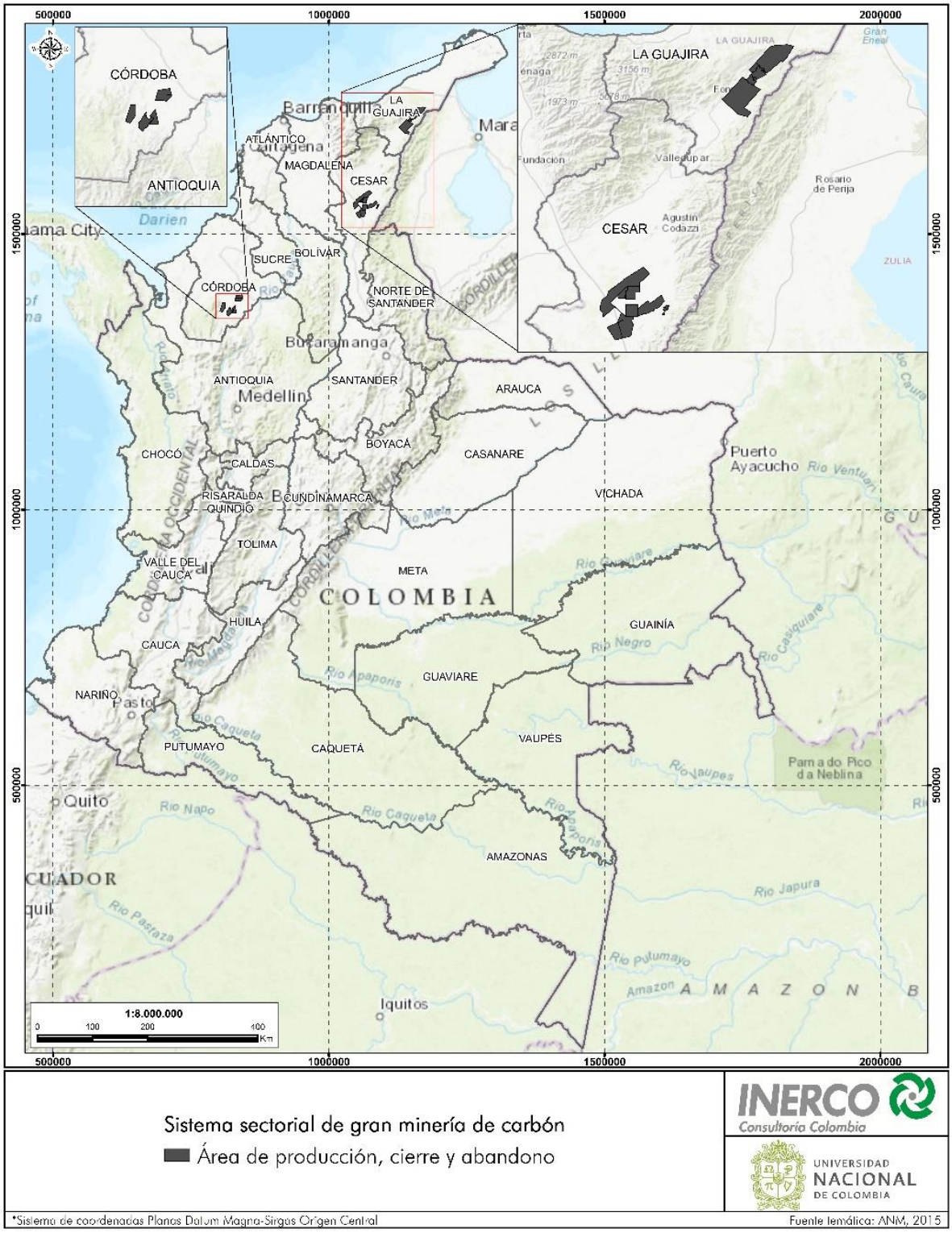
Áreas por subcomponente	Áreas de análisis establecidas
Producción	Áreas en producción, cierre y abandono
Cierre y abandono	
Transporte terrestre	Transporte lineal
Transporte fluvial	
Transporte ferroviario	
Puertos	Transporte puntual

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

3.2.2.1 Áreas en producción, cierre y abandono

Sobre los bloques de gran minería de la Agencia Nacional de Minería (ANM) se localizan las áreas poligonales identificadas, en este caso, el área de análisis de producción y cierre y abandono. Dado que geográficamente un área de cierre y abandono y una de producción comparten la misma localización, el análisis se centra en evaluarlas dentro de un mismo polígono, siendo este cada uno de los polígonos de gran minería. Estas áreas se reflejan dentro de los polígonos de gran minería, en la figura 3-4.

Figura 3-4 Áreas de producción, cierre y abandono

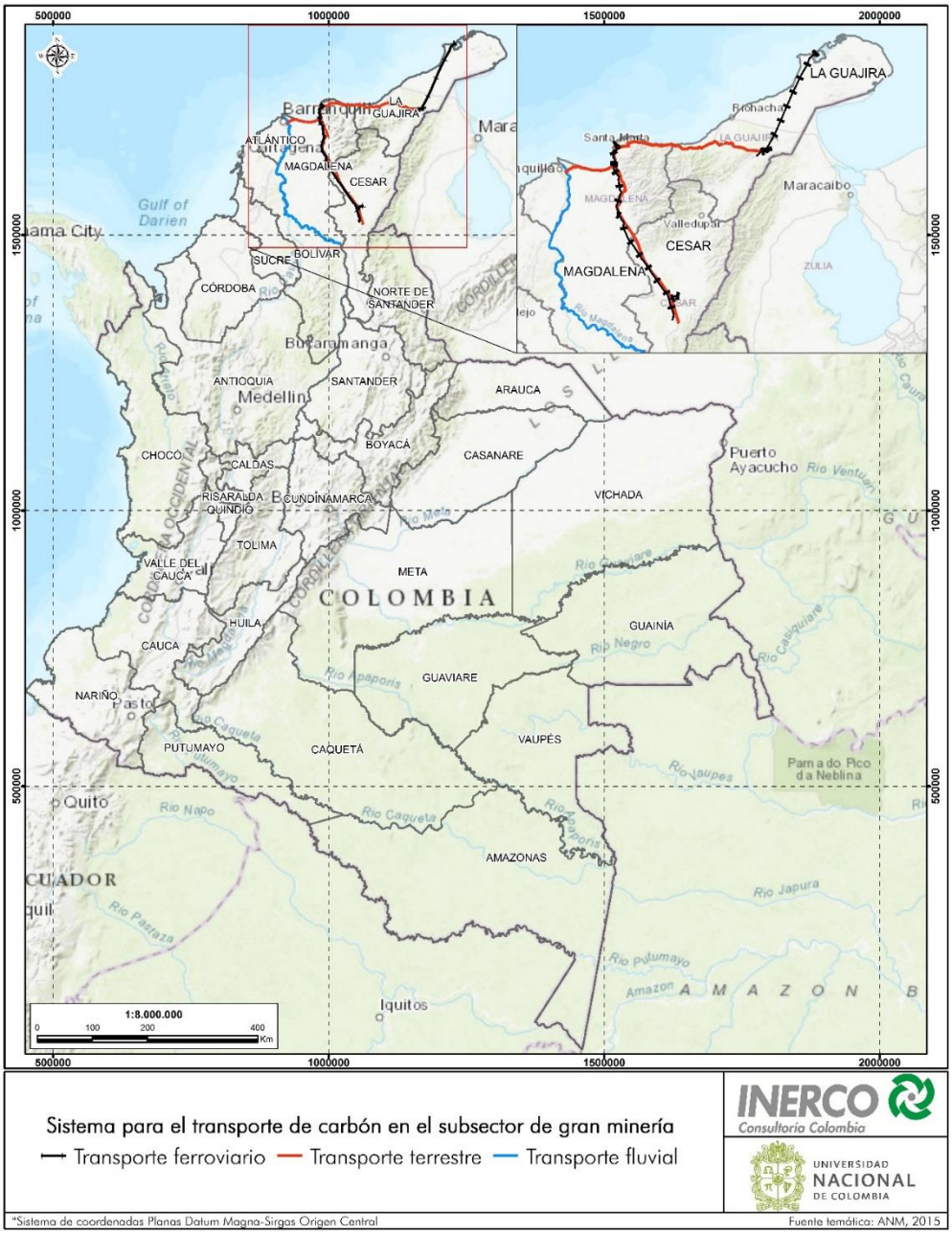


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

3.2.2.2 Áreas de transporte lineal

El área de análisis de transporte lineal reúne las diferentes formas de transporte lineal en las que se transporta el carbón. Estas son transporte ferroviario, terrestre y transporte fluvial. La figura 3-5 representa los tres tipos de transporte que componen esta área de análisis.

Figura 3-5 Áreas de transporte lineal

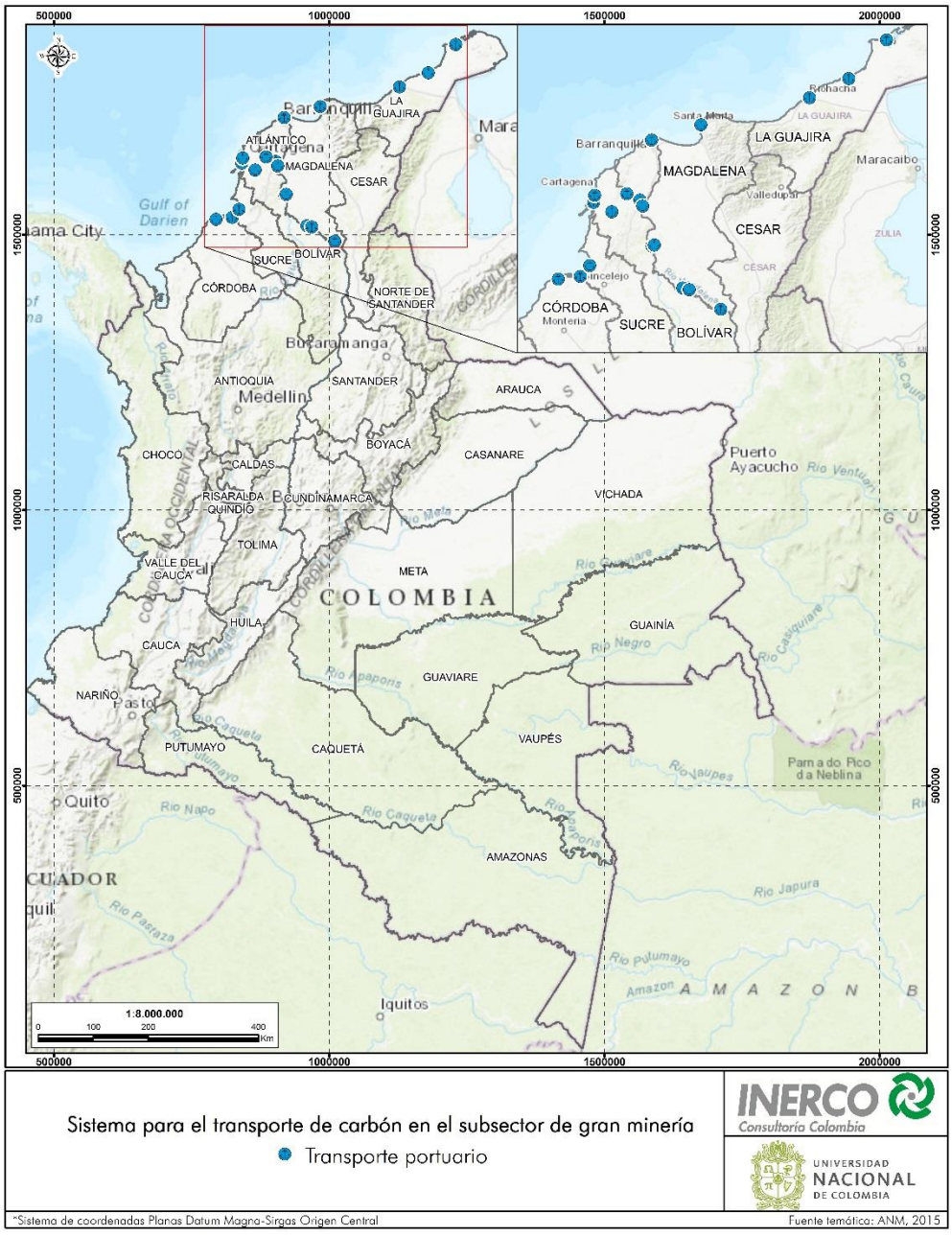


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

3.2.2.3 Áreas de infraestructura portuaria

El área de análisis de infraestructura portuaria se refiere a la ubicación geográfica de los puertos de embarque de carbón. Estos se encuentran tanto en a nivel marítimo como continental, estos últimos sobre ríos de gran importancia y ligados al transporte fluvial, como se evidencia en la figura 3-6.

Figura 3-6 Áreas de Infraestructura portuaria



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

3.3 Caracterización del subsector gran minería de carbón

Con base en la clasificación de la gran minería presentada en el Decreto 1666 de 2016, el subsector de la gran minería del carbón está presente en los departamentos de La Guajira y Cesar desde finales de la década de los ochenta del siglo pasado. Sin embargo, la producción en el departamento de Córdoba comenzó a participar dentro de esta clasificación a partir de 2016. El subsector de la gran minería del carbón está representado por operaciones a cielo abierto en La Guajira (Carbones del Cerrejón), en Cesar (Drummond, Prodeco y Colombian Natural Resources) y en Córdoba (Sator S.A.S., propiedad del grupo Argos). Así mismo, las reservas y los recursos de carbón se han estimado en 3.933 millones de toneladas (Mt) para La Guajira, 2.045 Mt para Cesar y 381 Mt para Córdoba.

- **Componentes del sistema**

Producción

El Decreto 1666 de 2016 establece una producción anual por empresa de 850 mil toneladas anuales como el límite inferior de la gran minería. Como es de esperarse, las compañías que alcanzan dicho nivel desarrollan actividades constantes de exploración dentro de los títulos mineros en operación con el objeto de garantizar la correcta explotación del recurso a lo largo de la vigencia legal del título. Adicionalmente, para las operaciones de expansión resultantes de tales actividades exploratorias son necesarias labores de construcción y montaje.

Por lo anterior, para la evaluación de las amenazas, las vulnerabilidades y los riesgos se integraron las tres actividades descritas dentro del componente de producción del subsector de la gran minería. Al tratarse de una evaluación sectorial más que empresarial, se evaluaron las amenazas climáticas existentes o futuras sobre el componente de producción en los tres departamentos donde está presente el subsector de la gran minería del carbón, para lo cual se analizaron los posibles impactos asociados con períodos de desabastecimiento hídrico y de fuertes precipitaciones en cada una de las diferentes actividades relacionadas con la exploración, la construcción, el montaje y la producción de carbón.

Transporte

El transporte de carbón ha variado notablemente en las dos últimas décadas, en particular para La Guajira y Cesar donde el modo ferroviario se ha tranformado principalmente en un sistema de exportación. En el caso de Córdoba, dicha modificación está más asociada con la demanda que pasó de estar principalmente localizada en la industria del cemento

en Cartagena a ubicarse en la misma región productiva con la instalación de la central Gecelca 3.

Sin embargo, se consideró importante analizar otros modos de transporte utilizados con mayor intensidad en el pasado y que por alguna contingencia, climática o comercial, pueden ser usados nuevamente en el futuro, como el transporte carretero entre Albania y Santa Marta en La Guajira o entre las minas del Cesar y Santa Marta o Barranquilla; también se consideró el uso del modo combinado de carretera entre dichas minas y Tamalameque, Cesar, y los terminales marítimos de Barranquilla y Cartagena. De igual forma, se consideró el transporte fluvial de carbón desde Puerto Libertador a través de los ríos San Jorge, Cauca, Magdalena y el Canal del Dique para llevar el carbón hasta Cartagena para el abastecimiento de la industria cementera.

Cierre y abandono

Las actividades requeridas para la restauración de las áreas minadas conforman el llamado componente de cierre y abandono, que resulta altamente susceptible a los eventos climáticos extremos, tanto el cumplimiento de los programas como en los impactos económicos que representan para el subsector.

La estabilidad de los taludes, la recuperación de flora y fauna, junto con el control de vertimientos en botaderos y retrollenados, son actividades vulnerables ante el cambio climático y la variabilidad climática. Por esta razón, se analizaron todos los posibles impactos a que podrían verse sometidos durante períodos de sequía u ocurrencia de fuertes precipitaciones, tanto prolongadas en el tiempo como instantáneas.

3.3.1 Distribución territorial del subsector

Como ya se ha mencionado, el subsector está representado por la producción de carbón térmico en los departamentos de La Guajira, donde se extrajo el 36,1 % del total minado en 2016; Cesar, que aportó el 53,3 % durante el mismo año y Córdoba, con el 1,5 % del total nacional en el mismo período.

En total, el subsector representó el 90,9 % del carbón extraído durante 2016 en Colombia, el cual corresponde a minería a cielo abierto. El restante 9,1 % se distribuye entre pequeña y mediana minería en los departamentos de Boyacá (3,5 %), Cundinamarca (2,7 %), Norte de Santander (2,4 %), Santander (0,2 %), Antioquia (0,16 %), Cauca (0,07 %), Valle del Cauca (0,07 %)[41].

[41] AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA (2017). Informe detallado de producción de carbón según declaraciones. Año 2016. Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/carbon_produccion_i_a_iv_trimestre_de_2016_m_6.xls

3.3.2 El subsector en la economía nacional

De acuerdo con el Ministerio de Minas y Energía[42], durante 2016, el subsector minero tuvo una participación en el PIB nacional de 2,06 %, con un incremento frente a 2015 del 4,75 %, debido a la recuperación de los precios de los productos de la canasta minera. En el mismo documento, este Ministerio reporta que la participación del carbón en el PIB minero en 2016 alcanzó el 64,94 % y, frente al PIB total, el 1,34 %. Aunque la cifra alcanzada durante 2016, de 7.25 billones de pesos fue superior a la registrada el año inmediatamente anterior (6,9 billones de pesos), la participación porcentual en el PIB minero permaneció por debajo de los niveles logrados en 2013 (1,41 %) y 2014 (1,4 %)[43].

El Indicador de Importancia Económica Municipal del DANE indica que los municipios donde se presenta actividad extractiva de carbón a gran escala en los departamentos del Cesar y La Guajira, cuentan con la mayor participación en el PIB departamental, mostrando una correlación lineal positiva y fuerte (coeficiente de correlación de 0,9) entre la actividad extractiva y el su peso relativo en el PIB[44].

3.3.3 Niveles de producción

Durante el primer decenio del presente siglo, la producción en el departamento de La Guajira mostró un crecimiento desde 22,9 Mt en 2000 hasta 31,9 Mt en 2008, cuando se registró un decrecimiento por dos años hasta las 31,1 Mt en 2010. Durante los dos años siguientes la producción aumentó hasta alcanzar las 35,1 Mt en 2012, cuando nuevamente decreció para situarse en las 33,3 Mt. Entre 2014 y 2015 hubo un leve repunte para registrar una nueva caída en 2016 hasta 32,7 Mt.

En el departamento del Cesar, donde existe un mayor número de empresas de gran minería, la producción histórica, muestra un crecimiento sostenido a lo largo de las dos últimas décadas. En 2000, se registraron 11.9 Mt y para 2007 ya había alcanzado las 33,2 Mt. En 2008 y 2009, se presentó una desaceleración que comenzó a corregirse en 2010 y que alcanzó el máximo de 46,7 Mt en 2012 que precedió un decrecimiento en 2013, desde cuando ha continuado en crecimiento para alcanzar las 48,3 Mt en 2016.

[42] MINISTERIO DE MINAS Y Energía (2017). Memorias al Congreso de la República 2016 – 2017. Disponible en: https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23907914/memorias_congreso_2016_2017.pdf/17a87ec8-e5e4-49ed-b0ab-d9af973f745d

[43] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2015). Análisis del comportamiento del PIB minero en el año 2014. Disponible en: https://www.minminas.gov.co/documents/10180/558364/PibIVTrimestre2014.pdf/2e08741f-fa27-4e0f-81f4-fcb136886eb4

[44] Bayona, E., (2006). Producción de carbón y crecimiento económico en la región minera del Caribe colombiano. En: Revista de Economía del Caribe. N°. 17. Disponible en: http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/economia/article/view/8452/html_312

Como ya se mencionó, la producción en el departamento de Córdoba sólo ingresó al subsector de la gran minería en 2016 cuando registró una producción de 1.4 Mt.

3.3.4 Comercio exterior (exportaciones)

Desde 2000, las exportaciones de carbón térmico procedente del subsector de la gran minería han mostrado una marcada tendencia creciente iniciando con 37,4 Mt hasta alcanzar las 90,5 Mt en 2016. La serie histórica oficial[45] para este subsector muestra tres decrecimientos en las exportaciones: el primero en 2009 (-0.21 %), el segundo, de mayor impacto, en 2013 (-4,2 %) y el tercero en 2016 (-1,08 %), que continuó la línea que traían las exportaciones en 2015 cuando se registró una notable desaceleración en comparación con 2014.

Desde 2003, el país ha ocupado entre el cuarto y sexto lugar como exportador mundial de carbón. En 2016, cuando se alcanzó un máximo histórico de 91,4 Mt exportadas (casi un millón más que las producidas ese mismo año), el país ocupó el quinto puesto en el ranking mundial. En cuanto a producción de carbón, actualmente, es el décimo primero en el escalafón global.

3.3.5 Precios

De acuerdo con la base de datos de Index Mundi[46] para los últimos 15 años, el precio de la tonelada del carbón térmico alcanzó un máximo de 170 USD en julio de 2008, antes de iniciar una fuerte caída que llegó a un primer mínimo en septiembre de 2009 con 55,8 USD. Un repunte temporal permitió que en abril de 2011 se registraran precios de 119,8 USD por tonelada.

Sin embargo, el descenso en el precio volvió a ser constante hasta los 43,8 USD en febrero de 2016, esto debido a la reducción en el consumo del material en China. A partir de ese mes se registró un crecimiento hasta diciembre del mismo año que llevó al precio hasta los 89,8 USD. El primer trimestre de 2017 estuvo marcado por un nuevo descenso que tuvo su mínimo en marzo con 67,9 USD antes de iniciar un crecimiento que ubicó los precios en 84 USD en octubre de este año.

3.3.6 Generación de empleos

Según los informes de sostenibilidad de las empresas, el subsector de la gran minería del carbón genera más de 26 mil empleos entre directos (50,6 %) e indirectos (49,4 %) en regiones apartadas; no obstante, esta cifra es muy inferior a la real, puesto que algunos

[45] Las cifras históricas oficiales corresponden a las reportadas por Minercol entre 2000 y 2003, Ingeominas entre 2004 y 2011, Agencia Nacional de Minería entre 2012 y 2016.
[46] INDEX MUNDI (2017). Commodity Price Index. Coal, Colombia monthly price. Disponible en: http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=colombian-coal&months=120

grupos económicos informan de forma global sobre el empleo generado sin discriminar por cada uno de sus proyectos. Así, en el departamento de La Guajira, el subsector genera un total de 11.814 empleos que se distribuyen entre directos (50,2 %) y contratistas (49,8 %)[47]. En el Cesar, el subsector reporta 7.244 empleados directos y 6.954 contratistas para un total de 14.198 [48].

3.3.7 Principales retos y problemáticas del subsector

Los eventos meteorológicos presentan grandes retos para el subsector, en particular por los daños y las pérdidas asociadas con la ocurrencia, cada vez más recurrente, de eventos climáticos extremos. A los costos en recuperación y rehabilitación de áreas mineras en producción, se suman otros impactos derivados de la ocurrencia de estos fenómenos asociados con el cambio climático y la variabilidad climática que se constituyen en retos que la industria deberá anticipar para prevenir los riesgos.

3.3.7.1 Deslegitimación de la minería

Debido a la carencia de información técnico-científica relacionada con la prevención del riesgo de desastres a escala local y municipal, los impactos generados por eventos climáticos adversos suele generar discusiones descontextualizadas sobre sus verdaderas causas. Por esta razón, no son pocos los casos en los cuales se culpa a la actividad extractiva de los impactos. Un ejemplo, es el déficit hídrico registrado en largos períodos de sequía en áreas mineras y que suele producir reacciones en las comunidades encaminadas a señalar a las empresas como responsables de la reducción de los caudales, así como para los períodos de lluvia.

La asignación de responsabilidades no siempre objetiva a la industria minera como detonante de los fenómenos naturales se convierte entonces en un gran reto para el subsector, pues la deslegitima y. por tanto, es necesario contribuir al conocimiento de estos eventos y de sus impactos, además de contribuir en la construcción de planes regionales para la adaptación.

3.3.7.2 Reducción de la demanda de carbón

Durante la vigésimo tercera Conferencia de las Partes del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático realizada en la ciudad alemana de Bonn en noviembre de 2017, 21 países acordaron reducir el consumo de carbón antes de 2030 en lo que se ha denominado Primera Alianza mundial contra el carbón. Aunque países

[47] CARBONES DEL CERREJÓN (2017). Informe de sostenibilidad 2016: año de alianzas con el territorio. Disponible en: http://www.monodual.com/InformeSostenibilidad2016lg.pdf

[48] GRUPO PRODECO (2016). Informe de sostenibilidad 2015. Disponible en: http://www.grupoprodeco.com.co/informesostenibilidad2015/esp/index.html#0

altamente dependientes del carbón en la generación de energía eléctrica como Alemania, España y Turquía no suscribieron la alianza, otros como México, que es importador de carbón colombiano, se adhirieron a la iniciativa. De esta forma, el mercado del carbón podrá tener cambios significativos en el próximo decenio, lo que se convierte en un nuevo reto para el sector de la gran minería en Colombia.

3.3.7.3 Precios internacionales

Hasta hace poco sólo se consideraba el crecimiento económico de los países más demandantes de carbón para analizar el precio; sin embargo, en la actualidad se hace evidente que existe un fuerte impacto debido a las condiciones climáticas en los países productores y consumidores; es decir, que los impactos derivados del cambio climático y la variabilidad climática se constituyen en otro reto para el subsector de la gran minería.

Después de un período de caída de los precios debido a la reducción de la demanda en China, las fuertes precipitaciones registradas en este país obligaron a reducir el uso de dos importantes plantas hidroeléctricas (Tres Gargantas y Gezhouba) en casi dos tercios de su capacidad, lo que condujo a un fuerte incremento en las importaciones de carbón y con estas a un repunte de los precios internacionales[49].

Las inundaciones registradas en las áreas carboneras de Australia durante el segundo trimestre de 2017, debido al ciclón Debbie[50] o asociados con la variabilidad climática como ocurrió durante el primer semestre de 2016[51], han mostrado la alta dependencia de los precios a partir de los eventos meteorológicos en extensas zonas de producción.

3.3.7.4 Reducción de costos de operación

El comportamiento de los precios internacionales del carbón ha llevado a las compañías productoras en el mundo a buscar la reducción de sus costos de operación; sin embargo y con base en los registros meteorológicos de los últimas décadas, se ha confirmado una tendencia creciente en la recurrencia y la intensidad de los eventos climáticos extremos y, en consecuencia, en los gastos en recuperación y rehabilitación de las áreas impactadas. En el proceso de reducción de costos de operación, entonces, surge el reto de incluir en

[49] Chestney, N. y Henning, G. (24 de julio de 2017). After China –induced prices spike, coal set to resume long-term decline. Reuters. Disponible en: https://www.reuters.com/article/us-coal-prices-analysis/after-china-induced-price-spike-coal-set-to-resume-long-term-decline-idUSKBN1A91IJ

[50] Freed, J. y Westbrook, T. (2 de abril de 2017). Coal exports disrupted in cyclone-hit Australia as floodwaters rise. Reuters. Disponible en: https://www.reuters.com/article/us-australia-cyclone-coal/coal-exports-disrupted-in-cyclone-hit-australia-as-floodwaters-rise-idUSKBN1750BZ

[51] Reuters (29 de abril de 2016). Australia coal mines brace for floods as La Nina Looms. Reuters. Disponible en: https://www.reuters.com/article/coal-australia-lanina/australia-coal-mines-brace-for-floods-as-la-nina-looms-idUSL3N17V3ES

los análisis financieros la decisión de adaptarse o no hacerlo ante la realidad de un clima más adverso.

3.3.8 Proyección del desarrollo del subsector según la política y planificación del gobierno

El Plan Nacional de Desarrollo Minero visión 2019[52] planteó entre sus objetivos duplicar el volumen de la producción registrado en 2005, lo que significa una producción anual nacional de 109,8 Mt. Con base en los registros de producción de 2016, el cumplimiento de esta meta alcanza en la actualidad el 82,5 %. Al finalizar el primer decenio del siglo actual la meta fijada por el documento mostraba un avance del 22 %, es decir, en solo cuatro años la producción de carbón se había incrementado en 13,1 Mt, y en tubo de proyectos figuraban expansiones importantes de las operaciones existentes y apertura de nuevos proyectos.

Esto permitió a la UPME revisar sus proyecciones con mayor optimismo, así que en el Plan Nacional de Desarrollo Minero 2010-2018[53], se proyectó que para 2018 la producción nacional de carbón sería equivalente al doble de la registrada en 2009, es decir, 145,6 Mt. No obstante, las condiciones de mercado, las barreras ambientales para la expansión de algunos proyectos y el aplazamiento en la entrada en operación de nuevos proyectos, entre otros, no permitirán alcanzar dicha meta; a 2016, el cumplimiento de esta meta es del 62,2 %.

La Política Minera de Colombia[54], promulgada por el Ministerio de Minas y Energía en 2016, reconoce que el subsector de la gran minería está compuesto por "proyectos ya estructurados y maduros" que en algunos casos "requieren el acompañamiento institucional, con el fin de garantizar la culminación exitosa, o al menos predecible, de los diferentes trámites" con el objetivo de mantener el nivel actual de producción o incrementarlo. Para tal objetivo, el Ministerio de Minas y Energía ha identificado algunos pilares y líneas estratégicas para este subsector:

- Seguridad jurídica.

Reglas claras para evitar el cambio normativo en el tiempo.

[52] UPME (2006). Plan Nacional de Desarrollo Minero visión al año 2019: Colombia país minero. Disponible en: http://www1.upme.gov.co/simco/PlaneacionSector/Documents/PNDM_2019_Final.pdf

[53] UPME (2013). Plan Nacional de Desarrollo Minero 2010 – 2018: versión preliminar para discusión (tiene cifras pendientes de revisión y actualización). Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Minero/PNDM_2010_2018_dic_31.pdf

[54] Ministerio de Minas y Energía (2016). Política Minera de Colombia: Bases para la minería del futuro. Disponible en: https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/Pol%C3%ADtica+Minera+de+Colombia+final.pdf/c7b3fcad-76da-41ca-8b11-2b82c0671320

- Condiciones competitivas.

Revisión de las fórmulas de pago y regalías pactadas en los contratos mineros, según el ciclo de precios de los minerales.
Promoción de la generación de oportunidades en la reducción de costos de la actividad a través de innovación y desarrollo tecnológico.

- Confianza legítima.

Mapeo, caracterización y diseño de estrategias para la intervención de actores clave.
Diálogos y coordinación con gobiernos territoriales.
Mecanismos de participación y diálogo para lograr condiciones de mutua confianza entre los actores involucrados en la cadena de valor de la minería.
Mejoramiento de la participación económica de las regiones en el desarrollo y la ejecución del proyecto minero.

- Información.

Generación y puesta a disposición la información del potencial minero para lograr mayor atracción de la inversión.
Solicitud y administración de la información proveniente de los titulares.

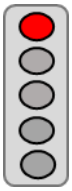
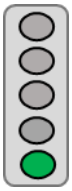
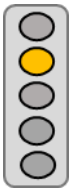
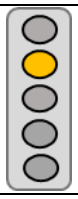
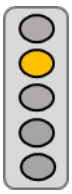
3.4 Identificación y valoración de la gravedad de las amenazas

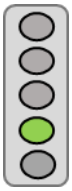
3.4.1 Cambio Climático

A continuación se presentan las amenazas para el subsector de gran minería de carbón, derivado del cruce entre la calificación de las amenazas, realizado por el experto subsectorial correspondiente y el mapa de susceptibilidad virtual para el escenario de cambio climático y las áreas del sistema.

Tabla 3-2 Amenazas al sistema para el componente de producción del subsector de gran minería de carbón

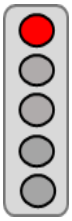
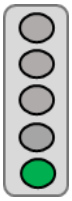
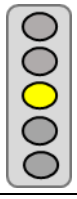
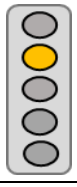
Producción			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**

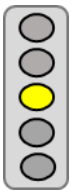
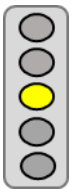
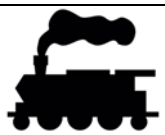
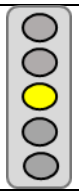
Producción			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Producción		La reducción en la disponibilidad hídrica para la humectación del terreno, produce efectos sobre el control de material particulado, incrementa costos de producción y afecta la población y los cultivos circundantes. Las altas temperaturas y la ausencia de precipitación incrementan la ocurrencia de combustiones espontáneas en las pilas de carbón. Además el desabastecimiento hídrico, reduce el caudal de los ríos y, por ende, genera contaminación por vertimientos al no disponerse de caudal suficiente para la adecuada dilución de contaminantes
 Inundación			Afecta el área en producción por anegación del pit, puede afectar la infraestructura ocasionando incremento en costos y producir desbordamiento de los sistemas de sedimentación, llevando contaminantes al entorno. Durante las fuertes precipitaciones, puede afectar los tanques sedimentadores y el ritmo de producción por seguridad industrial, también puede impactar el proceso de retrollenado, afectando la tasa de producción por reducción en la capacidad de disposición final.
 Remoción en masa			Afecta los taludes de la mina, reduce las proyecciones de producción, y ocasiona incumplimientos en compromisos contractuales y metas de producción.
 Incendios forestales			Afectan la infraestructura operacional, provocan una reducción de producción e incrementan los costos, adicionalmente, pueden generar daños en infraestructura de transmisión eléctrica.
 Aumento de temperatura			Reduce las horas de producción en el personal encargado, generando incumplimiento de los objetivos meta del cuerpo receptor de vertimientos por disminución en la capacidad de dilución, además, genera aumentos en la temperatura del agua de mar y de los ríos y, en consecuencia, aparecen de vectores.

Producción			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Tormentas y huracanes			Afectan el área de producción por anegación del pit, debilitan los taludes de la mina y presentan retrollenado y desbordamiento de sedimentos, además, afectan la infraestructura, reducen el ritmo de la producción por seguridad industrial e incrementan los costos. Durante las fuertes precipitaciones, pueden afectar los tanques sedimentadores y ocasionar afectación a la infraestructura y los sistema de retrollenado, lo que afecta la tasa de producción.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

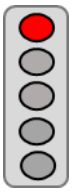
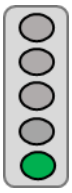
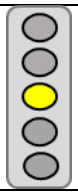
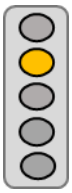
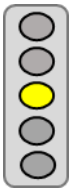
Tabla 3-3 Amenazas al sistema para el componente de transporte del subsector de gran minería de carbón

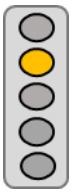
Transporte			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Transporte terrestre		Incrementa la emisión de material particulado durante el transporte de carbón, lo que conlleva a incumplimientos normativos que afectan a la población.
	 Transporte Férreo		Incrementa la necesidad de uso de humectantes para reducir las emisiones de material particulado, adicionalmente, pueden generar incumplimientos normativos por el incremento de material particulado y, como resultado, se afectan a las poblaciones.
	 Transporte Fluvial		La reducción de caudales disminuye la capacidad de transporte fluvial y se incrementan los costos; así mismo, se genera un aumento del material particulado afectando a la población.
	 Infraestructura Portuaria		Incrementa la emisión de material particulado en los patios de acopio, que conlleva a incumplimientos normativos y afectación a la población y playas aledañas.
 Inundación	 Transporte terrestre		Las inundaciones, avenidas torrenciales y fuertes de precipitaciones pueden causar accidentes, daños y deterioros en la infraestructura vial, lo que incrementa los costos, reduce la capacidad de transporte a puerto, genera pérdidas. Por otro lado, incrementa los costos en mantenimiento de vehículos de carga y vías.
	 Transporte Fluvial		Durante los fuertes períodos invernales, puede afectar la infraestructura portuaria fluvial y restringir su operación y, por lo tanto, generar un incremento de costos en rehabilitación y protección.
 Remoción en masa	 Transporte terrestre		Dificulta el acceso a las vías, y afecta el transporte de carbón y acceso de suministros, ocasionando afectaciones a los compromisos comerciales.

Transporte			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Transporte Fluvial		Agrada el lecho, lo que puede ocasionar costos por dragado.
 Aumento de temperatura	 Transporte terrestre		Sobreesfuerza al personal encargado de realizar las actividades de transporte o cargue y descargue, lo que se traduce en tiempos de inactividad durante el calor extremo, afectación a la salud y mayores requerimientos en equipos de refrigeración y aire acondicionado, además, genera aumentos en la temperatura del agua de mar y de los ríos y provoca la aparición de vectores.
	 Transporte Férreo		
	 Transporte Fluvial		
	 Infraestructura Portuaria		
 Aumento del nivel del mar	 Transporte terrestre		Incrementa la erosión de vías y taludes costeros que pueden afectar el transporte de carbón hacia los puertos y, como efecto, produce daños directos sobre las carreteras que pueden comprometer el tránsito y dificultar el cumplimiento de los compromisos comerciales.
	 Transporte Férreo		
	 Infraestructura Portuaria		Incrementa la erosión costera y los daños en la infraestructura portuaria, lo que puede afectar las zonas de almacenamiento temporal de carbón y dificultar el cumplimiento de los compromisos comerciales.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

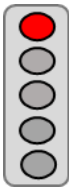
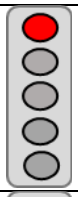
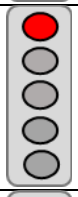
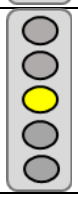
Tabla 3-4 Amenazas al sistema para el componente de cierre y abandono del subsector de gran minería de carbón

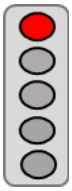
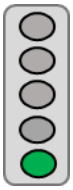
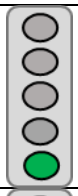
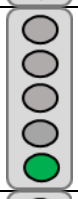
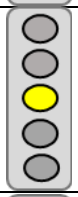
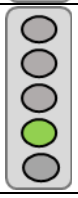
Cierre y abandono			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Cierre y abandono		Reduce la probabilidad de éxito de los programas de reforestación y rehabilitación de las áreas minadas, así como la pérdida de capacidad hidráulica en los canales de evacuación, lo que implica la agradación de los lechos que exigirán procesos posteriores de dragado.
 Inundación			Puede causar agradación y degradación de los lechos de los canales de evacuación de escorrentía. Las precipitaciones afectan los proyectos de reforestación, que producen el incremento de los costos de los planes de cierre. Adicionalmente, generan erosión en los botaderos y, por ende, se incrementan costos en el control de vertimientos y se arroja carbón en las corrientes hídricas.
 Remoción en masa			Afecta la estabilidad de los taludes de la mina o en los botaderos, lo que tiene como efecto el incremento de los costos en del plan de cierre, además, se puede producir el aporte de sedimentos contaminados en las fuentes hídricas por remoción en botaderos.
 Incendios forestales			Pueden inducir la detención de procesos de recuperación de áreas y, como resultado, provocan el incremento en los costos, adicionalmente, pueden generar colapso de los ecosistemas en las áreas en rehabilitación.
 Aumento de temperatura			Puede generar sobreesfuerzos en el personal encargado de realizar las actividades de transporte o cargue y descargue y, como consecuencia, provocar tiempos de inactividad durante el calor extremo, afectar la salud y mayores requerimientos en equipos de refrigeración y aire acondicionado, además genera aumentos en la temperatura del agua de mar y de los ríos, lo que provoca la aparición de vectores.

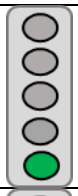
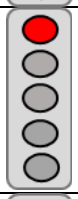
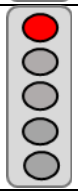
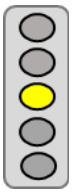
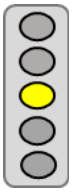
Cierre y abandono			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Tormentas y huracanes			Durante las crecientes producidas por las tormentas tropicales, se puede generar agradación y degradación de los lechos de los canales de evacuación de escorrentía. Las precipitaciones afectan los programas de reforestación, que dereva en el incremento de los costos de los planes de cierre, además, se puede presentar erosión en botaderos y, por ende, se aumentan los costos en el control de vertimientos y se arroja carbón en las corrientes hídricas.

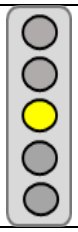
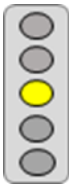
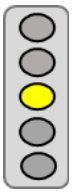
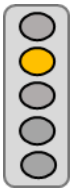
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

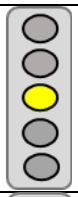
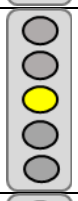
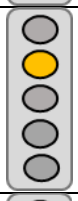
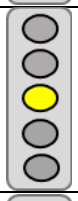
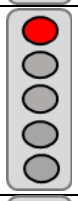
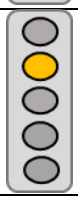
Tabla 3-5 Amenazas al entorno del subsector de gran minería de carbón

Entorno			
Evento amenazante	**Componente o subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Producción		La reducción en la disponibilidad hídrica exacerba la competencia por el acceso al recurso lo que puede generar pérdida de reputación de las empresas por parte de las comunidades. Por otro lado, los procesos de salinización de suelos pueden llegar a ser atribuido a las empresas.
	 Transporte terrestre		Reduce la oferta hídrica neta e incrementa la demanda total (doméstica, agrícola, pecuaria, servicios e industrial), y genera conflictos con la comunidad por incremento de emisiones de material particulado.
	 Transporte Férreo		
	 Transporte Fluvial		

Entorno			
Evento amenazante	**Componente o subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Infraestructura Portuaria		
	 Cierre y abandono		
 Inundación	 Producción		Afecta las vías del entorno, lo cual dificulta el acceso a los campos de explotación e induce el aislamiento de zonas inundadas. Los vertimientos eventualmente generados pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación y multas comerciales.
	 Transporte terrestre		Los daños en las vías pueden afectar el acceso a suministros requeridos para la producción. Los fuertes períodos invernales pueden causar accidentes en la vía con vertimientos a las corrientes hídricas.
	 Transporte Férreo		
	 Transporte Fluvial		
	 Infraestructura Portuaria		

Entorno			
Evento amenazante	**Componente o subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Cierre y abandono		Las fuertes precipitaciones pueden causar erosión en los botaderos, cuyo efecto puede ser el vertimiento de carbón en las corrientes hídricas.
 Remoción en masa	 Transporte Marítimo		Los procesos erosivos eventualmente generados en las pilas de almacenamiento pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación y multas comerciales.
	 Transporte Fluvial		Los procesos de remoción en masas pueden generar daños en las vías del entorno, lo que dificulta el transporte de suministros y producción.
 Incendios forestales	 Producción		Los incendios forestales inducen el aislamiento parcial de las zonas y, como resultado, se impide el acceso a las áreas y se genera una Interrupción temporal de actividades de producción, adicionalmente, pueden afectar las líneas de transmisión eléctrica causando afectación regional. Produce colapso de los ecosistemas locales o regionales.
	 Transporte terrestre		
	 Transporte Férreo		
	 Transporte Fluvial		
	 Infraestructura Portuaria		

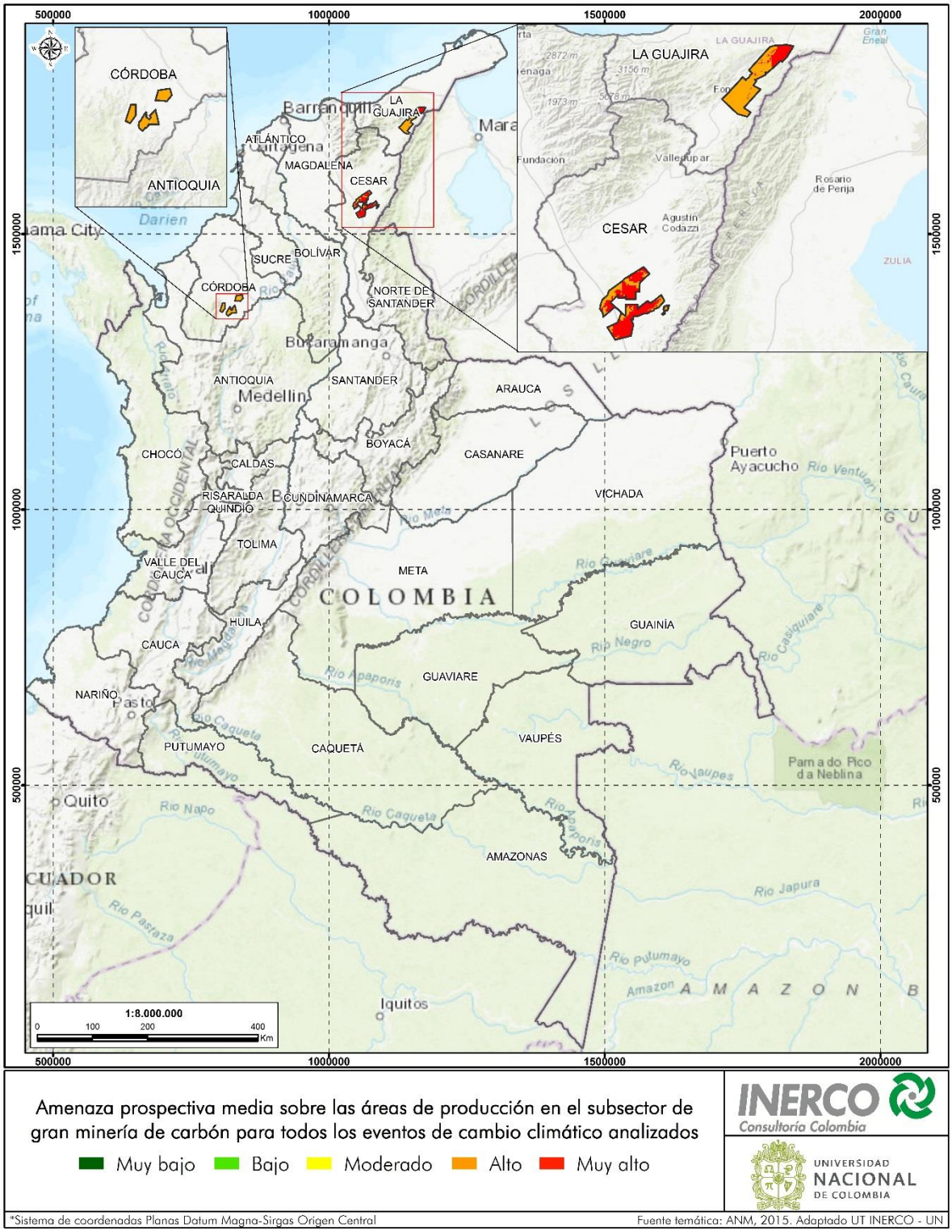
Entorno			
Evento amenazante	**Componente o subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Cierre y abandono		
 Aumento de temperatura	 Producción		Las oleadas de calor reducen la humectación del suelo y, además, se incrementan las emisiones de material particulado a la atmósfera, lo que afecta la población y los cultivos circundantes.
	 Transporte terrestre		El aumento de temperatura genera incrementos en la temperatura del agua de mar y de los ríos, lo que implica la aparición de vectores y, además, se generan afectaciones a la población o cultivos circundantes por el incremento en las emisiones de material particulado a la atmósfera.
	 Transporte Férreo		
	 Transporte Fluvial		
	 Infraestructura Portuaria		
 Aumento del nivel del mar	 Transporte terrestre		Incrementa la erosión de vías y taludes costeros que pueden afectar el transporte de carbón hacia los puertos, además, puede generar daños directos sobre las carreteras comprometiendo su tránsito y dificultando el cumplimiento de los compromisos comerciales.
	 Transporte Férreo		Incrementa la erosión de vías y taludes costeros que pueden afectar el transporte de carbón hacia los puerto; igualmente, puede generar daños directos sobre las ferrovías comprometiendo su tránsito y dificultando el cumplimiento de los compromisos comerciales.

Entorno			
Evento amenazante	**Componente o subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Transporte Marítimo		Incrementa la erosión costera y los daños en la infraestructura portuaria, que pueden afectar las zonas de almacenamiento temporal de carbón y dificultar el cumplimiento de los compromisos comerciales.
 Tormentas y huracanes	 Producción		Las tormentas tropicales generan afectaciones a las vías del entorno, lo cual dificulta el acceso a los campos de exploración e induce el aislamiento de zonas inundadas. Los vertimientos eventualmente generados pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación, multas comerciales.
	 Transporte terrestre		
	 Transporte Férreo		
	 Transporte Fluvial		
	 Infraestructura Portuaria		
	 Cierre y abandono		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

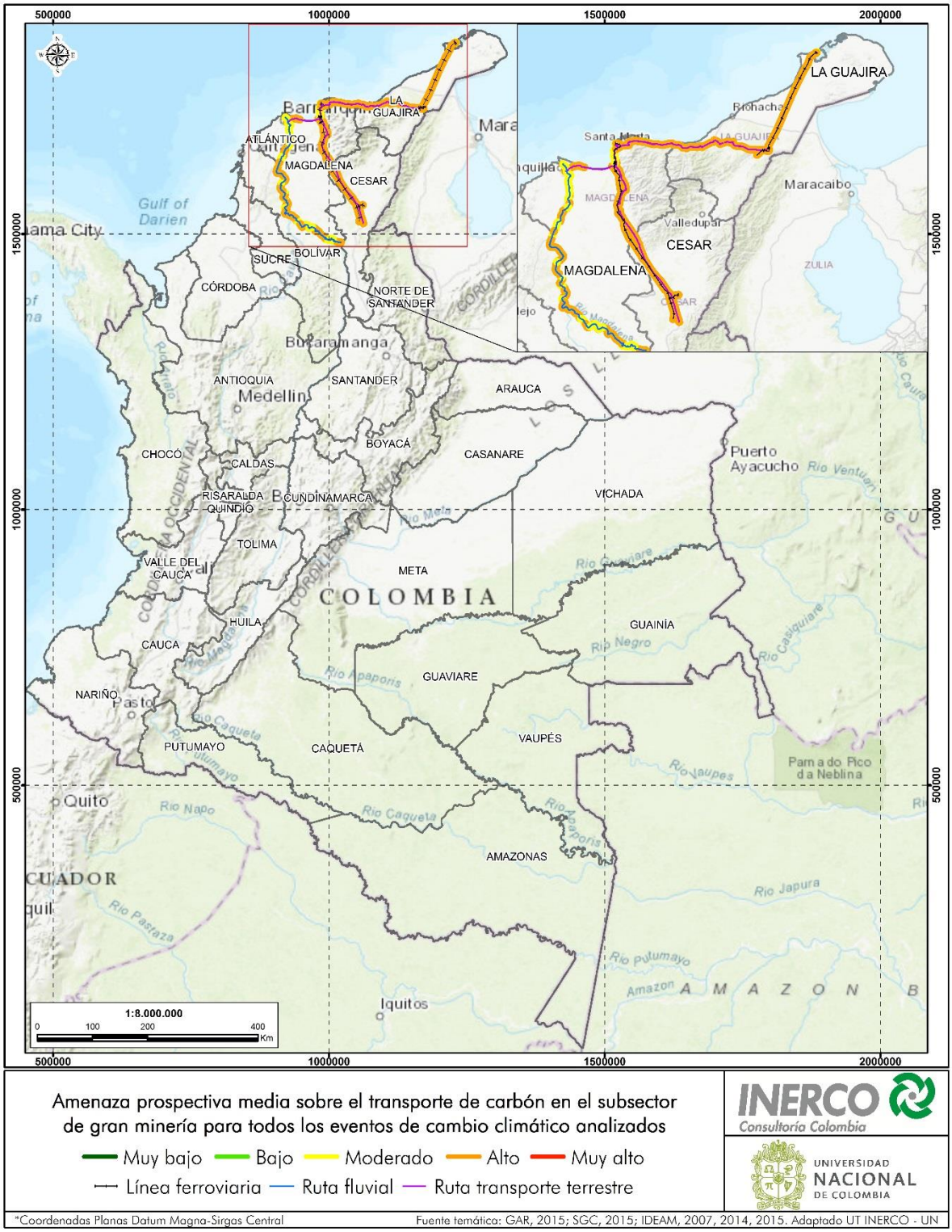
A continuación se presentan los mapas de amenazas por componente:

Figura 3-7 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción



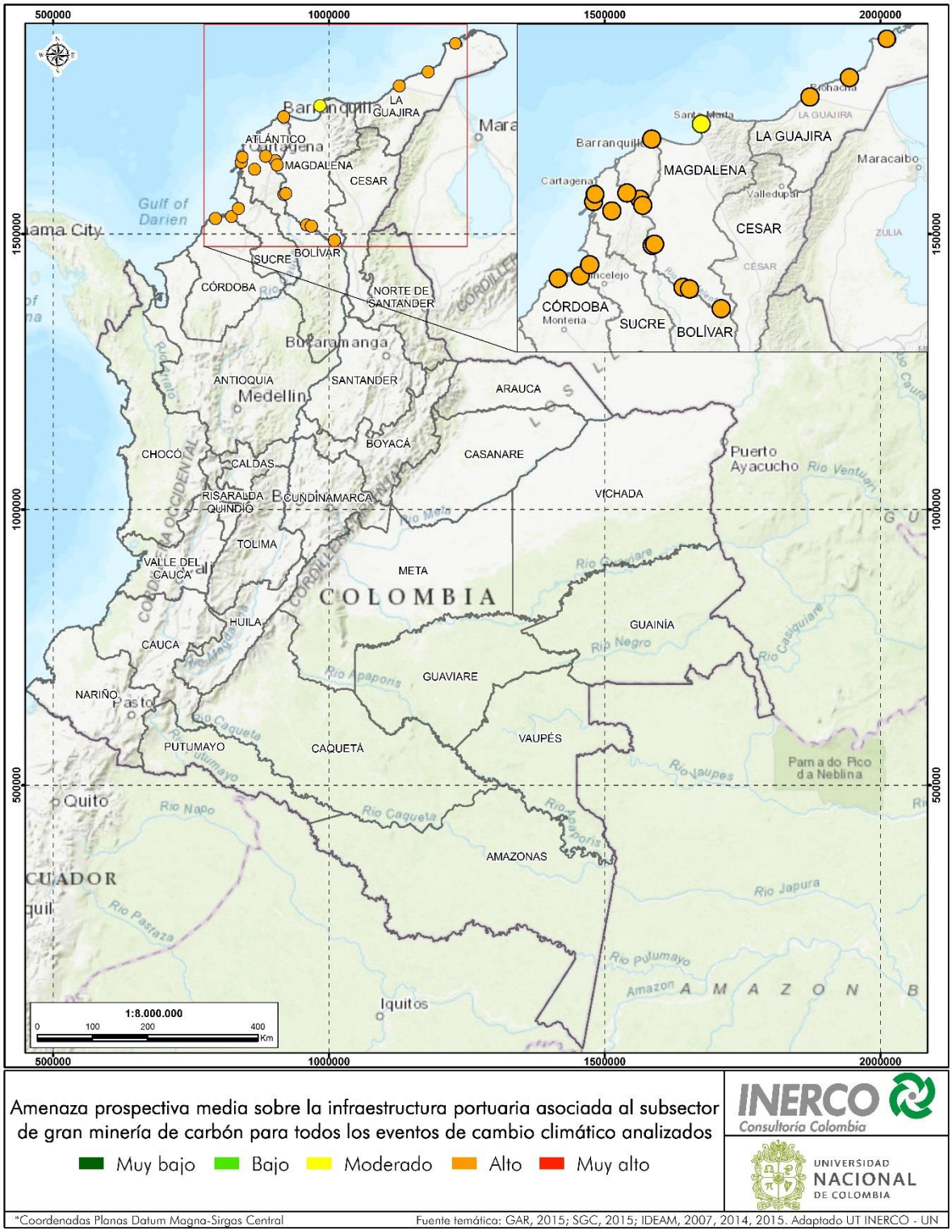
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 3-8 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de transporte lineal



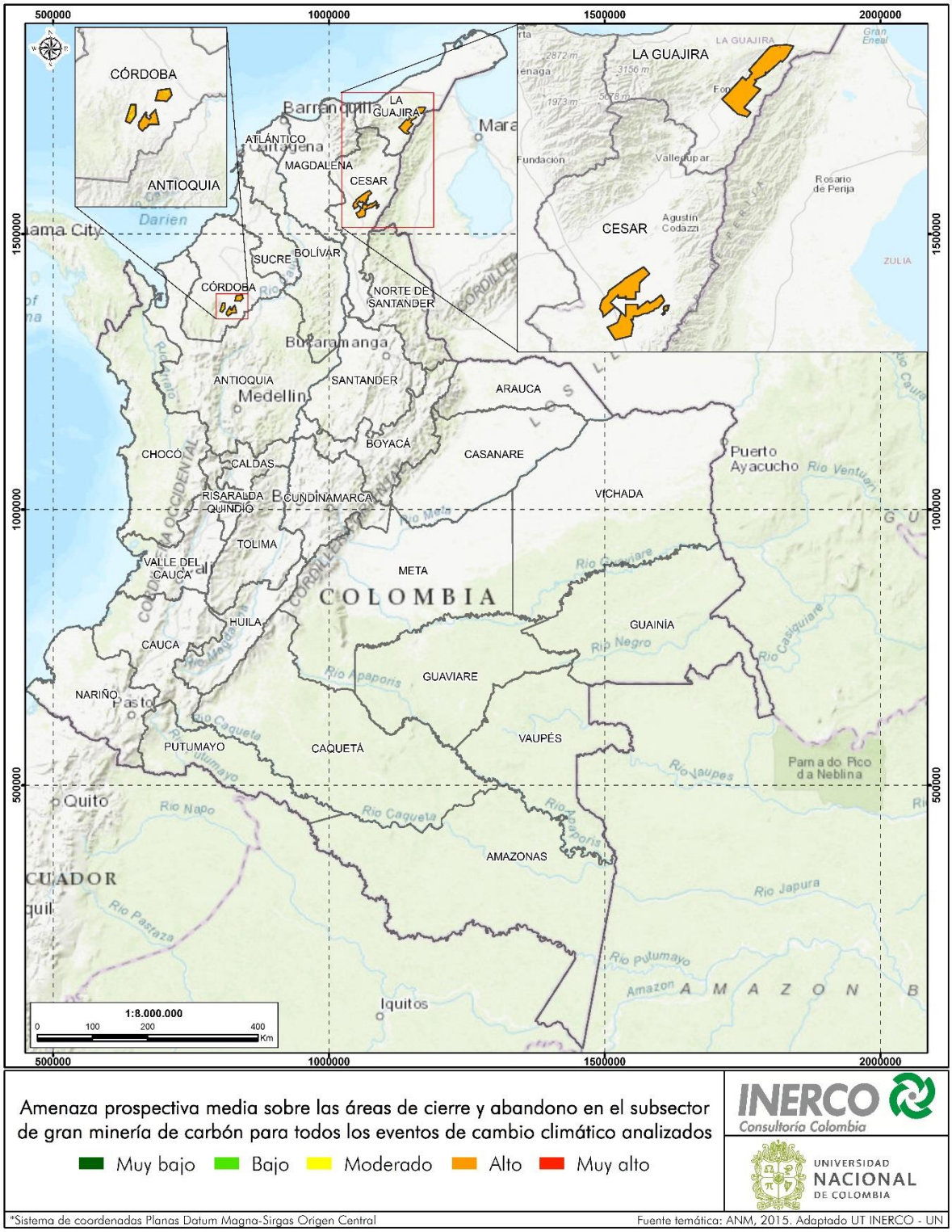
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 3-9 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de infraestructura portuaria



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 3-10 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de cierre y abandono



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

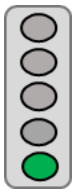
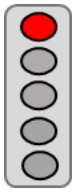
3.4.2 Variabilidad Climática

A continuación se presentan las amenazas para el subsector de hidrocarburos, derivado del cruce entre la calificación de las amenazas, realizado por el experto subsectorial correspondiente y el mapa de susceptibilidad virtual para los escenarios de variabilidad climática y las áreas del sistema.

3.4.2.1 Fenómeno de La Niña

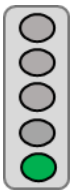
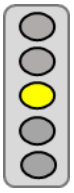
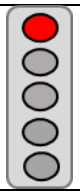
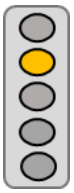
En el caso del fenómeno de La Niña sólo se consideraron los eventos de inundaciones, remoción en masa.

Tabla 3-6 Amenazas al sistema para el componente de producción del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Producción			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Producción		Afecta el área en producción por anegación del pit, puede afectar la infraestructura ocasionando incremento en costos y producir desbordamiento de los sistemas de sedimentación, llevando contaminantes al entorno. Durante las fuertes precipitaciones, puede afectar los tanques sedimentadores y el ritmo de producción por seguridad industrial, también puede impactar el proceso de retrollenado, afectando la tasa de producción por reducción en la capacidad de disposición final.
 Remoción en masa			Afecta los taludes de la mina, reduce las proyecciones de producción, y ocasiona incumplimientos en compromisos contractuales y metas de producción.

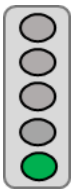
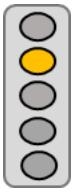
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

Tabla 3-7 Amenazas al sistema para el componente de transporte del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Transporte			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Transporte terrestre		Las inundaciones, avenidas torrenciales y fuertes de precipitaciones pueden causar accidentes, daños y deterioros en la infraestructura vial, lo que incrementa los costos, reduce la capacidad de transporte a puerto, genera pérdidas. Por otro lado, incrementa los costos en mantenimiento de vehículos de carga y vías.
	 Transporte Fluvial		Durante los fuertes períodos invernales, puede afectar la infraestructura portuaria fluvial y restringir su operación y, por lo tanto, generar un incremento de costos en rehabilitación y protección.
 Remoción en masa	 Transporte terrestre		Dificulta el acceso a las vías, y afecta el transporte de carbón y acceso de suministros, ocasionando afectaciones a los compromisos comerciales.
	 Transporte Fluvial		Agrada el lecho, lo que puede ocasionar costos por dragado.

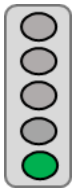
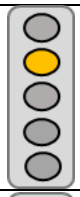
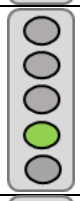
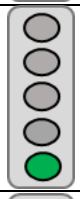
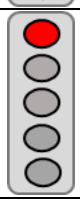
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

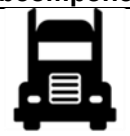
Tabla 3-8 Amenazas al sistema para el componente de cierre y abandono del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Cierre y abandono			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Cierre y abandono		Puede causar agradación y degradación de los lechos de los canales de evacuación de escorrentía. Las precipitaciones afectan los proyectos de reforestación, que producen el incremento de los costos de los planes de cierre. Adicionalmente, generan erosión en los botaderos y, por ende, se incrementan costos en el control de vertimientos y se arroja carbón en las corrientes hídricas.
 Remoción en masa			Afecta la estabilidad de los taludes de la mina o en los botaderos, lo que tiene como efecto el incremento de los costos en del plan de cierre, además, se puede producir el aporte de sedimentos contaminados en las fuentes hídricas por remoción en botaderos.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 3-9 Amenazas al entorno del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de La Niña

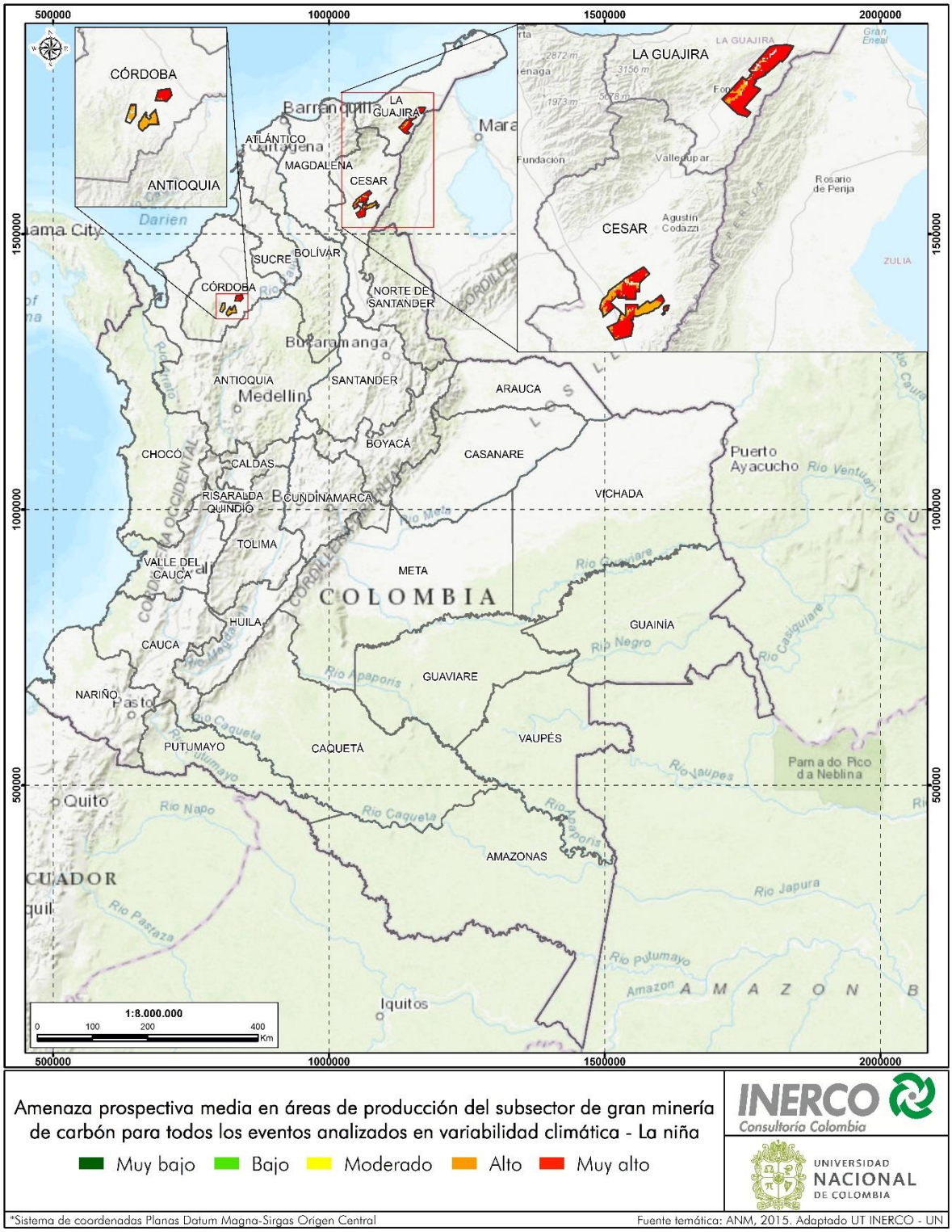
Entorno			
Evento amenazante	**Componente o subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Producción		Las inundaciones generan daños a activos y actividades económicas. Se inundan campos de cultivos, se producen daños directos en infraestructuras públicas (vías, acueductos, alcantarillados), y afectaciones a ganaderías. Los fuertes periodos invernales pueden generar vertimientos eventualmente, que pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación, multas comerciales.
	 Transporte terrestre		
	 Transporte Férreo		
	 Transporte Fluvial		
	 Infraestructura Portuaria		
	 Cierre y abandono		
 Remoción en masa	 Producción		Los procesos de remoción en masas pueden generar daños en las vías del entorno, lo que dificulta el transporte de suministros y producción. Los procesos erosivos eventualmente generados en las pilas de almacenamiento

Entorno			
Evento amenazante	**Componente o subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Transporte terrestre		pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación y multas comerciales.
	 Transporte Férreo		
	 Transporte Fluvial		
	 Infraestructura Portuaria		
	 Cierre y abandono		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

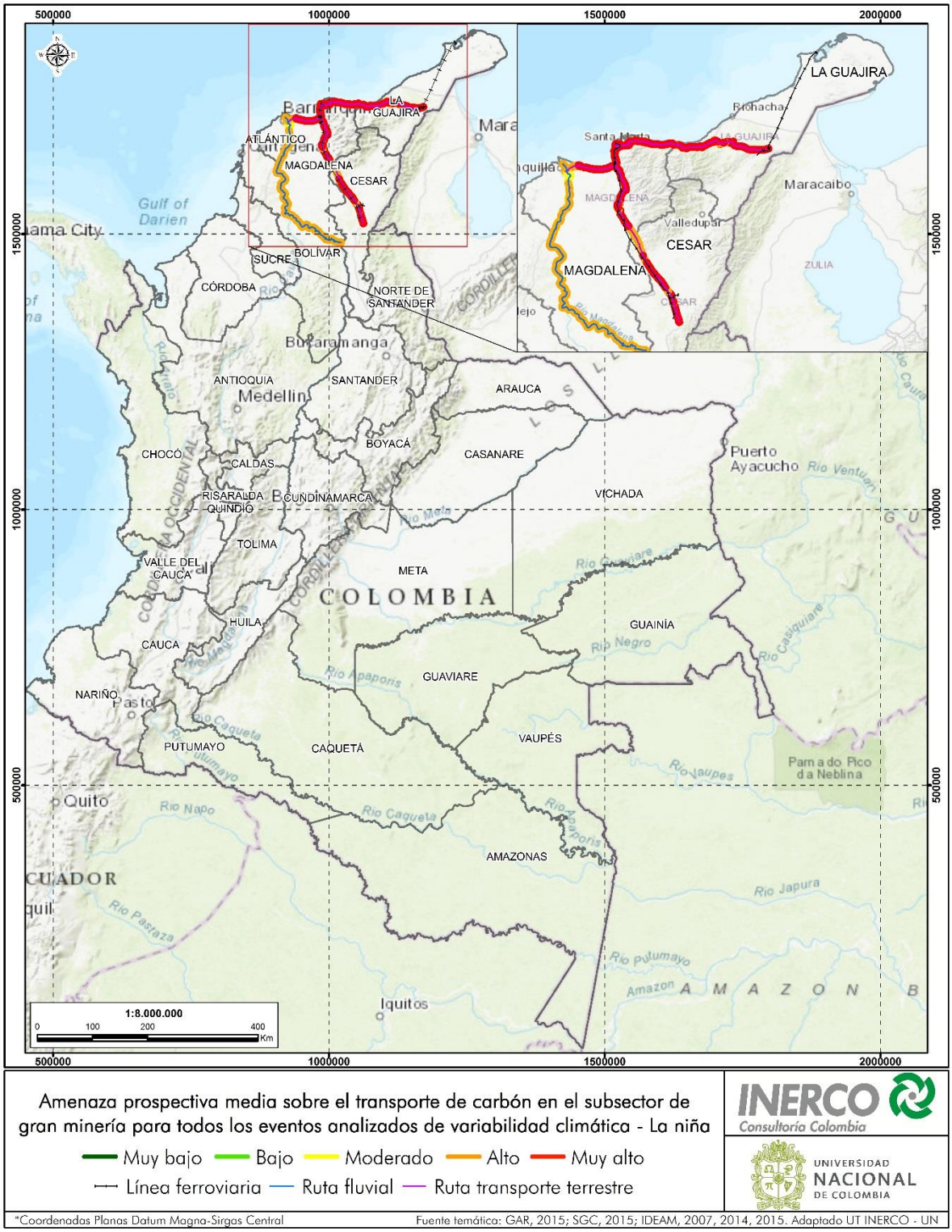
A continuación se presentan los mapas de amenaza por componente:

Figura 3-11 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción



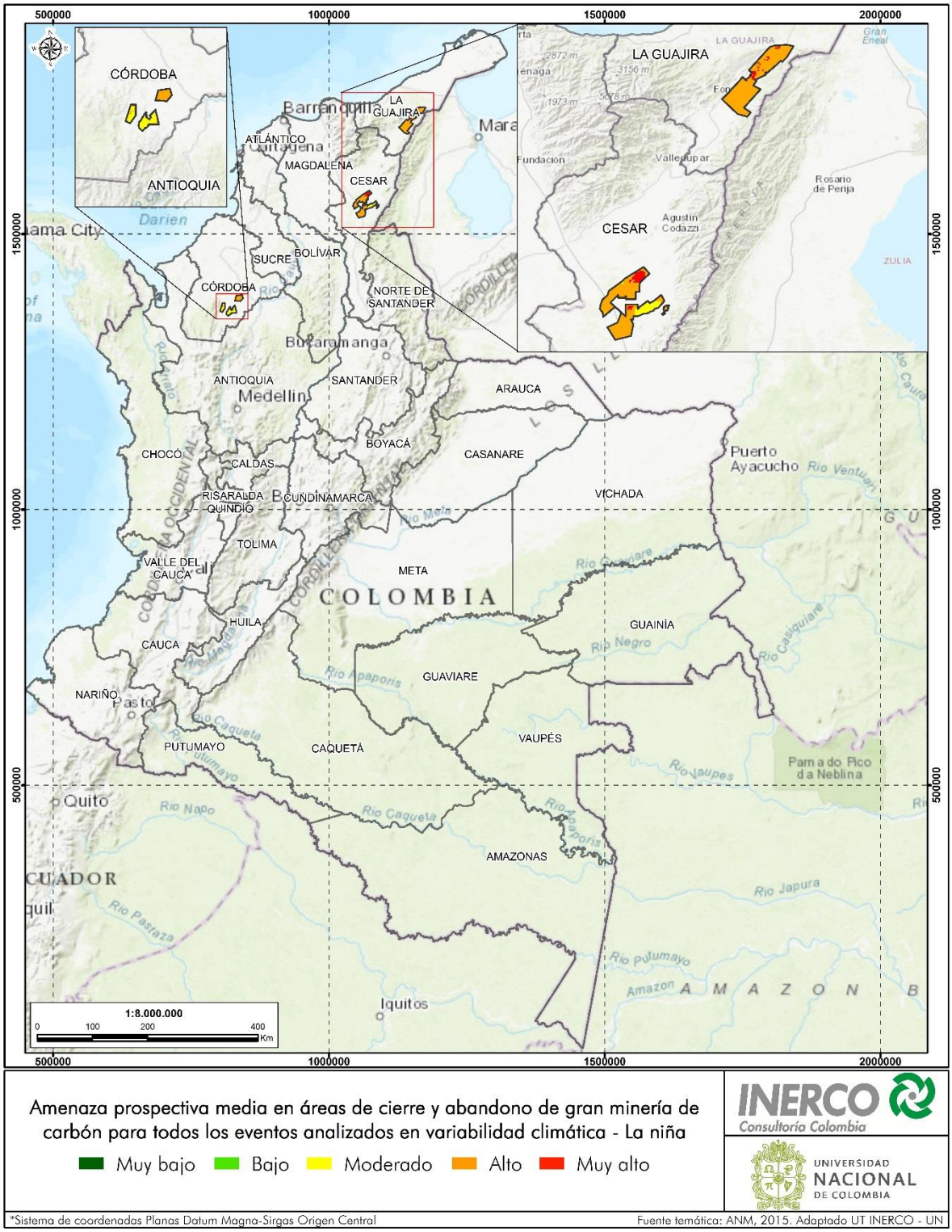
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 3-12 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de transporte



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 3-13 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de cierre y abandono

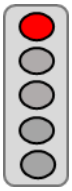
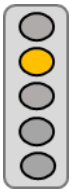
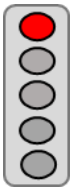


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

3.4.2.2 Fenómeno de El Niño

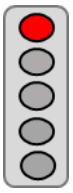
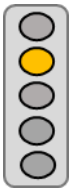
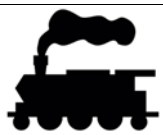
En el caso del fenómeno de El Niño sólo se consideraron los eventos dedesabastecimiento hídrico, aumento de la temperatura e incendios forestales remoción en masa

Tabla 3-10 Amenazas al sistema para el componente de producción del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Producción			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Producción		Reduce la disponibilidad hídrica para la humectación del terreno, lo que produce efectos sobre el control de material particulado, incrementa costos de producción y afecta la población y los cultivos circundantes. Las altas temperaturas y la ausencia de precipitación incrementan la ocurrencia de combustiones espontáneas en las pilas de carbón. Además el desabastecimiento hídrico, reduce el caudal de los ríos y, por ende, genera contaminación por vertimientos al no disponerse de caudal suficiente para la adecuada dilución de contaminantes
 Incendios forestales			Afectan la infraestructura operacional, provocan una reducción de producción e incrementan los costos, adicionalmente, pueden generar daños en infraestructura de transmisión eléctrica.
 Aumento de temperatura			Reduce las horas de producción en el personal encargado, generando incumplimiento de los objetivos meta del cuerpo receptor de vertimientos por disminución en la capacidad de dilución, además, genera aumentos en la temperatura del agua de mar y de los ríos y, en consecuencia, aparecen de vectores.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

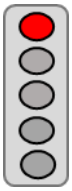
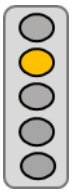
Tabla 3-11 Amenazas al sistema para el componente de transporte del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Transporte			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Transporte terrestre		Incrementa la emisión de material particulado durante el transporte de carbón, lo que conlleva a incumplimientos normativos que afectan a la población.
	 Transporte Férreo		Incrementa la necesidad de uso de humectantes para reducir las emisiones de material particulado, adicionalmente, pueden generar incumplimientos normativos por el incremento de material particulado y, como resultado, se afectan a las poblaciones.
	 Transporte Fluvial		La reducción de caudales disminuye la capacidad de transporte fluvial y se incrementan los costos; así mismo, se genera un aumento del material particulado afectando a la población.
	 Infraestructura Portuaria		Incrementa la emisión de material particulado en los patios de acopio, que conlleva a incumplimientos normativos y afectación a la población y playas aledañas.
 Aumento de temperatura	 Transporte terrestre		Sobreesfuerza al personal encargado de realizar las actividades de transporte o cargue y descargue, lo que se traduce en tiempos de inactividad durante el calor extremo, afectación a la salud y mayores requerimientos en equipos de refrigeración y aire acondicionado, además, genera aumentos en la temperatura del agua de mar y de los ríos y provoca la aparición de vectores.
	 Transporte Férreo		
	 Transporte Fluvial		

Transporte			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Infraestructura Portuaria		

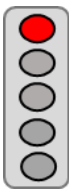
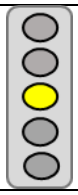
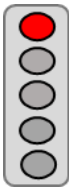
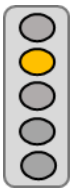
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

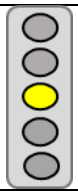
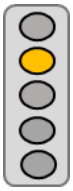
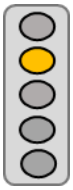
Tabla 3-12 Amenazas al sistema para el componente de cierre y abandono del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Cierre y abandono			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Cierre y abandono		Reduce la probabilidad de éxito de los programas de reforestación y rehabilitación de las áreas minadas, así como la pérdida de capacidad hidráulica en los canales de evacuación, lo que implica la agradación de los lechos que exigirán procesos posteriores de dragado.
 Incendios forestales			Pueden inducir la detención de procesos de recuperación de áreas y, como resultado, provocan el incremento en los costos, adicionalmente, pueden generar colapso de los ecosistemas en las áreas en rehabilitación.
 Aumento de temperatura			Puede generar sobreesfuerzos en el personal encargado de realizar las actividades de transporte o cargue y descargue y, como consecuencia, provocar tiempos de inactividad durante el calor extremo, afectar la salud y mayores requerimientos en equipos de refrigeración y aire acondicionado, además genera aumentos en la temperatura del agua de mar y de los ríos, lo que provoca la aparición de vectores.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 3-13 Amenazas al entorno del subsector de gran minería de carbón – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Entorno			
Evento amenazante	**Componente o subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Producción		La reducción en la disponibilidad hídrica exacerba la competencia por el acceso al recurso lo que puede generar pérdida de reputación de las empresas por parte de las comunidades. Por otro lado, los procesos de salinización de suelos pueden llegar a ser atribuido a las empresas.
	 Transporte terrestre		Reduce la oferta hídrica neta e incrementa la demanda total (doméstica, agrícola, pecuaria, servicios e industrial), y genera conflictos con la comunidad por incremento de emisiones de material particulado.
	 Transporte Férreo		
	 Transporte Fluvial		
	 Infraestructura Portuaria		
 Incendios forestales	 Producción		Los incendios forestales inducen el aislamiento parcial de las zonas y, como resultado, se impide el acceso a las áreas y se genera una Interrupción temporal de actividades de producción, adicionalmente, pueden afectar las líneas de transmisión eléctrica causando afectación regional.
	 Transporte terrestre		Los incendios forestales, generan afectación sobre la cobertura vegetal; generando pérdida de productividad del suelo, daños a la propiedad (infraestructura, cosechas, animales doméstico, ganado) y a las

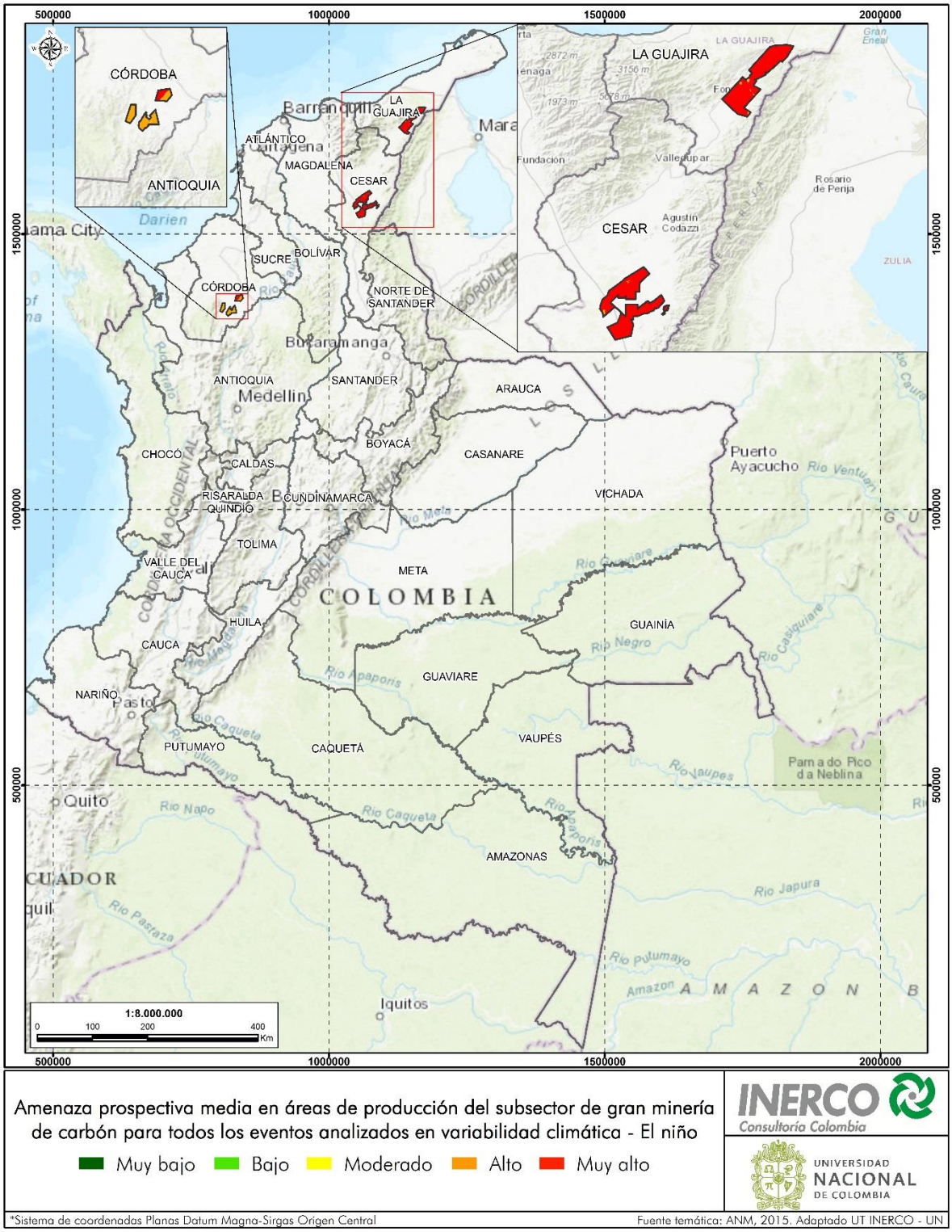
Entorno			
Evento amenazante	**Componente o subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Transporte Férreo		actividades económicas, además pueden afectar las líneas de transmisión eléctrica, causando afectación regional y aislamiento parcial de zonas generando interrupción temporal de actividades de producción.
	 Transporte Fluvial		
	 Infraestructura Portuaria		
	 Cierre y abandono		
 Aumento de temperatura	 Producción		Las oleadas de calor reducen la humectación del suelo y, además, se incrementan las emisiones de material particulado a la atmósfera, lo que afecta la población y los cultivos circundantes.
	 Transporte terrestre		El aumento de temperatura genera incrementos en la temperatura del agua de mar y de los ríos, lo que implica la aparición de vectores y, además, se generan afectaciones a la población o cultivos circundantes por el incremento en las emisiones de material particulado a la atmósfera.
	 Transporte Férreo		
	 Transporte Fluvial		

Entorno			
Evento amenazante	**Componente o subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Infraestructura Portuaria		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

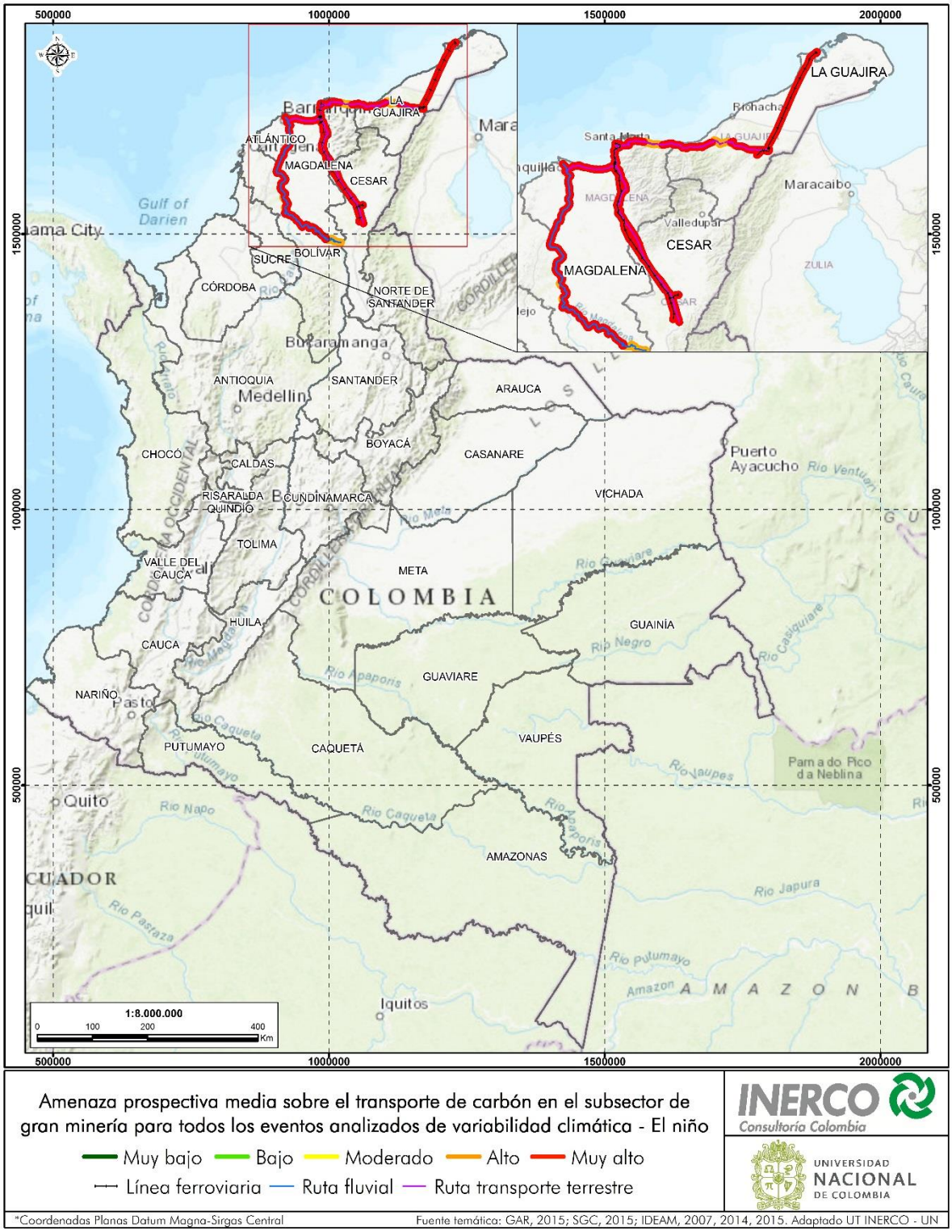
A continuación se presentan los mapas de amenaza por componente:

Figura 3-14 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de producción



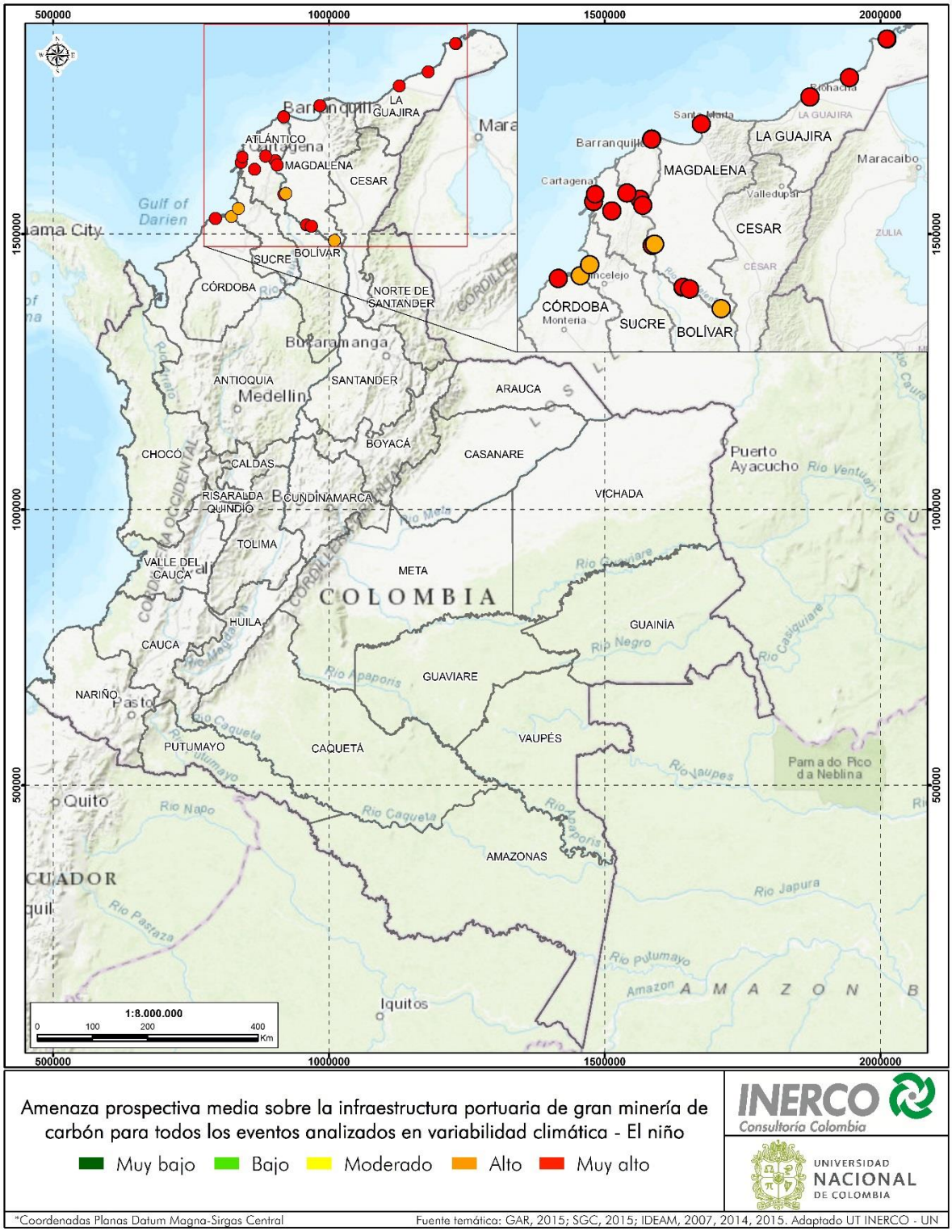
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 3-15 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de transporte lineal



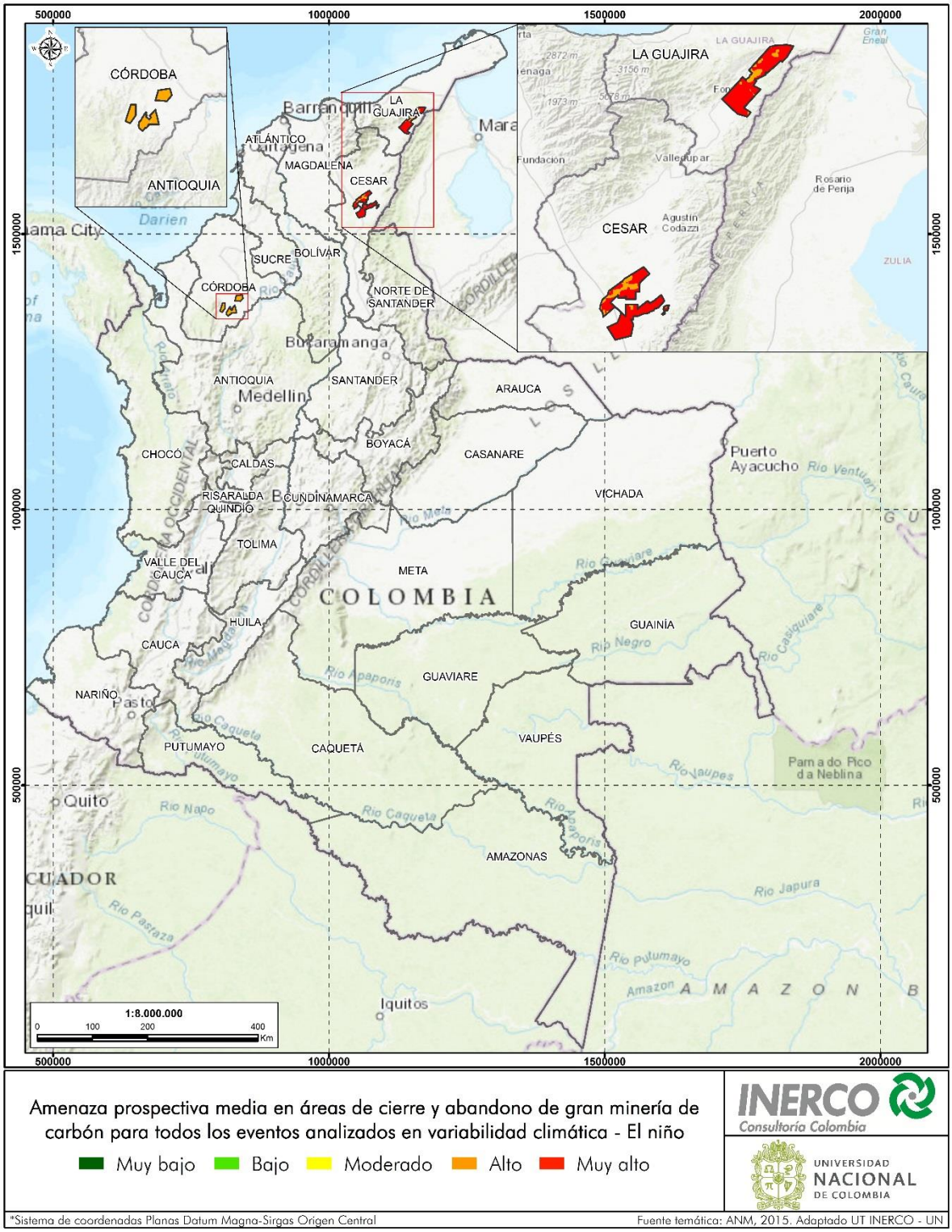
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 3-16 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de infraestructura portuaria



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 3-17 Amenaza prospectiva media sobre las áreas de cierre y abandono



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

3.5 Indice de vulnerabilidad gran minería de carbón

3.5.1 Índice de sensibilidad gran minería de carbón

Tabla 3-14 Indicadores de sensibilidad del subsector de la gran minería del carbón

Aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
Estructura empresarial	Eficiencia en la planeación, administración y ejecución de las actividades	33,30 %	Cumplimiento de compromisos contractuales de exploración y producción con la ANM.	Porcentaje de contratos en procesos de renuncia, suspensión e incumplimiento o en instancias ejecutivas.	0,00 %	16,60 %	0,00 %
			Cumplimiento de compromisos ambientales y sociales con la ANLA.	Porcentaje de contratos sancionados por deterioro ambiental, incumplimiento de actos administrativos, no informar a la ANLA.	0,00 %	16,70 %	0,00 %
	Capacidad operativa	16,70 %	Cantidad de reservas, producción, capacidad de refinación y mercados.	Porcentaje de producción de gran minería de carbón a cargo de empresas que no se encuentran entre las 50 más grandes de Colombia según Revista Dinero.	11,6 %	16,70 %	1,94 %
	Calidad de los procesos	28,58 %	Adopción de normas de calidad de procesos institucionalizados.	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación en la producción) sin actualizar su sistema de gestión ambiental a la versión 2015 de la norma ISO 9001.	50,00 %	7,14 %	3,57 %
			Adopción de normas de responsabilidad social institucionalizadas.	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación en la producción) sin implementar mecanismos de medición de la gestión social empresarial (GRI, ISO 26000, DJSI).	50,00 %	7,14 %	3,57 %
			Adopción de normas de calidad de gestión ambiental institucionalizados.	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación en la producción) sin actualizar su sistema de gestión ambiental a la versión 2015 de la norma ISO 14001.	50,00 %	7,16 %	3,58 %

Aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
			Calidad de la seguridad Industrial, salud ocupacional y medio ambiente.	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación) sin certificar su sistema de gestión de salud ocupacional y seguridad en el trabajo OSHAS 18001.	50,00 %	7,14 %	3,57 %
Operación técnica	Sensibilidad de la operación	21,42 %	Cantidad de bienes y servicios que requieren transporte para su uso en la operación.	Porcentaje de compra de bienes y servicios de origen NO local.	93,15 %	7,10 %	6,65 %
			Estado de las carreteras para el transporte de carbón	Porcentaje de la red pavimentada en mal estado.	12,00 %	7,10 %	0,86 %
				Porcentaje de la red afirmada en mal estado.	65,00 %	7,10 %	4,64 %
					Total	**100,00 %**	**28,37 %**
					Bajo		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

3.5.2 Índice capacidad de adaptación del sistema de la gran minería de carbón

Tabla 3-15 Indicadores de capacidad de adaptación del subsector gran minería del carbón

Recursos	Factores	Peso	Criterio de Medición	Indicador	Valor	Peso	Valor ponderado
Recursos financieros	Activos	21,40 %	Empresas con índice de liquidez superior a 1.	Ponderación del sector de la gran minería del carbón que está a cargo de empresas con un índice de liquidez superior a 1.	80,00 %	10,00 %	8,00 %
				Ponderación del sector de la gran minería del carbón que está a cargo de empresas con un índice de endeudamiento inferior a 0,7.	60,00 %	10,00 %	6,00 %
	Ventas o ingresos operacionales	21,40 %	Cantidad de empresas con las mayores ventas o ingresos operacionales.	Porcentaje de producción nacional a cargo de empresas de la gran minería del carbón.	92,79 %	20,00 %	18,56 %
Recursos empresariales.	Recursos Humanos	14,30%	Condiciones del recurso humano.	Contratación directa.	49,71 %	10,00 %	4,97 %

Recursos	Factores	Peso	Criterio de Medición	Indicador	Valor	Peso	Valor ponderado
	Compromiso empresarial	21,40%	Existencia de medidas concretas hacia el cambio climático o sus efectos.	Las compañías han elaborado o están elaborando planes de adaptación/ respuesta a emergencias/ información.	60,00 %	30,00 %	18,00 %
	Mecanismos de colaboración y difusión de experiencias	14,30%	Existencias de gremios o asociaciones de empresas.	Porcentaje de empresas asociadas al gremio más grande del sector.	60,00 %	10,00 %	6,00 %
Recursos institucionales	Marco normativo sectorial	7,20%	Existencia de reglamentos técnicos y normativas sectoriales que incluyan consideraciones del cambio climático.	Incorporación de medidas referentes al cambio climático en la normativa del sector (S/N).	0,00 %	10,00 %	0,00 %
					Total	**100,00 %**	**61,53 %**
					Alto		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

3.5.3 Índice de vulnerabilidad del sistema de la gran minería del carbón

En la tabla 3-16 se combinan de forma cualitativa los criterios de sensibilidad y capacidad de adaptación del proyecto, descritos en cada celda de la matriz, con el fin de obtener la vulnerabilidad del sistema.

Tabla 3-16 Índice de vulnerabilidad del sistema de la Gran Minería de Carbón

Aspecto	Subsector de la gran minería del carbón
Sensibilidad	Bajo
Capacidad de adaptación	Alto
Vulnerabilidad del sistema	Bajo

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

3.6 Análisis de riesgo

La integración, en ambiente de sistemas de información geográfica (SIG), de la información oficial asociada con el conocimiento del riesgo climático para las áreas con presencia del subsector de la gran minería del carbón permitió estimar el grado de posibilidad de ocurrencia de los diferentes eventos climáticos extremos considerados en el análisis. Con base en dicha integración y la intensidad de daño probable identificada para cada evento, se determinaron las amenazas prospectivas para el sistema mediante la metodología explicada en el anexo 1.

3.6.1 Cambio Climático

3.6.1.1 Análisis de nivel de amenaza prospectivo del sistema sobre el subsector

Tabla 3-17 Nivel de amenaza prospectiva del sistema sobre el subsector de la gran minería del carbón

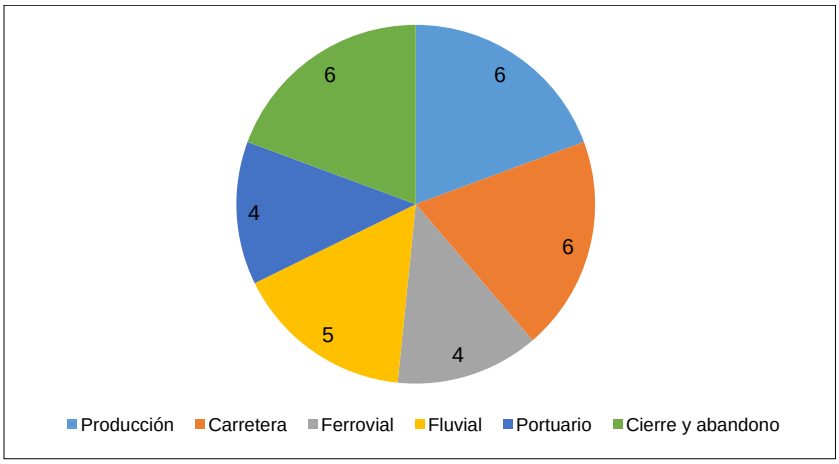
Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	
Desabastecimiento hídrico	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Muy alto
Inundaciones	Muy bajo	Muy bajo		Moderado		Muy bajo
Remoción en masa	Alto	Alto		Moderado		Moderado
Incendios forestales	Alto					Alto
Aumento de temperatura (olas de calor)	Alto	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados		Moderado	Alto		Alto	

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y
Tormentas (huracanes)	Bajo	Bajo	Muy bajo	Moderado	Moderado	Alto

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

De la tabla anterior, se puede concluir que el componente con mayor número de amenazas es el de transporte (19), seguido por los componentes de producción y cierre y abandono (con 6 cada uno).

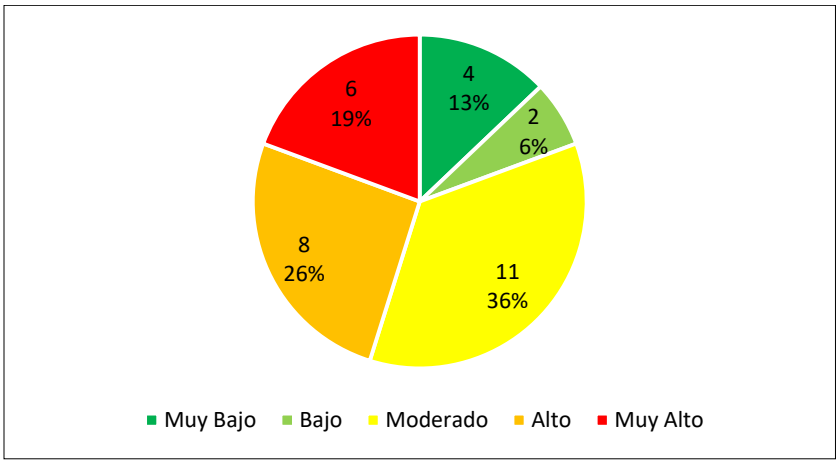
Gráfico 3-1 Numero de amenazas prospectivas del sistema por componente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

En general, para todo el subsector se debe dar mayor importancia a los niveles muy alto, alto y moderado de amenazas prospectivas, puesto que corresponden al 81 % de todas las amenazas sobre el sistema; es decir, los eventos debidos al cambio climático amenazan considerablemente y de manera directa al sistema en cada uno de los componentes del subsector de gran mineria de carbón.

Gráfico 3-2 Distribución de amenazas prospectivas sobre el sistema del subsector de la gran minería del carbón

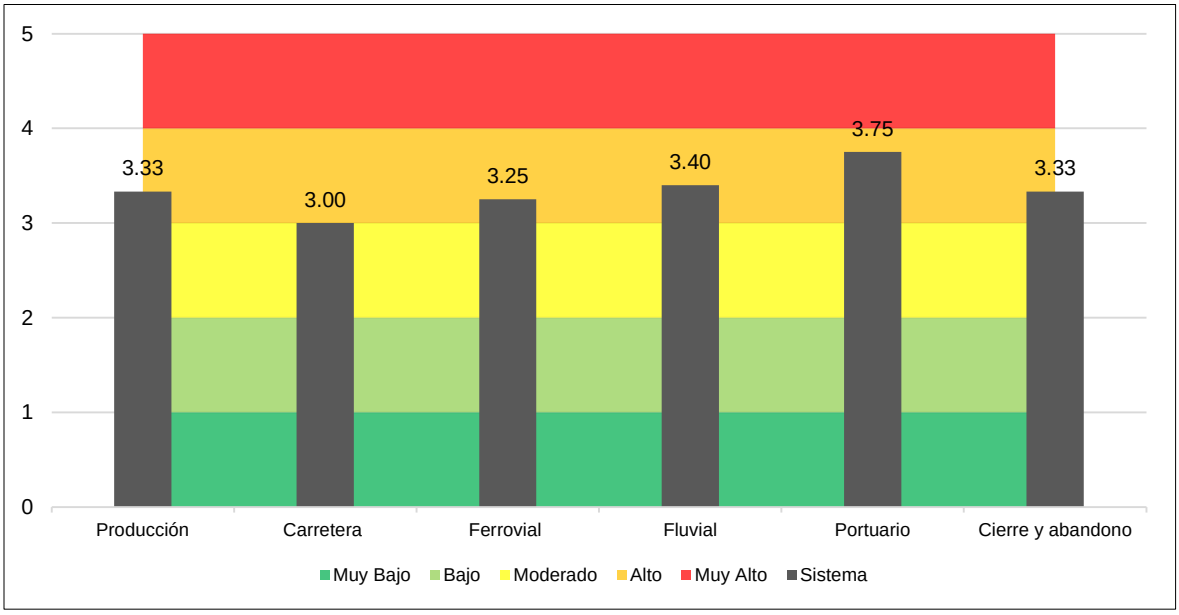


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

El gráfico anterior ofrece una visión del nivel de las amenazas prospectivas para el subsector, resaltando la importancia de considerar acciones de adaptación frente al cambio climático debido a la mayor frecuencia de niveles de amenaza moderados, altos y muy altos.

3.6.1.1.1 Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 3-3 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

La distribución por componentes muestra que aquellos con mayor exposición a las amenazas consideradas son los componentes de producción, transporte por carretera y cierre y abandono, todos estos con cinco fenómenos amenazantes. En segundo lugar, se encuentra el transporte fluvial con cuatro y, finalmente, el transporte férreo y portuario con tres.

- **Producción**

Con base en la información oficial relacionada con la susceptibilidad a fenómenos meteorológicos del territorio, donde se asienta el subsector de la gran minería del carbón, junto con los escenarios de cambio climático se encontraron los diferentes niveles de amenaza para el sistema en este componente. Por un lado, el desabastecimiento hídrico en períodos de sequía se presenta como una amenaza con nivel muy alto para este componente, en especial debido a las dificultades asociadas para el control de material particulado y la ocurrencia de combustiones espontáneas en las pilas de almacenamiento. Por otro lado, el nivel de amenaza prospectiva alto se encontró para eventos de remoción en masa, incendios forestales y golpes de calor, y se determinó como nivel muy bajo la ocurrencia de inundaciones y la ocurrencia de huracanes.

De lo anterior se desprende que durante los fuertes períodos de sequía, cuando el componente de producción se encuentra más amenazado por el desabastecimiento hídrico para humectación del suelo, la ocurrencia de incendios forestales que pueden causar afectación a los empleados y los golpes de calor que pueden llevar a reducir el número de horas laborales. Mientras, durante los períodos invernales hay una amenaza alta frente a procesos de remoción en masa; sin embargo, de acuerdo con la integración de la información cartográfica oficial las inundaciones no constituyen amenazas relevantes más allá de la probable anegación del pit.

- **Transporte**

El nivel de amenaza muy alto por desabastecimiento hídrico en períodos de sequía se presenta para todo el componente de transporte, debido al control de material particulado; adicionalmente, este nivel se registra para el modo portuario durante la ocurrencia de huracanes y tormentas tropicales ante el incremento del oleaje y el manejo de las pilas de almacenamiento. Así mismo, el nivel de amenaza alto se registra como asociado a los procesos de remoción en masa para el modo carretero por daño en las vías y los puentes; mientras, el aumento del nivel del mar y los fenómenos asociados a este muestran el mismo nivel alto para los modos ferroviario y portuario.

El nivel de amenaza moderado se registra para el modo fluvial debido a inundaciones, la remoción en masa (erosión lateral) y el aumento del nivel del mar junto con los fenómenos asociados a este en el modo carretero. Igualmente, este nivel está presente para los

cuatro modos de transporte frente a los golpes de calor. Además, el nivel de amenazas muy bajo está representado en este componente por las inundaciones y la ocurrencia de tormentas tropicales para el modo carretero.

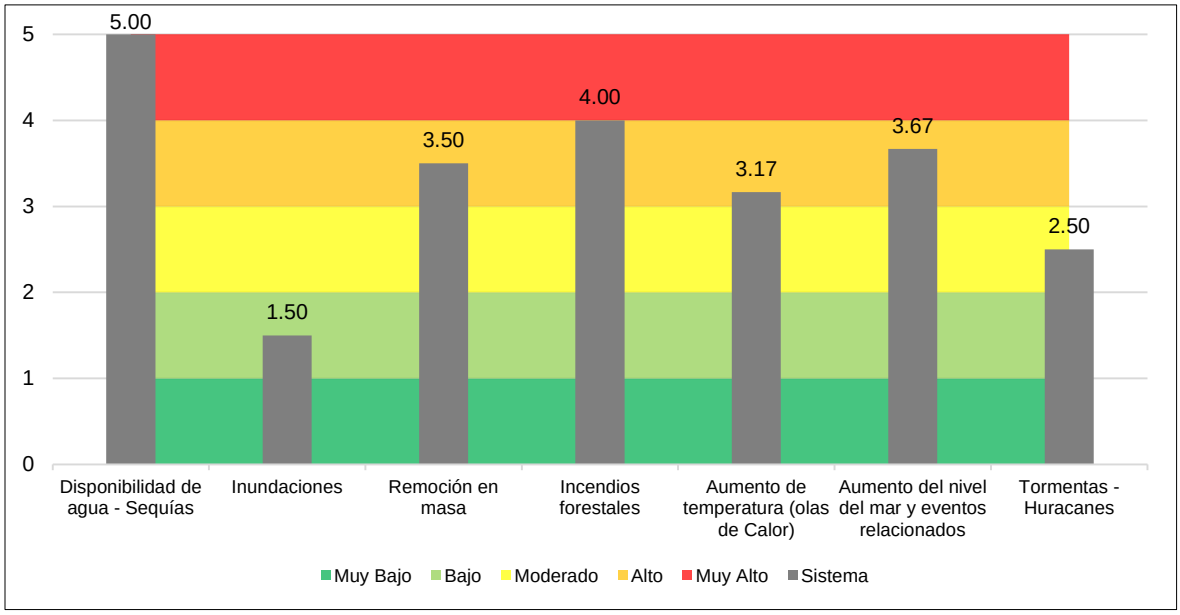
- **Cierre y abandono**

El nivel de amenaza muy alto se presenta para el desabastecimiento hídrico durante períodos de sequía, en especial, por las exigencias de humectación en los procesos de reforestación, y el nivel alto está relacionado con la ocurrencia de incendios forestales en áreas reforestadas o en proceso de reforestación, al igual que por olas de calor que afecten al personal encargado de las labores de campo en las actividades de cierre y abandono.

El nivel de amenaza moderado corresponde a los procesos de remoción en masa en los taludes de las áreas minadas en proceso de cierre. Mientras, con nivel de amenaza muy bajo se encuentran los eventos de inundación y de tormentas tropicales, en particular por los fenómenos relacionados como producción de sedimentos y carcavamiento, entre otros.

3.6.1.1.2 Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por evento

Gráfico 3-4 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema sobre el subsector de la gran minería del carbón por evento



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Una revisión integrada de las amenazas prospectivas, resultantes del análisis de los aspectos geográficos y las proyecciones de cambio climático, muestran que los fenómenos más amenazantes para el subsector de la gran minería del carbón son aquellos relacionados con extensos períodos de sequía, en especial, el desabastecimiento hídrico, la generación de incendios forestales y las olas de calor.

- Desabastecimiento hídrico

El uso y el consumo de agua en el subsector de gran minería del carbón se consideran altos, particularmente, el uso en humectación del suelo y lavado del material; sin embargo, el consumo también es importante debido al número de empleados; por esta razón, todos los componentes del sistema se ven afectados con niveles de amenaza muy altos durante la ocurrencia de períodos de sequía prolongados.

- Incendios forestales

La ocurrencia de incendios forestales representa una amenaza de nivel alto para el sistema, debido a posibles afectaciones a la salud del personal que labora en campo por acción del humo al igual que a los procesos de cierre y abandono.

- Aumento de temperatura (olas de calor)

Este fenómeno se presenta con nivel alto para el componente de producción, dado que puede llevar a afectar la operación al exigir una reducción en las horas laborales de los empleados. Por razones similares, el evento presenta un nivel de amenaza prospectiva moderado para todo el componente de transporte, al igual que para el de cierre y abandono.

- Remoción en masa

Por este proceso, el sistema se ve afectado con niveles altos de amenaza en sus componentes de producción y transporte carretero, debido a la falla de taludes viales, de mina, botaderos y retrollenados. Así, por las mismas razones, pero con nivel de amenaza moderado, se presenta el componente de cierre y abandono.

En el transporte fluvial, la ocurrencia de erosión de bancas y la agradación de los canales por donde se transporta o se ha transportado el carbón, pueden exigir costosos procesos de dragado e incluso interrumpir el tránsito de barcazas. Así, de acuerdo con el análisis, el nivel de amenaza para este modo de transporte es moderado.

- Aumento del nivel del mar

El aumento del nivel del mar se presenta como una amenaza tanto por el incremento en la erosión costera como por los efectos producidos sobre las corrientes hídricas costeras. Por lo anterior, se determinó que el sistema puede verse afectado moderadamente en el modo de transporte carretero y altamente en los modos ferroviario y portuario. No obstante, es la infraestructura portuaria la que se encuentra bajo mayor amenaza y con esta la operatividad del sistema, pues cerca del 98 % de la producción del subsector de la gran minería del carbón se exporta por esta vía.

- Tormentas y huracanes

Los impactos derivados del paso de tormentas y huracanes cercanos a la costa colombiana se presentan como una amenaza con nivel moderado para el modo fluvial en el componente de transporte, bajo para el modo portuario, y muy bajo para los modos carretero y ferroviario; de igual forma, se muestra para los componentes de producción y cierre y abandono.

- Inundaciones

Las inundaciones muestran un nivel moderado para el modo fluvial y muy bajo para el modo carretero y los componentes de producción y cierre y abandono.
En el siguiente gráfico se observa la distribución de las amenazas analizadas según su nivel de impacto sobre el sistema, resaltando los impactos relacionados con fuertes períodos de sequía como principales amenazas del subsector, específicamente, debido al desabastecimiento hídrico, los incendios forestales y el aumento del nivel del mar. También, se evidencia que los procesos de remoción en masa, junto con las olas de calor, tienen un nivel moderado; mientras, con menor nivel de amenaza se presentan las inundaciones y la ocurrencia de huracanes y tormentas tropicales.

3.6.1.2 Análisis de nivel de amenaza prospectiva del entorno sobre el subsector

Siguiendo la misma metodología se valoraron las amenazas prospectivas y, a partir de estas, el daño posible del entorno al sistema del subsector de la gran minería del carbón, es decir, la valoración de los impactos ocurridos sobre el entorno que afectan de manera directa o indirecta al subsector.

Como se evidencia en la tabla 3-18, nuevamente las amenazas más relevantes corresponden a los fuertes períodos de sequía, especialmente, el déficit hídrico, seguido por incendios forestales. De igual forma, la remoción en masa está presente con valores altos en todos los componentes.

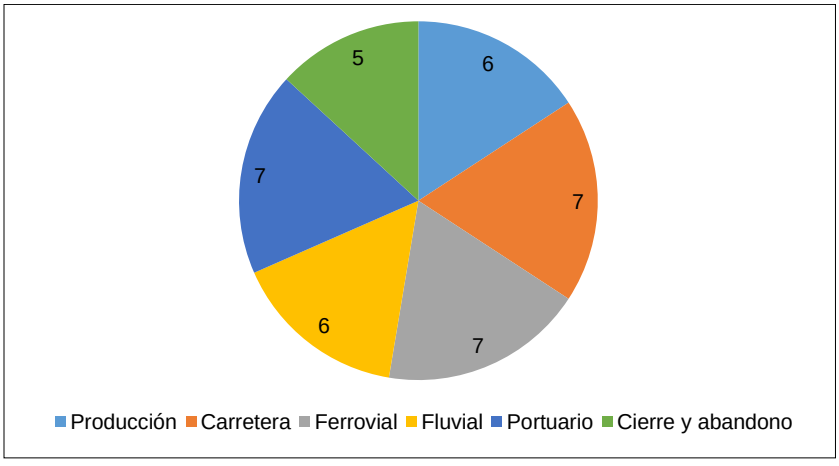
Tabla 3-18 Nivel de amenaza prospectiva sobre el entorno del subsector de la gran minería del carbón

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	
Desabastecimiento hídrico	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Moderado	Muy alto	Muy alto
Inundaciones	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Moderado	Bajo	Muy bajo
Remoción en masa	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Incendios forestales	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Aumento de temperatura (olas de Calor)	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados		Alto	Alto		Alto	
Tormentas (huracanes)	Moderado	Moderado	Alto	Moderado	Muy alto	Alto

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

El componente más impactado es el de transporte, pues para los modos carretero, fluvial y ferroviario están presentes los siete eventos analizados; en segundo lugar, el componente de producción cuenta con seis eventos amenazantes y, finalmente, el componente de cierre y abandono se ve amenazado por cinco eventos.

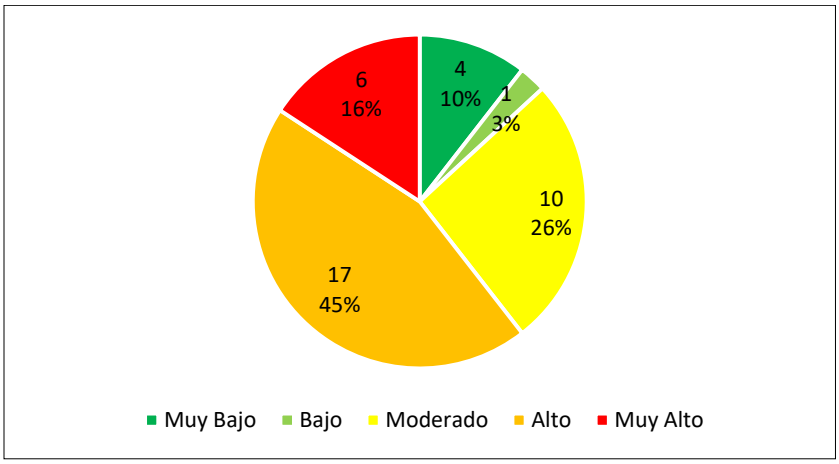
Gráfico 3-5 Número de amenazas prospectivas sobre el entorno del subsector de gran minería del carbón



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Del gráfico anterior, se puede concluir que los componentes con mayor número de amenazas son transporte ferrovial, por carretera y portuario (7), seguido por los componentes de producción y transporte fluvial (6) y, finalmente, con menor número de amenazas se presenta el componente cierre y abandono (5).

Gráfico 3-6 Distribución de amenazas prospectivas sobre el entorno del subsector de la gran minería del carbón

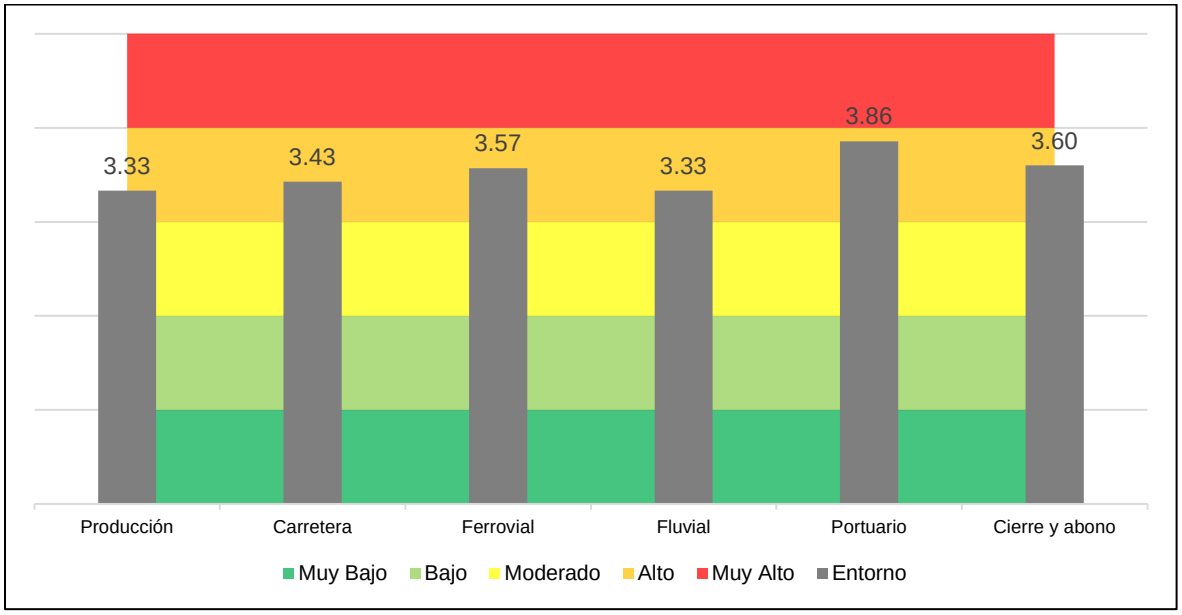


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

De acuerdo con el gráfico anterior, los niveles de amenaza desde el entorno se distribuyen de la siguiente forma: muy alto, 16 %; alto, 45 %; moderado, 26 %; bajo, 1 %, y muy bajo, 10 %. De esta forma, el 87 % representa una amenaza moderada, alta o muy alta al subsector de la gran minería de carbón desde el entorno.

3.6.1.2.1 Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente

Gráfico 3-7 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

- Producción

La principal amenaza desde el entorno corresponde al desabastecimiento hídrico con un nivel muy alto, no sólo por la competencia por el recurso hídrico, sino también por el cumplimiento de las metas en las corrientes receptoras de vertimientos y la salinización de suelos, entre otros. Con niveles altos se presenta la remoción en masa, en particular por la afectación a la infraestructura, la interrupción de accesos y la pérdida de zonas productivas. Con igual nivel, y por razones similares, se presentan los incendios forestales.

Además, las olas de calor muestran una valoración similar debido a la afectación de la salud de los pobladores circundantes a las operaciones mineras; el aumento de temperatura (olas de calor) indica un nivel de amenaza prospectiva moderado y, finalmente, las inundaciones y los huracanes muestran niveles muy bajos.

- Transporte

En primer lugar, con excepción del modo fluvial con amenaza moderada para el componente de transporte, la principal afectación ocurre durante épocas de sequía con niveles de amenaza muy altos debido a la competencia por el recurso hídrico. En segundo lugar, emergen como amenazas altas los procesos de remoción en masa y los incendios forestales. Los primeros relacionados con falla de taludes y daños en la infraestructura vial, y los segundos, asociados a la dificultad en el transporte de carbón e insumos durante conflagraciones en torno a las vías utilizadas.

Igualmente, el modo ferroviario evidencia niveles altos frente al aumento del nivel del mar y los fenómenos relacionados, al igual que durante el paso de tormentas tropicales. Con nivel moderado se presentan las olas de calor, debido a la afectación del personal encargado del transporte de material e insumos y aquellos que laboran en los puntos de intercambio de modo de transporte; mientras, el modo fluvial también presenta niveles de amenaza moderados ante la ocurrencia de inundaciones y tormentas tropicales, y el nivel de amenaza bajo está representado por las inundaciones en áreas portuarias, en especial en las zonas de almacenamiento temporal de carbón. Finalmente, con nivel muy bajo se encuentran los modos carretero y ferroviario ante inundaciones y la ocurrencia de tormentas y huracanes.

- Cierre y abandono

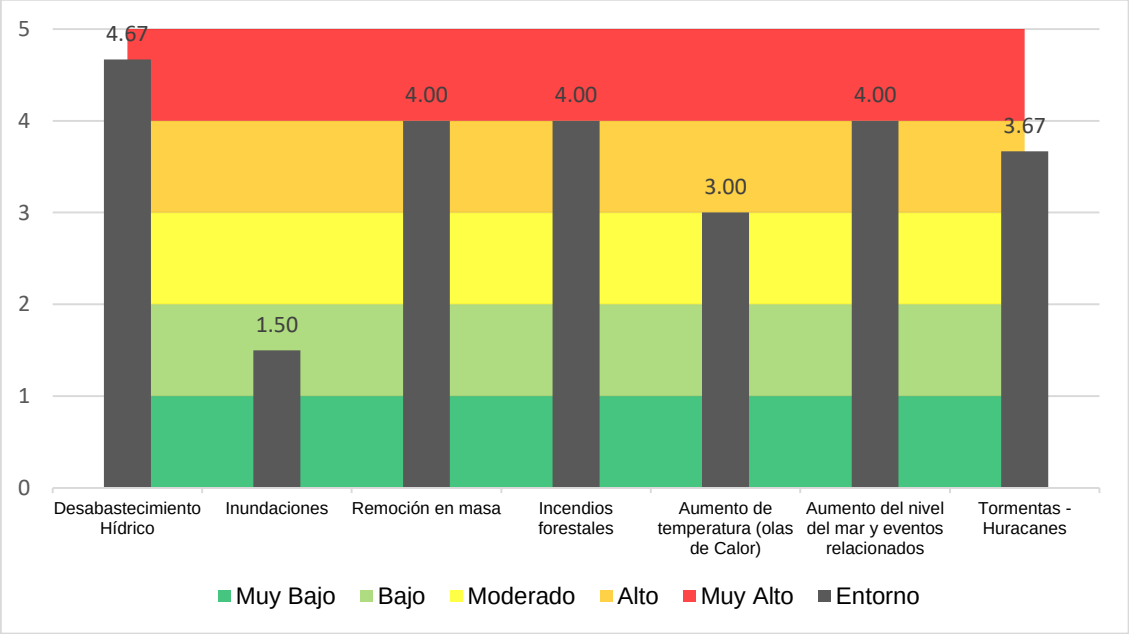
El nivel de amenazas prospectivo muy alto se presenta para el desabastecimiento hídrico en época de sequía debido a la competencia por el recurso hídrico. Con una valoración de alto se presentan los fenómenos de remoción en masa y los incendios forestales.

Además, para las inundaciones y la ocurrencia de tormentas y huracanes la calificación obtenida para las amenazas prospectivas es de muy bajo.

3.6.1.2.2 Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por evento

De acuerdo con el gráfico 3-8, se puede evidenciar que el evento que mayor nivel de riesgo presenta es el desabastecimiento hídrico, con un nivel de amenaza muy alto, ya que puede afectar directamente las fase de producción y el adecuado desarrollo de la fase de cierrte y abandono; seguido por la remoción en masa, los incendios forestales y el aumento del nivel del mar, cada uno presenta un nivel de amenaza entre el límite de alto y muy alto, que pueden afectar el sistema durante la fase de transporte.

Gráfico 3-8 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

3.6.1.3 Análisis del riesgo prospectivo del sistema sobre el subsector

Partiendo de la metodología explicada en el anexo 1, los riesgos prospectivos son evaluados con base en el nivel de amenaza prospectiva y la vulnerabilidad estimada frente a fenómenos asociados al cambio climático.

Tabla 3-19 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema para el subsector de la gran minería del carbón para el escenario de cambio climático

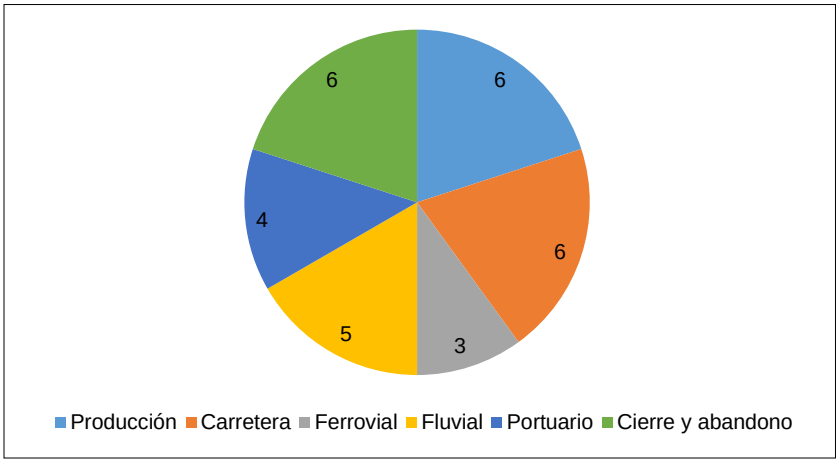
Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
Desabastecimiento hídrico	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Inundaciones	Muy bajo	Muy bajo		Moderado		Muy bajo
Remoción en masa	Moderado	Moderado		Moderado		Moderado
Incendios forestales	Alto					Alto
Aumento de temperatura (olas de calor)	Alto	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados		Bajo	Bajo		Alto	
Tormentas (huracanes)	Muy bajo	Muy bajo		Moderado	Alto	Muy bajo

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

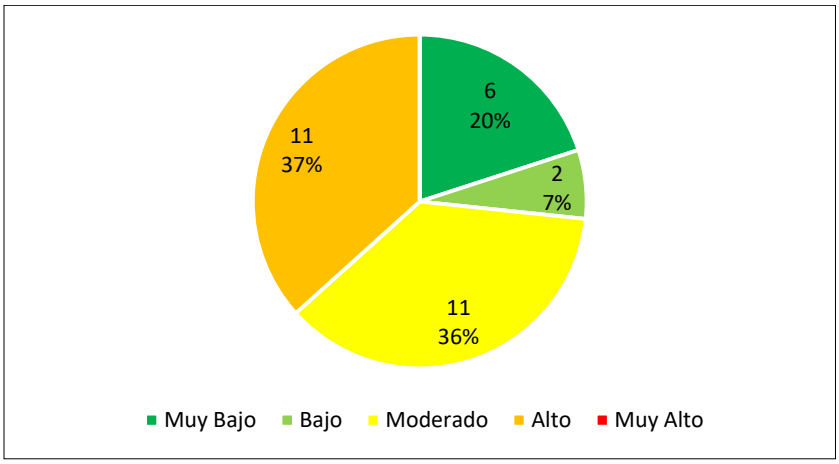
Los componentes con más riesgos son transporte fluvial y por carretera, pues para los modos carretero y fluvial están presentes los siete eventos analizados; en segundo lugar, el componente de producción cuenta con seis eventos amenazantes y, finalmente, el componente de cierre y abandono se ve amenazado por cinco eventos.

Gráfico 3-9 Número de riesgos prospectivos sobre el sistema del subsector de la gran minería del carbón



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Gráfico 3-10 Distribución de riesgos prospectivos sobre el sistema del subsector de la gran minería del carbón



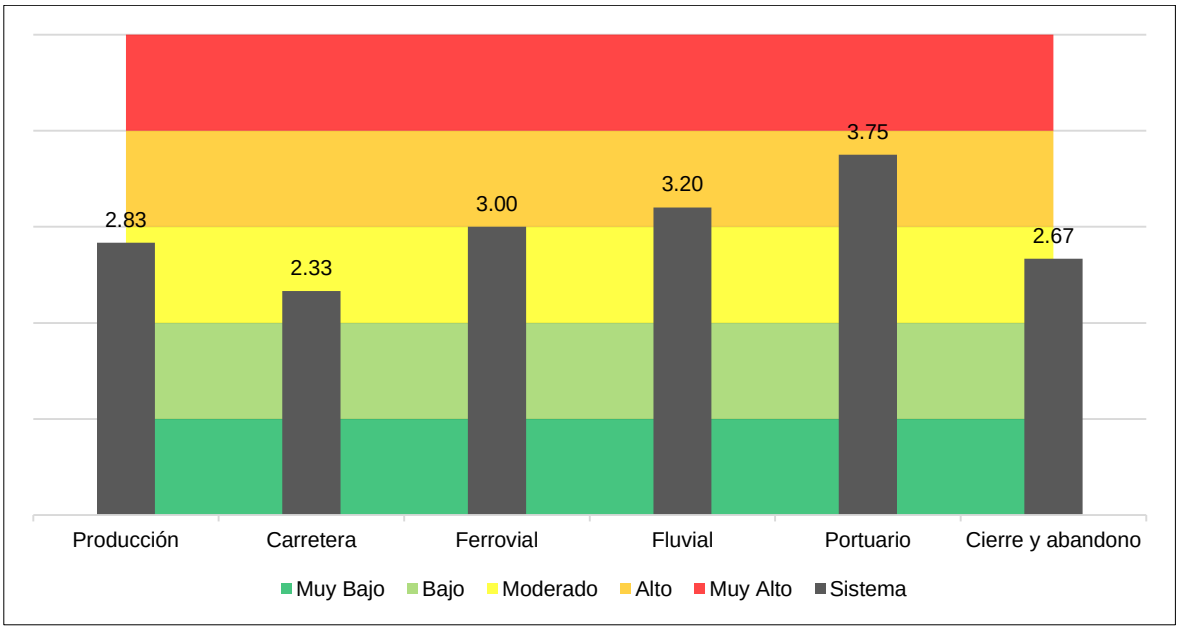
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Según el gráfico anterior, la distribución de los riesgos prospectivos se dispone de la siguiente manera: riesgo alto, 36 %; riesgo moderado, 37 %; riesgo bajo, 7 %, y riesgo muy bajo, 20 %. Así, el 73 % representa riesgos moderados o altos.

3.6.1.3.1 Análisis de los riesgos prospectivos en el sistema por componentes o subcomponentes

De manera consecuente con los análisis anteriores, el desabastecimiento hídrico representa el mayor riesgo al estar presente en todos los componentes con nivel de alto. Luego, se presenta el aumento de temperatura con valoración alta para la producción y moderada para el resto de componentes. Posteriormente, se presenta la remoción en masa que figura con riesgo moderado en los componentes de producción y cierre y abandono, al igual que para los modos carretero y fluvial.

Gráfico 3-11 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

- Producción

Como ya se mencionó, el componente de producción presenta tres fenómenos que originan riesgos altos: desabastecimiento hídrico, incendios forestales y aumento de temperatura. Con riesgo moderado se presenta la remoción en masa y con riesgo muy bajo las inundaciones y los huracanes.

- Transporte

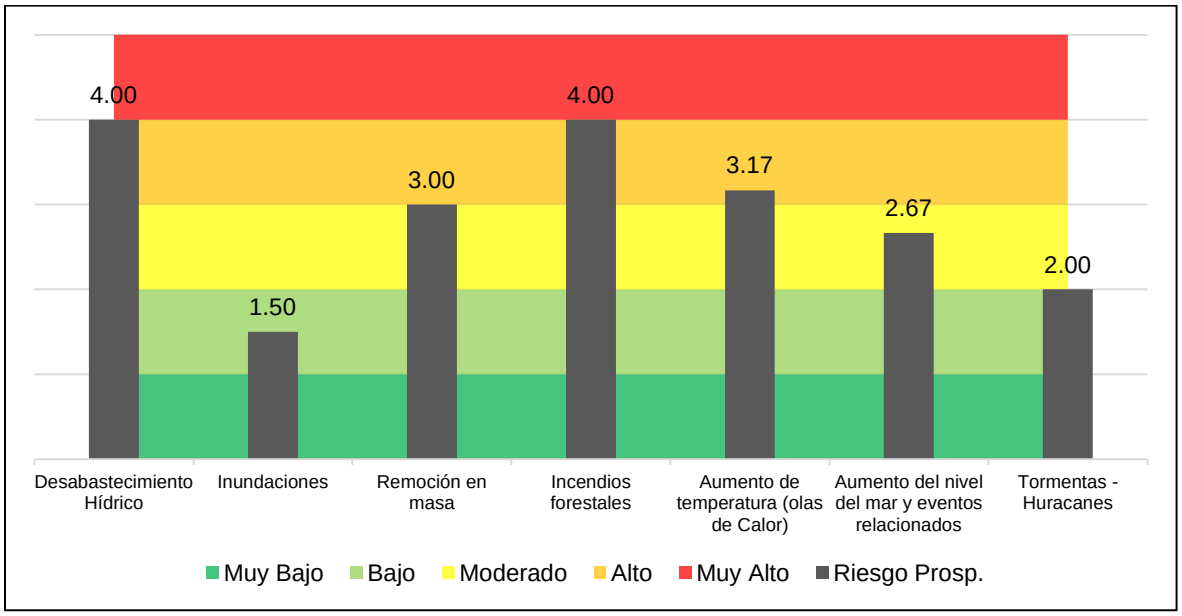
Los riesgos prospectivos altos se presentan para los cuatro componentes, frente al desabastecimiento hídrico, para los modos ferroviario y portuario ante aumento del nivel del mar y tormentas y huracanes. Con niveles moderados de riesgo prospectivo se encuentra el modo fluvial ante inundaciones y tormentas. Con igual calificación, se encuentran el modo carretero y el fluvial frente procesos de remoción en masa y aumentos de temperatura.

Por el contrario, el nivel de riesgo bajo se registra para los modos carretero y ferroviario ante aumentos del nivel del mar y sus efectos relacionados, y con nivel de riesgo muy bajo se tiene el modo carretero ante inundaciones y ocurrencia de tormentas y huracanes.

3.6.1.3.2 Análisis de los riesgos prospectivos en el sistema por evento

Una revisión a los eventos climáticos que generan algún tipo de riesgo prospectivo al subsector de la gran minería del carbón indica nuevamente a los fuertes períodos de sequía con sus fenómenos relacionados, como desabastecimiento hídrico y aumento de temperatura, como la situación climática más adversa para el subsector.

Gráfico 3-12 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

- Desabastecimiento hídrico

Este fenómeno representa el riesgo prospectivo de mayor grado, debido a que las proyecciones del clima futuro indican una importante reducción de las precipitaciones medias anuales en las áreas donde se asienta la gran minería del carbón que, a su vez, es un gran usuario y consumidor del recurso en todos los componentes del sistema.

- Aumento de temperatura

Asociado con períodos de sequía más extensos se prevé un incremento en la temperatura media mensual en las áreas carboneras. Y, puesto que existe un gran número de labores que deben desarrollarse al aire libre, emerge un riesgo alto para la producción y moderado para los demás componentes del sistema.

- Remoción en masa

Las proyecciones climáticas indican períodos de sequía más extensos; sin embargo, también se pronostican precipitaciones asociadas con lluvias torrenciales. Por esta razón, la estabilidad de los taludes de las vías, las minas, los botaderos y los retrollenados, junto con la producción de sedimentos en áreas en cierre y abandono, indican un riesgo moderado para el subsector.

- Incendios forestales

Este fenómeno representa un riesgo alto para el componente de producción, debido a que el humo puede afectar al personal; adicionalmente, para el componente de cierre y abandono se tiene igual calificación debido a los daños y las pérdidas asociadas con la afectación a las áreas en reforestación.

- Inundaciones

Como es de esperar el mayor riesgo, con nivel de moderado, está representado en el modo fluvial del componente de transporte. Para el modo carretero y los componentes de producción y cierre y abandono, debido a la configuración general de los territorios donde se encuentran las diferentes operaciones de la gran minería, este fenómeno representa un riesgo muy bajo.

- Aumento del nivel del mar

El modo de transporte portuario presenta el mayor riesgo, en especial, por la erosión costera asociada con oleaje más fuerte. Así mismo, para los modos carretero y ferroviario este fenómeno representa un riesgo bajo.

- Tormentas y huracanes

Nuevamente, el modo portuario registra un riesgo alto, seguido del modo fluvial calificado como moderado. Mientras, el modo carretero, junto con los componentes de producción y cierre y abandono, muestran riesgos prospectivos muy bajos.

3.6.1.4 Análisis de los riesgos prospectivos del entorno sobre el subsector

Como se observa en la siguiente tabla, el análisis de los riesgos prospectivos del entorno que afectan al subsector de la gran minería del carbón indica riesgos altos para todos los componentes, con excepción del modo fluvial (moderado), frente a eventos prolongados de sequía y altos para todos los componentes ante incendios, con excepción de los

modos carretero y fluvial. Por su parte, el aumento del nivel del mar resulta alto para el modo portuario.

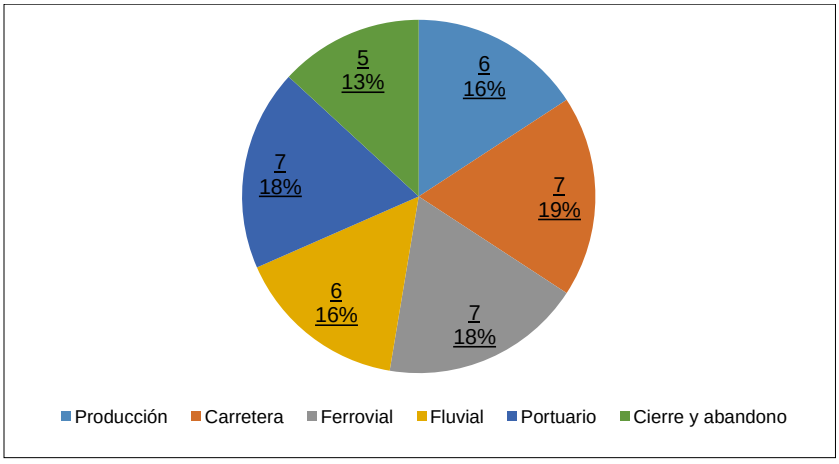
Tabla 3-20 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector de la gran minería de carbón

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	
Desabastecimiento hídrico	Alto	Alto	Alto	Moderado	Alto	Alto
Inundaciones	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Moderado	Bajo	Muy bajo
Remoción en masa	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Incendios forestales	Alto	Moderado	Alto	Moderado	Alto	Alto
Aumento de Temperatura (olas de calor)	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados		Moderado	Moderado		Alto	
Tormentas (huracanes)	Moderado	Bajo	Moderado	Moderado	Moderado	Muy bajo

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Ante las inundaciones, los riesgos del entorno que afectan al subsector se presentan en nivel moderado para el componente fluvial y bajo a muy bajo para los demás componentes.

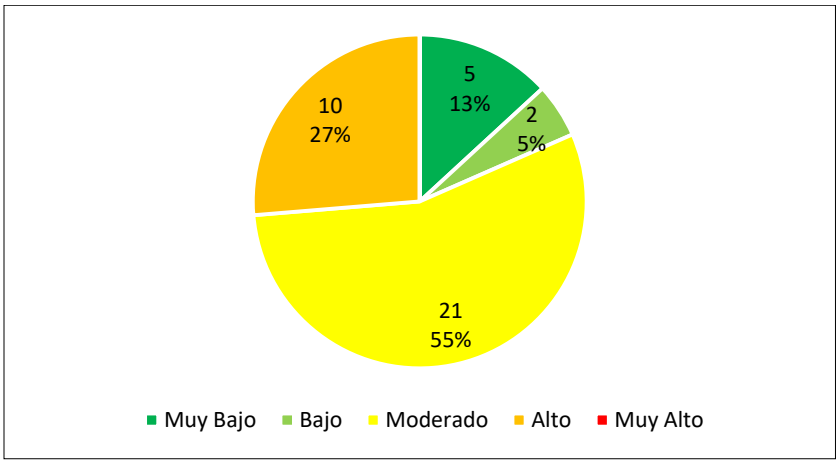
Gráfico 3-13 Número de riesgos prospectivos sobre el entorno del subsector de la gran minería del carbón



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Del gráfico anterior, se puede concluir que los componentes con mayor número de amenazas son transporte ferrovial por carretera y portuario (7), seguido por los componentes de producción y transporte fluvial (6) y con menor número de amenazas se presenta en el componente de cierre y abandono (5).

Gráfico 3-14 Distribución de riesgos prospectivos sobre el entorno del subsector de la gran minería del carbón



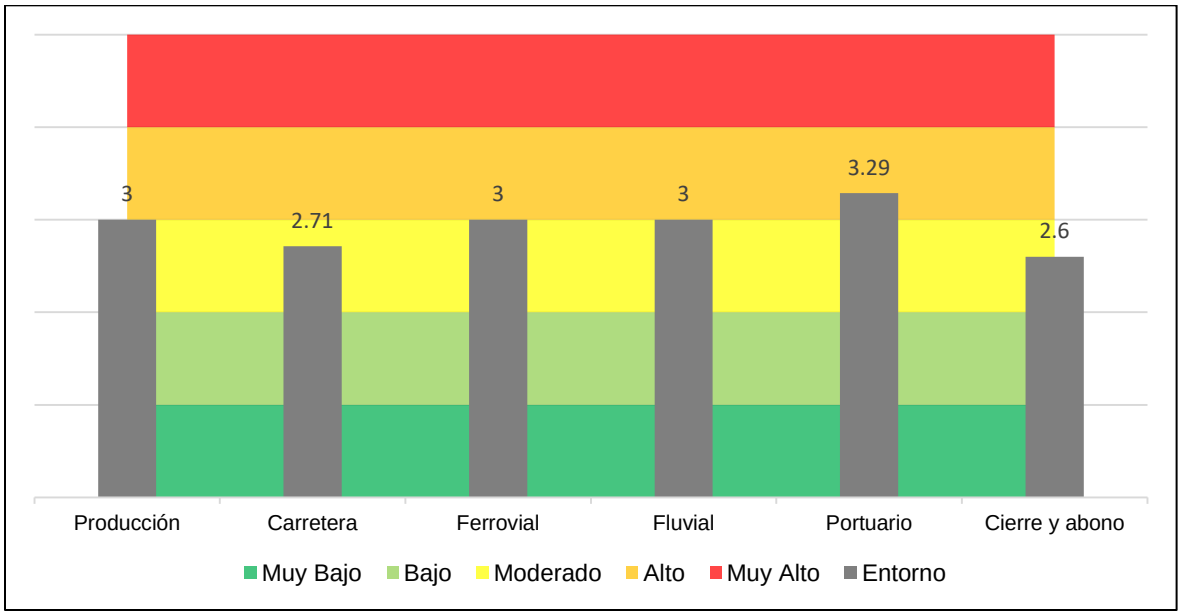
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

El aumento de temperatura muestra calificaciones de riesgo moderado para los componentes de producción y transporte, excepto para cierre y abandono. En cuanto a los huracanes y las tormentas tropicales, los mayores riesgos del entorno que afectan al sistema corresponden al componente de producción y los modos ferroviario, fluvial y portuario con una calificación de moderado; mientras, para el modo carretero se obtuvo un resultado bajo, y para cierre y abandono, muy bajo.

3.6.1.4.1 Análisis de los riesgos prospectivos en el entorno por componentes o subcomponentes

El componente con mayores niveles de riesgo prospectivo es el de transporte, en particular en el modo portuario. El componente de producción presenta dos eventos como generadores de riesgo alto y tres de riesgo moderado, y en cierre y abandono, se presentan dos eventos con riesgo alto y uno con riesgo moderado.

Gráfico 3-15 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

- Componente de producción

De los siete eventos analizados, el componente de producción muestra dos con nivel de riesgo alto, tres con nivel moderado y uno con nivel muy bajo. El desabastecimiento hídrico y los incendios forestales son los eventos asociados con los riesgos más altos; mientras, la remoción en masa, el aumento de temperatura y las tormentas y los huracanes representan el nivel moderado.

- Componente de transporte

El modo carretero muestra riesgo alto frente al desabastecimiento hídrico; moderado para la remoción en masa, los incendios forestales, el incremento en la temperatura y el aumento del nivel del mar; bajo para tormentas y huracanes, y muy bajo para inundaciones. El modo ferroviario muestra riesgos similares al carretero con dos excepciones: los incendios forestales y las tormentas que representan mayores niveles de riesgo, alto para los primeros y moderado para los segundos.

El modo fluvial muestra niveles de riesgo moderado para todos los eventos, con excepción del aumento del nivel del mar. El modo portuario, como se mencionó, tiene el mayor nivel de riesgo con tres eventos calificados como altos: desabastecimiento hídrico, incendios forestales y aumento del nivel del mar. Adicionalmente, este modo presenta

otros tres eventos en el nivel de moderado: remoción en masa, aumento de temperatura y tormentas, y finalmente, el riesgo asociado con las inundaciones se considera bajo.

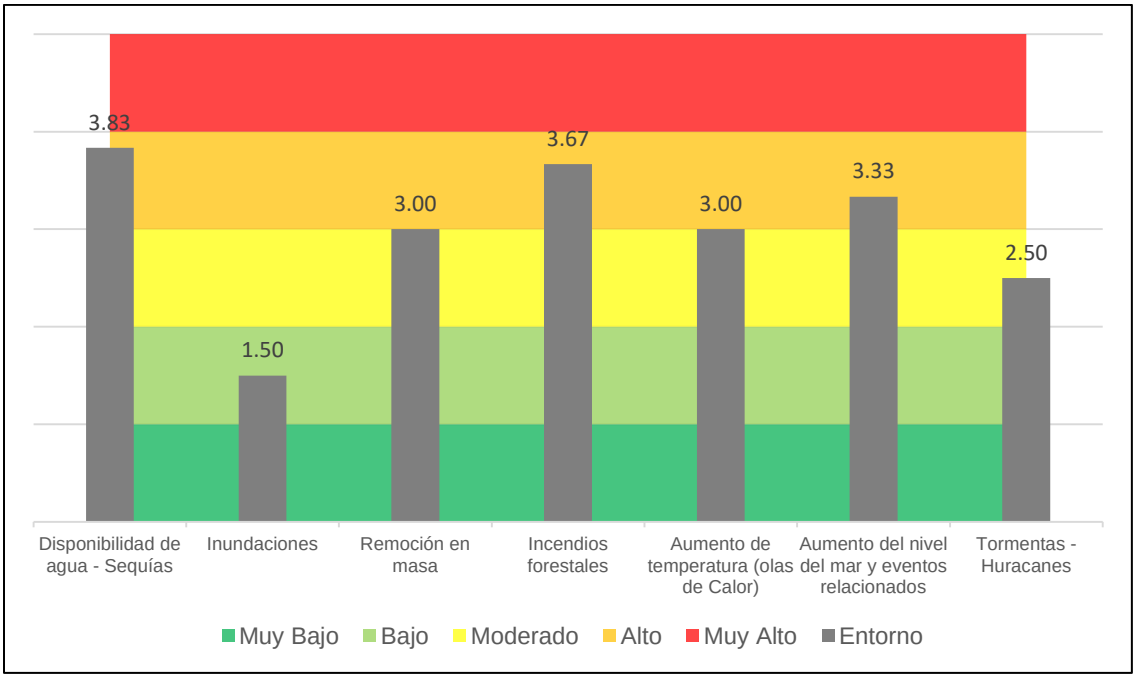
- Componente de cierre y abandono

Del desabastecimiento hídrico y los incendios forestales se deriva el mayor nivel de riesgo del entorno en este componente con una calificación de alto; para el evento de remoción en masa se tiene un riesgo moderado, y para las inundaciones y las tormentas, un nivel muy bajo.

3.6.1.4.2 Análisis de los riesgos prospectivos en el entorno por eventos

Los eventos más amenazantes son el desabastecimiento hídrico y los incendios forestales, estos son seguidos por la remoción en masa y el aumento de temperatura.

Gráfico 3-16 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

- Desabastecimiento hídrico

Excepto para el modo fluvial, con un nivel de riesgo moderado, todos los componentes y subcomponentes muestran niveles altos frente a este evento.

- Aumento de temperatura

El modo portuario es el de mayor riesgo con una valoración alta, seguido por los modos carretero y ferroviario con calificación moderada.

- Remoción en masa

Todos los componentes y subcomponentes presentan un nivel de riesgo prospectivo moderado frente a este fenómeno.

- Incendios forestales

Los componentes de producción y cierre y abandono, junto con los modos ferroviario y portuario, cuentan con un nivel de riesgo prospectivo del entorno alto; mientras, los modos fluvial y carretero muestran un nivel de riesgo moderado.

- Inundaciones

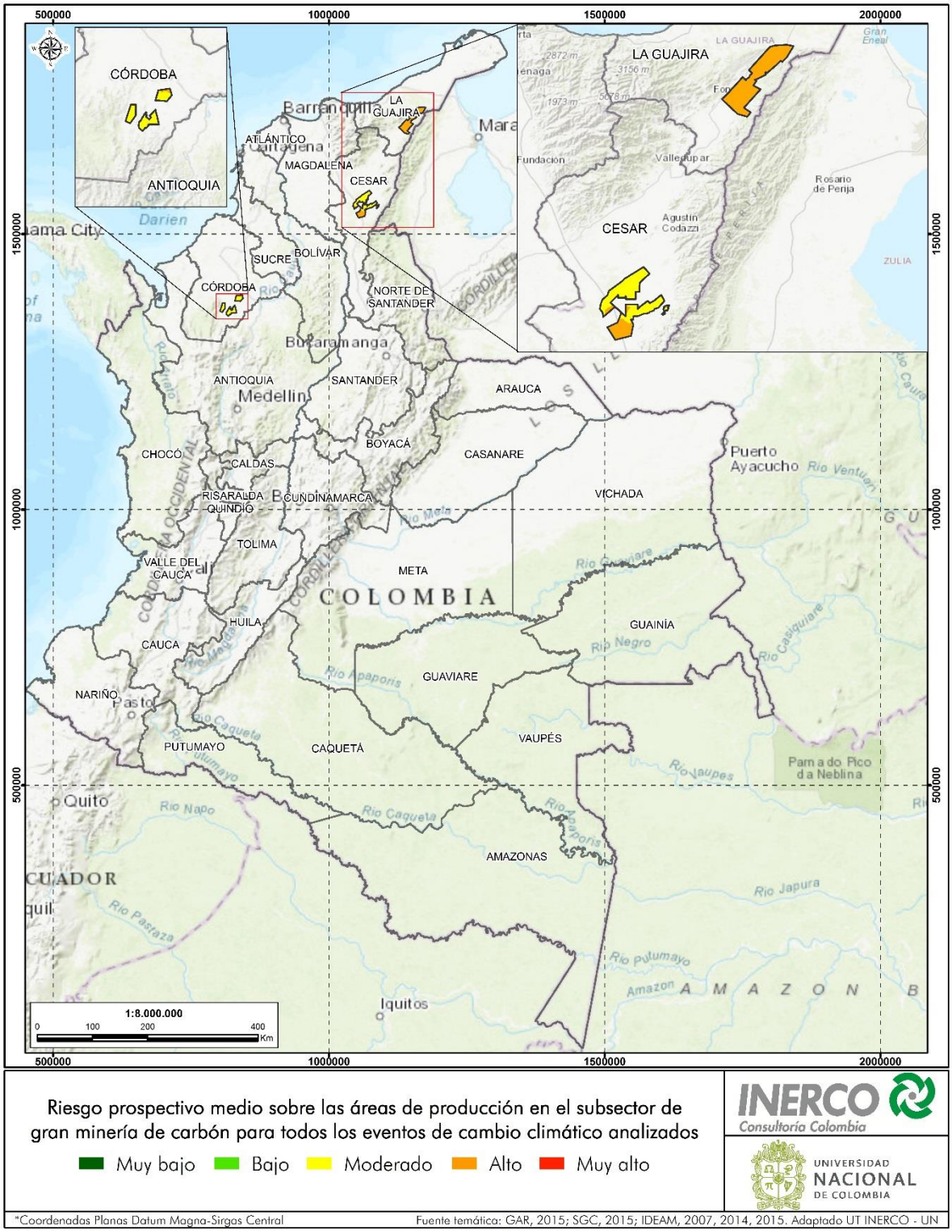
Este evento resulta de especial relevancia para el modo fluvial con un nivel de riesgo moderado; el modo portuario registra un nivel de riesgo prospectivo del entorno bajo, y el resto de componentes y subcomponentes muestran niveles muy bajos.

3.6.1.5 Escenario de riesgo para el subsector de la gran minería del carbón

De acuerdo con los pronósticos climáticos oficiales las áreas de operación del subsector estarán sometidas a períodos de sequía más intensos y extensos, las amenazas derivadas de esta condición hidrometeorológica como déficit hídrico, aumento de la temperatura e incendios forestales representan los fenómenos amenazantes de los cuales surgen los mayores riesgos para la operatividad del sistema.

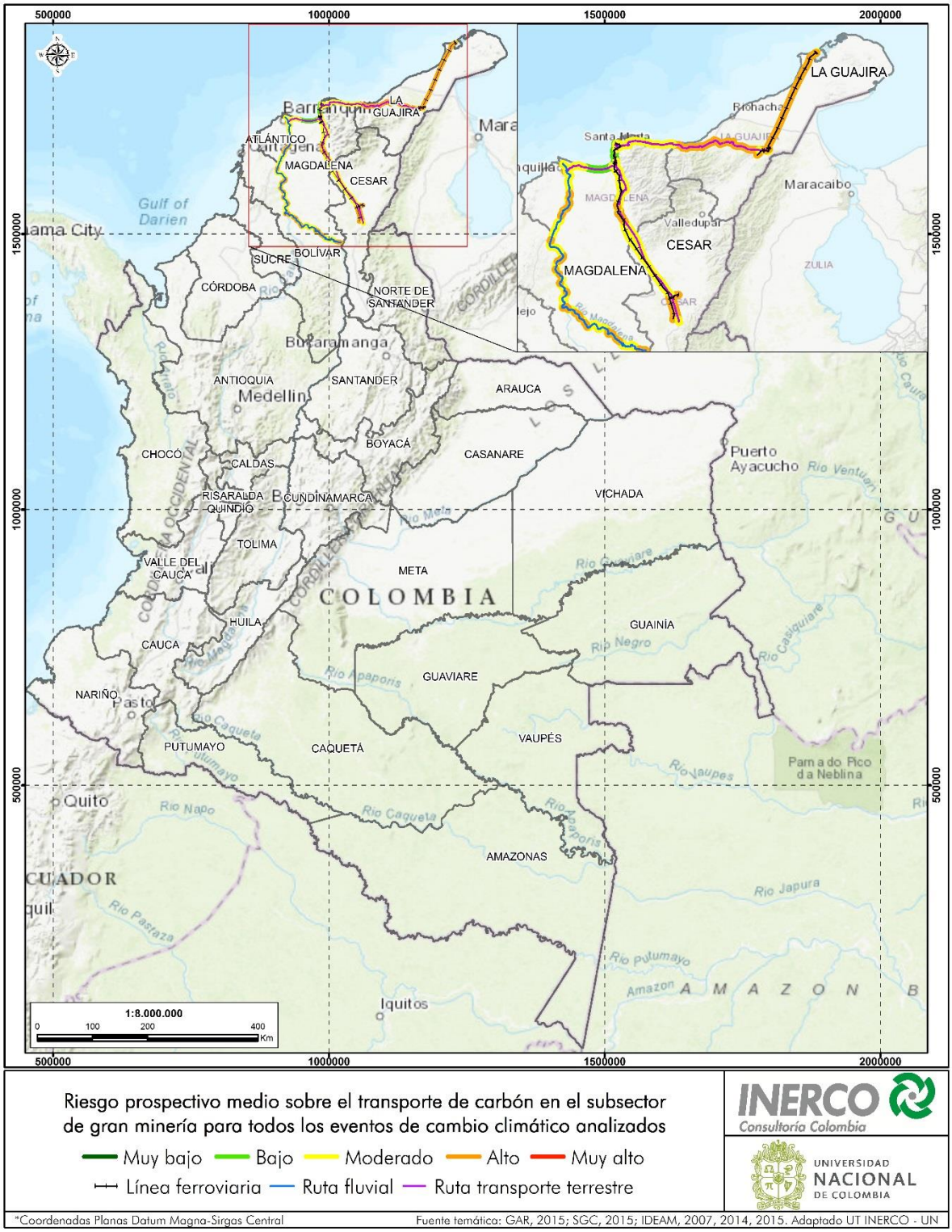
Como ya se ha mencionado, la ocurrencia de lluvias fuertes sobre territorios poco humectados causa que gran parte de la precipitación se convierta en escorrentía con gran capacidad erosiva, razón por la cual los procesos de remoción en masa aparecen como importantes generadores de riesgo para el sistema. Con menor grado de riesgo prospectivo, tanto para el sistema como para el entorno, se encuentran las inundaciones, junto con las tormentas y los huracanes; no obstante, la ocurrencia de estos fenómenos es una amenaza latente para el subsector.

Figura 3-18 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción



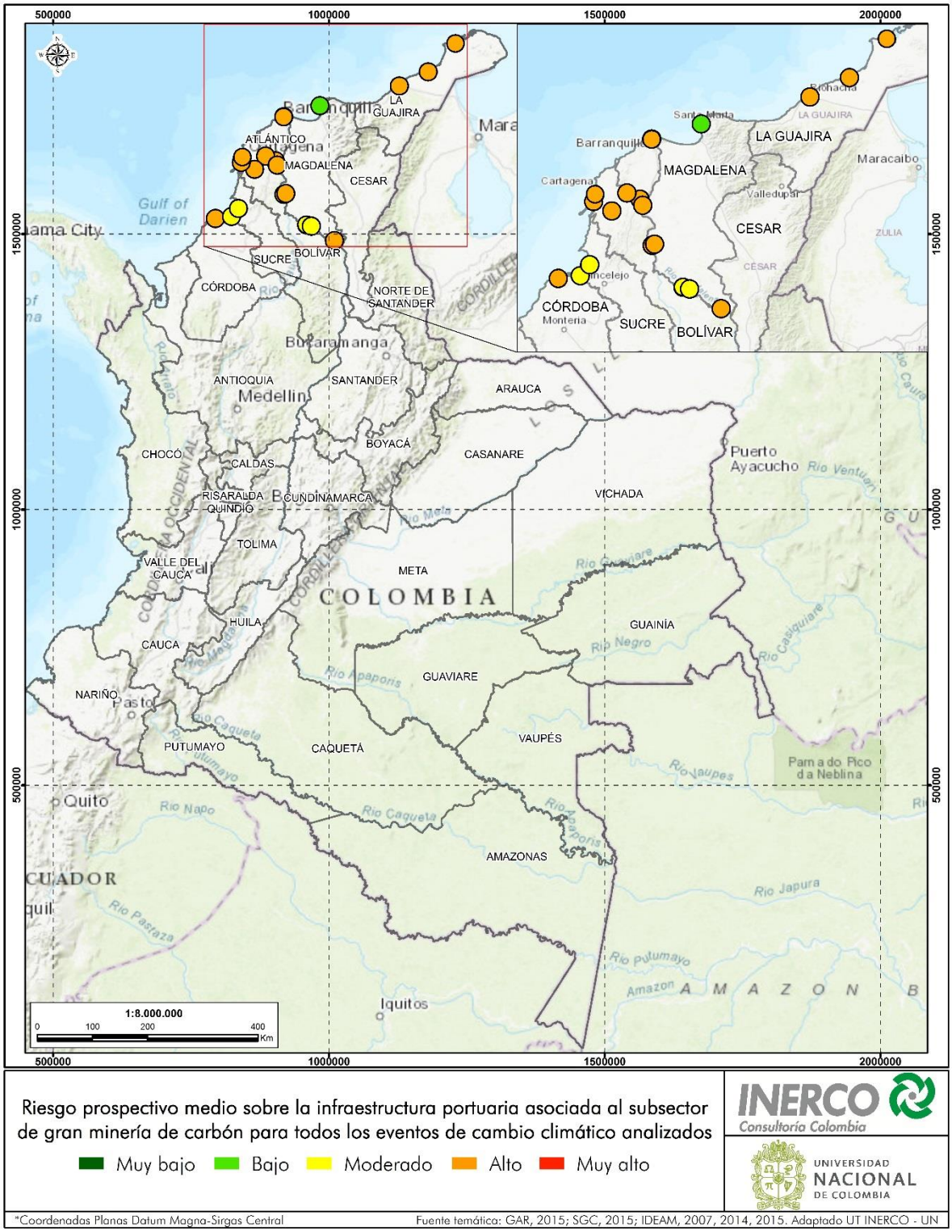
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

Figura 3-19 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de transporte lineal



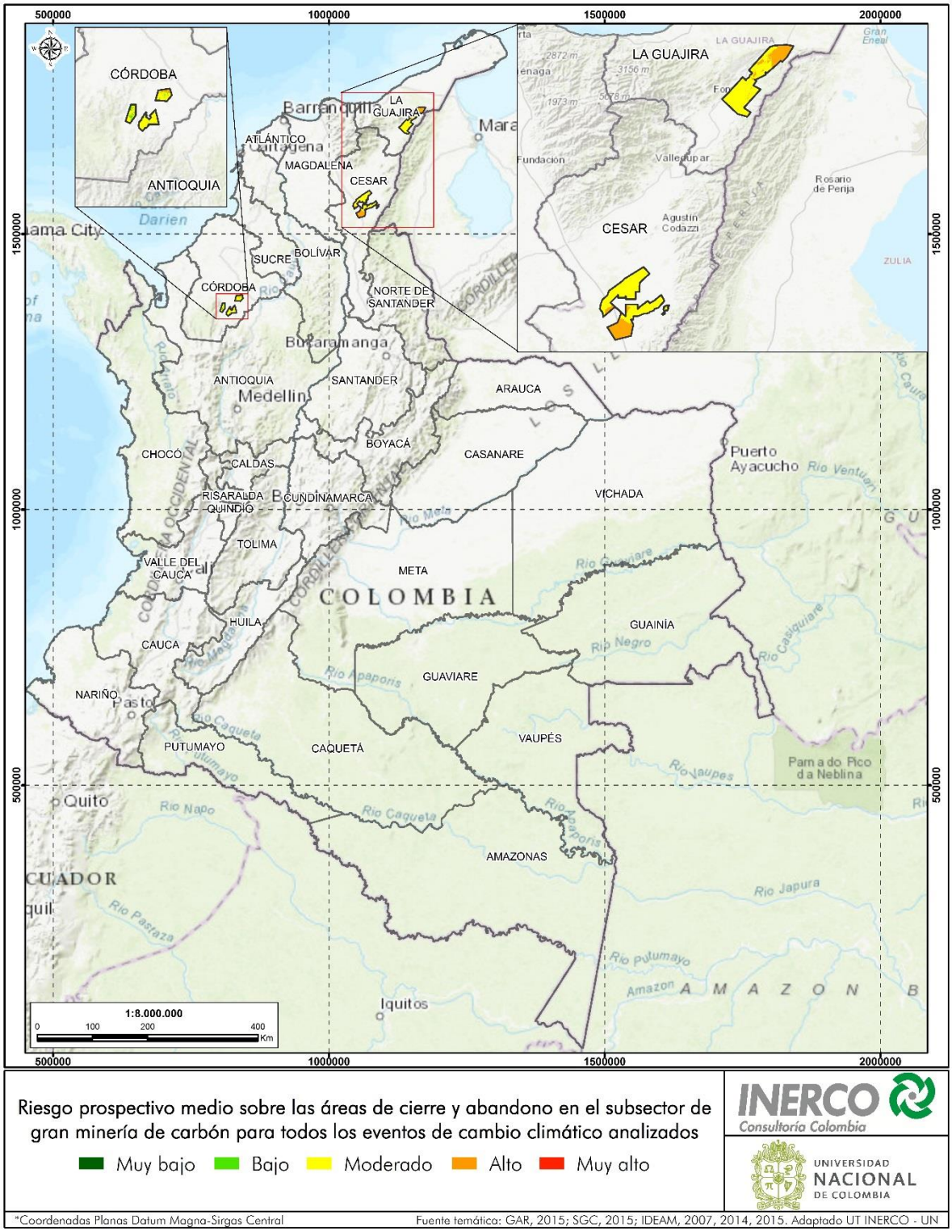
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

Figura 3-20 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de infraestructura portuaria



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

Figura 3-21 Riesgo prospectivo medio para el componente de cierre y abandono



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

3.6.2 Variabilidad Climática

3.6.2.1 Fenómeno de La Niña

Durante la ocurrencia de la fase fría del fenómeno de El Niño -Oscilación del Sur ENOS-, las fuertes precipitaciones desencadenan procesos amenazantes como inundaciones y remoción en masa, que afectan de diferente forma las operaciones extractivas de gran escala y sus entornos.

3.6.2.1.1 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del sistema sobre el subsector

Con base en la información cartográfica oficial y los análisis sobre la ocurrencia de La Niña, se determinaron los niveles de amenaza prospectiva para las áreas donde se encuentra asentada la gran minería del carbón.

De acuerdo con la siguiente tabla, los niveles de amenaza muy alta están representados por los procesos de remoción en masa, en particular para los componentes de producción y transporte en su modo carretero. Por su parte, la remoción en masa muestra valores altos para el modo fluvial del componente carretero y para cierre y abandono.

Debido principalmente a la topografía de las áreas en producción de carbón, las inundaciones se presentan como amenazas moderadas para el modo fluvial y muy bajas para los componentes de producción, cierre y abandono, y para el modo carretero.

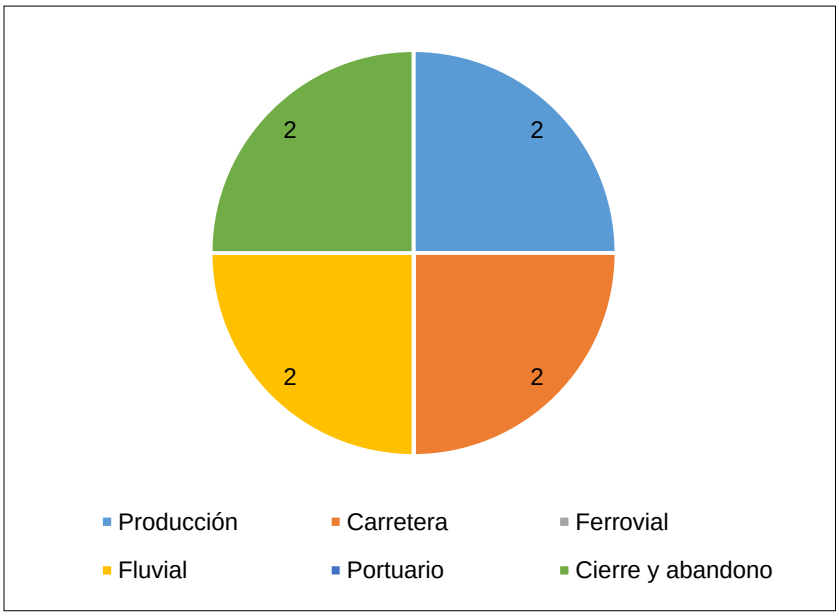
Tabla 3-21 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	
Desabastecimiento hídrico						
Inundaciones	Muy Bajo	Muy Bajo		Moderado		Muy Bajo
Remoción en masa	Muy Alto	Muy Alto		Alto		Alto
Incendios forestales						
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)						
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan ocho amenazas prospectivas del sistema sobre el subsector de hidrocarburos que se distribuyen de a dos en los componentes de producción, cierre y abandono y en dos de los modos de transporte (carretera y fluvial), como se pueden evidenciar en el siguiente gráfico.

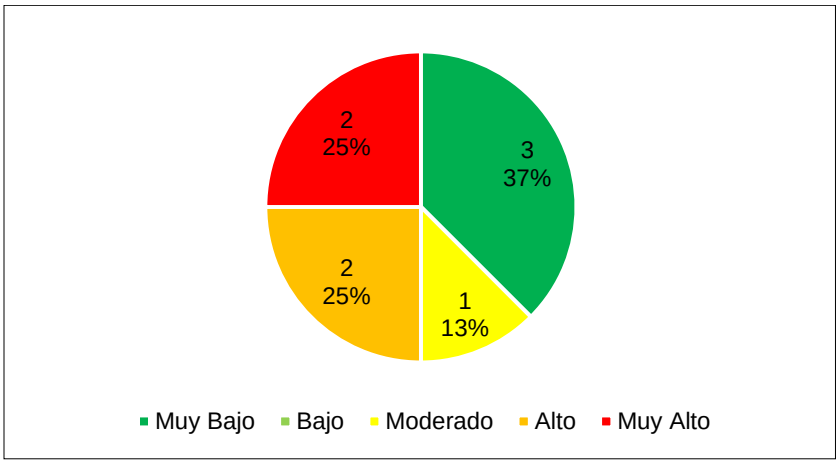
Gráfico 3-17 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 3-18 se puede evidenciar la distribución de los niveles de amenazas que se presentan en el sistema. El 25 % de las amenazas presentes se encuentran calificadas como muy altas, el 25 % son altas, el 13 % corresponden a un nivel moderado y finalmente está presente un nivel muy bajo en un 37 %.

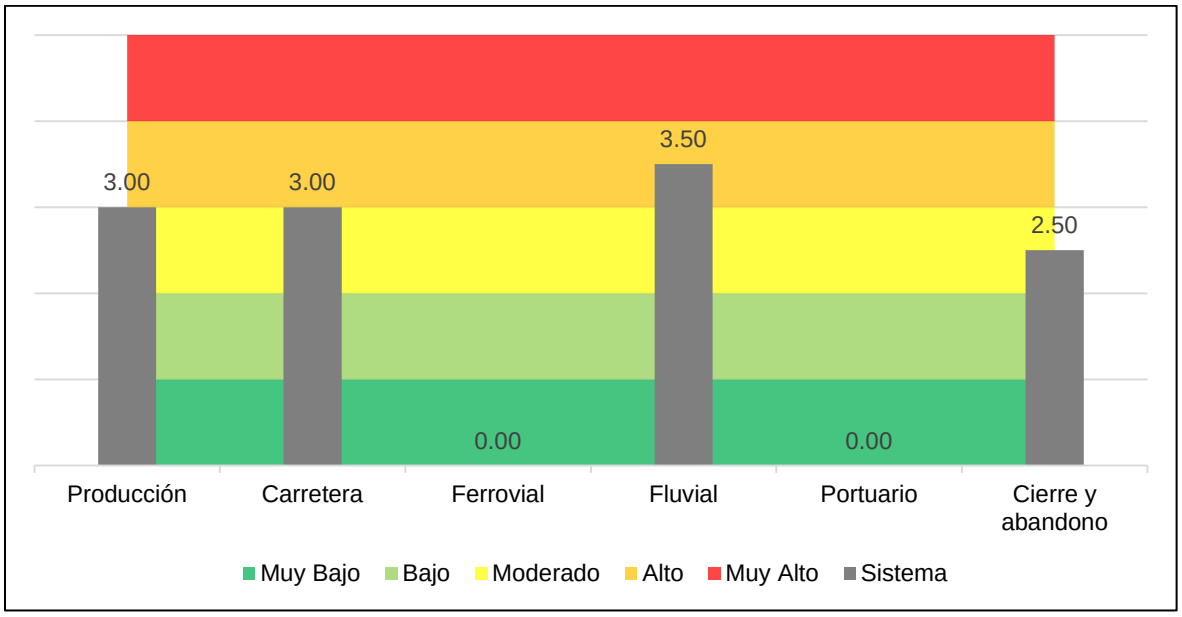
Gráfico 3-18 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 3-19 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Producción

Como es de esperarse, durante las fuertes precipitaciones ocurridas durante el fenómeno de La Niña se presentan debilitamientos en los taludes de la mina, los retrollenados y los botaderos, razón por la cual muestra amenazas muy altas frente a la remoción en masa; sin embargo, los niveles de amenaza para inundaciones son muy bajos, lo cual indica que el grado de impacto para este componente es moderado.

- Transporte

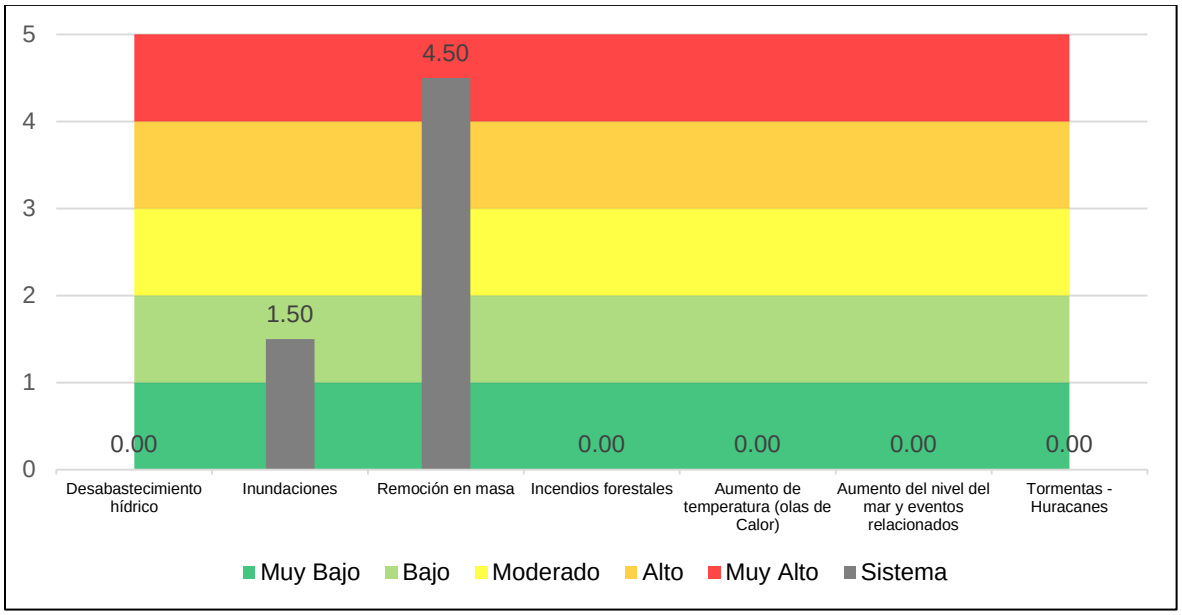
El componente transporte presenta un grado de impacto moderado en el modo carretero ya que presenta niveles muy altos frente a remoción en masa debido a probables debilidades por exceso de carga hídrica en los taludes viales y posibles daños en infraestructura pública como puentes. Para el modo fluvial el grado de impacto es alto debido a que se presentan posibles procesos de erosión de bancas y agradación del lecho que dificultan el tránsito de las barcazas con un nivel de amenaza alto. Para los modos ferroviarios y portuario no se registran niveles de amenaza a partir de la información cartográfica oficial utilizada; no obstante, debe tenerse en cuenta que es posible que ocurran algunos daños parciales y aislados por remoción en masa.

- Cierre y abandono

Este componente se encuentra expuesto a niveles altos de amenaza por remoción en masa, en particular por la debilidad de los taludes de los retrollenados y los botaderos, junto con los taludes viales y la erosión lateral en corrientes hídricas, además presenta un nivel de amenaza muy bajo para inundaciones, teniendo como grado de impacto para este componente un nivel moderado.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por eventos

Gráfico 3-20 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Remoción en masa

Los procesos denudativos muestran niveles de amenaza prospectiva muy altos para los componentes de producción y transporte en su modo carretero debido al impacto sobre los taludes y las laderas esperado durante las fuertes lluvias asociadas con el fenómeno de La Niña. Por su parte, el modo fluvial y el componente de cierre y abandono muestran niveles altos de amenaza por este tipo de procesos, lo cual indica un grado de impacto muy alto para el sistema.

- Inundaciones

Teniendo en cuenta que el transporte fluvial presenta un nivel moderado por inundaciones; y los componentes de producción y cierre y abandono muestran niveles muy bajos, se puede inferir que el grado de impacto de este evento sobre el sistema es bajo.

3.6.2.1.2 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del entorno sobre el subsector

A continuación se analizan las amenazas del entorno del sector de la gran minería del carbón que representan afectaciones probables al entorno. Nuevamente, la remoción en masa presenta las mayores amenazas seguido por las inundaciones, como se observa en la siguiente tabla. En general, todos los componentes se ven fuertemente impactados por las amenazas del entorno asociadas con la remoción en masa

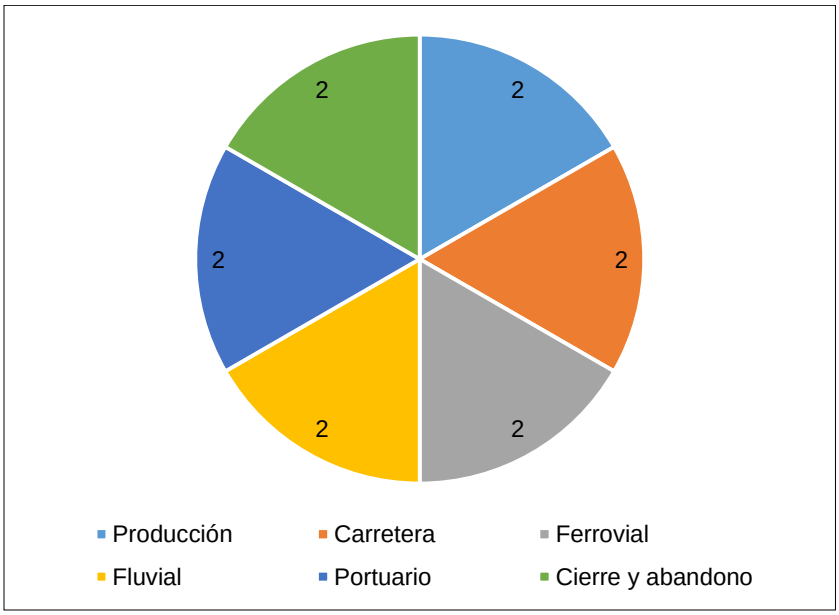
Tabla 3-22 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	
Desabastecimiento hídricos						
Inundaciones	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Alto	Bajo	Muy Bajo
Remoción en masa	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto
Incendios forestales						
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)						
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas - Huracanes						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan 12 amenazas prospectivas del entorno sobre el subsector, distribuidas en la misma proporción para los 6 componentes y subcomponentes evaluados, que se pueden evidenciar en el siguiente gráfico.

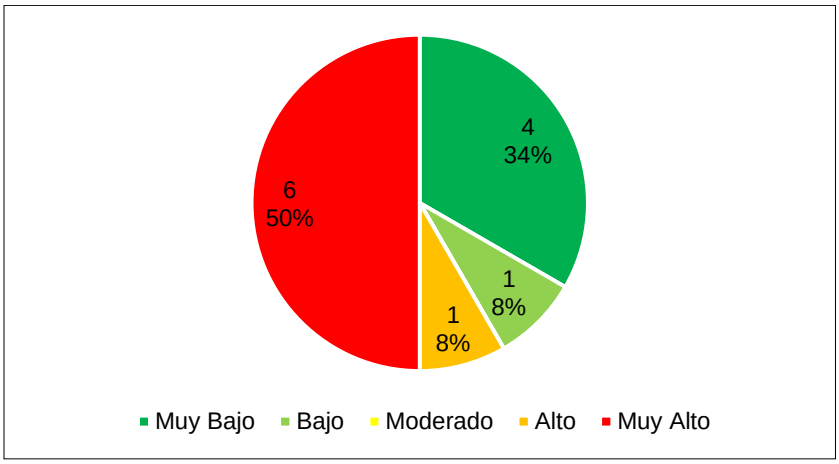
Gráfico 3-21 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

El gráfico 3-22 muestra los niveles de amenaza desde el entorno que se distribuyen de la siguiente forma: muy alto 50 %, alto 8 %, bajo 8 % y muy bajo 34 %. De esta forma, el 58 % representa una amenaza alta o muy alta al sector de la gran minería de carbón desde el entorno.

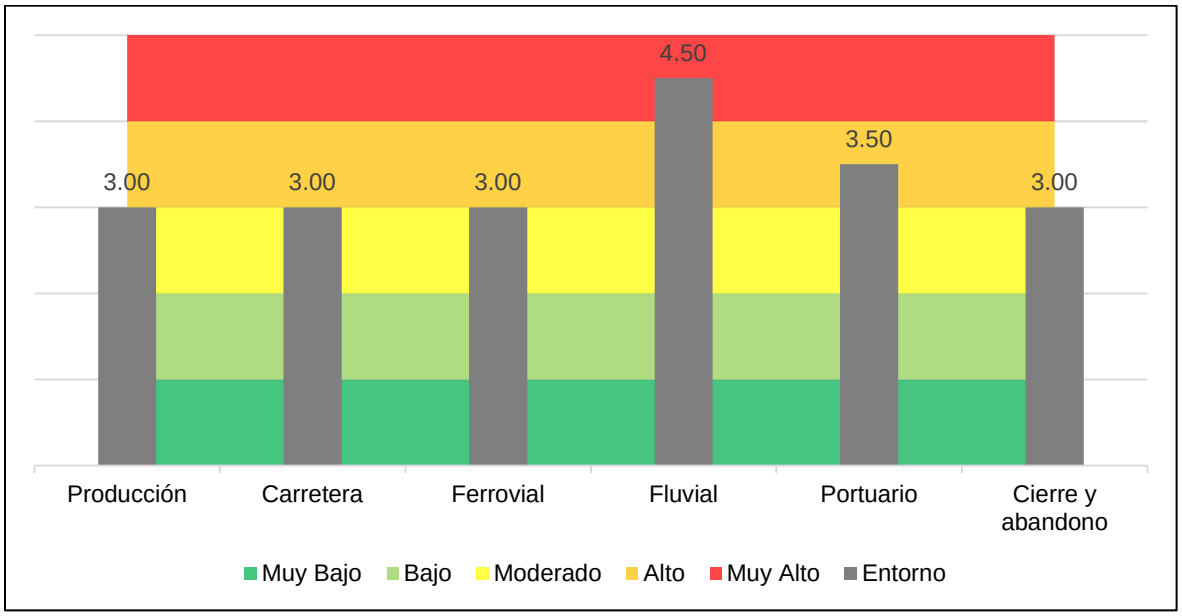
Gráfico 3-22 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por componentes o subcomponentes

Gráfico 3-23 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A continuación se presenta una descripción por componente del grado de impacto de las amenazas prospectivas derivadas de la ocurrencia del fenómeno de La Niña desde el entorno hacia el subsector.

- Producción

El componente de producción muestra un grado de impacto moderado debido a que el nivel más alto está representado por procesos de remoción en masa, mientras que las inundaciones se registran como amenazas muy bajas.

- Transporte

Los cuatro modos de transporte muestran niveles muy altos de amenaza asociados con procesos denudativos y de bajo a muy bajo para las inundaciones; sin embargo, el modo fluvial registra valores altos frente a éste último fenómeno. Lo anterior indica que el transporte por carretera y ferrovial tienen un grado de impacto moderado; el portuario alto y finalmente el transporte fluvial cuenta con un grado muy alto.

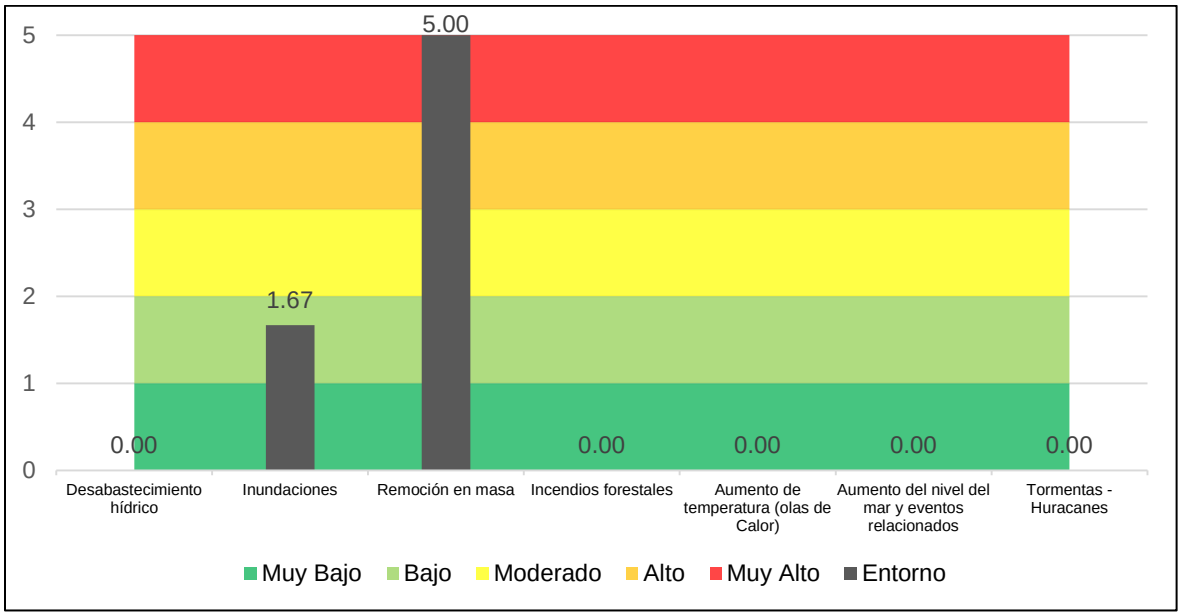
- Cierre y abandono

La producción de sedimentos en las corrientes naturales y los canales de desagüe ubicados en áreas en recuperación y rehabilitación pueden llegar a afectar a las comunidades aledañas lo que generaría impactos negativos para el sistema durante el fenómeno de La Niña. Este componente tiene un grado de impacto moderado por la presencia de niveles muy altos y muy bajos en los eventos de remoción en masa e inundaciones respectivamente.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por eventos

Como ya se ha mencionado, las amenazas prospectivas más relevantes para el entorno están relacionadas con la remoción en masa durante el fenómeno de La Niña. No obstante, se presenta un nivel bajo para el modo fluvial.

Gráfico 3-24 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Remoción en masa

Los procesos denudativos muestran niveles de amenaza prospectiva muy altos para todos los componentes, esto debido al impacto sobre los taludes y las laderas esperado durante las fuertes lluvias asociadas con el fenómeno La Niña, por lo tanto su grado de impacto sobre el subsector es muy alto.

- Inundaciones

La inundación se presenta como un evento con nivel de amenaza prospectivo alto para el modo fluvial debido a los impactos asociados en los puertos fluviales, donde puede ocurrir un debilitamiento en las estructuras e incluso afectar los accesos. Para los componentes de producción, cierre y abandono, y los modos carretero y ferroviario, este evento se presenta con nivel muy bajo. Por lo tanto para el subsector de la gran minería de carbón este evento tiene un grado de impacto bajo.

3.6.2.1.3 Análisis del riesgo prospectivo del sistema sobre el subsector

La estimación de los riesgos prospectivos se realizó a partir del nivel de amenaza y la vulnerabilidad del sistema frente a los fenómenos de la variabilidad climática.

Aunque la siguiente tabla muestra grandes similitudes en los riesgos derivados de la fase fría del fenómeno ENSO para todo el sistema, puede observarse que el modo fluvial presenta un riesgo levemente mayor al presentar un riesgo con nivel alto y el otro con nivel moderado.

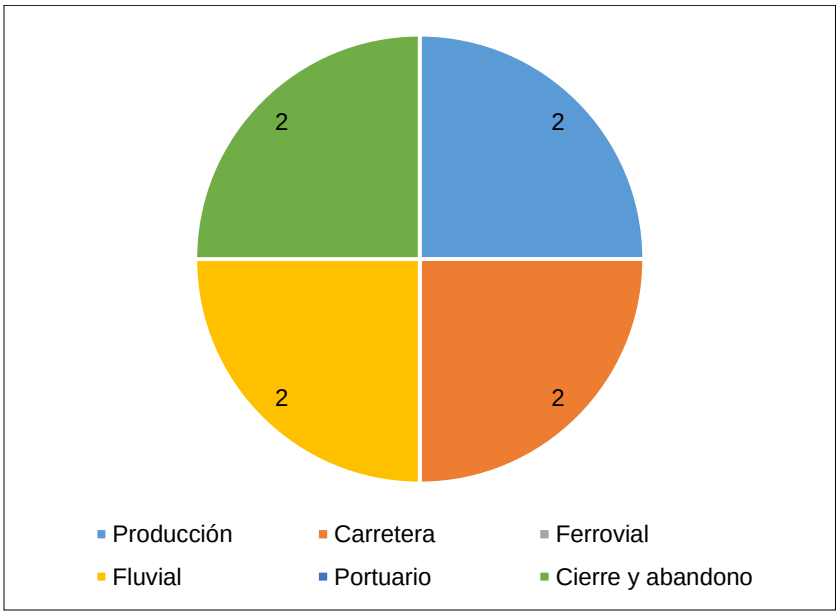
Tabla 3-23 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	
Desabastecimiento hídrico						
Inundaciones	Muy Bajo	Muy Bajo		Moderado		Muy Bajo
Remoción en masa	Alto	Alto		Alto		Alto
Incendios forestales						
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)						
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan ocho riesgos prospectivos del entorno sobre el subsector que se distribuyen de a dos en los siguientes componentes: producción, cierre y abandono, transporte por carretera y fluvial, que se pueden evidenciar en el siguiente gráfico.

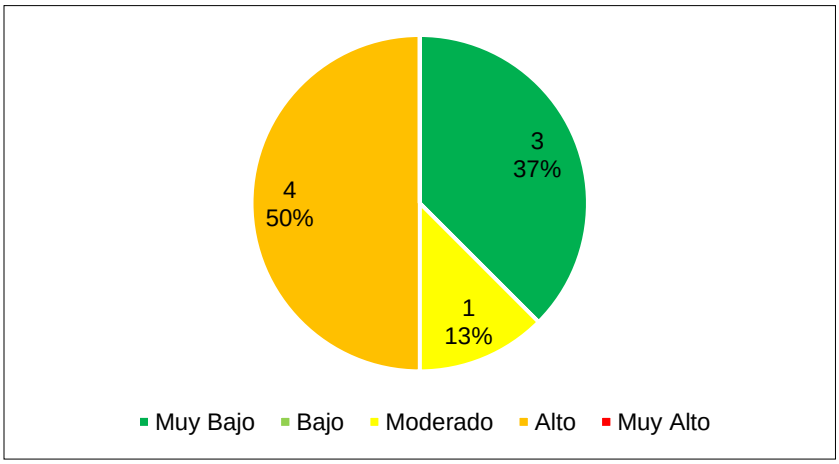
Gráfico 3-25 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Teniendo en cuenta el gráfico 3-26, la distribución de los riesgos prospectivos se encuentra de la siguiente manera: riesgo alto 50 %, riesgo moderado 13 % y riesgo muy bajo 37 %. De esta manera, el 63 % representa riesgos moderados o altos.

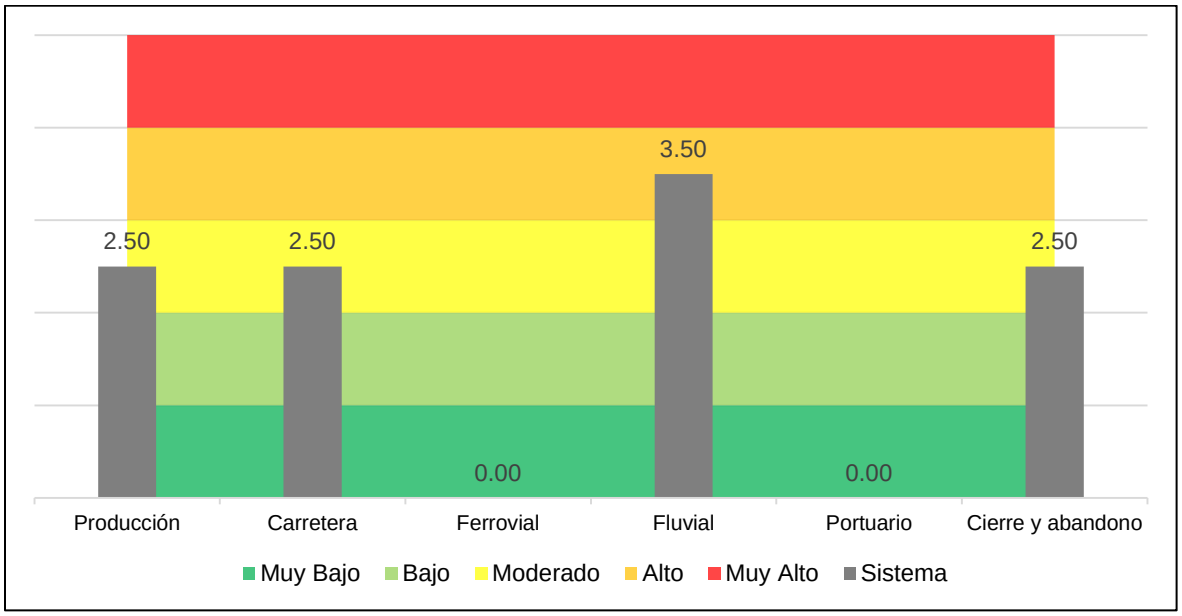
Gráfico 3-26 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 3-27 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Producción

La fase fría del ENSO, es decir, La Niña, es causante de un riesgo alto para este componente por procesos de remoción en masa y niveles muy bajos de riesgo frente a inundaciones derivadas de las fuertes precipitaciones asociadas, lo cual indica un grado de impacto moderado para el subsector.

- Transporte

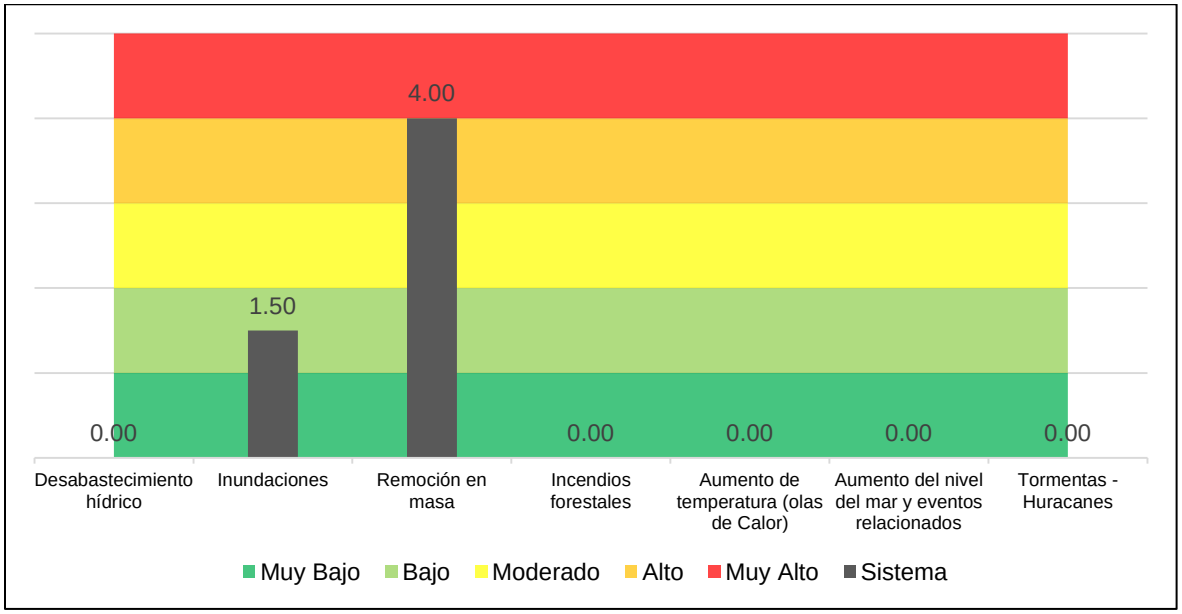
El grado de impacto moderado corresponde al transporte por carretera y alto para fluvial teniendo en cuenta que durante la ocurrencia de La Niña, los modos carretero y fluvial quedan sometidos a riesgo prospectivo alto para remoción en masa y a nivel bajo y moderado (respectivamente) para inundaciones; sin embargo, para los otros dos modos no se evidencia riesgo.

- Cierre y abandono

El componente cierre y abandono tiene un grado de impacto moderado por la remoción en masa ya que muestra niveles altos, mientras que para las inundaciones se registran valores muy bajos.

B. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por eventos

Gráfico 3-28 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

El principal proceso amenazante es la remoción en masa y en segundo lugar, con niveles muy inferiores de riesgo, las inundaciones.

- Remoción en masa

La remoción en masa por efectos de La Niña, es el principal proceso amenazante, su impacto es alto ya que genera niveles de riesgo altos para el sistema, especialmente para los componentes de producción y cierre y abandono, junto con los modos carretero y fluvial.

- Inundaciones

El componente sometido a mayor riesgo, con nivel moderado, a partir de este evento es el fluvial debido a los desbordamientos y los daños en la infraestructura de los puertos fluviales. Para el resto, se estima un riesgo muy bajo, lo cual indica un grado de impacto bajo para el sistema.

3.6.2.1.4 Análisis del riesgo prospectivo del entorno sobre el subsector

Como muestra la siguiente tabla, los riesgos prospectivos más altos están asociados con la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Por su parte, las inundaciones afectan en mayor grado al transporte fluvial debido a posibles daños en zonas de almacenamiento temporal e infraestructura propia del nodo.

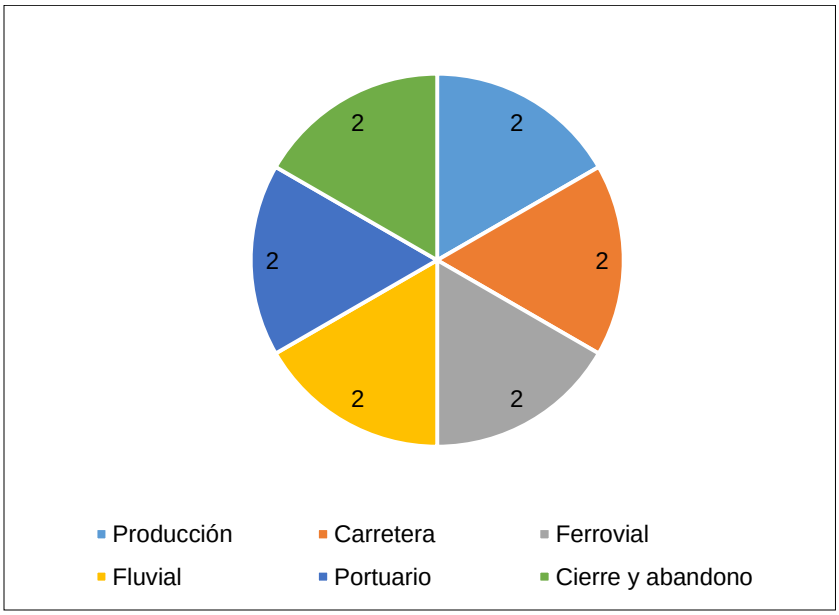
Tabla 3-24 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	
Desabastecimiento hídrico						
Inundaciones	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo	Moderado	Bajo	Muy Bajo
Remoción en masa	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Incendios forestales						
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)						0
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						0

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan 12 riesgos del entorno sobre el subsector que se distribuyen proporcionalmente en los componentes y subcomponentes evaluados, que se evidencian en el siguiente gráfico.

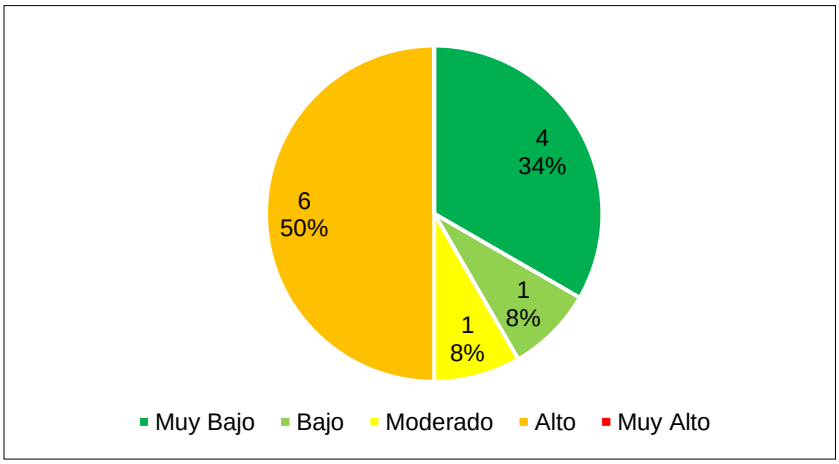
Gráfico 3-29 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 3-30 se puede notar que la distribución de niveles de amenaza es: alto 50 %, moderado 8 %, bajo 8 % y muy bajo 34 %, con lo cual, el 58 % está representado por niveles de riesgo prospectivo del entorno iguales o superiores a moderado.

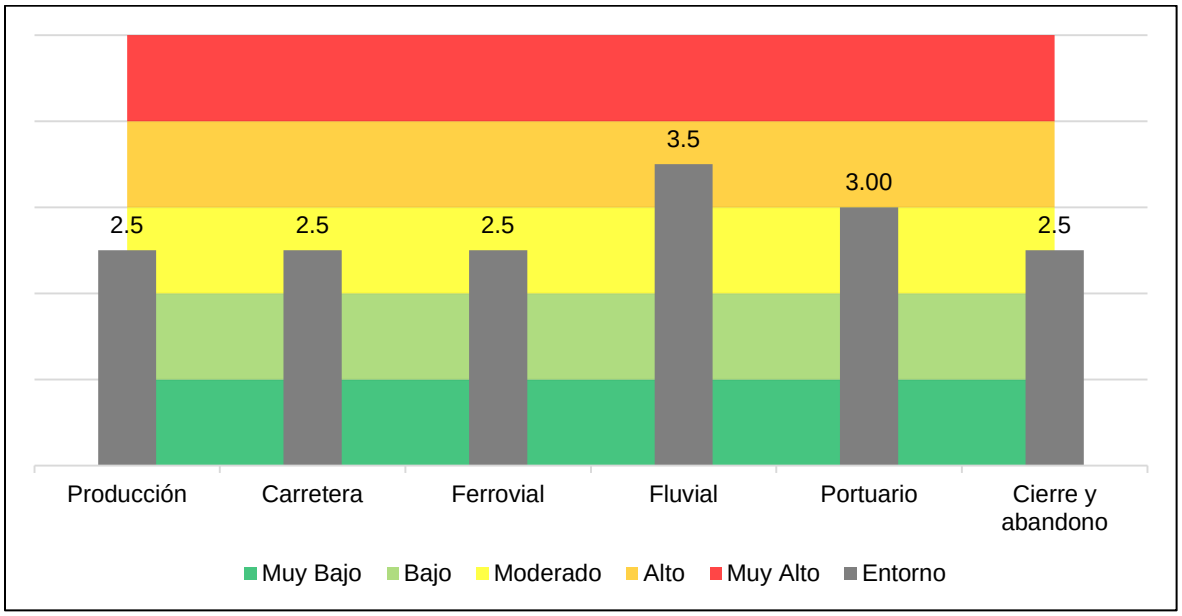
Gráfico 3-30 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por componentes o subcomponentes

Gráfico 3-31 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Producción

El componente producción tiene un grado de impacto moderado, que se presenta por los el nivel alto de remoción en masa y muy bajo en las inundaciones.

- Componente de transporte

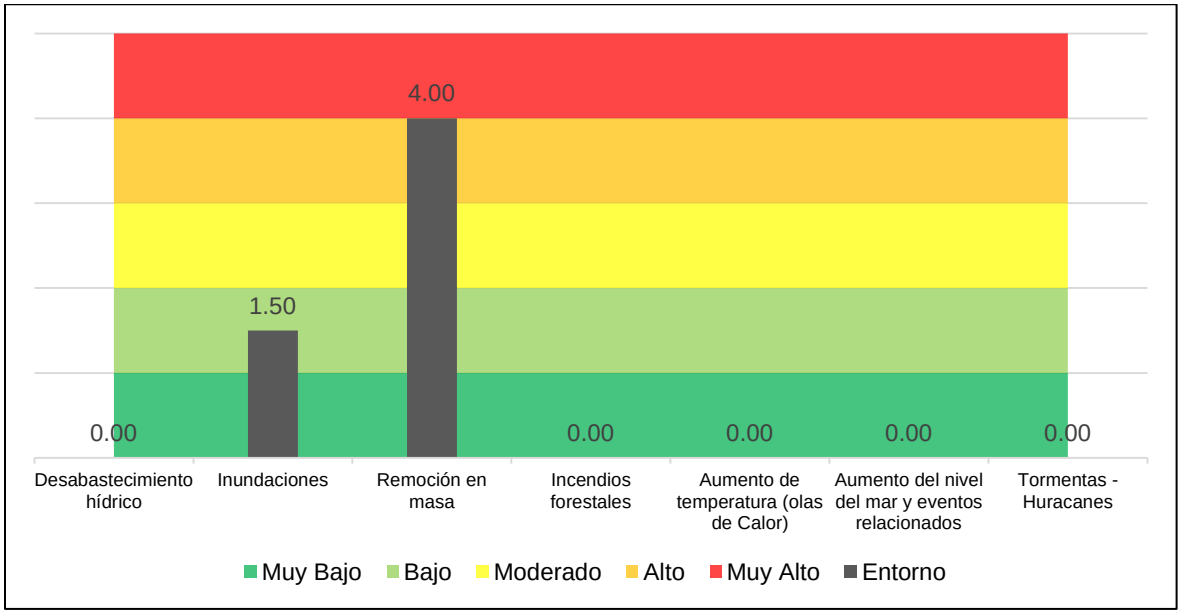
Los subcomponentes de transporte por carretera, ferrovial y portuario presentan un grado de impacto moderado, po9r los niveles altos para remoción en masa y muy bajos para inundaciones; sin embargo, el transporte portuario presenta un nivel bajo para este mismo evento. Finalmente el transporte fluvial tiene un grado de impacto alto por la presencia de niveles alto y moderado en los eventos de remoción en masa e inundaciones respectivamente.

- Componente de cierre y abandono

Las actividades de cierre y abandono se ven sometidas a riesgos prospectivos altos por remoción en masa. En cuanto a las inundaciones se estiman niveles muy bajos; lo cual indica un grado de impacto moderado.

B. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por eventos

Gráfico 3-32 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Remoción en masa

El grado de impacto asociado a este evento es alto, ya que presenta niveles de riesgo altos para los componentes y subcomponentes evaluados (producción, transporte y cierre y abandono).

- Inundaciones

Las inundaciones presentan un grado de impacto bajo, ya que existen niveles de riesgo muy bajos en los componentes de producción, cierre y abandono y en los subcomponentes de transporte por carretera y ferrovial. Sin embargo, se presentan niveles bajos y moderados para los subcomponentes de transporte portuario y fluvial respectivamente.

3.6.2.2 Fenómeno de El Niño

La fase cálida del fenómeno El Niño – Oscilación del Sur, conocido como ENSO por su sigla en inglés, es causante de una fuerte reducción en la precipitación media anual que a su vez es responsable de fenómenos como déficit hídrico, incendios forestales y aumentos de temperatura.

3.6.2.2.1 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del sistema sobre el subsector

Con base en la cartografía oficial existente y la revisión de los diferentes impactos sobre el sector de la gran minería se establecieron los niveles de amenaza prospectiva para aquellas regiones donde están presentes las minas de carbón.

Como se muestra en la siguiente tabla, el déficit hídrico se presenta como el fenómeno más amenazante con un nivel muy alto para todos los componentes; en segundo lugar se presenta el aumento de temperatura que registra niveles muy altos para el componente de producción y alto para los componentes restantes. Finalmente, los incendios forestales muestran niveles altos para producción junto con cierre y abandono.

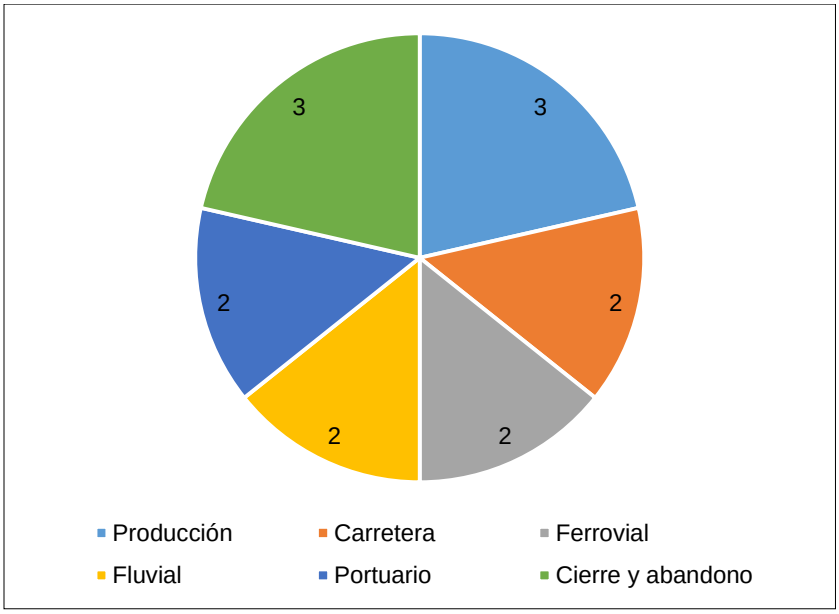
Tabla 3-25 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	
Desabastecimiento hídrico	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto
Inundaciones						
Remoción en masa						
Incendios forestales	Alto					Alto
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)	Muy Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A continuación se evidencia el número de amenazas existentes en el subsector gran minería de carbón, con mayor número de amenazas se encuentra el componente de producción y cierre y abandono (3), seguido por el componente transporte con 2 amenazas para cada uno de los subcomponentes.

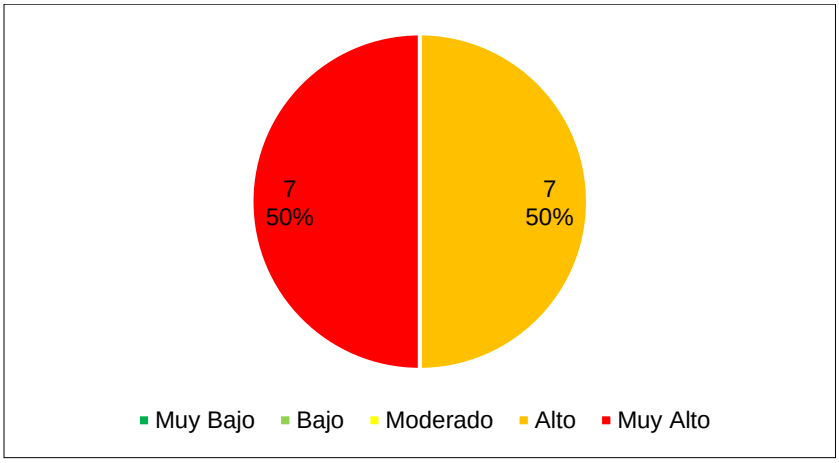
Gráfico 3-33 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 3-34 se puede evidenciar la distribución de los niveles de amenazas que se presentan en el sistema. En el que la mitad de las amenazas corresponde a un nivel muy alto y el 50 % restante a un nivel de amenaza alto para el subsector de la gran minería de carbón.

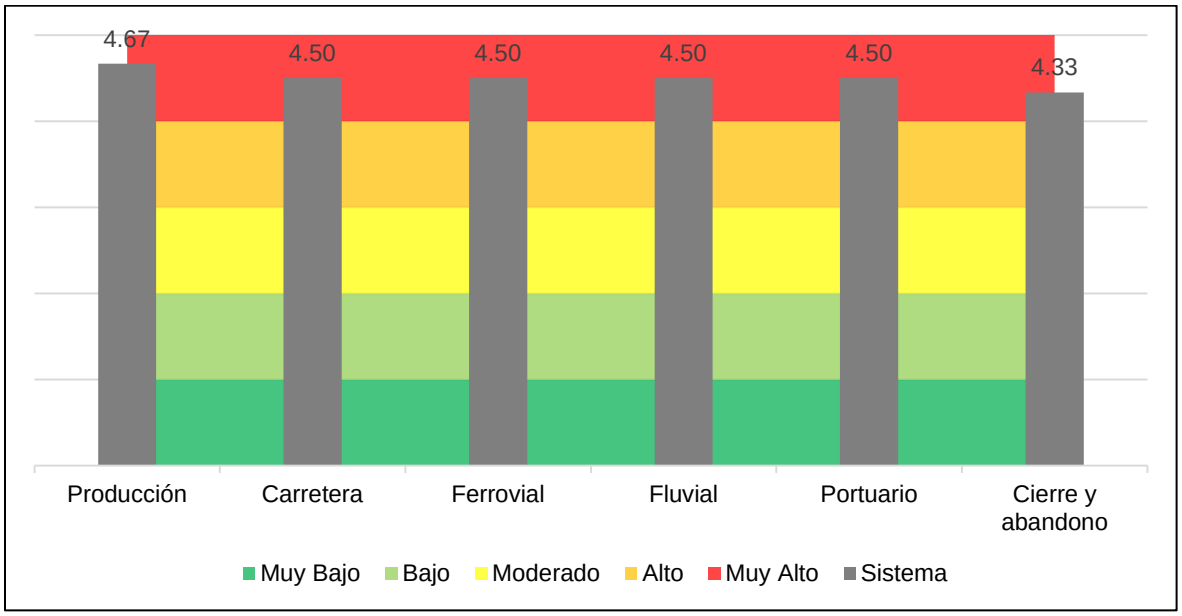
Gráfico 3-34 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 3-35 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

De acuerdo con el gráfico anterior, se puede evidenciar que el grado de impacto de las amenazas para la gran minería de carbón es muy alto para todos los componentes; teniendo mayor relevancia el componente de producción, seguido de los cuatro modos de transporte y finalmente cierre y abandono.

- Producción

La humectación de suelos, el lavado del carbón y el consumo humano se ven fuertemente afectados durante los períodos de sequía asociados con El Niño. El aumento de temperatura afecta el desempeño laboral de los trabajadores que laboran al aire libre y, finalmente, los incendios forestales pueden afectar las áreas en producción, en particular por razones afectaciones respiratorias de los empleados.

- Transporte

La humectación de las vías de transporte y el carbón movilizado se pueden ver afectados durante estos períodos de sequía. Adicionalmente, las altas temperaturas a las que se ve

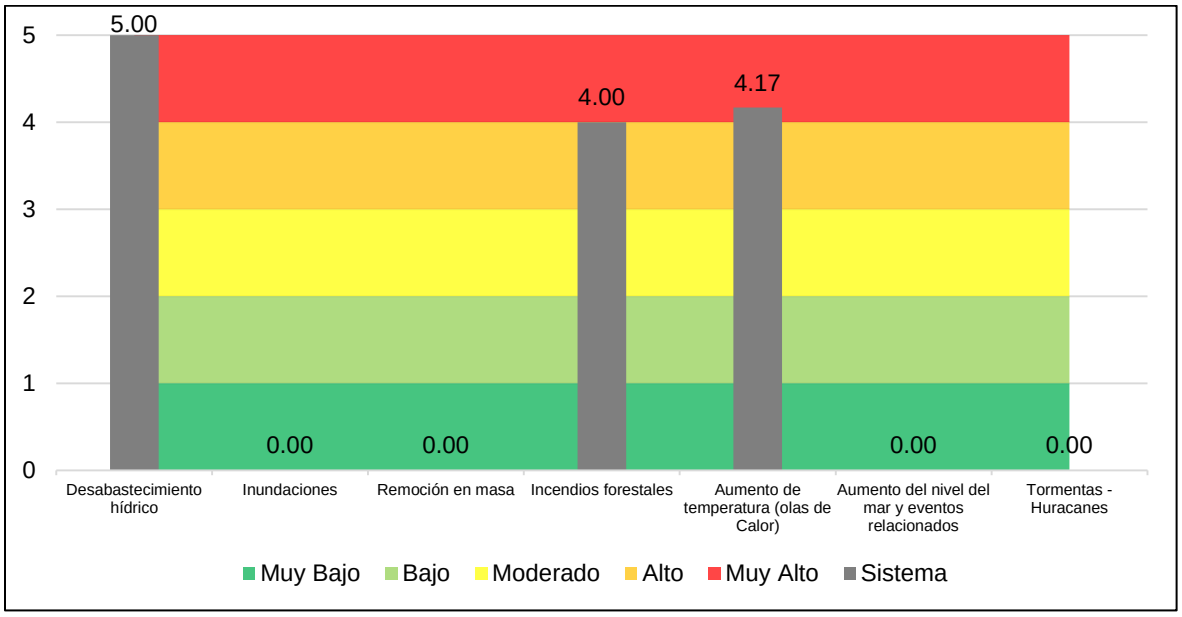
sometido el personal que trabaja en el cargue, descargue y transporte también pueden afectar la salud y el desempeño.

- Cierre y abandono

La irrigación de las plantaciones de reforestación se verá impactada afectando el desarrollo esperado de las plántulas. En zonas ya reforestadas pueden presentarse incendios forestales y los trabajadores encargados de las labores de recuperación y rehabilitación de áreas minadas puede verse afectada por los golpes de calor.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por eventos

Gráfico 3-36 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

De acuerdo con el gráfico anterior, se puede evidenciar que el grado de impacto de las amenazas es muy alto para los eventos de Desabastecimiento hídrico y aumento de temperatura (olas de calor); seguido con un grado de impacto alto por el evento de incendios forestales.

- Desabastecimiento hídrico

El déficit hídrico presenta valoraciones de la amenaza muy alta, en especial por la humectación de suelos para el control de material particulado, el lavado del carbón y la irrigación de plantaciones en áreas en recuperación.

- Incendios forestales

Durante los fenómenos de El Niño son comunes los incendios forestales debido a los prolongados períodos de sequía. Este fenómeno se presenta con niveles de amenaza altos para los componentes de producción y cierre y abandono.

- Aumento de temperatura

Debido a que un alto porcentaje de las labores relacionadas con la industria minera se realizan al aire libre, los trabajadores pueden verse afectados por golpes de calor y las horas laborales pueden verse reducidas en la prevención de este impacto.

3.6.2.2.2 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del entorno sobre el subsector

El análisis de las amenazas del entorno que afectan de manera directa o indirecta al sector de la gran minería muestra el déficit hídrico con niveles muy altos y los incendios forestales, junto con el aumento de temperatura, con niveles altos.

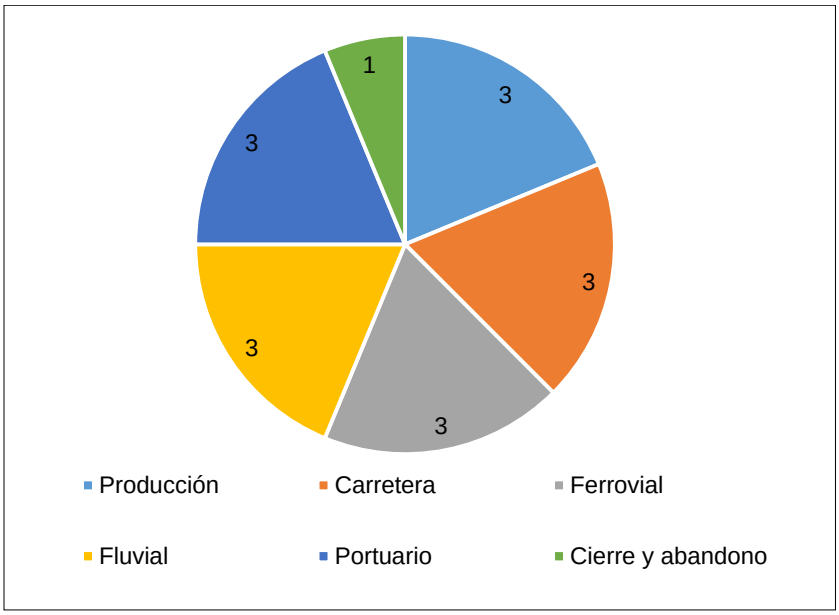
Tabla 3-26 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	
Desabastecimiento hídrico	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Moderado	Muy Alto	
Inundaciones						
Remoción en masa						
Incendios forestales	Alto	Alto	Alto	Moderado	Alto	Alto
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

El siguiente gráfico muestra una distribución homogénea para el componente de producción y los cuatro modos de transporte, en la que cada uno de ellos registra tres amenazas identificadas; mientras que para el componente de cierre y abandono, sólo se presenta una amenaza relacionada con los incendios forestales.

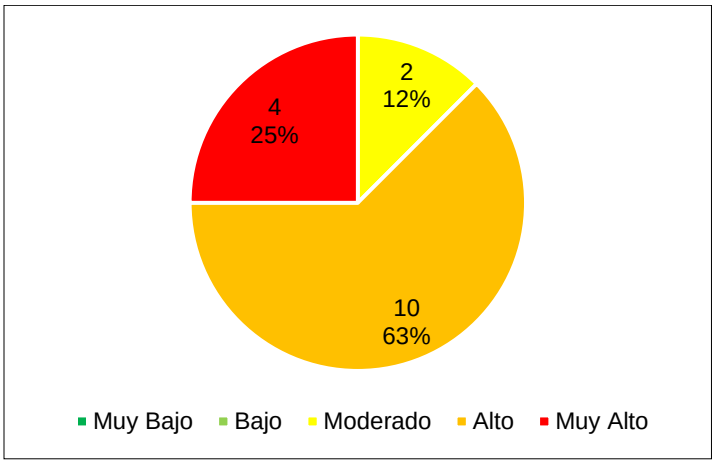
Gráfico 3-37 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 3-38 se evidencia que los niveles muy altos representan el 25 % de las amenazas, los altos el 63 % y los moderados el 12 %. Es decir, que el 100 % de las amenazas están en el rango entre moderado y muy alto.

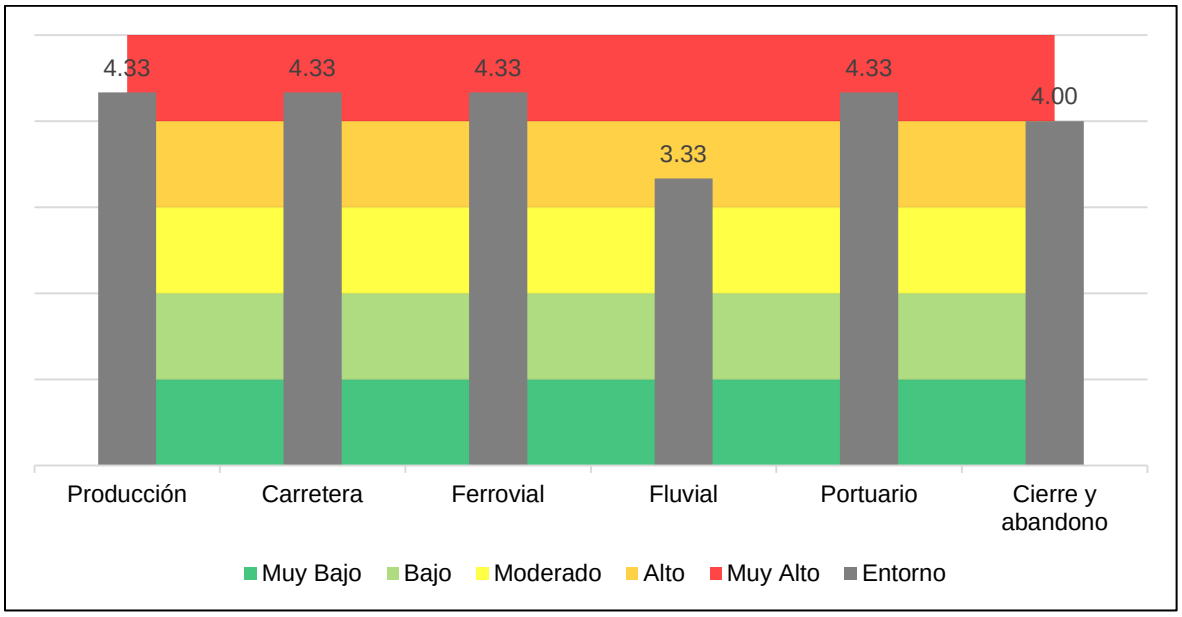
Gráfico 3-38 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por componentes o subcomponentes

Gráfico 3-39 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A continuación se presenta una descripción por componente del nivel de las amenazas prospectivas derivadas de la ocurrencia del fenómeno de El Niño desde el entorno hacia el sector.

- Producción

Este componente muestra un grado de impacto de las amenaza muy alto, en especial es el déficit hídrico y la competencia por el recurso agua el que muestra los valores más altos. Adicionalmente, durante las épocas de sequía la generación de incendios en el entorno minero puede afectar a los trabajadores mineros. También se encontró un nivel alto para el aumento de temperatura debido a que afecta la salud de las comunidades aledañas que suministran diversos servicios a las empresas mineras.

- Componente de transporte

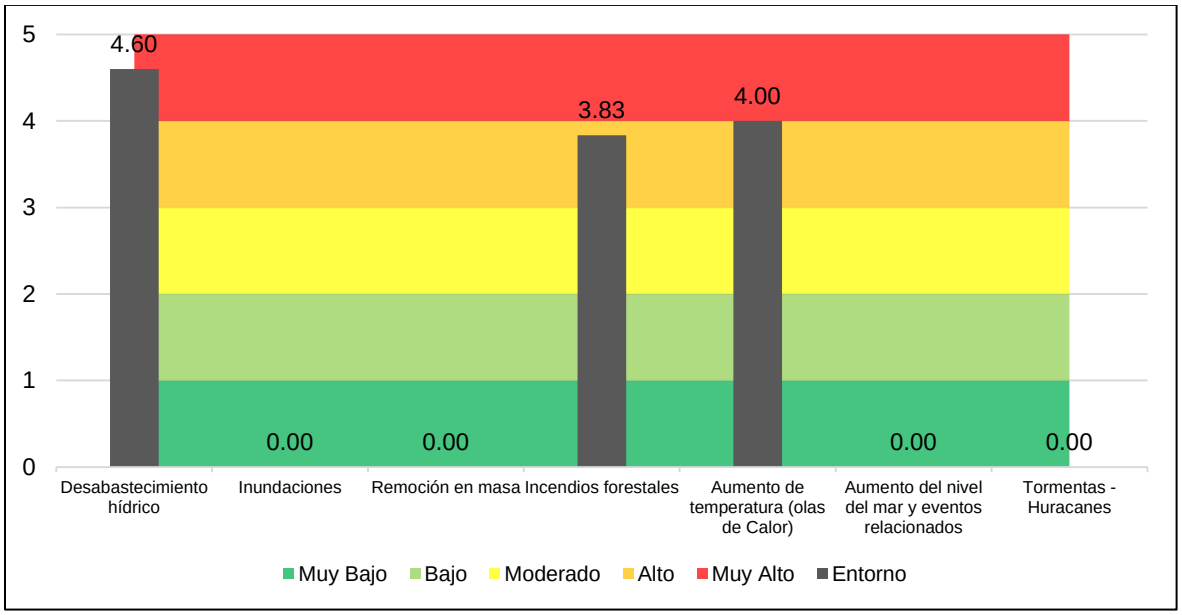
El transporte de material particulado desde áreas descubiertas puede ser atribuido a las empresas mineras generando conflictividad con las comunidades. Igualmente, la generación de incendios en cercanías de las vías de transporte de carbón puede ser atribuida a los transportadores mineros. El aumento de temperatura reduce la oferta de servicios a los transportadores y a los trabajadores de los nodos de transporte. Por lo tanto el grado de impacto es muy alto para todos los subcomponentes a excepción del subcomponente de transporte fluvial que presenta un grado de impacto alto.

- Cierre y abandono

El grado de impacto de este componente es alto debido a los incendios forestales en áreas aledañas a las zonas en rehabilitación que pueden causar grandes daños y pérdidas a las empresas mineras.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por eventos

Gráfico 3-40 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Desabastecimiento hídrico

El déficit hídrico con grado de impacto muy alto muestra valores de amenaza muy altos para el componente de producción y los modos carretero, ferroviario y portuario; mientras que para el modo fluvial es moderado.

- Incendios forestales

Los incendios forestales registran niveles altos para los componentes de producción y cierre y abandono, junto con los modos carretero, ferroviario y portuario; para el modo fluvial la amenaza se estima moderada, por lo tanto el grado de impacto para este evento es alto.

- Aumento de temperatura

El aumento de temperatura presenta un grado de impacto alto del entorno por los niveles de amenaza altos que presenta para los componentes de producción y los cuatro modos de transporte.

3.6.2.2.3 Análisis del riesgo prospectivo del sistema sobre el subsector

La estimación de los riesgos prospectivos se realizó a partir del nivel de amenaza y la vulnerabilidad del sistema frente al fenómeno de El Niño. La siguiente tabla muestra que los riesgos detectados para el sector de la gran minería durante la ocurrencia de la fase calidad del fenómeno ENSO son altos.

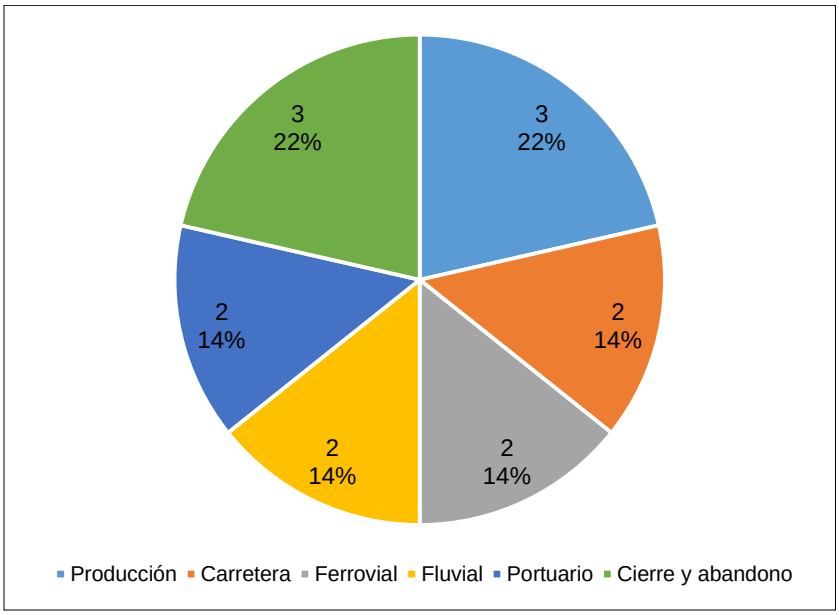
Tabla 3-27 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	
Desabastecimiento hídrico	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Inundaciones						
Remoción en masa						
Incendios forestales	Alto					Alto
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En total se presentan 14 riesgos prospectivas del entorno sobre el subsector que se distribuyen de la siguiente manera (gráfico 3-41): producción y cierre y abandono con tres (3) riesgos (21,4 %), modo carretero (14,3 %), modo ferroviario (14,3 %), modo fluvial (14,3 %), modo portuario (14,3 %) con dos (2) riesgos respectivamente, en donde el 100% de los riesgos corresponden a un nivel alto.

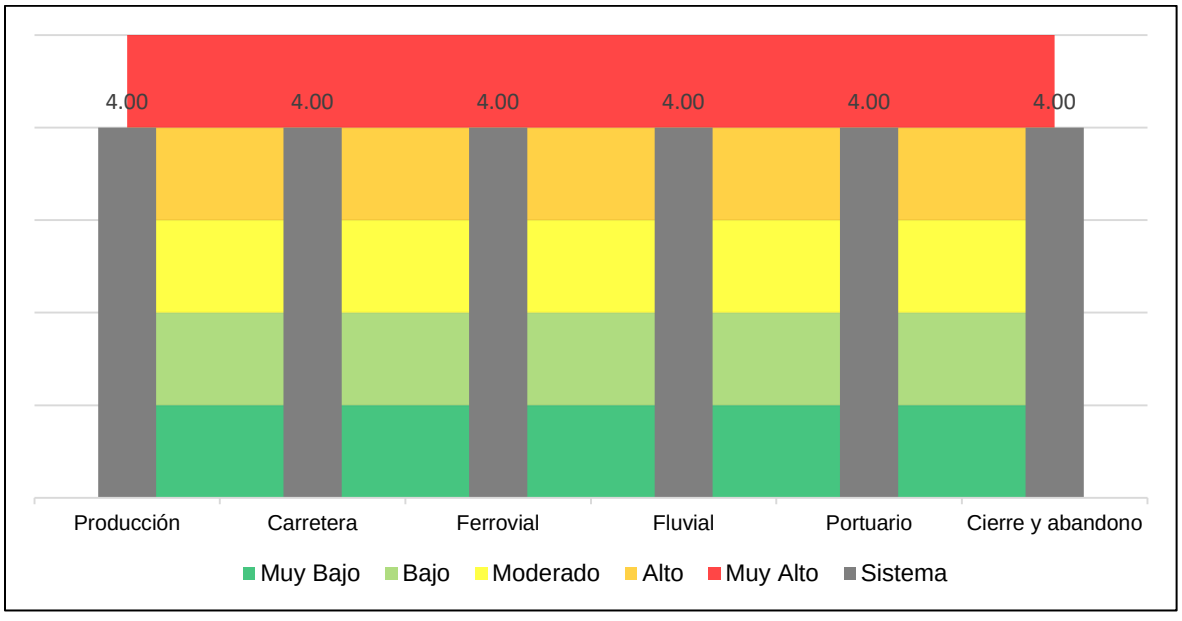
Gráfico 3-41 Número y distribución de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 3-42 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño

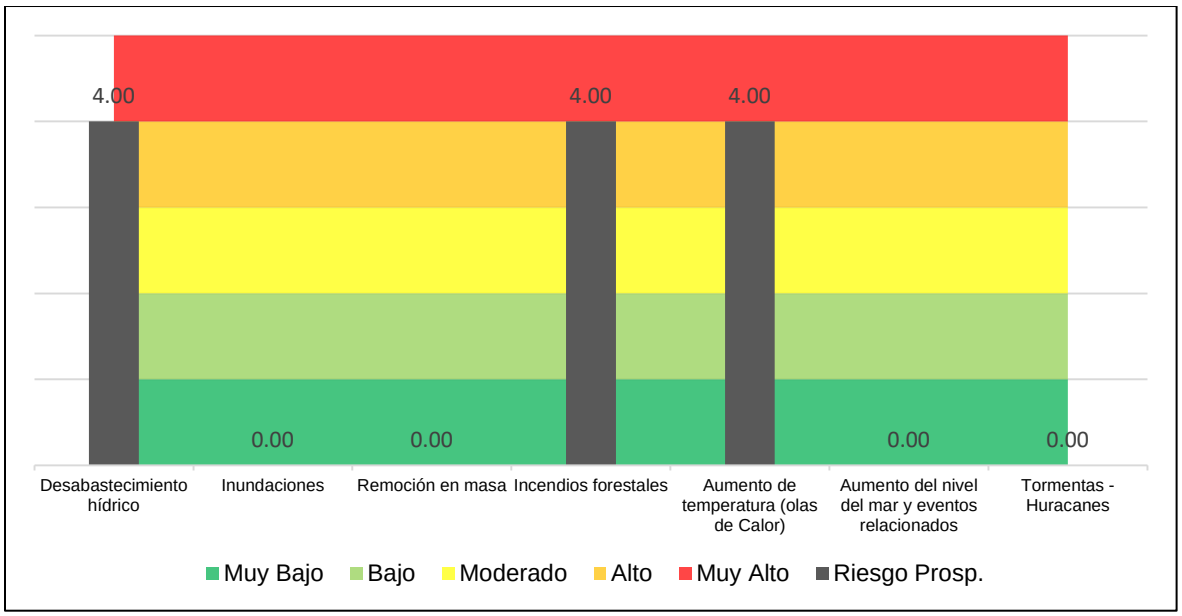


Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

El grado de impacto de los riesgos del sistema que se presenta para la gran minería de carbón es alto para los tres componentes del subsector, puesto que los componentes de producción y las actividades de recuperación y rehabilitación de áreas minadas (cierre y abandono) muestran niveles de riesgos muy altos para los tres eventos identificados (desabastecimiento hídrico, incendios forestales y aumento de temperatura) a diferencia del componente de transporte que no presenta riesgos para el evento de incendios forestales.

B. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por eventos

Gráfico 3-43 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Los eventos con mayor presencia de riesgos en los diferentes componentes son el desabastecimiento hídrico y el aumento de temperatura. A pesar de que los incendios forestales tienen menos riesgos asociados presenta el mismo grado de impacto (alto) que los componentes iniciales. Lo anterior debido a que todos los riesgos presentes en cada uno de los eventos son de nivel alto para cada uno de los componentes del subsector (producción, transporte y cierre y abandono).

3.6.2.2.4 Análisis del riesgo prospectivo del entorno sobre el subsector

En la siguiente tabla se describen los riesgos prospectivos desde el entorno hacia el sector de la gran minería del carbón, mostrando que el aumento de temperatura está presente con nivel alto para los componentes de producción y transporte; para los incendios forestales se presentan niveles altos en los componentes de producción y cierre y abandono, al igual que para el modo ferroviario. Para el déficit hídrico se observan niveles altos el componente de producción y los modos carretero, ferroviario y portuario; mientras que para el modo fluvial se tiene un nivel moderado.

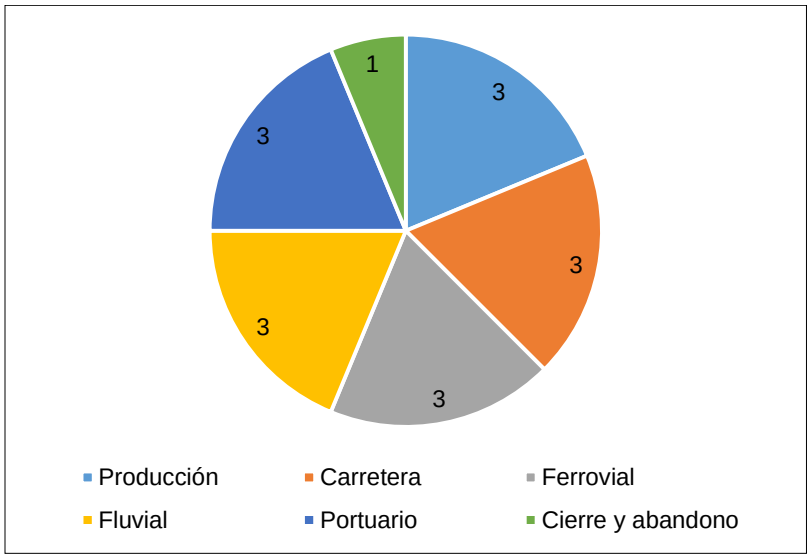
Tabla 3-28 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno del niño

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Producción	Transporte				Cierre y abandono
		Carretera	Ferrovial	Fluvial	Portuario	
Desabastecimiento hídrico	Alto	Alto	Alto	Moderado	Alto	
Inundaciones						
Remoción en masa						
Incendios forestales	Alto	Moderado	Alto	Moderado	Moderado	Alto
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Los componentes de producción y transporte presentan tres (3) amenazas que producen riesgos variables entre moderado y alto; mientras que el componente de cierre y abandono presenta riesgo alto frente a la ocurrencia de incendios forestales únicamente, como se puede evidenciar en el siguiente gráfico.

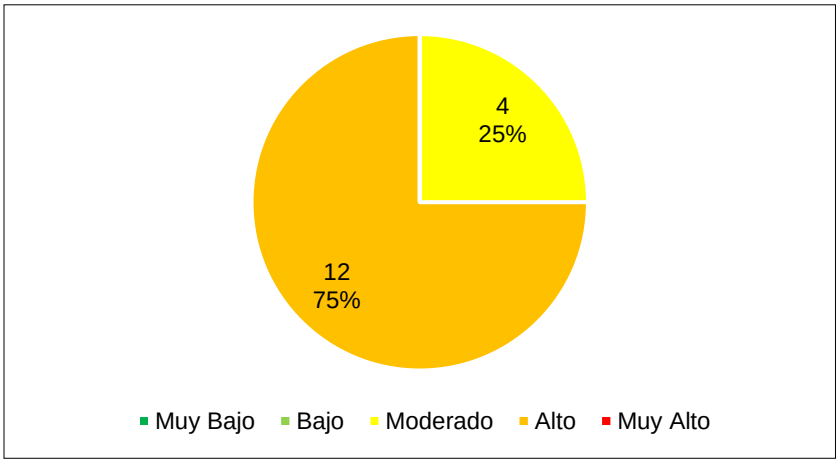
Gráfico 3-44 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 3-45 se puede observar que los niveles de riesgo alto tienen una participación porcentual del 75 % y aquellos moderados una del 25 %.

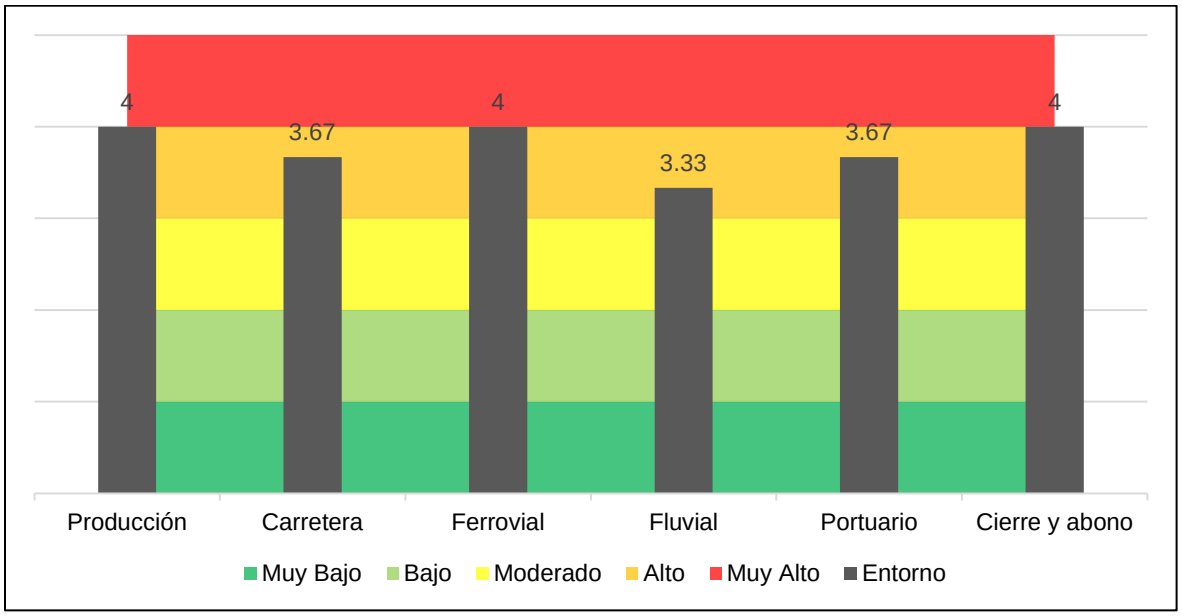
Gráfico 3-45 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por componentes o subcomponentes

Gráfico 3-46 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

- Producción

Este componente presenta un grado de impacto de los riesgos alto, por los niveles de riesgo altos en cada uno de los eventos presentes durante la ocurrencia del fenómeno de El Niño (desabastecimiento hídrico, incendios forestales y aumento de temperatura)

- Transporte

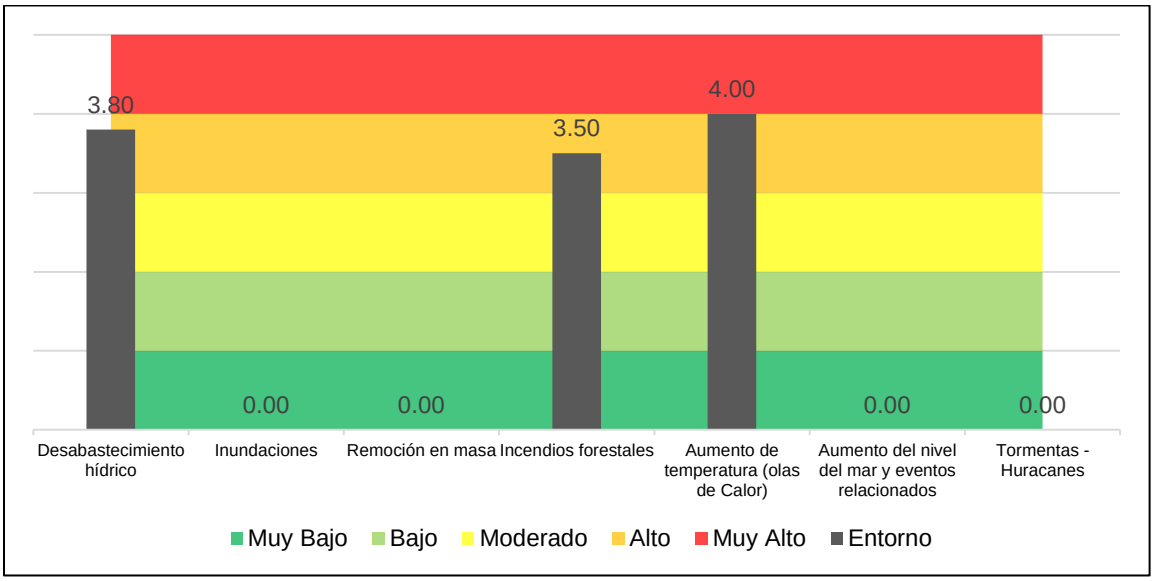
Los modos carretero y portuario muestran niveles altos para déficit hídrico y aumentos de temperatura, y niveles moderados para incendios forestales; el modo ferroviario presenta niveles altos frente a los tres fenómenos identificados y finalmente el modo fluvial presenta niveles de riesgo alto para aumento de temperatura y moderado para desabastecimiento hídrico e incendios forestales. Lo cual indica que el componente transporte presenta un grado de impacto alto.

- Componente de cierre y abandono

Este componente presenta un grado de impacto alto debido a que presenta únicamente un riesgo equivalente a un nivel alto en el evento de incendios forestales.

B. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por eventos

Gráfico 3-47 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

- Desabastecimiento hídrico

Este evento se presenta en el componente de producción y en los cuatro modos de transporte con un nivel alto, a excepción del transporte fluvial que presenta nivel moderado. Lo cual indica que el grado de impacto es alto y es este evento de segunda importancia en el sector.

- Incendios forestales

El grado de impacto de este evento es alto ya que se presenta en todos los componentes del subsector; sin embargo, se presenta con niveles moderados en tres de los modos de transporte (carretera, fluvial y portuario) y niveles altos para la producción, cierre y abandono y finalmente en el transporte ferrovial.

- Aumento de temperatura

El aumento de temperatura es un evento de importancia alta en el subsector ya que se presenta en los componentes de producción y transporte niveles de riesgos altos.

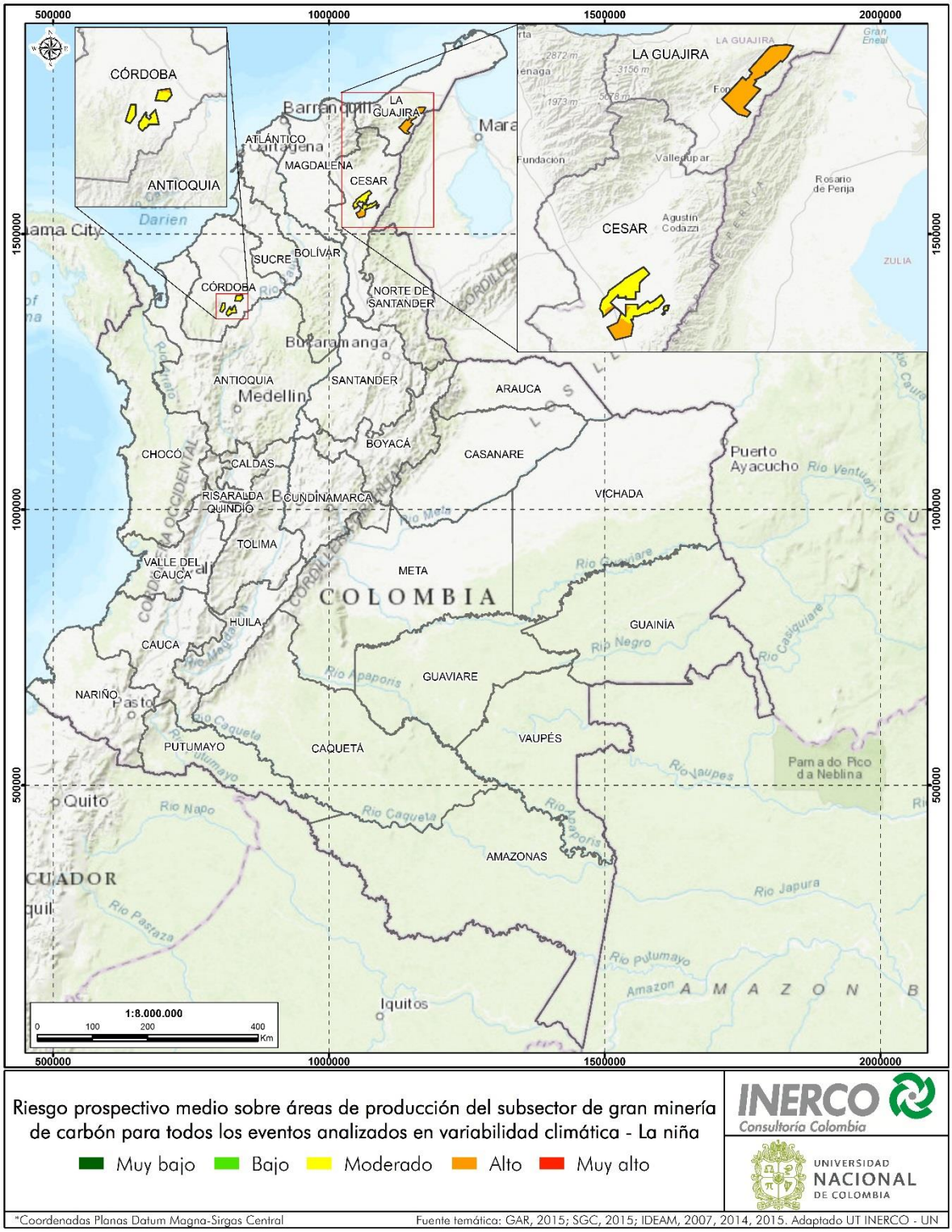
3.6.2.3 Escenario de riesgo

3.6.2.5.1 Fenómeno de La Niña

La tendencia creciente en recurrencia e intensidad de las fases frías del fenómeno ENSO permite concluir, a partir de los análisis realizados a partir de la cartografía oficial disponible, que el sector de la gran minería del carbón y su entorno se verán sometidos a mayores riesgos en el futuro, en especial relacionados con procesos de remoción en masa.

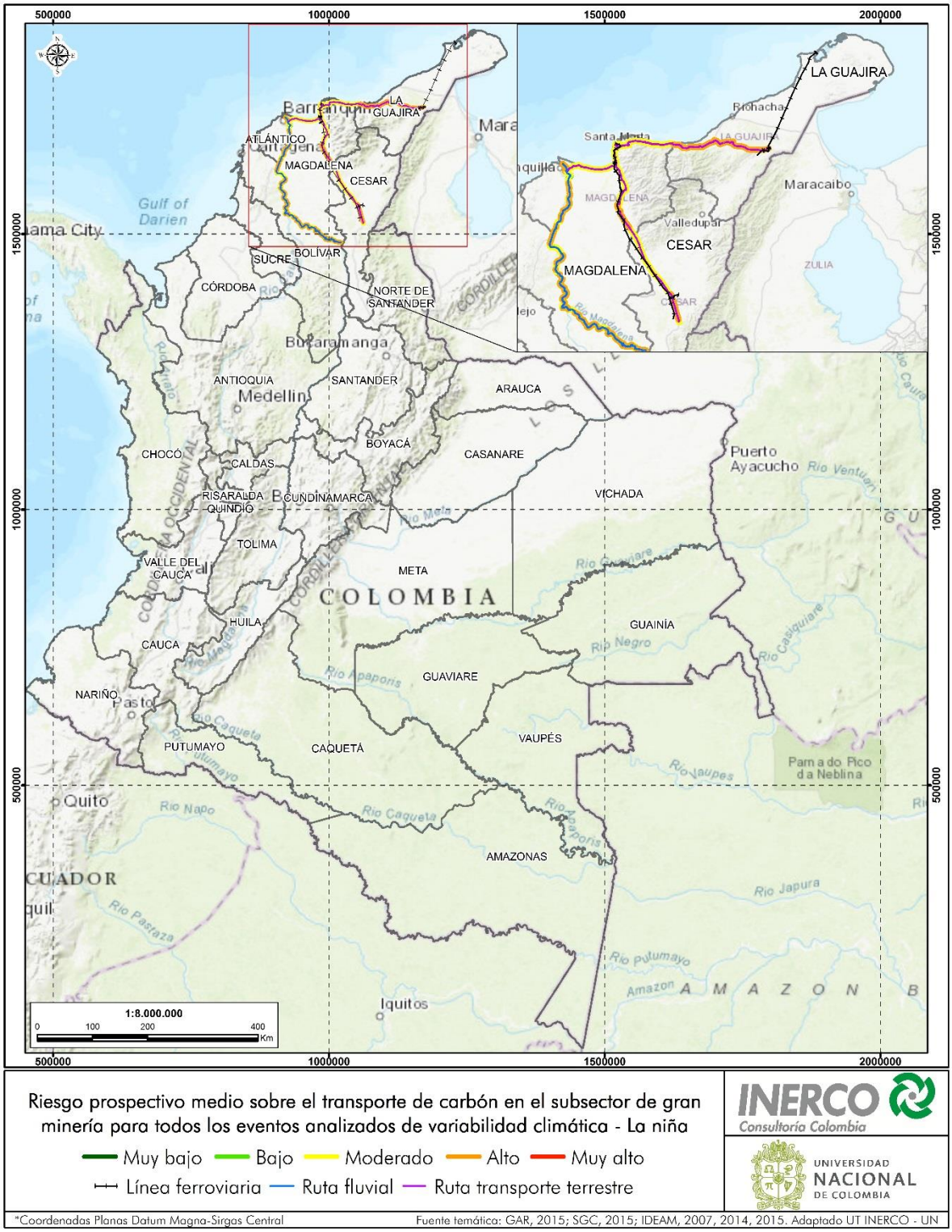
Si bien la escala cartográfica existente no permite identificar puntualmente los impactos, razón por la cual los niveles de riesgo para inundaciones se presentan de moderados a muy bajos, es de esperarse que con la ocurrencia de La Niña se presenten inundaciones en las áreas minadas y sus alrededores.

Figura 3-22 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción



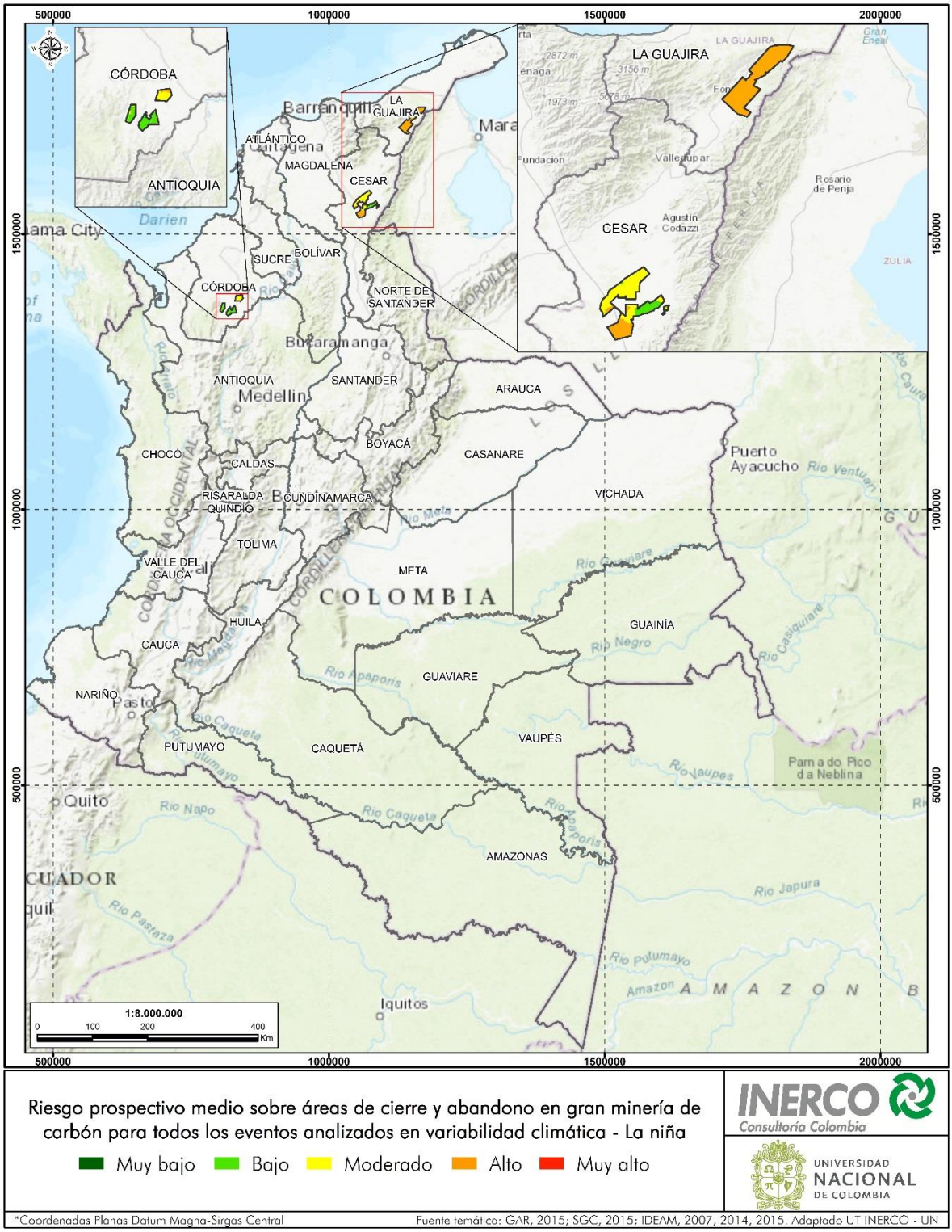
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 3-23 Riesgo prospectivo medio para el componente de transporte



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 3-24 Riesgo prospectivo medio para el componente de cierre y abandono



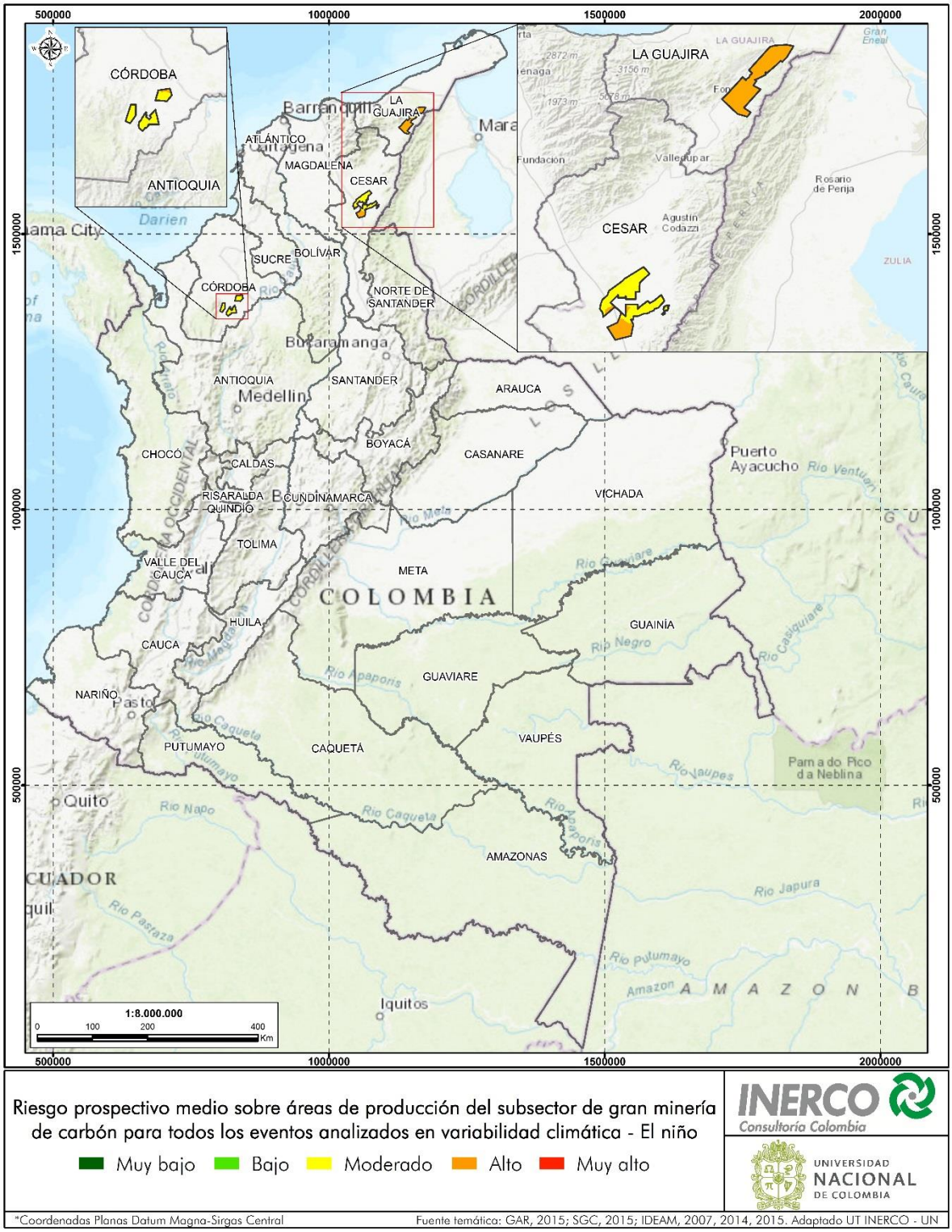
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

3.6.2.5.2 Fenómeno de El Niño

Durante la ocurrencia del fenómeno El Niño, los riesgos prospectivos del sistema son altos en particular debido a que el sector de la gran minería es usuario de grandes cantidades de agua para humectación de suelos, lavado del carbón y consumo humano; adicionalmente, debido a que gran parte de las labores se realizan al aire libre donde el personal puede verse seriamente afectado por golpes de calor.

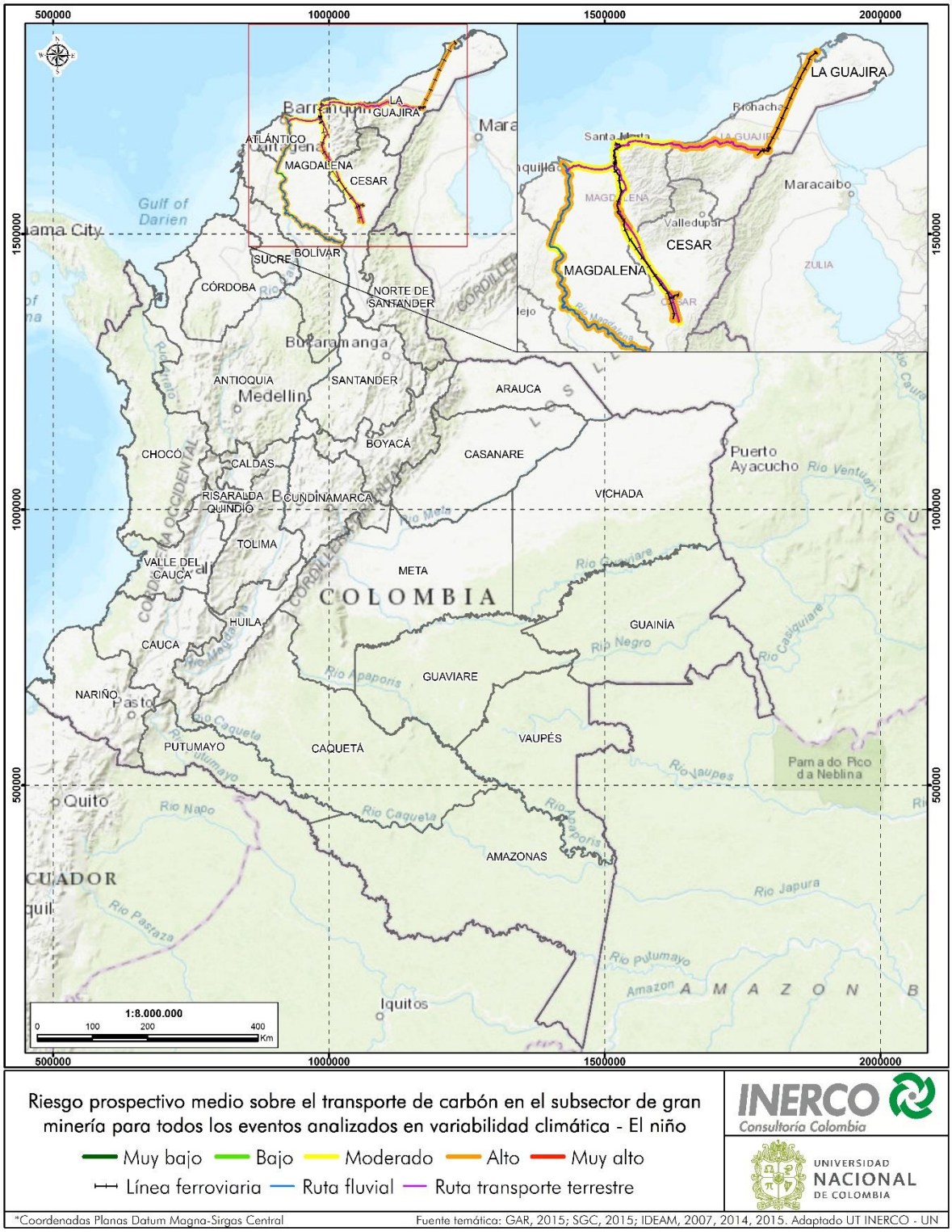
Los incendios forestales están asociados con riesgos altos para los componentes de producción, en particular por la protección de la salud de los empleados, y el de cierre y abandono por las pérdidas asociadas a las zonas recuperadas.

Figura 3-25 Riesgo prospectivo medio para el componente de producción



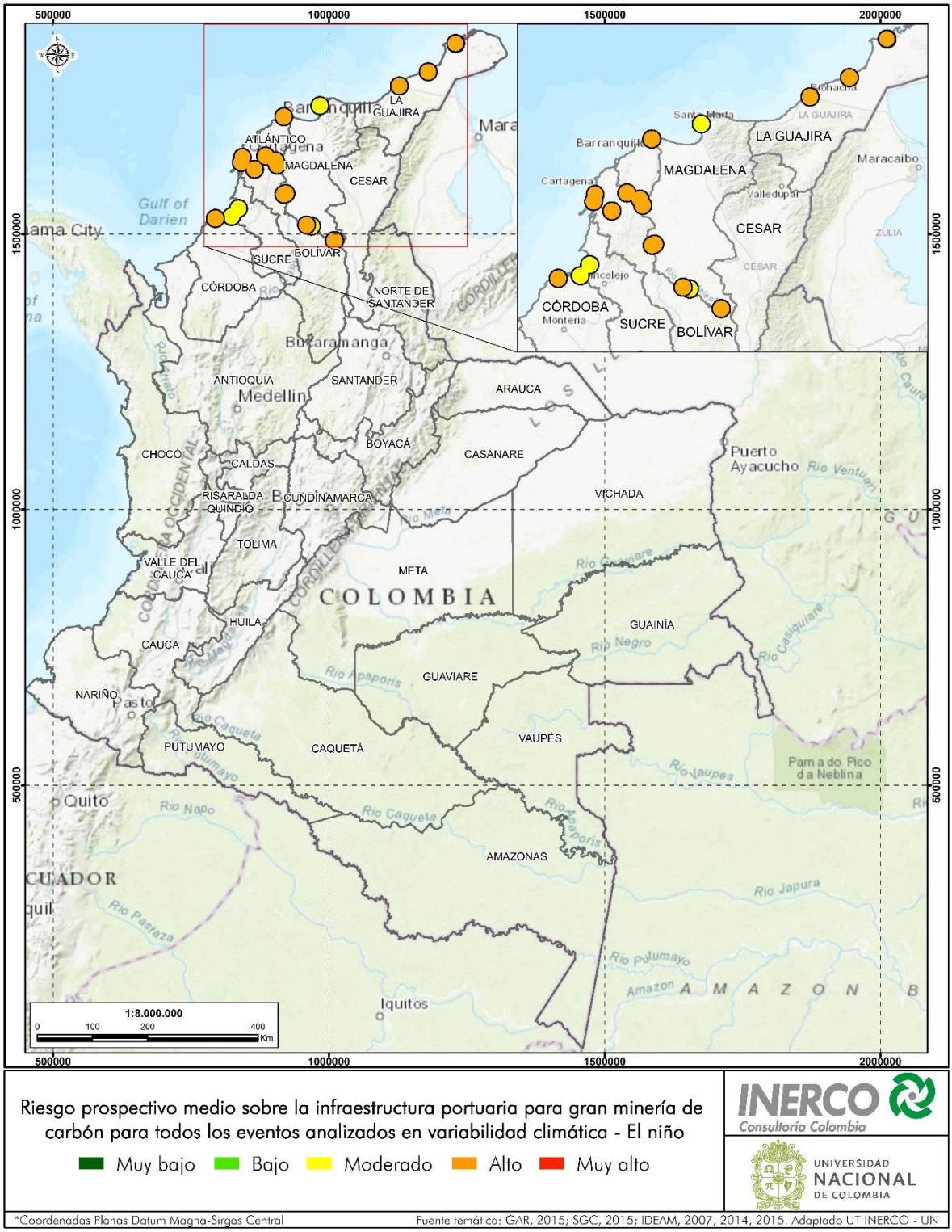
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 3-26 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de transporte lineal



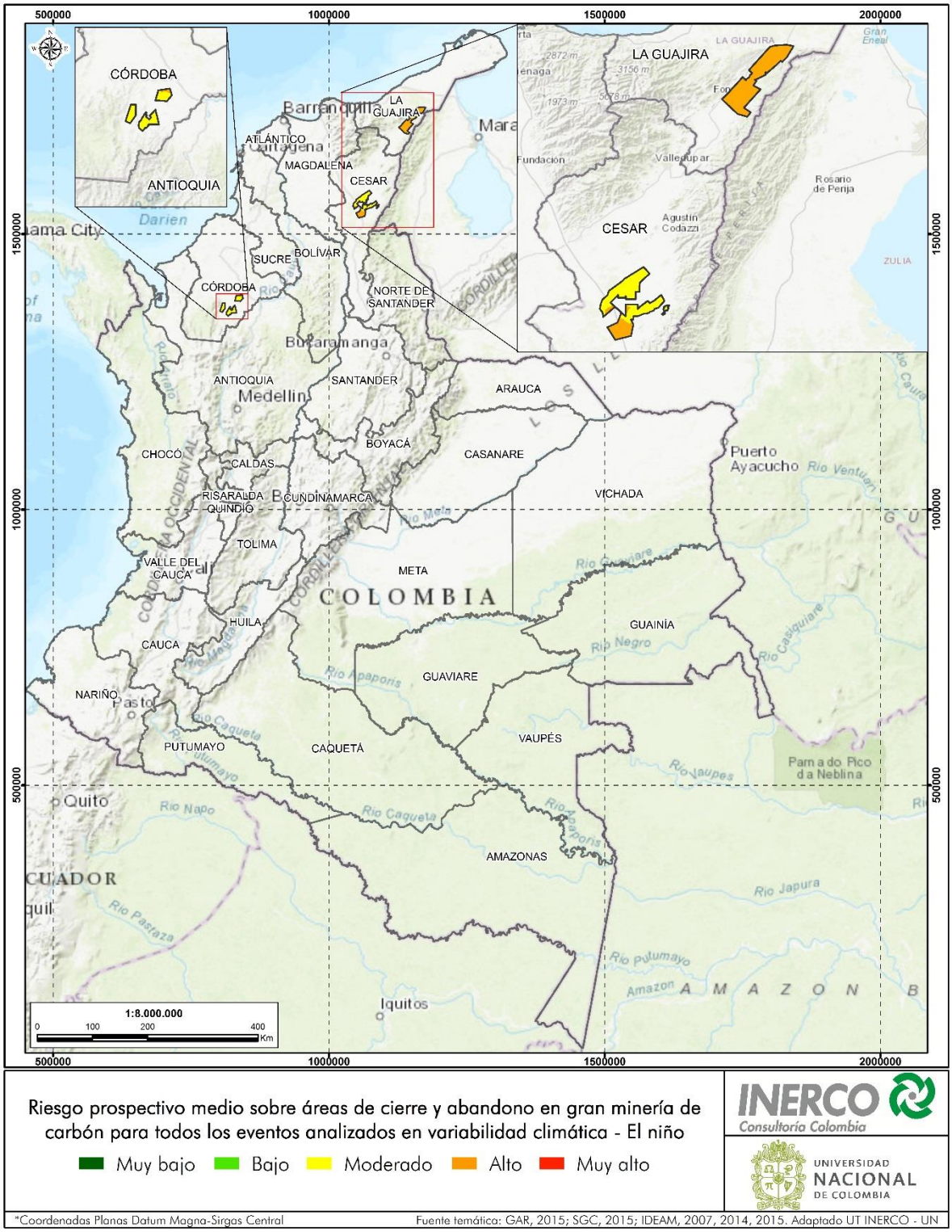
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 3-27 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de infraestructura portuaria



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 3-28 Riesgo prospectivo medio para el componente de cierre y abandono



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

3.7 Identificación medidas de adaptación

A continuación se presenta la revisión de medidas a nivel nacional e internacional, realizada por los expertos sectoriales de la Unión temporal INERCO – Universidad Nacional de Colombia.

Tabla 3-29 Revisión internacional de medidas para subsector de la gran minería de carbón

Revisión internacional de medidas de adaptación	
Gobernanza climática	
Evaluar el riesgo reputacional de la compañía y relaciones con comunidades locales, grupos de la sociedad civil y gobiernos en las áreas donde operan las compañías.	Glencore (2017)
Trabajar con las comunidades locales para desarrollar e implementar evaluaciones de riesgos climáticos y oportunidades basadas en la comunidad, acciones de adaptación y programas de monitoreo y evaluación.	ICMM (2013), Smith, M. (2013), Gobierno de Australia Meridional (2012)
Desarrollar relaciones con las comunidades locales para comunicar las acciones de adaptación, los riesgos potenciales y los sistemas de alerta temprana.	ICMM (2013)
Resiliencia de entorno	
Reducir el volumen de desechos humanos mediante actividades y campañas de educación y sensibilización.	Ayuntamiento de Essex. (2017)
Modelar las amenazas y la vulnerabilidad frente al cambio climático para evaluar sus impactos tanto en las operaciones como en las comunidades aledañas.	BSR (2010)
Incrementar el conocimiento sobre los impactos del cambio climático sobre el sector y las comunidades aledañas.	Christie, J. (s.f.)
• Eliminar o reducir las presiones no climáticas sobre los ecosistemas naturales y las especies en riesgo a través de la conservación y la planificación del manejo de la tierra. • Motivar Informes públicos sobre los impactos del cambio climático, las actividades de adaptación y el progreso hacia las metas de rendimiento o los objetivos planificados.	ICMM (2013)
Resiliencia/Seguridad operativa	
• Alentar el uso de evaluaciones de riesgo climático para determinar la necesidad de implementar medidas de protección y para revisar la cobertura del seguro. • Evaluar los riesgos para identificar las áreas más vulnerables y desarrollar acciones prioritarias para llevar a cabo.	Ayuntamiento de Essex. (2017)
• Análisis de las implicaciones de costos que afectan el rendimiento de la inversión y la vida útil rentable de las minas o instalaciones. • Instalar o potenciar las plantas de reciclaje de las aguas servidas e industriales.	BSR (2010)
• Incorporar estrategias de adaptación al cambio climático dentro los programas actuales de administración e	Christie, J. (s.f.), Ayuntamiento de Essex.

Revisión internacional de medidas de adaptación	
investigación, el planeamiento minero y las políticas empresariales.	(2017)
Incrementar la gestión y la restauración de las áreas afectadas por minería para facilitar su resiliencia ante el cambio climático.	Christie, J. (s.f.)
• Aumentar la redundancia de operaciones y sistemas críticos (p. ej.: cadenas de suministro alternativas, fuentes de respaldo para el agua y las entradas de energía). • Desarrollar flexibilidad para reforzar, aumentar la capacidad o mejorar la redundancia en activos y operaciones en el futuro; desarrollar planes de manejo de uso de la tierra y de expansión de sitios de minas. • Realizar el cubrimiento de tanques de almacenamiento para limitar la evaporación, incrementar la reutilización y el reciclaje de agua en estanques de almacenamiento y en todas las operaciones que requieran el recurso hídrico. • Reforzar los activos para resistir las condiciones climáticas futuras. • Revisar periódicamente la base de diseño de los equipos y la infraestructura para determinar si las suposiciones climáticas originales siguen siendo válidas.	ICMM (2013)
• Diversificar la cadena de suministros para asegurar la resiliencia de la infraestructura.	Smith, M. (2013) y BSR (2010)
• Aumentar la capacidad de almacenamiento de suministros esenciales. • Considerar alternativas para el suministro de energía eléctrica y agua, el bombeo y el tratamiento de aguas residuales. • Construir barreras rompe fuegos y caminos perimetrales. • Desarrollar planes robustos para asegurar la continuidad del negocio durante eventos climáticos extremos. • Explorar suministros alternativos de agua que incluya la recolección de agua lluvia y de inundación junto con el uso eficiente del tratamiento y el reciclaje de agua. • Mejorar las pendientes y el ancho de los canales de evacuación para mejorar la humectación del suelo durante eventos torrenciales, con el fin de reducir la escorrentía. • Revisar los procedimientos de emergencia y desarrollar planes de contingencia que incluyan la gestión de desastres y las medidas para abordar el riesgo asociado con eventos extremos. • Revisar y actualizar las pólizas de seguros contra eventos climáticos, continuidad del negocio e interrupción de la operación. • Incluir el riesgo en los planes de continuidad del negocio.	Smith, M. (2013)
Transversales: Conocimiento	
• Determinar los riesgos empresariales para incorporar acciones	BSR (2010)

Revisión internacional de medidas de adaptación	
de adaptación en operaciones nuevas y actuales. • Promover la gestión a largo plazo de los sitios mineros y desechos posteriores al cierre.	
Aumentar la conciencia y la comprensión de los impactos del cambio climático sobre el sector minero.	Christie, J. (s.f.)
Planificar sistemas naturales resilientes y que funcionan bien, y paisajes sostenibles y productivos.	Gobierno de Australia Meridional (2012)
Incorporar las consideraciones del cambio climático en la planificación actual de gestión de contingencias y emergencias.	ICMM (2013) y BSR (2010)
Aumentar la frecuencia de mantenimiento y monitoreo de activos sensibles a los efectos del clima.	ICMM (2013), Rüttinger, L. y Sharma, V. (2016)
• Actualizar los balances hídricos para responder a eventos climáticos extremos futuros considerados hasta la etapa de abandono. • Conservar o restaurar los amortiguadores naturales en los entornos costeros y fluviales para aumentar la resiliencia frente a fenómenos meteorológicos extremos. • Desarrollar y probar herramientas mejoradas de apoyo a la toma de decisiones a través de asociaciones comerciales e industriales, grupos de la sociedad civil, académicos o consultores del sector minero y vendedores de equipos. • Recopilar la información sobre la probabilidad y la consecuencia de los impactos climáticos extremos para determinar su impacto en las estructuras de los sitios minados.	ICMM (2013)
Todas	
Hacer seguimiento a la implementación y la efectividad de las acciones de adaptación y medición del desempeño contra los objetivos o metas de planificación	ICMM (2013)

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 3-30 Revisión nacional de medidas para subsector de Gran Minería de Carbón

Revisión nacional de medidas de adaptación	
Gobernanza climática	
Trabajar en asociación con los servicios de información y las compañías eléctricas para garantizar la seguridad del suministro de energía. Identificar el procedimiento para las fallas de energía prolongadas en las instalaciones.	Ayuntamiento de Essex. (2017)
• Dar prioridad a la conservación y la protección de las fuentes hídricas. • Establecer los actores más idóneos en la gestión de cada riesgo y fortalecer mecanismos de coordinación eficientes. • Fomentar la transferencia de conocimiento y la experiencia hacia el público en general y al sector en particular. • Fortalecer la coherencia y la cooperación interinstitucional.	UPME - INERCO (2015)

Revisión nacional de medidas de adaptación	
• Implementar sistemas de comunicación eficaces sobre los riesgos potenciales que plantea el cambio climático para el sector. • Incluir en la planificación adaptativa a las empresas del sector y sus asociaciones. • Incluir la información colectada y la experiencia adquirida por el sector durante las fases de diagnóstico territorial. • Incorporar el cambio climático en los planes de estudio. • Integrar al sector productivo en la construcción de los planes de adaptación. • Mejorar la modelación climáticas y direccionar la comunicación de sus resultados hacia una mayor comprensión de los riesgos regionales. • Promover la participación de la industria minera en los diferentes escenarios de planificación territorial.	
Resiliencia de entorno	
Preservar la resiliencia de los ecosistemas.	UPME - INERCO (2015)
Resiliencia/Seguridad operativa	
Implementar planes de prevención del estrés calórico.	Glencore (2017)
Reubicar o elevar activos y operaciones fuera de áreas de alto riesgo (p. ej.: llanuras de inundación, áreas costeras).	ICMM (2013)
• Implementar el uso de pintura blanca reflectante sobre superficies metálicas expuestas a la luz solar. • Mejorar los sistemas de aire acondicionado y refrigeración, uso de energía solar para estos equipos.	Rüttinger, L. y Sharma, V. (2016)
• Aumentar la capacidad de los sistemas de drenaje considerando lluvias de mayor intensidad a las registradas históricamente. • Construir medidas de defensa contra inundaciones.	Smith, M. (2013)
Transversales: Conocimiento	
• Evaluar el régimen climático en el lugar para limpiar e inspeccionar el sistema de drenaje. • Avanzar hacia un sistema inteligente basado en la información para monitorear, por ejemplo, la acumulación de sedimentos en puntos críticos. • Implementar el Plan de mantenimiento de temporadas invernales revisando las temporadas anteriores y planificando con anticipación la próxima temporada, asegurando suministros adecuados y emprendiendo campañas de educación y concienciación. • Mantener un registro de los activos de drenaje y un registro de estructuras, registrando la ubicación, la propiedad y el estado de las estructuras. • Trabajar con contratistas en el plan de operación de invierno: - revisión de temporadas anteriores y planificación anticipada de la próxima temporada.	Ayuntamiento de Essex. (2017)

Revisión nacional de medidas de adaptación	
Incrementar los estándares de diseño y construcción de la infraestructura, los edificios y los alojamientos con base en la probabilidad de excedencia o déficit hídrico (p. ej.: una mayor capacidad en el agua y estanques de almacenamiento de residuos).	ICMM (2013), Smith, M. (2013)
Establecer estrategias de monitoreo, prevención y mitigación de la auto combustión.	ICMM (2013)
Diseñar rutas de transporte alternativas de mina a puerto para minimizar impactos debido a las inundaciones	Smith, M. (2013)
• Evaluar las condiciones de la infraestructura y la logística mineras a la luz del cambio climático. • Evaluar los niveles de preparación para los riesgos de adaptación al cambio climático en la industria de los minerales. • Examinar esquemas que ayuden en el reforzamiento mutuo entre las actividades de mitigación y las de adaptación. • Explorar sistemas alternativos que ofrezcan adaptabilidad en cada uno de los riesgos identificados. • Identificar medidas y tecnologías más rentables que faciliten la adaptación climática en el sector. • Identificar, analizar y evaluar los riesgos del cambio climático. • Incluir estudios de factibilidad económica en los procesos de planificación de la adaptación. • Valorar los impactos del cambio climático a que se verán expuestos los territorios con presencia del sector posteriormente al cierre y abandono de las actividades extractivas.	UPME - INERCO (2015)

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

3.7.1 Priorización medidas de adaptación

En el marco del estudio, se analizó la propuesta metodológica de priorización de medias de adaptación elaborada por la Universidad Nacional de Mendellin para la UPME, con el propósito de analizar su aplicabilidad al contexto de la formulación del PIGCC. El modelo de priorización desarrollado por la UN Medellín es muy útil, aunque está diseñado para priorizar medidas o acciones en un contexto decisional distinto al de la formulación de un plan de las características del PIGCC.

La metodología de priorización propuesta consiste básicamente en un diseño de análisis multiciriterio para ordenar opciones alterativas para la consecución de un objetivo. Esto significa que cada medida de adaptación o cada acción tiene un mismo propósito. No obstante, el PIGCC está estructurado, no sólo en torno a un objetivo y varios objetivos específicos dentro de los cuales se alinean las acciones de adaptación identificadas, sino que ademas esas líneas y esas acciones dentro de un misma línea estratégica, antes que alternativas, son complementarias las unas con las otras. Por ello, en este contexto la aplicación de un proceso de priorización de medias o acciones no parece una opción adecuada.

3.8 Indice de confiabilidad

Coincidiendo con la metodolgía planteada, a continuación se presenta los resultados del índice de confiabilidad del subsector de gran mineria de carbón:

Tabla 3-31 Índice de confiabilidad del subsector gran minería de carbón

Operaciones	¿Considera que la información utilizada para la operación ha sido?	¿Considera que la/las operacion de cálculo utilizada en la operación ha/han sido?	¿Considera que la métrica utilizada en la operación ha sido?	¿Considera que la validación de la operación con actores claves ha sido?
Rango de calificación	5=la más adecuada y mejor disponible 4=la más decuada y más aproximada a la mejor disponible 3=la disponible que permitia operar 2=insuficiente 1=muy insuficiente	5=suficientemente rigurosas 4=adecuada 3=la única disponible que permitia operar 2=mejorable 1= notablemente mejorable	5=suficientemente rigurosas 4=adecuada 3=la única disponible que permitia operar 2=mejorable 1=notablemente mejorable	5=muy amplia 4=amplia 3=suficiente 2=mejorable 1=notablemente mejorable
Promedio	4,2	4,9	4,0	3,4

Operaciones	¿Considera que la información utilizada para la operación ha sido?	¿Considera que la/las operacion de cálculo utilizada en la operación ha/han sido?	¿Considera que la métrica utilizada en la operación ha sido?	¿Considera que la validación de la operación con actores claves ha sido?
Indice metodologico	0,40	0,40	0,30	0,40
Indice operativo	0,84	0,97	0,40	0,34

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

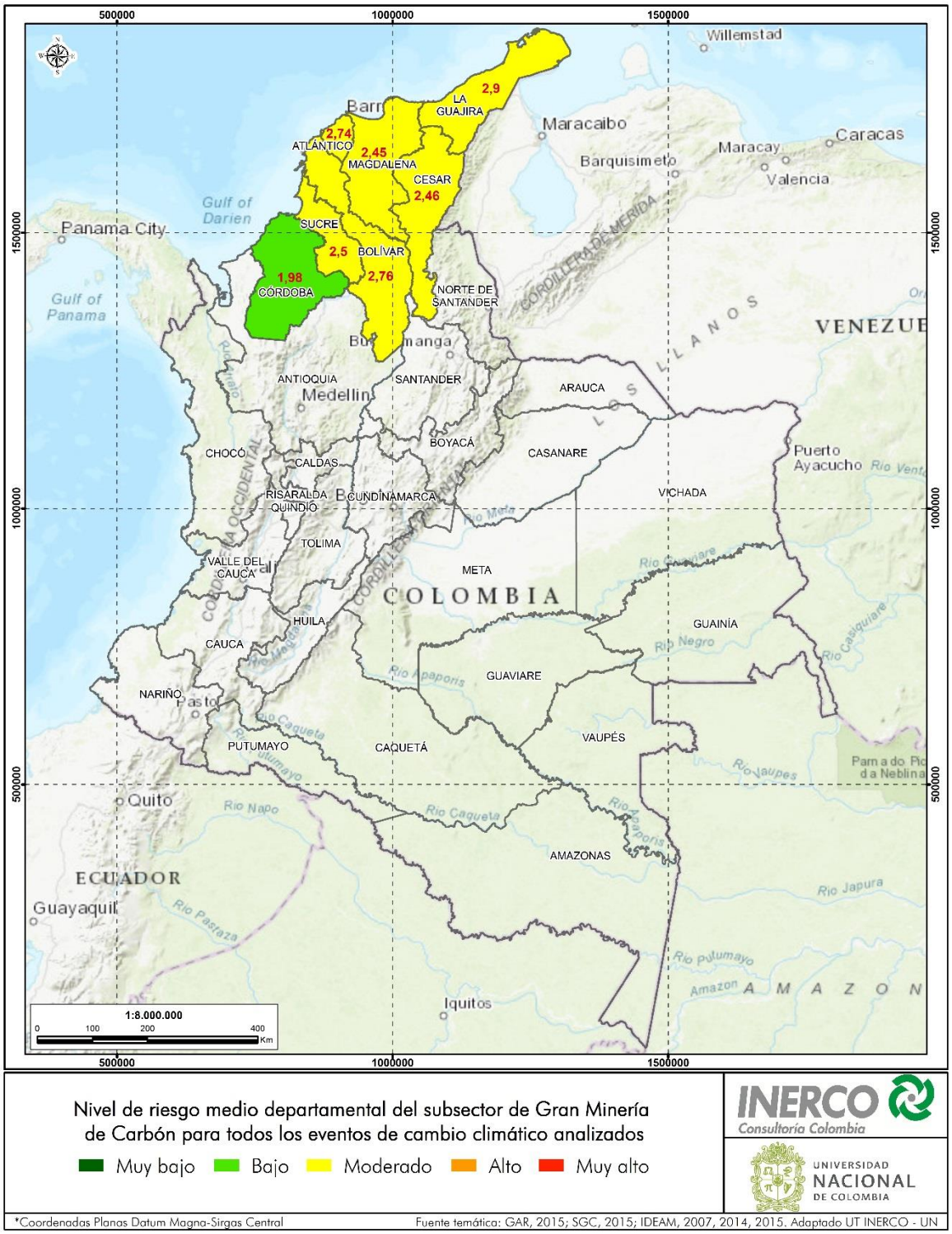
En total se calcula un índice de 4,1, lo que se traduce en un índice operativo y metodológico riguroso, y que el nivel de confianza del escenario es ALTO.

3.9 Indice de riesgo departamental

3.9.1 Cambio Climático

Como se evidencia en la figura 3-29, los departamentos que mayor riesgo representan para el subsector de gran minería de carbón son La Guajira, Bolívar, Atlántico, Cesar, Magdalena, y Sucre con nivel de riesgo moderado, seguido por el departamento de Córdoba con un nivel de riesgo bajo.

Figura 3-29 Nivel de riesgo departamental medio del subsector gran minería de carbón para todos los eventos de cambio climático analizados



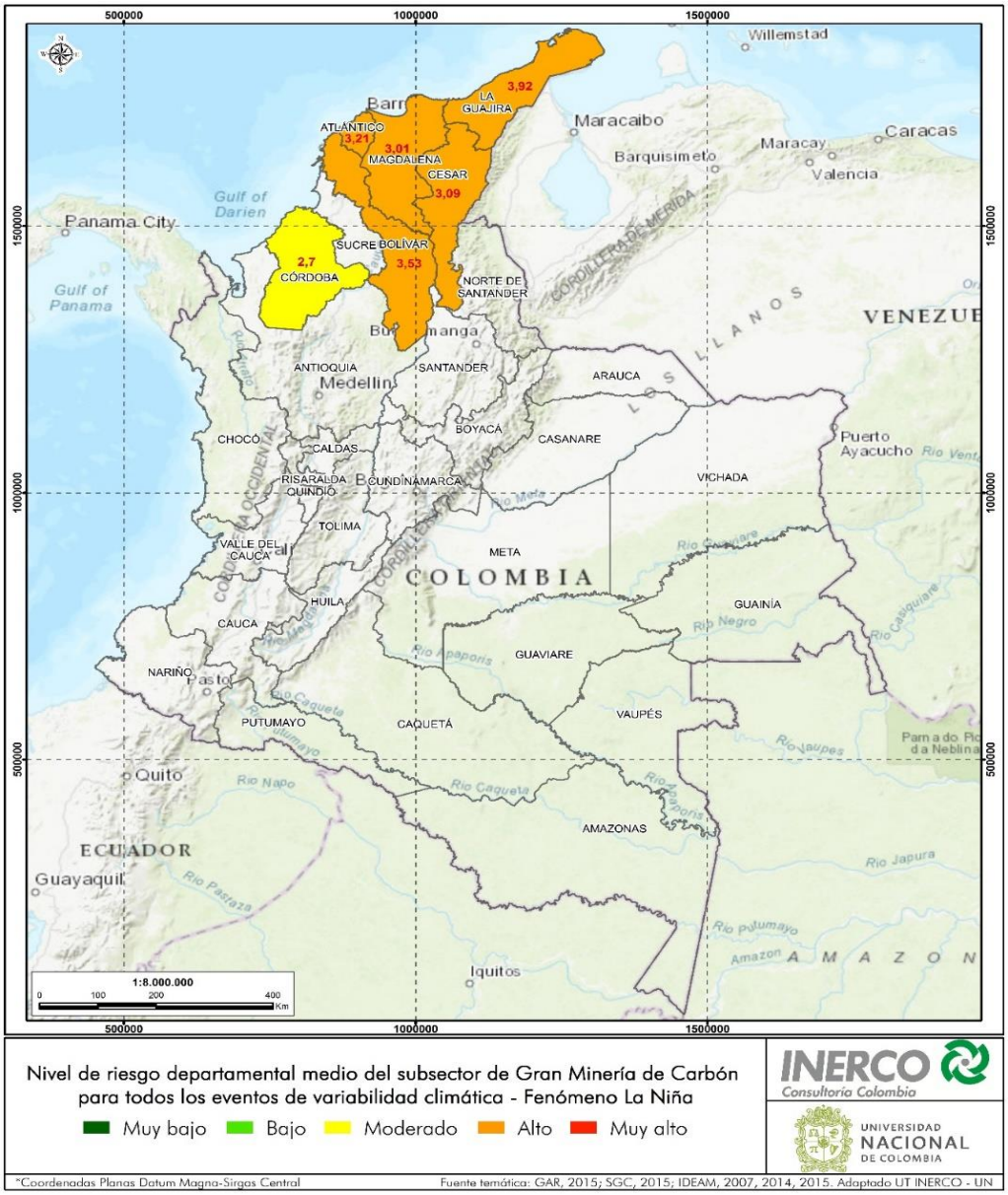
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

3.9.2 Variabilidad Climática

3.9.2.1 Fenómeno de La Niña

En la figura 3-30 se aprecia los departamentos que mayor riesgo representan para el subsector de gran minería de carbón son La Guajira, Bolívar, Atlántico, Cesar y Magdalena con nivel de riesgo alto, seguidos por Córdoba con un nivel de riesgo moderado.

Figura 3-30 Riesgo departamental medio del subsector de gran minería de carbón para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de La Niña

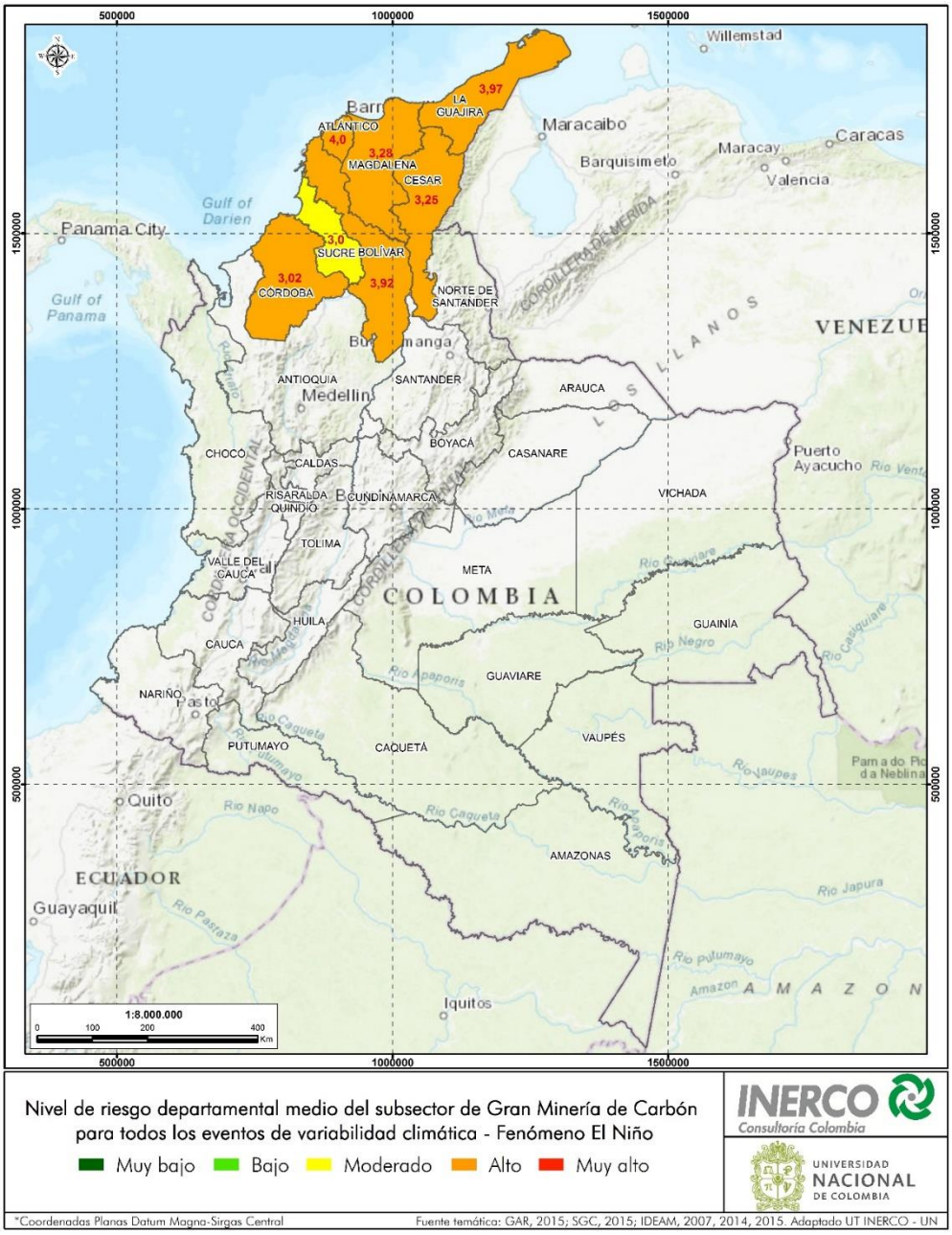


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

3.9.2.2 Fenómeno de El Niño

Como se evidencia en la figura 3-31 los departamentos que mayor riesgo representan para el subsector de gran minería de carbón son Atlántico, La Guajira, Bolívar, Cesar, Córdoba y Magdalena, seguidos por el departamento de Sucre, con un nivel de riesgo moderado.

Figura 3-31 Riesgo departamental medio del subsector de gran minería de carbón para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de El Niño



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

4. ENERGÍA ELÉCTRICA

4.1 Selección de eventos

Teniendo en cuenta la tendencia en aumento de la energía, impulsada por el crecimiento económico y el aumento de la población; temas como la continuidad en la prestación del servicio de energía eléctrica cobra gran relevancia y es precisamente en este contexto que los eventos asociados al cambio climático tienen un papel importante en la mencionada continuidad del servicio.

El eventual aumento en el número y severidad de fenómenos meteorológicos extremos, así como el cambio en los patrones de lluvias pueden afectar la producción o el suministro de energía eléctrica.

Las plantas de generación eléctrica y el Sistema Interconectado Nacional (SIN) que garantiza que la energía eléctrica producida llegue al usuario final, se encuentran localizados, principalmente en la región noroeste y en el centro del país; esto debido a: (1) la ubicación de energéticos primarios y (2) la ubicación de la demanda.

Con eso en mente se han tenido en cuenta los siguientes eventos asociados al cambio climático para el análisis de adaptación que se ejecutó para el subsector eléctrico:

- **Desabastecimiento hídrico**

La matriz energética colombiana, tiene una alta participación de la energía hidroeléctrica y en eventos de desabastecimiento hídrico, la disponibilidad del recurso hídrico para la generación puede verse comprometido, como ocurrió desde septiembre de 2015 a marzo de 2016 (XM, 2017) cuando los embalses llegaron a sus niveles más bajos en 18 años.

Pero este evento no solo afecta la generación hidroeléctrica, puede afectar los sistemas de refrigeración de otros tipos de generación, como la térmica, que para el caso colombiano, son las plantas de generación eléctrica llamadas a actuar en el caso de contingencia que se describió en el párrafo anterior.

En 1992, la disponibilidad de agua, tuvo efectos importantes en la economía nacional producto del racionamiento energético que tuvo lugar en eses entonces y este escenario pudo repetirse en la coyuntura descrita anteriormente entre 2015 y 2016. Es por esto que este evento es necesario en la inclusión de este análisis.

- **Inundaciones**

En la pasada ola invernal algunas plantas de generación se vieron afectadas55 y teniendo en cuenta la posibilidad que un Fenómeno Climático como La Niña se vuelva a presentar en el territorio nacional se consideró importante incluirlo dentro del análisis. Recordando que la pasada ola invernal afectó también la red vial, afectando en algunos casos, accesos a infraestructuras de generación y transmisión56.

- **Remoción en masa**

La ocurrencia de estos eventos puede afectar la infraestructura, bien sea de generación o de transmisión, afectando de manera importante la continuidad del servicio de energía eléctrica (INTERCOLOMBIA, 2017), (University of Cambridge, 2014).

Así mismo, la información geográfica tenida en cuenta para este estudio de consultoría, y discutida más adelante en este documento, evidencia una susceptibilidad importante a considerar para evaluar los efectos de este evento.

- **Incendios forestales**

Los efectos de los incendios forestales se evidencian a largo plazo, si el evento afecta a la cobertura vegetal que regula el recurso hídrico poniendo el riesgo el suministro de agua para la producción de las plantas hidroeléctricas[57]. Así mismo pueden verse afectados los aislamientos de los conductores de las líneas de transmisión afectando la continuidad del servicio[58] (University of Cambridge, 2014).

De acuerdo con la información del IDEAM, discutida más adelante en este documento, existen zonas con susceptibilidad a incendios donde se encuentra parte de la infraestructura del SIN, razón por la cual amerita su inclusión en este análisis.

[55] Información disponible en el Centro Nacional de Operación: https://www.cno.org.co/sites/default/files/documentos/acuerdos/acuerdo533.PDF

[56] El Universal (14 de mayo de 2017). 12 departamentos afectados por la ola invernal. Disponible en: http://www.eluniversal.com.co/ambiente/12-departamentos-afectados-por-la-ola-invernal-253078

[57] El Espectador (3 de julio de 2013). Bosques de energía. Disponible en: https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/bosques-de-energia-articulo-431525

[58] Caracol Radio (13 de junio de 2017). Las quemas son una de las causas más frecuentes de interrupción de la energía": Ana María Gómez Mora, directora Ambiental y Predial de INTERCOLOMBIA. Disponible en: http://caracol.com.co/radio/2017/06/08/ecologia/1496879948_152776.html

- **Aumento de temperatura (olas de Calor)**

Este evento puede llevar a pérdidas de agua causadas por la evaporación de agua superficial, lo que puede afectar la producción de energía hidroeléctrica[59], por su parte, las plantas de energía térmica se verán afectadas por una disminución en la eficiencia de la conversión térmica [60] , como resultado del aumento de las temperaturas ambiente (University of Cambridge, 2014).

Por otro lado, es importante el análisis de este evento, por las pérdidas en la red de transmisión que se pueden presentar con los aumentos en las olas de calor (University of Cambridge, 2014).

- **Aumentos del nivel del mar y eventos relacionados**

Como se mencionaba en el inicio de este numeral, parte de la infraestructura del SIN se encuentra ubicado en la zona costera Atlántica, de acuerdo con la información geográfica suministrada por UPME[61]. Por su ubicación es importante incluir este evento dentro del análisis y evaluar su impacto en la infraestructura del sistema eléctrico nacional y a la continuidad del servicio de energía eléctrica (University of Cambridge, 2014).

- **Tormentas – Huracanes**

Estos eventos están relacionados con un aumento de la nubosidad que puede afectar la captación de energía lumínica para las tecnologías solares, como también es cierto que el aumento en número y severidad tanto de tormentas como de vientos huracanados pueden afectar la infraestructura de generación y transmisión (University of Cambridge, 2014).

4.2 Áreas del sistema

4.2.1 Cambio Climático

Como se mencionaba en el numeral anterior, el desarrollo del subsector eléctrico colombiano ha estado centrado en la parte centro occidental y noroccidental del país dependiendo básicamente de la localización del energético, lo que ha permitido la

[59] El Espectador (5 de enero de 2016). Hidroeléctricas mundiales perderán el 24% de su capacidad por cambio climático. Disponible en: https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/hidroelectricas-mundiales-perderan-el-24-de-su-capacida-articulo-609047

[60] El País (4 de enero de 2016). El cambio climático amenaza la generación de electricidad. Disponible en: https://elpais.com/elpais/2016/01/04/ciencia/1451921409_301489.html

[61] Mapa del sistema interconectado nacional – SIN disponible en: http://sig.simec.gov.co/GeoPortal/images/pdf/UPME_EN_TRANSMISION_COLOMBIA_STN-STR_ACTUAL_2016.pdf

concentración del desarrollo de cierto tipo de tecnologías (para el caso de generación) a través de las áreas mencionadas anteriormente y que se describen a continuación.

4.2.1.1 Áreas de generación

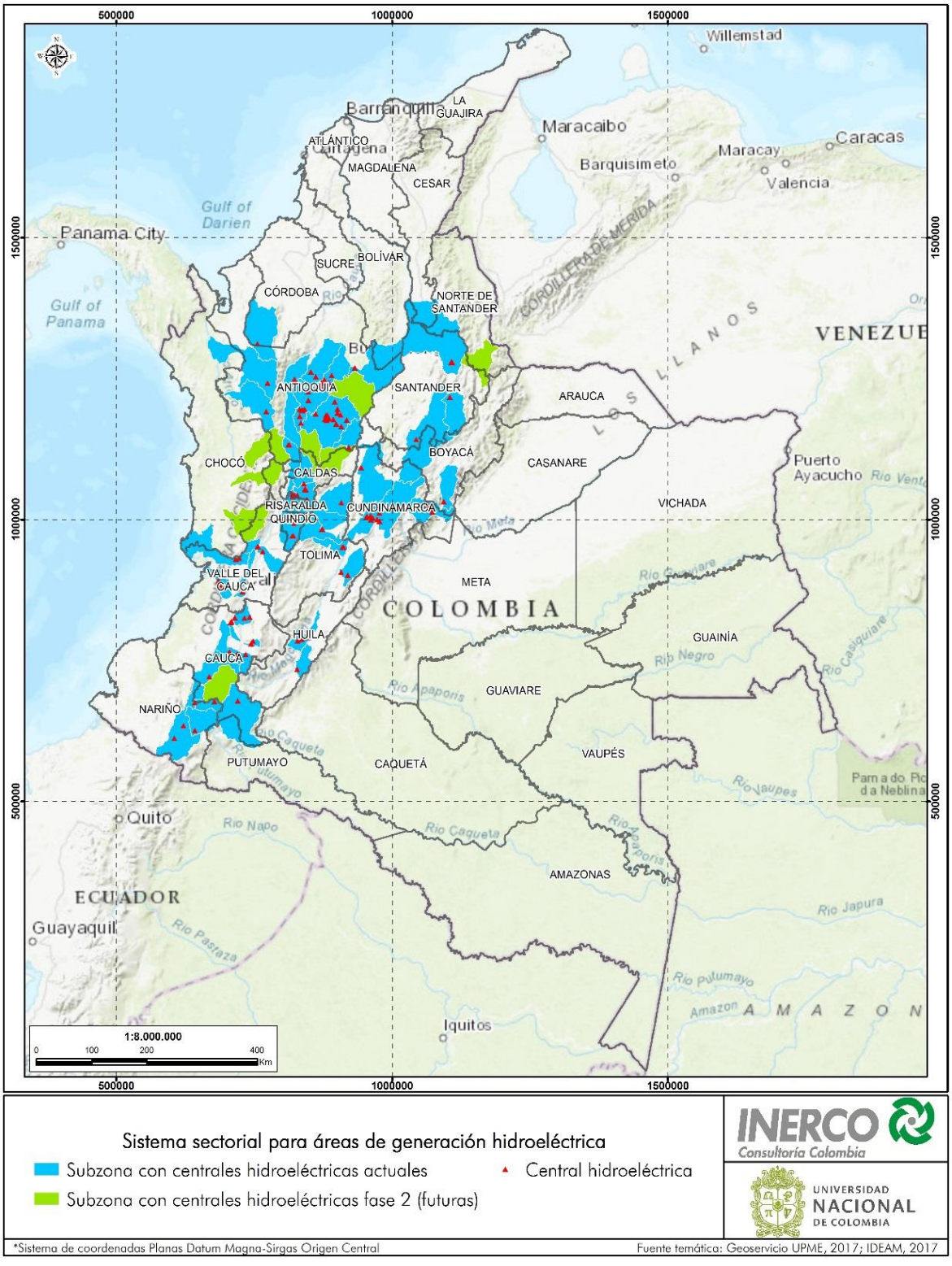
Para este estudio de consultoría el componente de generación fue dividido de acuerdo con la tecnología empleada para la producción de energía eléctrica así:

Generación Hidroeléctrica

En 2015 la UPME publicó el Atlas con el potencial hidroenergético de Colombia[62] donde se reconocen cinco aéreas hidrográficas con potencial energético a desarrollar: Región Amazonas, Región Caribe, Región Magdalena-Cauca, Región Orinoco y Región Pacifico. Sin embargo, buena parte de la capacidad instalada actualmente en el SIN hace aprovechamiento energético de la región hidrográfica bañada por las cuencas de los Ríos Cauca y Magdalena y es una tendencia que se mantiene como resultado del Atlas publicado por la UPME.

[62] Disponible en: http://www1.upme.gov.co/Paginas/Primer-Atlas-hidroenergetico-revela-gran-potencial-en-Colombia.aspx

Figura 4-1 Áreas de generación hidroeléctrica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Generación térmica

De acuerdo con el Boletín Estadístico de Minas y Energía 2012-2015 publicado por la UPME[63], la capacidad térmica de generación a carbón y gas, se encuentra concentrada en los departamentos de La Guajira, Atlántico, Bolívar, Córdoba, Norte de Santander, Boyacá y Casanare aportando el 24 % de la capacidad instalada de la matriz energética nacional.

[63] Disponible en: http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2012_2016.pdf

Figura 4-2 Áreas de generación térmica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Generación eólica

Como se mencionaba anteriormente en este informe, actualmente solo se cuenta con un parque eólico desarrollado en el departamento de la Guajira (Jepirachi con una capacidad instalada de 19,5 MW), y es precisamente allí, en el departamento de la Guajira donde se concentra la mayor parte de potencial eólico del país y es allí donde empresas como

Isagen quien está desarrollando dos parques eólicos con una capacidad instalada agregada de 386 MW y se espera que el potencial eólico en este departamento se desarrolle plenamente como se tiene previsto en los escenarios de la UPME a 2028.

Figura 4-3 Áreas de generación eólica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Generación fotovoltaica

Solo hasta este año se inauguró la primera planta solar fotovoltaica con una capacidad de 9,8 MW en el municipio de Yumbo en el departamento del Valle del Cauca y se espera que este tipo de planta de generación se repliquen a lo largo del territorio nacional de acuerdo con el potencial fotovoltaico desarrollado por la UPME como lo muestra la relación de proyectos de generación con registro vigente a julio de 2015.

Figura 4-4 Áreas de interés de inversión en generación fotovoltaica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

4.2.1.2 Áreas de transmisión

Los 25.602,42 km[64] del sistema interconectado nacional (SIN) recorre el territorio nacional, principalmente, de norte a sur tal como se evidencia en la figura 4-5.

Figura 4-5 Sistema de transmisión de energía



[64] Dato tomado de la página oficial de XM S.A. E.S.P el 24 de octubre de 2017 http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/transmision.aspx?q=lineas

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

4.2.2 Variabilidad Climática

Para el escenario de variabilidad climática el subsector se divide en dos subcomponentes estratégicos, generación y transmisión.

Para el componente de generación se han establecido tres áreas de análisis teniendo en cuenta las diferentes formas de generación, estas son: generación por hidroeléctricas, generación térmica, y generación eólica. A diferencia del escenario de cambio climático, en esta forma de generación, se excluyen las áreas de generación fotovoltaica, dado que a la fecha no se tienen áreas representativas y/o localizadas de este tipo de generación.

Para el componente de transmisión se incluyen las subestaciones, las torres y las líneas de transmisión nacional, sin incluir para este escenario el sistema de expansión que se contempla como infraestructura futura.

Tabla 4-1. Áreas de análisis componentes de energía eléctrica

Subcomponente	Áreas de análisis establecidas	Fuente
Grandes centrales actuales + subzonas hidrográficas	Generación hidroeléctrica	Geoservicio UPME, SIAC, 2017
Pequeñas centrales actuales + subzonas hidrográficas		Geoservicio UPME, SIAC, 2017
Centrales de generación térmica	Generación térmica	SIAC, 2017
Parque eólico Jepirachi	Generación eólica	Geoservicio UPME, SIAC, 2017
Subestaciones de transmisión + plan de expansión en estaciones	Transmisión de energía	Geoservicio UPME, 2017

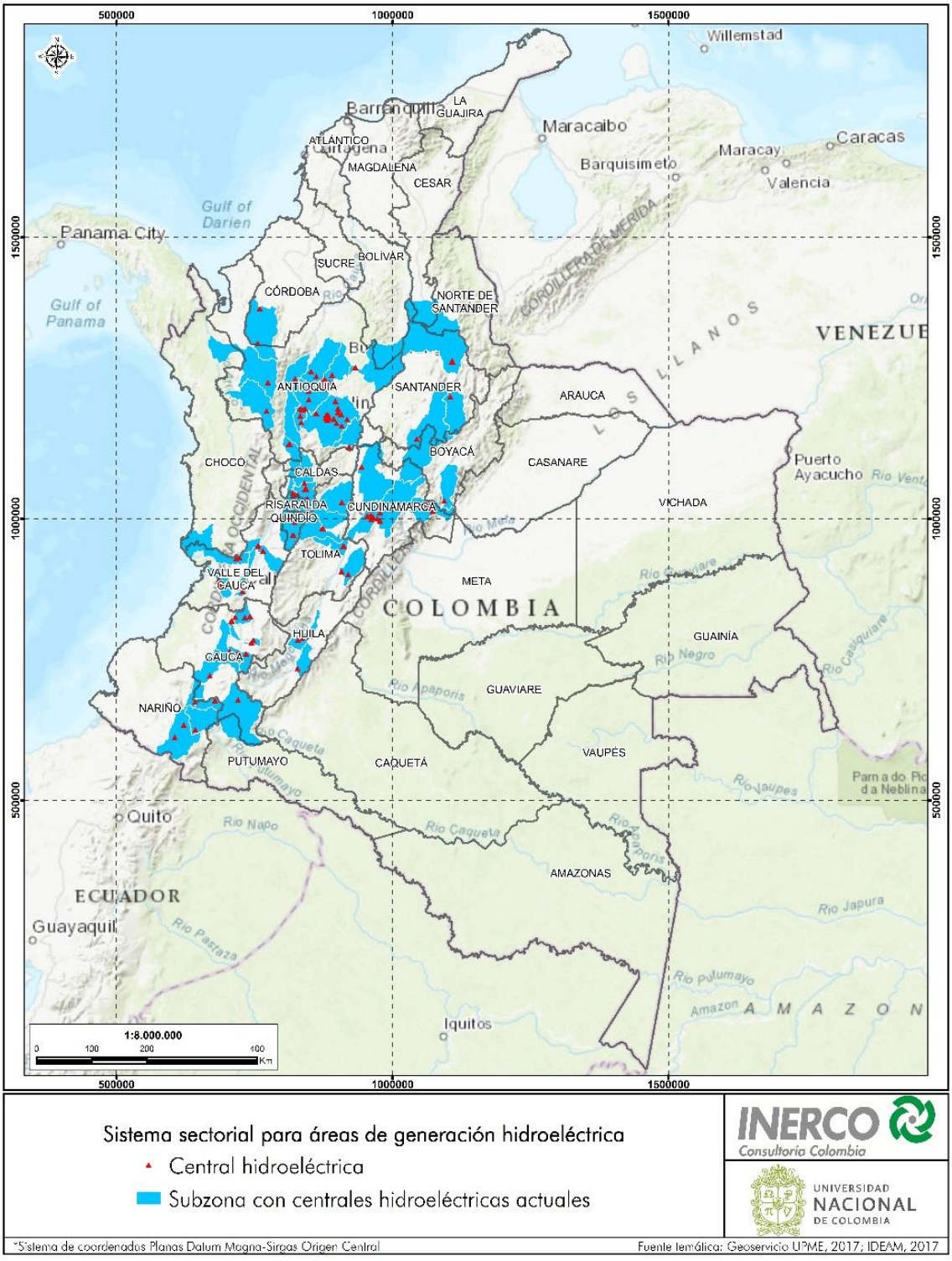
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

4.2.2.1 Áreas de generación

- Generación Hidroeléctrica

El área de análisis definida para esta temática contempla la ubicación de las grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas y la subzona hidrográfica correspondiente a cada una de estas centrales. Esta área de análisis permite evaluar no sólo el impacto sobre la estructura sino sobre la propia generación energética a través de la evaluación en la disponibilidad del recurso hídrico. La figura 4-6 representa el área de análisis.

Figura 4-6 Áreas de generación hidroeléctrica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Generación térmica

Esta área de análisis se define para evaluar los impactos sobre las áreas donde se localizan infraestructura que permiten este tipo de generación de energía. La localización de estaciones de generación térmica es el insumo utilizado en la definición del área y ha sido obtenido del geoservicio dispuesto por la Unidad de planeación minero energética (UPME) para la generación real de energía. La representación de las estaciones extraídas del geoservicio es como se muestra en la figura 4-7.

Figura 4-7 Áreas de generación térmica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Generación eólica

Esta área está limitada al parque eólico Jepirache, que en la actualidad es la única área representativa para este tipo de generación de energía. La representación cartográfica del parque se presenta en la figura 4-8.

Figura 4-8 Áreas de generación eólica

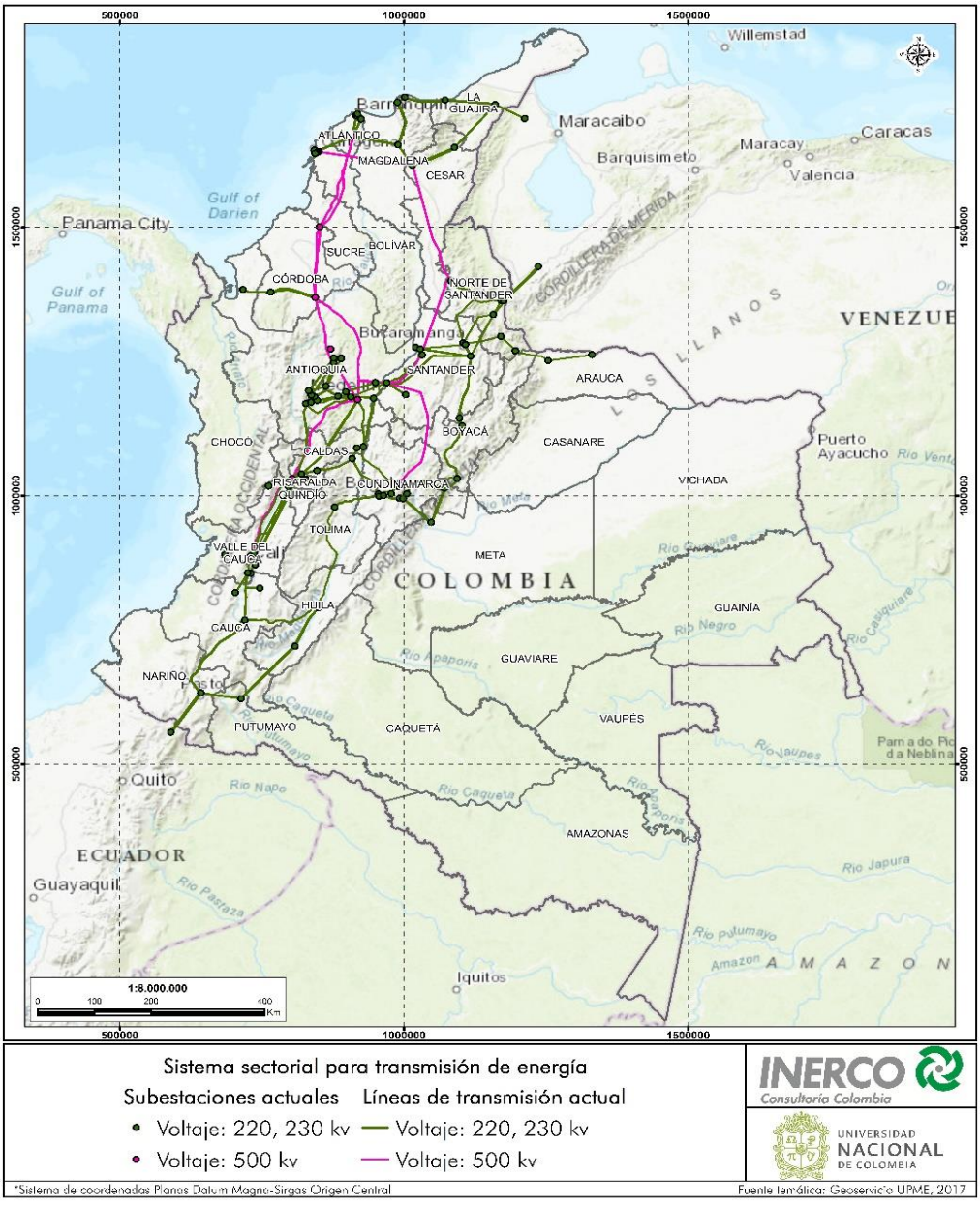


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

4.2.2.2 Áreas de transmisión de energía

La definición del área se hace contemplando toda la infraestructura tanto puntual como lineal. Para ello se tiene infraestructura de tipo puntual representada por las estaciones del sistema de transmisión nacional y las torres, en tanto que la infraestructura lineal son las líneas de transmisión. El sistema nacional de transmisión de energía que define esta área de análisis se muestra en la figura 4-9.

Figura 4-9 Áreas de transmisión de energía



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

4.3 Caracterización del subsector energía eléctrica

De los tres sectores alcance de este estudio de ingeniería, el subsector de energía eléctrica, se ha visto abocado a tomar medidas para afrontar la variabilidad climática desde la década de los 90, aun cuando los temas de cambio climático no estaban en la agenda internacional y mucho menos en la agenda nacional.

Es así que la Ley 143 de 1994 clasificó las actividades que desarrollan los agentes del subsector eléctrico en: generación, transmisión distribución y comercialización de la energía eléctrica. Esta Ley dio pie a la creación e implementación de reglas que no solo permitiera la libre competencia en los negocios de generación y comercialización, sino que también promovieran esa libre competencia. Sin embargo, para los negocios de transmisión y distribución se orientaron las actividades de estos dos negocios como monopolios buscando condiciones de competencia donde este fuera posible.

Para propósitos de este estudio de consultoría se ha definido evaluar los impactos de los eventos del cambio climático dentro de los componentes de **Generación y Transmisión**, toda vez que dichos eventos impactaría de manera relevante el suministro del energético para la generación o la continuidad del suministro de energía a través de las redes que conforman el Sistema Interconectado Nacional (SIN).

La matriz energética colombiana tiene una capacidad predominantemente hidráulica y con un respaldo térmico que ha permitido al subsector una generación baja en carbono y una confiabilidad de 99,93 %. Adicionalmente, el componente de generación de Colombia tiene los precios de contratos más bajos de toda la región después de Perú con un costo de 6 USD $ cent/kWh. Infortunadamente, la declinación de la producción, el aumento de la demanda de gas, las restricciones de transporte desde los campos del interior y la no inclusión de la flexibilidad característica de la demanda térmica en la regulación vigente han dejado al parque térmico sin la posibilidad de generar y/o respaldar sus Obligaciones de Energía Firme con un combustible costo-eficiente[65].

Con respecto a la demanda de energía eléctrica, esta tiene un comportamiento anual al alza con porcentajes entre el 1,5 % y el 4,5 % (XM, 2017). Sin embargo para 2016 la demanda de energía decreció un 0,2 % (XM, 2017) como la suma de eventos como la entrada en vigencia de la resolución CREG 029 de 2016 que establece un esquema diferencial de tarifas que definían los costos para la prestación del servicio de energía eléctrica para usuarios regulados del SIN y así promover el ahorro voluntario en el consumo, que fue más conocida en el ámbito nacional como “Ahorrar paga” y que

[65] ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE GENERADORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA ACOLGEN. Soluciones estructurales del mercado de gas para lograr mayor competitividad y sostenibilidad del sector. Octubre 2015.

promovió un cambio en los hábitos de los consumidores regulados y que efectivamente trajo como resultado disminución en demanda.
Con este contexto y teniendo en cuenta la importancia que tiene la disponibilidad del energético para el negocio de la **generación eléctrica**, se ha decidido estructurar el componente de generación en cuatro subcomponentes:

- Generación Hidroeléctrica

Al finalizar 2016 la participación de este tipo de generación fue de 67,1 % (XM, 2017) y puede verse afectada de manera importante, por eventos como desabastecimiento hídrico, el aumento de temperaturas, entre otros. Para el análisis de esta tecnología se consideró pertinente la siguiente división de acuerdo con su capacidad efectiva instalada:

Grandes centrales hidroeléctricas

Son aquellas que tienen una capacidad instalada superior a 20 MW y que tienen una participación obligatoria en el despacho de energía. Según la UPME[66], este tipo de generación seguirá teniendo una participación importante en la matriz de generación nacional a 2030.

Pequeñas centrales hidroeléctricas

Para este estudio de consultoría, son aquellas centrales con capacidad instalada igual o inferior a 20 MW. Este tipo de central hidroeléctrica tiene posibilidad de participar en el despacho si la capacidad instalada es mayor a 10 MW. De acuerdo con la UPME[67], este tipo de central hidroeléctrica tendrá una participación del 7 % a 2030.

- Generación Térmica

Actualmente este las centrales térmicas, son las llamadas a suplir la demanda de energía que la generación hidráulica no pueda suplir para 2016, tuvo una participación de 27 % en la matriz de generación (XM, 2017) y según la UPME se espera que esa participación en el matriz de generación se mantenga a 2030 (26 %).

- Generación Eólica

[66] Plan de Expansión De Referencia Generación – Transmisión. 2016 – 2030. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2016/Plan_GT_2016_2030/Plan_GT_2016_2030_Final_V1_12-12-2016.pdf
[67] Plan de Expansión De Referencia Generación – Transmisión. 2016 – 2030. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2016/Plan_GT_2016_2030/Plan_GT_2016_2030_Final_V1_12-12-2016.pdf

Existe potencial eólico en el departamento de La Guajira aún por explotar, pues en la actualidad solo se cuenta con el Parque Eólico Jepirachi y de acuerdo con las previsiones de la UPME se espera que a 2030 se pueda contar con una capacidad instalada de 727 MW con este tipo de tecnología de operación.

- Generación Fotovoltaica

Con la entrada en vigencia de la Ley 1715 de 2015 se espera que se incentive la generación basada con el recurso solar que a la fecha tiene una participación marginal dentro de la matriz de generación colombiana.

El componente de **Transmisión** conformado por las líneas de transporte de energía, los módulos de conexión que operan a tensiones iguales o superiores de 220 kW, será tratado como un conjunto y no se consideró necesario subdividir este componente, toda vez que cualquier falla de cualquiera de los activos que conforma el Sistema de Transmisión Nacional (STN) pueden poner en riesgo la continuidad en el suministro de energía eléctrica a los usuarios finales.

4.3.1 El subsector en la economía nacional

La energía eléctrica presenta una tendencia decreciente como porcentaje del PIB en el periodo comprendido entre 2000 y 2016. En 2001, la energía eléctrica tuvo una mayor representación como porcentaje del PIB, 2,55 %; mientras, en 2016, este subsector representó únicamente el 2,09% del PIB. En promedio, de 2000 a 2016, la energía eléctrica representó 2,34 % del PIB.

4.3.2 Niveles de producción

De acuerdo con la información suministrada por XM, la capacidad neta del SIN al finalizar 2016 fue de 16.594,52 MW que, al compararse con el año inmediatamente anterior, tiene un incremento del 1,06 % (XM, 2017) producto de la entrada en operación no solo de centrales hidroeléctricas sino de plantas de generación térmicas, entre los cuales se encuentran cogeneradores (Ingenio Manuelita), generación con Biogás (Doña Juana) y autogeneradores (Argos, Reficar, entre otros).

Este aumento en la capacidad efectiva neta se dio, también, por la actualización en las capacidades netas asociadas a los combustibles que respaldan las Obligaciones de Energía Firme (OEF).

Entre septiembre de 2015 y marzo de 2016 por los efectos del Fenómeno de El Niño hubo proyectos que no entraron en operación y que tenían Obligaciones de Energía Firme, pero

aun así, en 2016 entraron en operación 152,35 MW de capacidad instalada de plantas menores cogeneradores y autogeneradores que permitieron atender la demanda.

Con respecto al componente de Transmisión, vale la pena resaltar que el año pasado entraron en operación 4 proyectos del STN y 10 proyectos del STR.

4.3.3 Comercio Exterior

Los principales intercambios de energía se dan con Venezuela y Ecuador. Para 2015, la cantidad de energía exportada a Ecuador fue 457,2 GWh y para 2016 fue significativamente menor al llegar a un valor de 43,9 GWh; y la energía exportada a Venezuela tuvo un valor de 0,86 GWh. Estos valores contrastan, con la energía que se tuvo que importar desde Ecuador (378,3 GWh) (XM, 2017), que según la fuente de información ha sido el valor de energía importada más alta en los últimos años. Esto se dio, para dar frente a las exigencias que tuvo que afrontar el SIN para satisfacer la demanda de energía.

De acuerdo con XM, desde 2003, año en el que se implementaron las Transacciones Internacionales de Electricidad (TIE) con Ecuador, las exportaciones de energía a ese país llegan a un valor de 1.147.580,8 millones de dólares equivalentes a 12.971 GWh aproximadamente.

4.3.4 Precios

4.3.4.1 Precio de bolsa

En el primer cuatrimestre de 2016 se presentaron los mayores precios de bolsa, los cuales superaron los 800 COP/kWh, situación coherente con los efectos del Fenómeno de El Niño (XM, 2017). Sin embargo en el comportamiento del precio de bolsa se puede apreciar el impacto que tuvo la implementación de la Resolución CREG 172 de 2015 que definió un precio máximo a las ofertas de precio para el despacho diario del Mercado de Energía Mayorista (MEM), así como también el impacto que tuvo la puesta en marcha de la Resolución CREG 178 de 2015 que determino un piso para el precio de escasez lo que trajo una restricción a la protección del precio a favor de los consumidores.

4.3.4.2 Precio promedio de bolsa y contratos

Como se mencionó anteriormente entre septiembre de 2015 y marzo de 2016, resultado de los efectos del Fenómeno de El Niño, la oferta de la energía de producción hidroeléctrica se vio disminuida, y al tener una alta participación en la matriz de generación, los precios de bolsa durante este periodo de tiempo tuvieron un alza.

Sin embargo, para 2016 el comportamiento general del precio de bolsa nacional tuvo un valor promedio ponderado de 305,18 COP/kWh que represento una disminución de 21,26 % con respecto al valor promedio ponderado del año inmediatamente anterior (387,58 COP /kWh) (XM, 2017).

Por su parte el precio promedio anual de contratos ha tenido crecimientos en los últimos dos años: para 2015 el precio se ubicó en 143,41 COP/kWh y en 2016 en 155,97 COP/ kWh, lo que significó un aumento de 8,75 % (XM, 2017).

4.3.5 Principales retos y problemáticas del subsector

- **Mercado eléctrico colombiano**

El subsector eléctrico colombiano ha visto sus situaciones de mayor estrés cuando el principal energético que mueve la oferta de generación nacional: el agua, escasea y pone en riego la satisfacción de la demanda de energía eléctrica, por las condiciones que coyunturalmente enfrenta el mercado eléctrico en esa situación crítica.

Económicamente hablando, el mercado eléctrico nacional incentiva a los agentes generadores a ofrecer su energía firme por debajo de los precios de mercado, que sería contraproducente con un incremento sostenido de las necesidades de la demanda de energía, como se habló al inicio de este capítulo. Así mismo, en condiciones normales de operación y con aporte hídricos superiores, como actualmente ocurre (noviembre 2017) los agentes vendedores de energía de contratos, lo hacen en su energía firme y se convierten en vendedores exclusivos en bolsa, es decir, todos estos agentes estarían en posición de vender y no existiría agentes que deseen comprar para hacer que el precio llegue al precio “Spot”.

En condiciones críticas de operación, y tal como se confirmó en las mesas de trabajo en la reunión del pasado 12 de octubre, aquellos agentes que tengan costos variables de generación que sean superiores al precio de escasez, no tienen incentivo para entregar su producción a perdida al SIN, por lo que se vuelve un reto importante incluir este tema en la asignación del cargo por confiabilidad.

Para solucionar la problemática descrita en los párrafos anteriores, el Gobierno Nacional debe promulgar la regulación pertinente para la optimización de activos económicamente ineficientes, que se podría dar vía una subasta que permita optimizar los costos de operación por encima del mercado, sobre todo aquellos que están por encima del precio de escasez, o promoviendo una regulación que asigne el cargo de confiabilidad de las plantas existentes por mérito en la cual se pueda considerar a largo plazo.

- **Diversificación de la matriz energética**

Si bien es cierto desde el Gobierno Nacional se han emprendido esfuerzos para mitigar la dependencia del recurso hídrico para la generación de energía, promoviendo el usos de fuentes de energía renovables no convencionales (Ley 1715 de 2015), su implementación no se ha dado con el ritmo que los eventos de cambio climático exigen.

- **Agentes de generación y transmisión eléctrica**

La agenda internacional y buena parte de la agenda nacional ha movido esfuerzos en torno a la mitigación del cambio climático, tanto es así, que varias de las empresas del subsector han implementado acciones en ese eje para reducir las emisiones de Gases Efecto Invernadero que se emiten a la atmosfera.

Sin embargo, se ha dejado de lado las implicaciones que trae nos solo para las empresas generadoras sino para la confiabilidad del sistema eléctrico nacional, el no tomar medidas para los eventos del cambio climático (adaptación). Una buena gestión de riesgos puede amortiguar los impactos y ayudar a evaluar financieramente la no-acción frente a estos eventos.

- **El subsector eléctrico y el entorno**

La falta de comprensión de los impactos que pueda traer una buena gestión de riesgos para los eventos de cambio climático, no es solo una falencia de las empresas que conforman el subsector eléctrico, como se mencionó en párrafos anteriores, esto también se observa en las entidades de gestión territorial y el los gobiernos municipales y regionales. Esto, hace que, en temas como la regulación del ordenamiento territorial no se tenga en cuenta al subsector eléctrico como un actor importante en su formulación.

- **El papel de la demanda de energía eléctrica**

El estado del arte de la legislación nacional, así como el estado del arte de la tecnología, abren la puerta para que el papel de la demanda tenga un papel más activo dentro del mercado eléctrico nacional, a través de la inclusión de regulaciones en temas con generación distribuida con fuentes renovables, redes inteligentes, eficiencia energética por mencionar unos ejemplos. La inclusión de este actor permitirá amortiguar las distorsiones del mercado eléctrico generando oportunidades de anticiparse a situaciones críticas como la experimentada entre septiembre de 2016 y marzo de 2016.

- **Regulación del subsector eléctrico**

El comportamiento del mercado eléctrico nacional en los últimos años refleja los altos y bajos que ha tenido el subsector y esto debe servir de señal para los organismos

reguladores del subsector para considerar si es necesaria una evaluación y análisis de la Ley 142 de 1994, dar relevancia a temas como la eficiencia energética y la suficiencia financiera, que dé pie a instrumentos flexibles, sin que esto signifique instrumentos de inseguridad jurídica, masi instrumentos adaptados al contexto nacional y más teniendo en cuenta nuestra sensibilidades a los eventos de cambio climático.

4.3.6 Proyección del desarrollo subsectorial, según la política y planificación del gobierno

El Plan Nacional de Desarrollo (PND), promulgado en la Ley 1753 de 2015 establece como estrategia ampliar la cobertura y la calidad de la energía eléctrica, como vía para desarrollar el objetivo de consolidar el desarrollo minero-energético para la equidad regional.

Esta estrategia impone algunos retos para el subsector eléctrico dictados en el mismo PND, pues se determina la promoción de la generación eléctrica con fuentes de energía no convencionales, así como con sistemas híbridos, sin dejar de lado las medidas de eficiencia energética. Para ello, se hace mención a la implementación de esquemas de financiamiento con inversiones público privadas.

Para la gestión del mercado se propone crear opciones de mercado y productos para cubrir riesgos operativos y financieros de los agestes, para ello se propone analizar el esquema de gestión y valoración de la congestión de redes que permita identificar las necesidades de infraestructura de transmisión y generación tanto en el mediano como en el largo plazo, así como la creación de un mercado de reservas operativas. Así también se formulan opciones para la promoción de uso eficiente de la energía, evaluar a posibilidad de que los costos del sistema sean cubiertos por tarifas. Actuar junto con el IDEAM para tener mejor información para la proyección relacionada con el potencial hidroeléctrico.

En línea con lo anterior, la UPME ha estructurado sus planes de expansión para dar cumplimiento con la directriz del Gobierno Nacional y ha incluido criterios que minimizan conjuntamente los costos de inversión y de operación para el negocio de generación.

Para apoyar el desarrollo de los Planes de Expansión de Referencia, UPME cuenta con publicaciones como el Atlas Potencial Hidro - energético de Colombia, Boletines estadísticos anuales y documentos que evalúan la integración de las energías renovables no convencionales; así como estudios técnicos que han aportado en los lineamientos para el subsector bajo escenarios de cambio climático, el papel en el mercado de combustibles fósiles, proyecciones de precios de energía y de la demanda.

En el último Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2016 – 2030[68] publicado por la UPME, tiene previsto una participación importante de generación con fuentes renovables no convencionales conectadas al SIN. Así mismo, se desarrolló un modelo de despacho predictivo que analiza la flexibilidad de la matriz de generación bajo diferentes escenarios para dar cabida a la generación con fuentes de energía renovables no convencionales, nuevas repotenciaciones de plantas de generación; y análisis de alertas tempranas, que, aunque es de carácter referencial, da indicios a inversionistas sobre las limitaciones y restricciones en la implementación de nuevos proyectos de generación.

En este último Plan de Expansión de Referencia, se encuentra un análisis que tiene en cuenta el efecto de la sedimentación de embalses así como los efectos del cambio climático enfocados a la producción hidroeléctrica. De acuerdo con este documento se presentan escenarios dónde la generación hidráulica oscila entre el 58% y el 67%, la producción térmica (carbón y gas) está entre el 23% y el 27%, la generación eólica entre el 3% y 7% y la generación solar alcanza el umbral del 1%, el resto de la participación en la matriz de generación está distribuido entre la generación de plantas menores de energía, agentes cogeneradores, generación geotérmica, entre otros.

4.4 Identificación y valoración de la gravedad de las amenazas

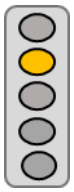
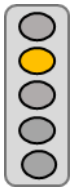
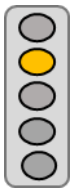
4.4.1 Cambio Climático

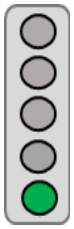
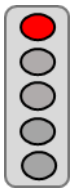
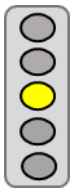
A continuación se recoge la identificación y valoración de amenazas para el subsector de energía eléctrica:

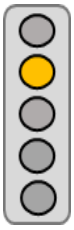
Tabla 4-2 Amenazas al sistema para el componente de generación del subsector de energía eléctrica

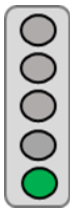
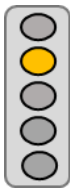
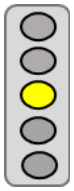
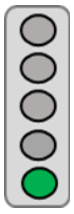
Generación			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**

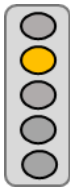
[68] UPME. Plan De Expansión De Referencia Generación – Transmisión 2016 – 2030. 2017. http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2016/Plan_GT_2016_2030/Plan_GT_2016_2030_Final_V1_12-12-2016.pdf

Generación			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Hidroeléctricas		En eventos de desabastecimiento hídrico se compromete la disponibilidad del recurso hídrico, por evaporación de agua superficial y disminución general de disponibilidad de efluentes en presas y por lo tanto se compromete también la producción de energía eléctrica, lo que se traduce en la disminución de la oferta de energía eléctrica por parte de los generadores y para suplir la demanda afecta los ingresos y genera posibles incumplimientos con el CND y, como última consecuencia, genera condiciones de racionamiento eléctrico en el territorio nacional.
	 Térmicas		En eventos de desabastecimiento hídrico se puede ver comprometida la eficiencia de equipos involucrados en los procesos de producción de energía y refrigeración de equipos, poniendo en riesgo la operación de la central térmica y potencialmente puede generar efectos negativos sobre los compromisos contractuales de entrega de energía al CND y por ende los ingresos de la generadora (Nota: la demanda de agua depende de la tecnología empleada para la generación, la tecnología de refrigeración de equipos y la capacidad efectiva de la planta).
	 Fotovoltaicas		En eventos de desabastecimineto hídrico, existe la posibilidad de aumento de material particulado que puede afectar la eficiencia de los paneles solares, lo cual puede dificultar el cumplimiento de los compromisos contractuales de entrega de energía al CND.

Generación			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Hidroeléctricas		La inundación puede causar rebosamiento natural de embalses y puede afectar la infraestructura para la generación de electricidad (p.e generación a filo de agua) por el exceso en los niveles del caudal. Esto, a su vez, implica un cese de actividades en la generación eléctrica y, por ende, un posible incumplimiento con el CND. Así mismo, dicho rebosamiento puede exacerbar los efectos de la inundación en las pérdidas directas de activos y el efecto negativo en actividades económicas.
	 Térmicas		La inundación puede ocasionar afectaciones de la infraestructura, lo que puede ocasionar cese de actividades en la generación eléctrica, p.e. rebose de los sistemas de tratamiento. Esto, a su vez, puede llevar a un incumplimiento de los compromisos contractuales de entrega de energía al CND y, por ende, se daría una reducción en los ingresos de la generadora.
	 Fotovoltaicas		Las inundaciones pueden afectar las vías de acceso a la actividad de generación aumentando los costos de operación.
 Remoción en masa	 Hidroeléctricas		Los procesos de remoción en masa pueden causar daños a la infraestructura, esto puede ocasionar, en el corto plazo afectación y/o cese en la operación de la central de generación eléctrica y disminución en la vida útil del embalse en el largo plazo. Esto, incrementa los costes de mantenimiento y pone en riesgo el cumplimiento de los compromisos contractuales de entrega de energía al CND y, por ende, los ingresos de la generadora.
	 Eólico		Los vertimientos no intencionales al suelo eventualmente generados, pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación.

Generación			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Fotovoltaicas		
 Aumento de temperatura	 Hidroeléctricas		En eventos de olas de calor se disminuye la disponibilidad del recurso hídrico por evaporación de agua superficial y disminución de la eficiencia de la planta de generación eléctrica (estrés térmico), lo que generaría dificultades para mantener los niveles de producción de energía eléctrica y suplir la demanda afectando los ingresos y generando posible incumplimientos con el CND. En efecto, estas condiciones pueden conducir a un racionamiento eléctrico para suplir la demanda. Así mismo, estos eventos exacerban la competencia por el acceso al recurso hídrico y puede generar pérdida de reputación por parte de las empresas.
	 Térmicas		Los aumentos en la temperatura traen consigo disminución en la diferencia entre la temperatura ambiental y la temperatura de combustión reduciendo la eficiencia de calderas, turbinas y grupos electrógenos (gensets). La reducción en la energía de salida es proporcional al incremento en la temperatura.
	 Eólico		El aumento de temperaturas altera el régimen de vientos afectando el patrón de producción.
	 Fotovoltaicas		El aumento de temperaturas disminuye la eficiencia del panel solar afectando el patrón de producción.

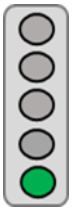
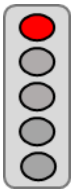
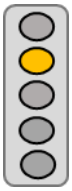
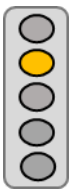
Generación			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Aumento del nivel del mar	 Térmicas		El aumento del nivel del mar puede afectar la infraestructura costera comprometiendo la continuidad de la operación (corto plazo) o afectando la vida útil del equipo involucrado en la producción, por ejemplo por salinización, corrosión u oxidación (largo plazo). Al afectar la infraestructura de generación por el aumento del nivel del mar, se puede impactar la producción de energía de la planta de generación y en consecuencia los compromisos con el CND.
	 Eólico		
	 Fotovoltaicas		
 Tormentas y huracanes	 Térmicas		Las tormentas tropicales o huracanes afectan la infraestructura y actividades de producción, el acceso a las instalaciones, generando detención de los procesos, reducción de la producción, incremento en los costos de producción, y eventualmente reposición de infraestructura. Lo anterior, puede generar incumplimientos con los compromisos con el CND. Este tipo de afectaciones puede impactar a las comunidades en términos de daños a su integridad física y a la disrupción del desarrollo de sus actividades económicas. En el caso de daños severos a la infraestructura, se puede generar vertimientos no intencionales que pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación.

Generación			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Eólico		Las tormentas tropicales o huracanes generan cambios en el régimen de vientos, lo que se traduce en disminución de producción energética y aumento de la dificultad de acceso a las instalaciones. Esto conlleva a generar detenciones en los procesos, reducción de la producción, incremento en los costos de producción, reposición de infraestructura e incumplimientos con los compromisos con el CND. Si existen daños severos a la infraestructura, Las tormentas/huracanes pueden generar vertimientos no intencionales que pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación. Así mismo, es posible que la afectación a la infraestructura, conlleven a daños físicos de las personas, otros seres vivos, activos, actividades económicas.
	 Fotovoltaicas		Las tormentas tropicales o huracanes generan alta nubosidad disminuyendo la producción energética. Impactan directamente las actividades de producción, el acceso a las instalaciones, generando detenciones en los procesos, reducción de la producción, incremento en los costos de producción, y eventualmente reposición de infraestructura. Al afectarse la infraestructura por las tormentas-huracanes, se puede impactar la producción de energía de la planta de generación y en consecuencia, generar incumplimientos con los compromisos con el CND. Si existen daños severos a la infraestructura, las tormentas/huracanes pueden generar vertimientos no intencionales que pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación. Así mismo, es posible que la afectación a la infraestructura, conlleven a daño físico de personas, otros seres vivos, activos, actividades económicas.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 4-3 Amenazas al sistema para el componente de transmisión del subsector de energía eléctrica

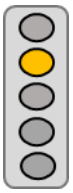
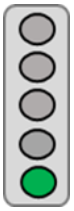
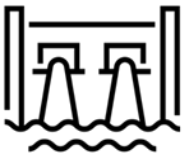
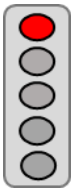
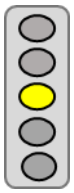
Transmisión

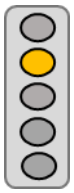
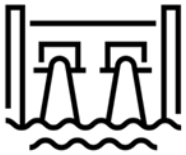
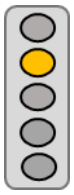
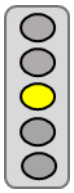
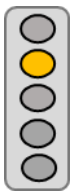
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Transmisión		Las inundaciones pueden afectar los cimientos de las torres y afectar la estabilidad de la estructura, lo que perjudica la operación de las diferentes subestaciones del STN o STR (p. ej. maniobra, elevación, reducción). Este evento genera la erosión, causando daños a la infraestructura y una eventual desatención de la demanda y/o pausa en el servicio. Estos eventos pueden afectar el perfil físico de las bases de las torres, lo cual debe ser tratado con actividades de mantenimiento efectivas para garantizar la estabilidad de la torre y evitar pérdidas directas de activos y efectos negativos en diferentes actividades económicas por derribamiento puede ocasionar.
 Remoción en masa			La remoción en masa puede afectar la infraestructura del transporte de energía (subestaciones, torres y por ende conductores), afectando la continuidad del servicio de transporte de energía y, por ende, la confiabilidad del sistema de transmisión. Como medida de mitigación de este potencial riesgo, deben adelantarse actividades de mantenimiento apropiadas para evitar un eventual derribamiento, lo que se traduciría en pérdidas directas de activos y efectos negativos en diferentes actividades económicas.
 Incendios forestales			Los incendios forestales pueden afectar la temperatura de operación de la infraestructura de transmisión incrementando las perdidas en la línea y reduciendo la eficiencia del sistema. Esto, a su vez, se ve reflejado en la perdida en el aislamiento de los conductores que puede generar cese de la operación y desatención de la demanda.
 Aumento de temperatura			Eventos de estrés térmico producto del aumento de temperatura, pueden aumentar las perdidas en las líneas de transmisión, especialmente aquellas líneas con limitaciones de capacidad de carga, debido a que se generan pérdidas de eficiencia. Estos eventos pueden ocasionar, además a los anteriores efectos, pérdidas en el aislamiento de los conductores que puede generar cese de la operación y desatención de la demanda.

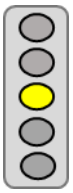
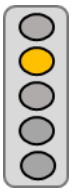
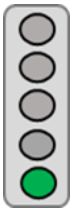
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

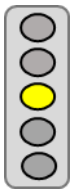
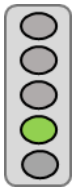
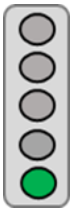
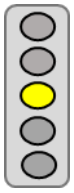
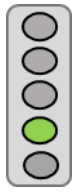
Tabla 4-4 Amenazas al entorno del subsector de energía eléctrica

Entorno

Evento amenazante	Subcomponente	Nivel de amenaza	Descripción
 Desabastecimiento Hídrico	 Hidroeléctricas		El desabastecimineto hídrico reduce la oferta hídrica neta e incrementa la demanda total (doméstica, agrícola, pecuaria, servicios e industrial) creando conflictos (competencia) por el acceso al recurso al elevar el índice de escasez hídrica y causar presión sobre los niveles de producción pesquera. Esta situación puede generar afectación sobre la reputación de las empresas.
 Inundación	 Térmicas		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos, infraestructuras y actividades económicas, específicamente en la inundación de campos de cultivos, actividades ganaderas, interrupción de vías, acueductos, alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. Esto puede afectar el suministro energético a la planta de generación (p.e. carbón).
 Remoción en masa	 Hidroeléctricas		Los procesos de remoción en masa alteran el suelo de soporte, generando pérdidas de infraestructura (vías, edificios), interrupción de accesos, pérdidas de zonas productivas, y en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades. Así mismo, también se ha presentado afectación a cuerpos de agua, los cuales son aprovechados para la producción eléctrica, y, en consecuencia, se presentan flujos de agua con sedimentación disminuyendo la eficiencia de las turbinas generadoras y en el peor de los casos cese de operaciones.
	 Eólico		Los procesos de remoción en masa alteran el suelo de soporte, generando pérdidas de infraestructura (vías, edificios), interrupción de accesos, pérdidas de zonas productivas, y en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades. Así mismo, provocan el bloqueo de vías del entorno, creando dificultades de acceso a los sitios de producción eléctrica, lo cual genera por diversas vías un incremento de los costos de producción.
	 Fotovoltaicas		

Entorno			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Transmisión		Los procesos de remoción en masa alteran el suelo de soporte, generando pérdidas de infraestructura (vías, edificios), interrupción de accesos, pérdidas de zonas productivas, y en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades. Así mismo, estos eventos presentan dificultades de acceso a los sitios donde se encuentra la infraestructura de transmisión, lo cual genera un incremento de los costos de mantenimiento.
 Incendios forestales	 Hidroeléctricas		Los incendios forestales generan pérdida de cobertura vegetal, pérdidas directas sobre la propiedad (infraestructura, cosechas, animales doméstico, ganado), afectación sobre las actividades económicas, impactos sobre la regulación del recurso hídrico en el área, aislamiento parcial de zonas y pérdida de productividad del suelo. Esto, se traduce en pérdidas de eficiencia e interrupciones la operación de la central hidroeléctrica a largo plazo.
	 Eólico		Los incendios forestales generan pérdida de cobertura vegetal, pérdidas directas sobre la propiedad (infraestructura, cosechas, animales doméstico, ganado), afectación sobre las actividades económicas, impactos sobre la regulación del recurso hídrico en el área, aislamiento parcial de zonas y pérdida de productividad del suelo. Así mismo, estas situaciones llevan a situaciones de aislamiento parcial de las zonas, impidiendo el acceso a las áreas y generando una Interrupción temporal de actividades de producción.
	 Fotovoltaicas		
	 Transmisión		

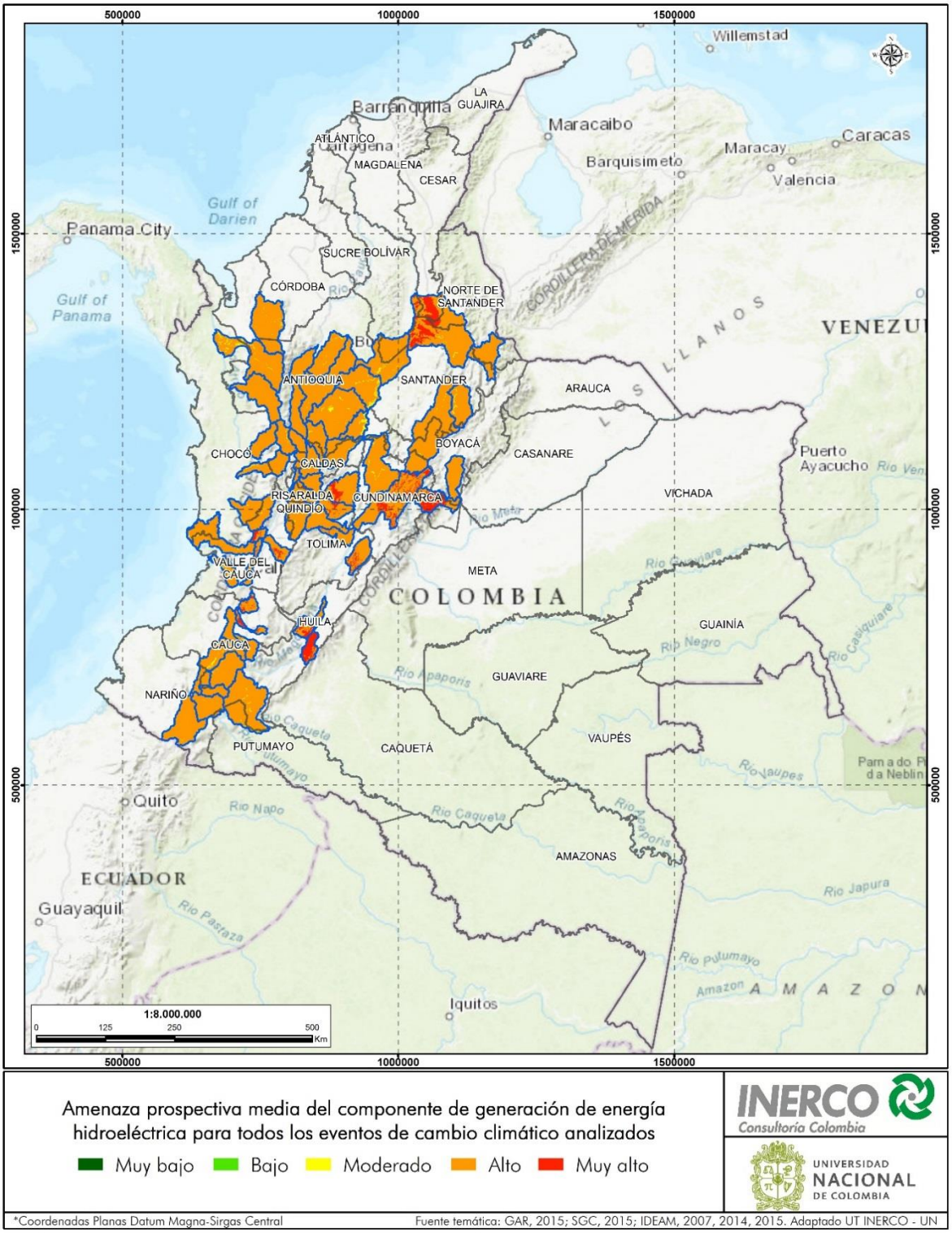
Entorno			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Aumento de temperatura	 Hidroeléctricas		El aumento de temperatura ambiente genera incrementos en la temperatura del agua de mar y de los ríos provocando la aparición de vectores y un incremento en la demanda del sistema por conceptos de refrigeración, por lo que la oferta de energía eléctrica se puede ver disminuida.
	 Térmicas		
	 Eólico		
	 Fotovoltaicas		
	 Transmisión		
 Aumento del niv del mar	 Térmicas		El aumento del nivel del mar, genera afectaciones al entorno, provocando pérdidas directas e indirectas en función de la por efecto de la erosión costera, obstrucción de vías relevantes para las comunidades y las empresas del sector y limitación al acceso a los puntos donde se da la generación, afectaciones a la actividad económica, inundaciones de cultivos e incremento de la dificultad para realizar las actividades de operación y mantenimiento.

Entorno			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Eólico		El aumento del nivel del mar, genera afectaciones al entorno, provocando pérdidas directas e indirectas en función de la por efecto de la erosión costera, obstrucción de vías relevantes para las comunidades y las empresas del sector y limitación al acceso a los puntos donde se da la generación, afectaciones a la actividad económica, inundaciones de cultivos e incremento de la dificultad para realizar las actividades de operación y mantenimiento.
	 Fotovoltaicas		
Tormentas y huracanes	 Térmicas		Las tormentas tropicales generan pérdidas directas de activos y actividades económicas, lo que se ve reflejado, en la inundación de campos de cultivos, daños directos en infraestructuras, afectaciones a ganaderías, interrupción de vías, acueductos, alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. A su vez, estos eventos incrementan la erosión costera poniendo en riesgo la infraestructura vial aledaña lo que podría afectar el transporte regional utilizado para el suministro del energético (p.e. carbón) o para el acceso a la planta de generación.
	 Eólico		Las tormentas tropicales generan pérdidas directas de activos y actividades económicas, lo que se ve reflejado, en la inundación de campos de cultivos, daños directos en infraestructuras, afectaciones a ganaderías, interrupción de vías, acueductos, alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. A su vez, estos eventos incrementan la erosión costera poniendo en riesgo la infraestructura vial aledaña lo que podría afectar el transporte regional utilizado para el suministro del energético (p.e. carbón) o para el acceso a la planta de generación.
	 Fotovoltaicas		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

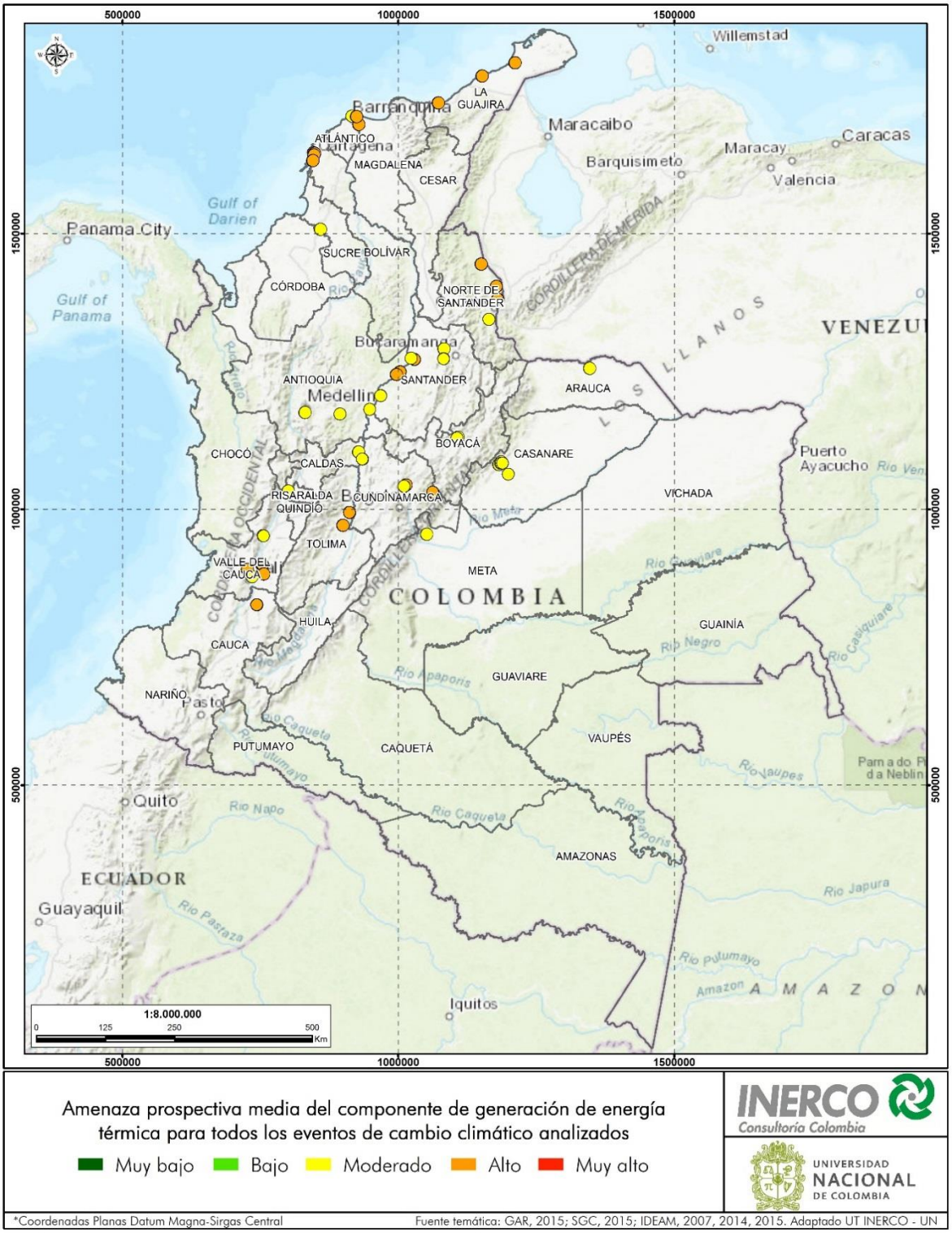
A continuación se presentan los mapas de amenazas por componente:

Figura 4-10 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación hidroeléctrica



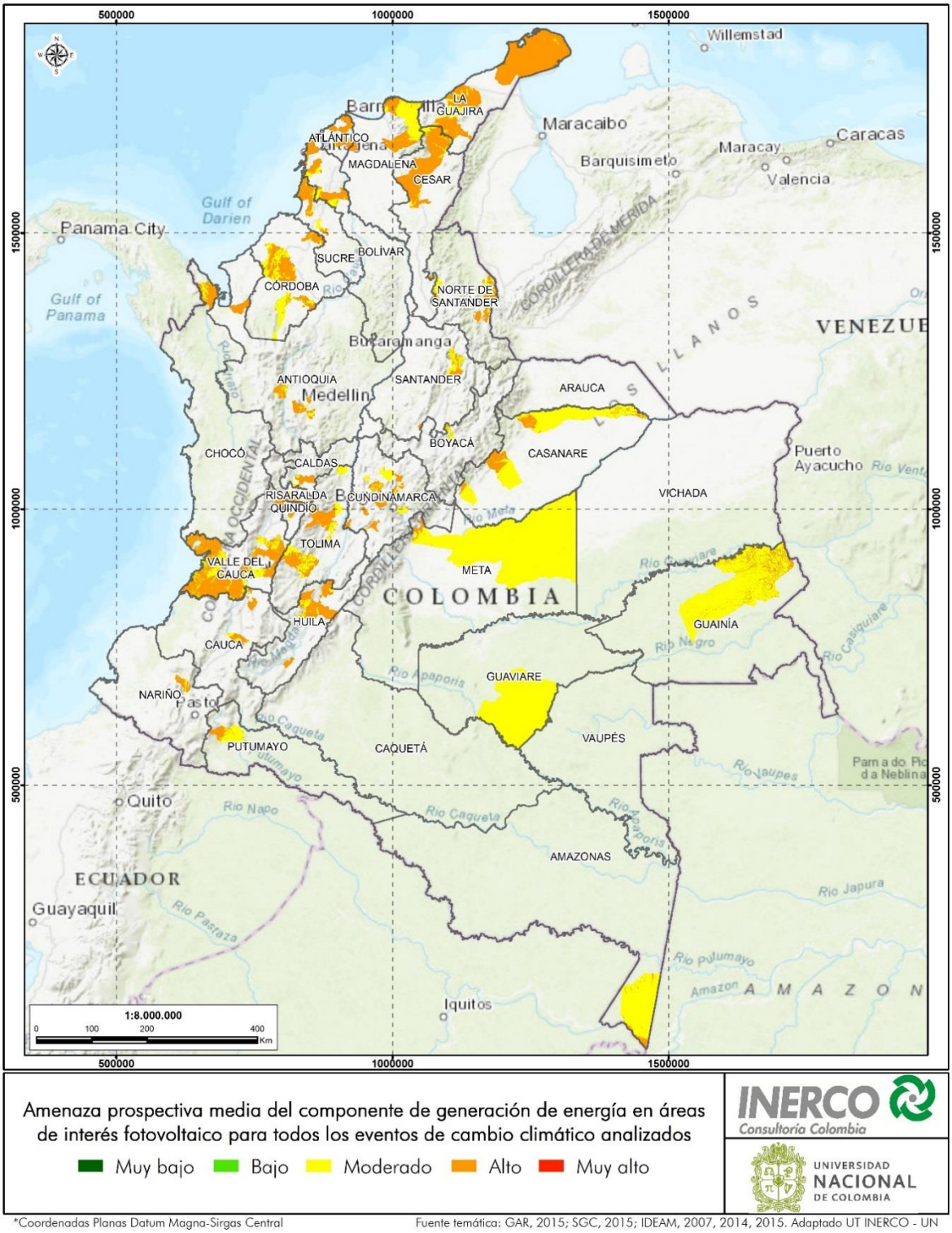
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 4-11 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación térmica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 4-12 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación fotovoltaica



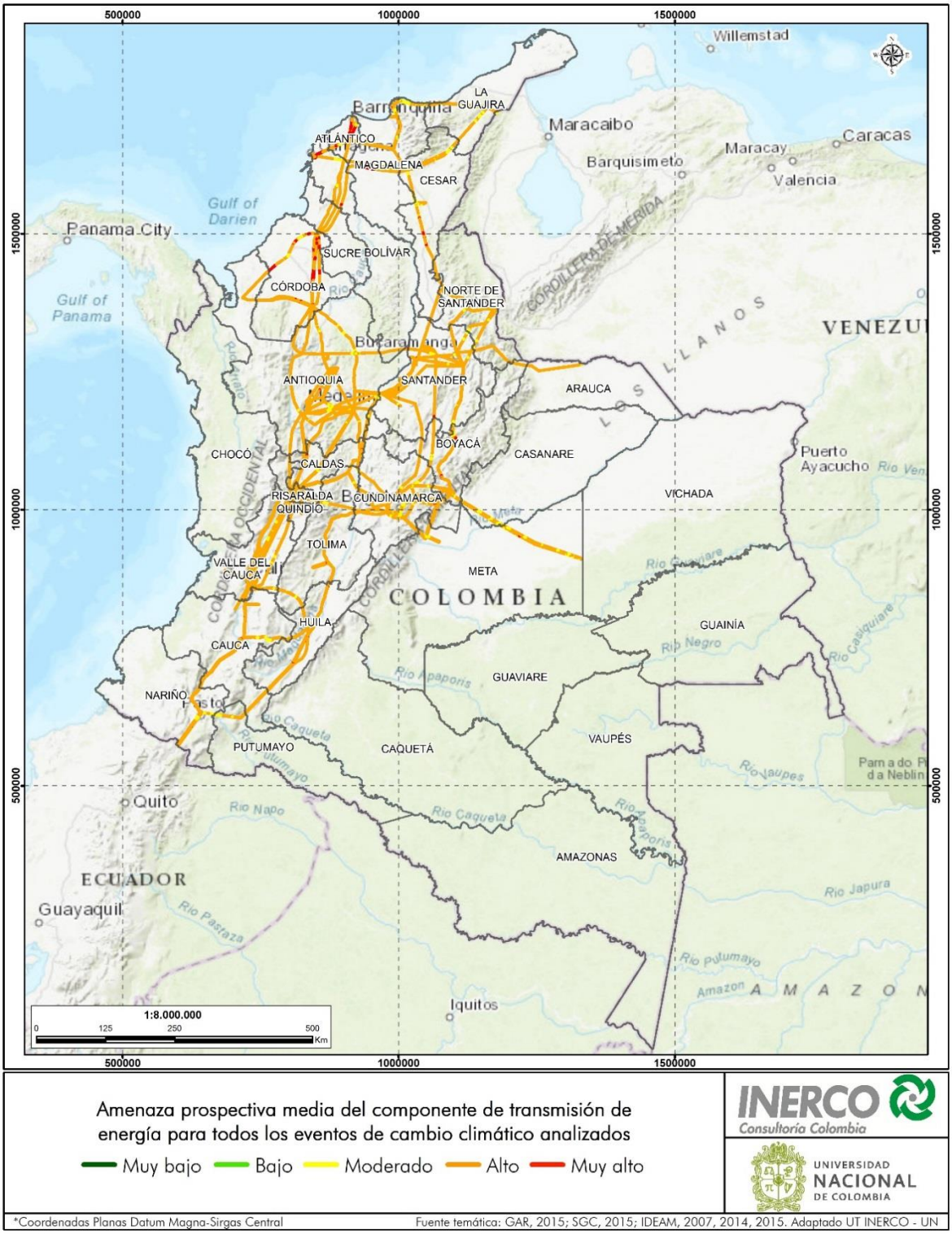
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 4-13 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación eólica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 4-14 Amenaza prospectiva media del componente de transmisión



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

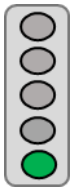
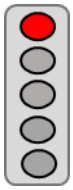
4.4.2 Variabilidad Climática

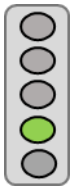
A continuación se presentan las amenazas para el subsector de hidrocarburos, derivado del cruce entre la calificación de las amenazas, realizado por el experto subsectorial correspondiente y el mapa de susceptibilidad virtual para los escenarios de variabilidad climática y las áreas del sistema.

4.4.2.1 Fenómeno de La Niña

En el caso del fenómeno de La Niña sólo se consideraron los eventos de inundaciones, remoción en masa.

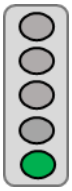
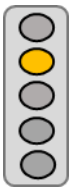
Tabla 4-5 Amenazas al sistema para el componente de generación del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Generación			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Hidroeléctricas		La inundación puede causar rebosamiento natural de embalses y puede afectar la infraestructura para la generación de electricidad (p.e generación a filo de agua) por el exceso en los niveles del caudal. Esto, a su vez, implica un cese de actividades en la generación eléctrica y, por ende, un posible incumplimiento con el CND. Así mismo, dicho rebosamiento puede exacerbar los efectos de la inundación en las pérdidas directas de activos y el efecto negativo en actividades económicas.
	 Térmicas		La inundación puede ocasionar afectaciones de la infraestructura, lo que puede ocasionar cese de actividades en la generación eléctrica, p.e. rebose de los sistemas de tratamiento. Esto, a su vez, puede llevar a un incumplimiento de los compromisos contractuales de entrega de energía al CND y, por ende, se daría una reducción en los ingresos de la generadora.
 Remoción en masa	 Hidroeléctricas		Los procesos de remoción en masa pueden causar daños a la infraestructura, esto puede ocasionar, en el corto plazo afectación y/o cese en la operación de la central de generación eléctrica y disminución en la vida útil del embalse en el largo plazo. Esto, incrementa los costes de mantenimiento y pone en riesgo el cumplimiento de los compromisos contractuales de entrega de energía al CND y, por ende, los ingresos de la

Generación			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
			generadora.
	 Eólico		Los vertimientos no intencionales al suelo eventualmente generados, pueden provocar demandas, conflictos legales, pérdida de credibilidad, pérdida de reputación.

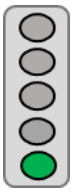
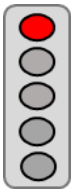
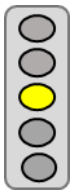
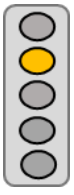
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 4-6 Amenazas al sistema para el componente de transmisión del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Transmisión			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Transmisión		Las inundaciones pueden afectar los cimientos de las torres y afectar la estabilidad de la estructura, lo que perjudica la operación de las diferentes subestaciones del STN o STR (p. ej. maniobra, elevación, reducción). Este evento genera la erosión, causando daños a la infraestructura y una eventual desatención de la demanda y/o pausa en el servicio. Estos eventos pueden afectar el perfil físico de las bases de las torres, lo cual debe ser tratado con actividades de mantenimiento efectivas para garantizar la estabilidad de la torre y evitar pérdidas directas de activos y efectos negativos en diferentes actividades económicas por derribamiento puede ocasionar.
 Remoción en masa			La remoción en masa puede afectar la infraestructura del transporte de energía (subestaciones, torres y por ende conductores), afectando la continuidad del servicio de transporte de energía y, por ende, la confiabilidad del sistema de transmisión. Como medida de mitigación de este potencial riesgo, deben adelantarse actividades de mantenimiento apropiadas para evitar un eventual derribamiento, lo que se traduciría en pérdidas directas de activos y efectos negativos en diferentes actividades económicas.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

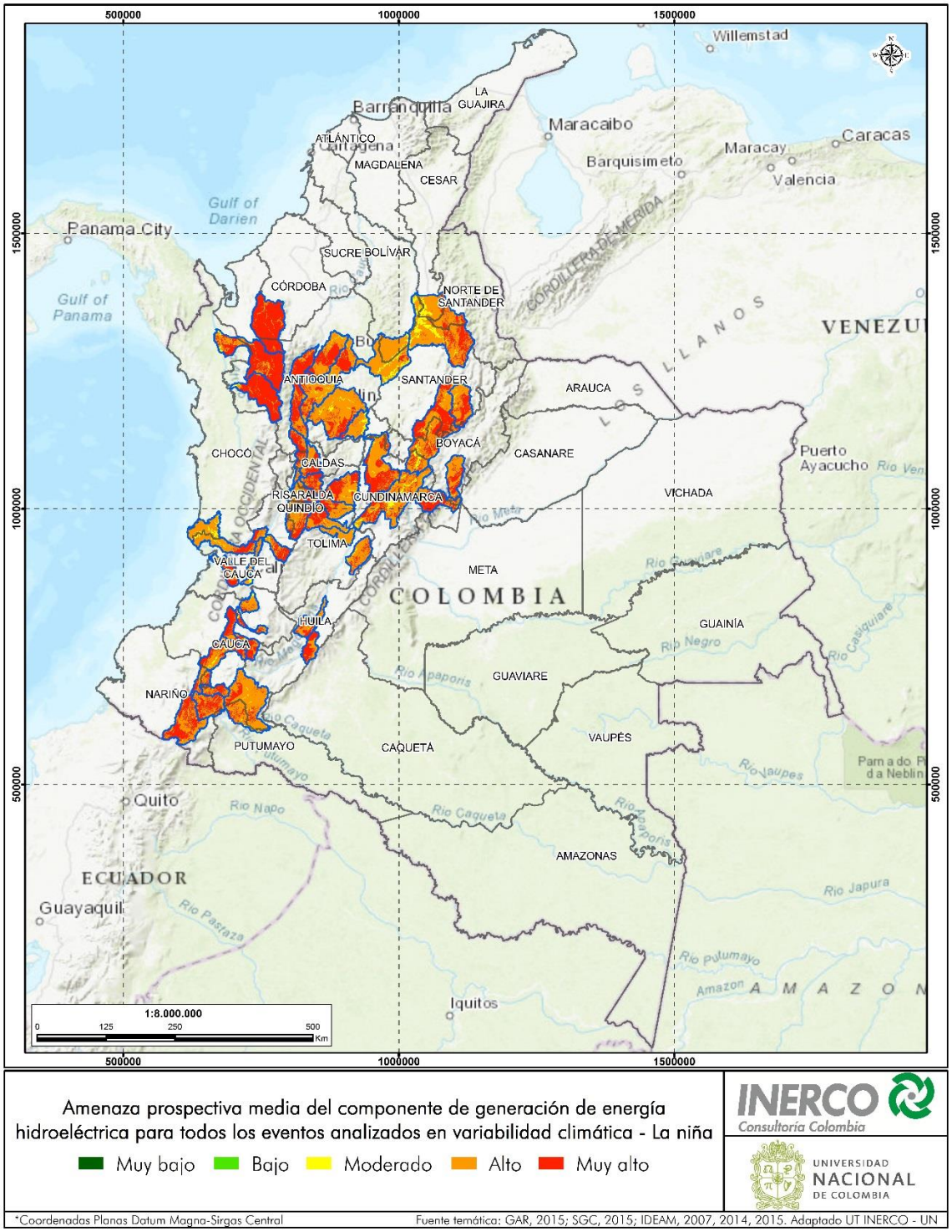
Tabla 4-7 Amenazas al entorno del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Entorno			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Inundación	 Térmicas		Las inundaciones generan pérdidas directas de activos, infraestructuras y actividades económicas, específicamente en la inundación de campos de cultivos, actividades ganaderas, interrupción de vías, acueductos, alcantarillados. En casos extremos se pueden producir pérdidas de vidas. Esto puede afectar el suministro energético a la planta de generación (p.e. carbón).
 Remoción en masa	 Hidroeléctricas		Los procesos de remoción en masa alteran el suelo de soporte, generando pérdidas de infraestructura (vías, edificios), interrupción de accesos, pérdidas de zonas productivas, y en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades. Así mismo, también se ha presentado afectación a cuerpos de agua, los cuales son aprovechados para la producción eléctrica, y, en consecuencia, se presentan flujos de agua con sedimentación disminuyendo la eficiencia de las turbinas generadoras y en el peor de los casos cese de operaciones.
	 Eólico		Los procesos de remoción en masa alteran el suelo de soporte, generando pérdidas de infraestructura (vías, edificios), interrupción de accesos, pérdidas de zonas productivas, y en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades. Así mismo, provocan el bloqueo de vías del entorno, creando dificultades de acceso a los sitios de producción eléctrica, lo cual genera por diversas vías un incremento de los costos de producción.
	 Transmisión		Los procesos de remoción en masa alteran el suelo de soporte, generando pérdidas de infraestructura (vías, edificios), interrupción de accesos, pérdidas de zonas productivas, y en eventos extremos, pérdidas de vidas en comunidades. Así mismo, estos eventos presentan dificultades de acceso a los sitios donde se encuentra la infraestructura de transmisión, lo cual genera un incremento de los costos de mantenimiento.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

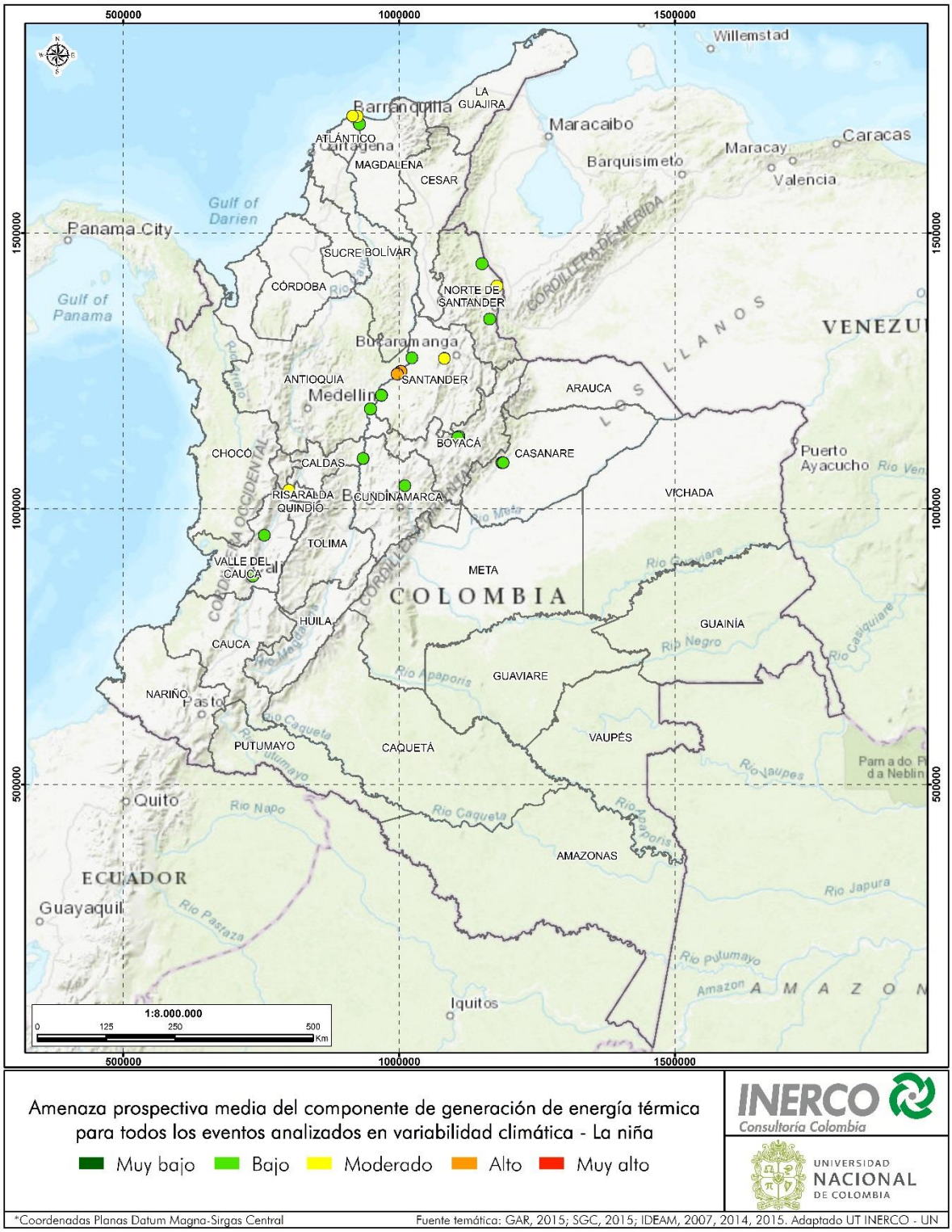
A continuación se presentan los mapas de amenaza por componente:

Figura 4-15 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación hidroeléctrica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Figura 4-16 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación térmica



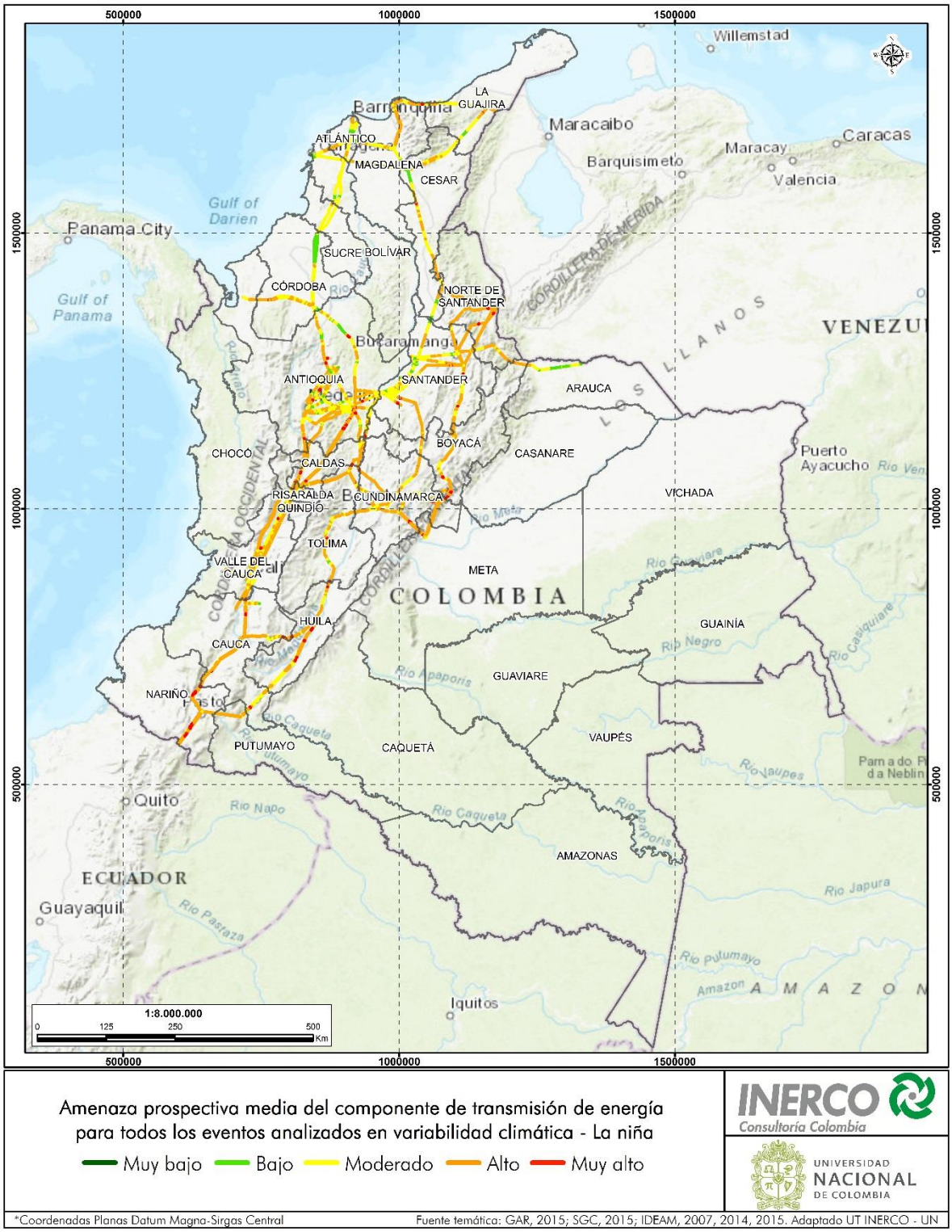
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Figura 4-17 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación eólica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Figura 4-18 Amenaza prospectiva media del componente de transmisión

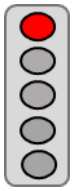
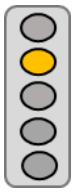


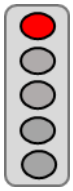
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

4.4.2.2 Fenómeno de El Niño

En el caso del fenómeno de El Niño sólo se consideraron los eventos de desabastecimiento hídrico y aumento de la temperatura.

Tabla 4-8 Amenazas al sistema para el componente de generación del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de el Niño

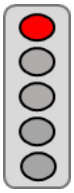
Generación			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Hidroeléctricas		En eventos de sequía se compromete la disponibilidad del recurso hídrico, por evaporación de agua superficial y disminución general de disponibilidad de efluentes en presas y por lo tanto se compromete también la producción de energía eléctrica, lo que se traduce en la disminución de la oferta de energía eléctrica por parte de los generadores y para suplir la demanda afecta los ingresos y genera posibles incumplimientos con el CND y, como última consecuencia, genera condiciones de racionamiento eléctrico en el territorio nacional.
	 Térmicas		En eventos de sequía al reducirse la oferta hídrica se puede ver comprometida la eficiencia de equipos involucrados en los procesos de producción de energía y refrigeración de equipos, poniendo en riesgo la operación de la central térmica y potencialmente puede generar efectos negativos sobre los compromisos contractuales de entrega de energía al CND y por ende los ingresos de la generadora (Nota: la demanda de agua depende de la tecnología empleada para la generación, la tecnología de refrigeración de equipos y la capacidad efectiva de la planta).

Generación			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Aumento de temperatura	 Hidroeléctricas		En eventos de olas de calor se disminuye la disponibilidad del recurso hídrico por evaporación de agua superficial y disminución de la eficiencia de la planta de generación eléctrica (estrés térmico), lo que generaría dificultades para mantener los niveles de producción de energía eléctrica y suplir la demanda afectando los ingresos y generando posible incumplimientos con el CND. En efecto, estas condiciones pueden conducir a un racionamiento eléctrico para suplir la demanda. Así mismo, estos eventos exacerban la competencia por el acceso al recurso hídrico y puede generar pérdida de reputación por parte de las empresas.
	 Térmicas		Los aumentos en la temperatura traen consigo disminución en la diferencia entre la temperatura ambiental y la temperatura de combustión reduciendo la eficiencia de calderas, turbinas y grupos electrógenos (gensets). La reducción en la energía de salida es proporcional al incremento en la temperatura.
	 Eólico		El aumento de temperaturas altera el régimen de vientos afectando el patrón de producción.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

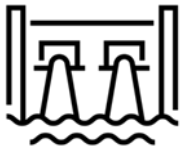
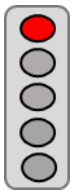
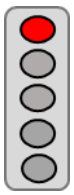
Tabla 4-9 Amenazas al sistema para el componente de transmisión del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de El Niño

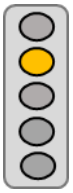
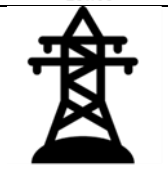
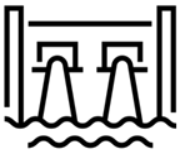
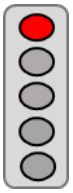
Transmisión			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**

Transmisión			
Sistema			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Incendios forestales	 Transmisión		Los incendios forestales pueden afectar la temperatura de operación de la infraestructura de transmisión incrementando las perdidas en la línea y reduciendo la eficiencia del sistema. Esto, a su vez, se ve reflejado en la perdida en el aislamiento de los conductores que puede generar cese de la operación y desatención de la demanda.
 Aumento de temperatura			Eventos de estrés térmico producto del aumento de temperatura, pueden aumentar las perdidas en las líneas de transmisión, especialmente aquellas líneas con limitaciones de capacidad de carga, debido a que se generan pérdidas de eficiencia. Estos eventos pueden ocasionar, además a los anteriores efectos, pérdidas en el aislamiento de los conductores que puede generar cese de la operación y desatención de la demanda.

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 4-10 Amenazas al entorno del subsector de energía eléctrica – variabilidad climática fenómeno de El Niño

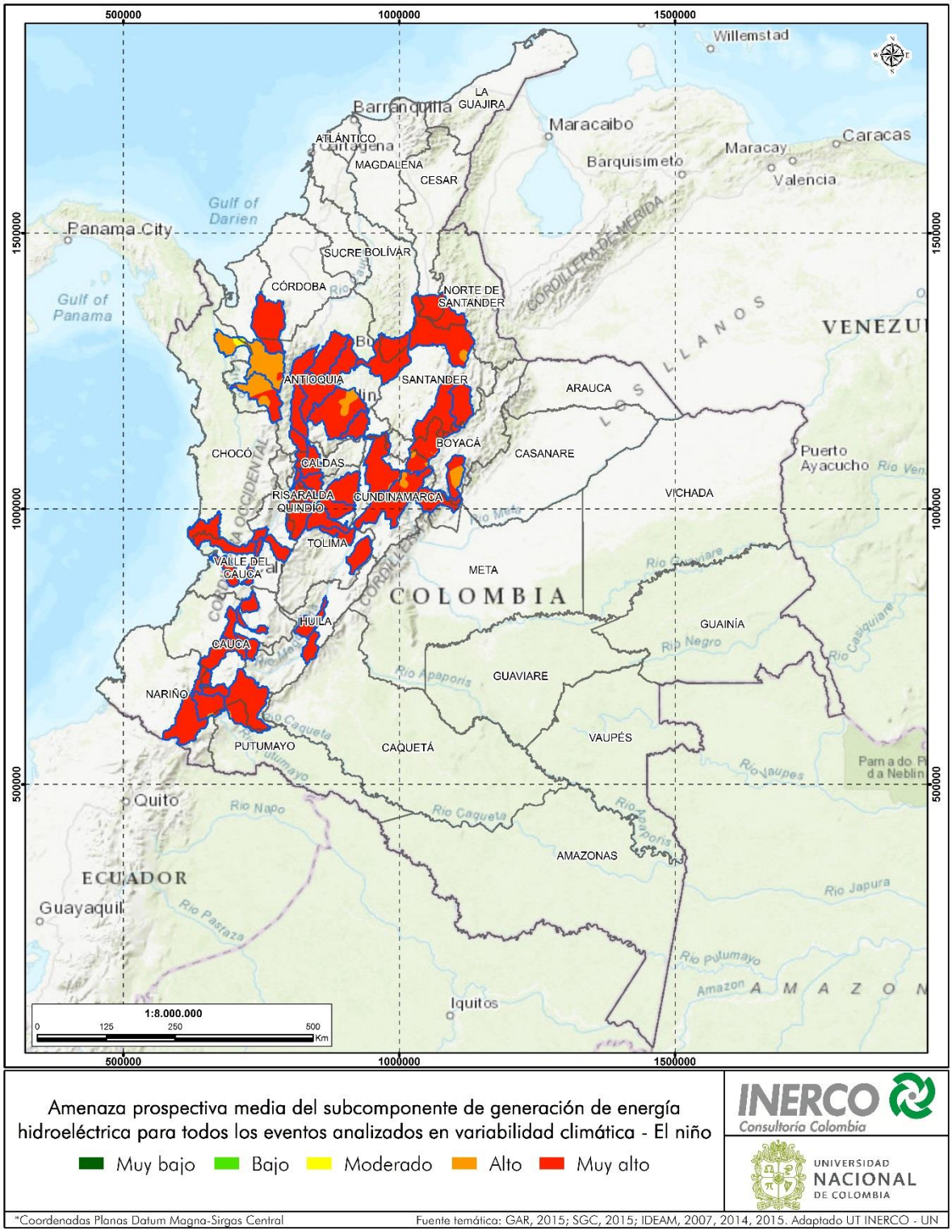
Entorno			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
 Desabastecimiento Hídrico	 Hidroeléctricas		El desabastecimineto hídrico reduce la oferta hídrica neta e incrementa la demanda total (doméstica, agrícola, pecuaria, servicios e industrial) creando conflictos (competencia) por el acceso al recurso al elevar el índice de escasez hídrica y causar presión sobre los niveles de producción pesquera. Esta situación puede generar afectación sobre la reputación de las empresas.
 Incendios forestales	 Hidroeléctricas		Los incendios forestales generan pérdida de cobertura vegetal, pérdidas directas sobre la propiedad (infraestructura, cosechas, animales doméstico, ganado), afectación sobre las actividades económicas, impactos sobre la regulación del recurso hídrico en el área, aislamiento parcial de zonas y pérdida de productividad del suelo. Esto, se traduce en pérdidas de eficiencia e interrupciones la operación de la central hidroeléctrica a largo plazo.

Entorno			
Evento amenazante	**Subcomponente**	**Nivel de amenaza**	**Descripción**
	 Eólico		Los incendios forestales generan pérdida de cobertura vegetal, pérdidas directas sobre la propiedad (infraestructura, cosechas, animales doméstico, ganado), afectación sobre las actividades económicas, impactos sobre la regulación del recurso hídrico en el área, aislamiento parcial de zonas y pérdida de productividad del suelo. Así mismo, estas situaciones llevan a situaciones de aislamiento parcial de las zonas, impidiendo el acceso a las áreas y generando una Interrupción temporal de actividades de producción.
	 Transmisión		
 Aumento de temperatura	 Hidroeléctricas		El aumento de temperatura ambiente genera incrementos en la temperatura del agua de mar y de los ríos provocando la aparición de vectores y un incremento en la demanda del sistema por conceptos de refrigeración, por lo que la oferta de energía eléctrica se puede ver disminuida.
	 Térmicas		
	 Eólico		
	 Transmisión		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

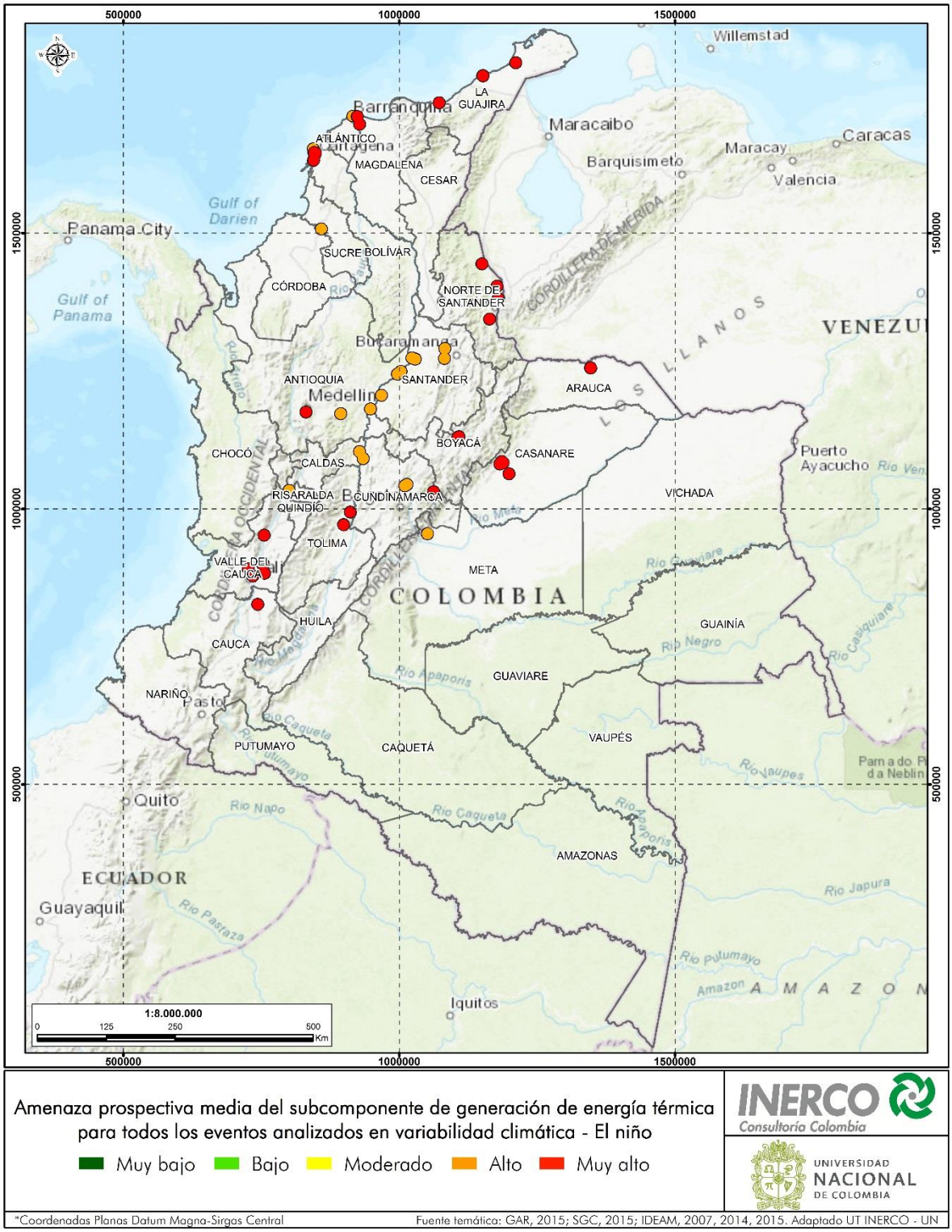
A continuación se presentan los mapas de amenaza por componente:

Figura 4-19 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación hidroeléctrica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Figura 4-20 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación térmica



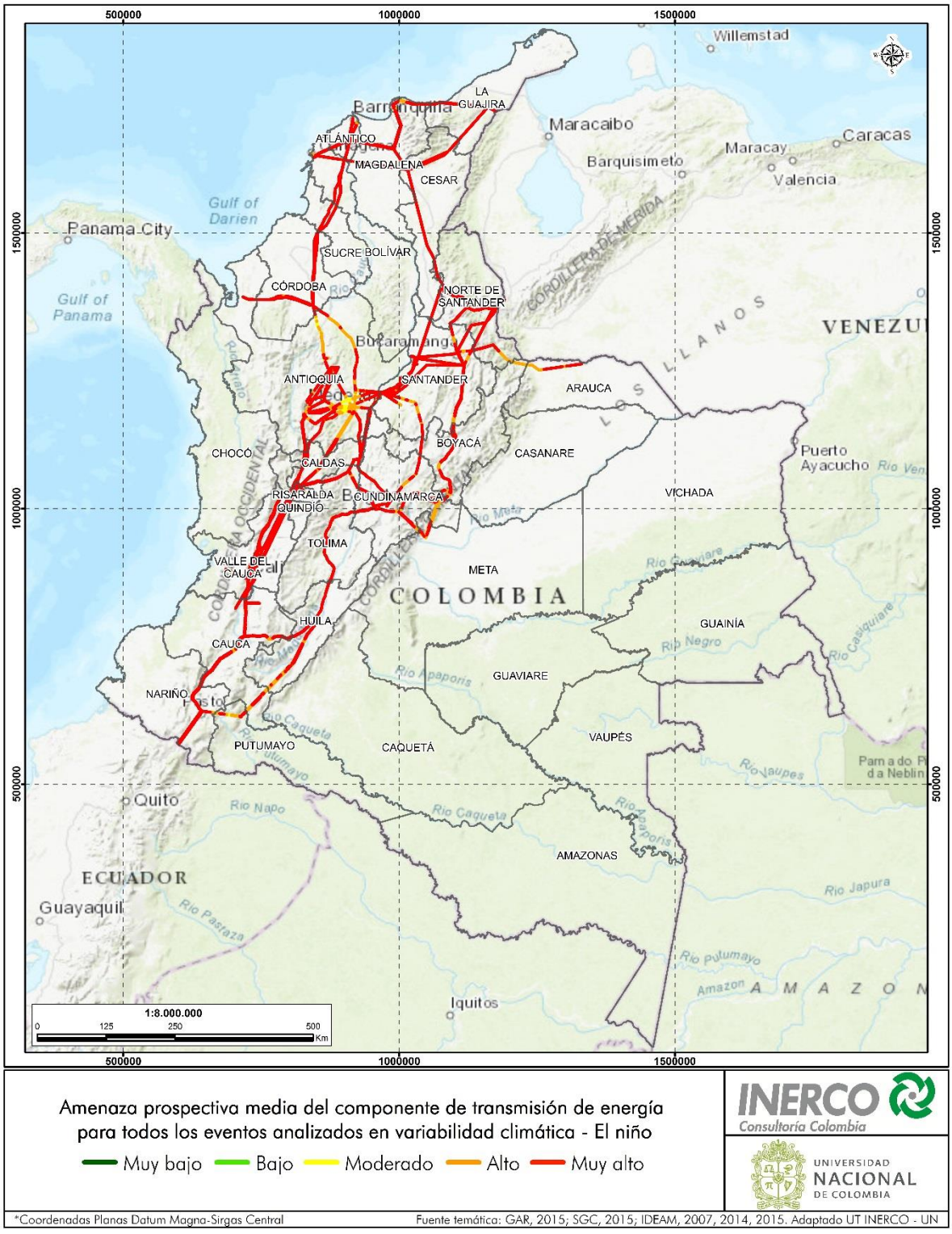
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Figura 4-21 Amenaza prospectiva media del subcomponente de generación eólica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Figura 4-22 Amenaza prospectiva media del componente de transmisión



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

4.5 Índice de vulnerabilidad del sistema de la energía eléctrica

4.5.1 Índice de sensibilidad del sistema de la energía eléctrica

Tabla 4-11 Indicadores de sensibilidad del subsector energía eléctrica para el componente generación

Aspecto	Peso aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de Medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
Estructura empresarial	60 %	Eficiencia en la planeación, administración y ejecución de las actividades	20,00 %	Cumplimiento de compromisos contractuales con el CND.	Promedio de porcentajes de la generación proyectada por el CND no atendida por la oferta de generación (2007-2016).	0,28 %	10,00 %	0,03 %
		Capacidad Operativa	20,00 %	Oferta de energía eléctrica.	Porcentaje de la generación eléctrica que está a cargo de empresas que no se encuentran entre las 50 más grandes de Colombia según Revista Dinero.	31,06 %	10,00 %	3,11 %
		Calidad de los procesos	20,00 %	Adopción de normas de calidad de procesos institucionalizados.	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación en la matriz energética) sin actualizar su sistema de gestión ambiental a la versión 2015 de la norma ISO 9001.	100,00 %	5,00 %	5,00 %
				Adopción de normas de responsabilidad social institucionalizadas.	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación en la matriz energética) sin implementar mecanismos de medición de la gestión social empresarial (GRI, ISO 26000, DJSI).	31,06 %	5,00 %	1,55 %
				Adopción de normas de calidad de gestión ambiental	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación en la matriz	100,00 %	5,00 %	5,00 %

Aspecto	Peso aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de Medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
				institucionalizados.	energética) sin actualizar su sistema de gestión ambiental a la versión 2015 de la norma ISO 14001.			
				Calidad de la seguridad Industrial y salud ocupacional.	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación en la matriz energética) sin certificar su sistema de gestión de salud ocupacional y seguridad en el trabajo OSHAS 18001.	0,00 %	5,00 %	0,00 %
Operación técnica	20 %	Sensibilidad de la operación	20,00%	Generación eléctrica que para el suministro de su fuente de producción necesita el uso de vías de transporte.	Porcentaje de producción energética que requiere de vías de transporte para el suministro de su energético.	7,10 %	6,67 %	0,47 %
				Calidad de las vías del país.	Porcentaje de la red pavimentada en mal estado.	22,00 %	6,67 %	1,47 %
					Porcentaje de la red afirmada en mal estado.	56,00 %	6,67 %	3,73 %
Infraestructura física	20 %	Calidad de la infraestructura	20,00%	Continuidad de la operación.	Relación porcentual entre las horas con salidas forzadas sobre el total de horas al año.	12,24 %	20,00 %	2,45 %
						Total	**80,00 %**	**22,81 %**
						Bajo		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 4-12 Indicadores de sensibilidad del subsector energía eléctrica para el componente transmisión

Aspecto	Peso aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
Estructura empresarial	60 %	Eficiencia en la planeación, administración y ejecución de las actividades	20,00 %	Indisponibilidad de Activos del STN.	Porcentaje de horas de indisponibilidad de activos del STN por total de horas de operación	15,15 %	10,00 %	1,52 %
				Indisponibilidad de líneas del STN.	Porcentaje de horas de indisponibilidad de líneas del STN por total de horas de operación.	36,90 %	10,00 %	3,69 %
		Capacidad Operativa	20,00 %	Oferta del servicio de transmisión.	Porcentaje de kilómetros de línea del STN que está a cargo de empresas que no se encuentran entre las 50 más grandes de Colombia según Revista Dinero.	23,23 %	10,00 %	2,32 %
		Calidad de los procesos	20,00 %	Adopción de normas de calidad de procesos institucionalizados.	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación (en km) del STN) sin actualizar su sistema de gestión ambiental a la versión 2015 de la norma ISO 9001.	100 %	5,00 %	5,00 %
				Adopción de normas de responsabilidad social institucionalizadas.	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación (en km) del STN) sin implementar mecanismos de medición de la gestión social empresarial (GRI, ISO 26000, DJSI).	36,90 %	5,00 %	1,85 %
				Adopción de normas de calidad de gestión ambiental institucionalizados.	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación (en km) del STN) sin actualizar su sistema de gestión ambiental	100 %	5,00 %	5,00 %

Aspecto	Peso aspecto	Factores	Peso factores	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso indicador	Valor ponderado
					a la versión 2015 de la norma ISO 14001.			
				Calidad de la seguridad Industrial, salud ocupacional y medio ambiente.	Porcentaje de empresas (ponderado por su participación (en km) del STN) sin certificar su sistema de gestión de salud ocupacional y seguridad en el trabajo OSHAS 18001.	0,00 %	5,00 %	0,00 %
Operación técnica	20 %	Sensibilidad de la operación	20,00 %	Energía importada.	Porcentaje de energía importada con respecto al total de la demanda.	0,57 %	6,67 %	0,04 %
Infraestructura física	20 %	Calidad de la infraestructura	20,00 %	Grado se suplencia o redundancia del sistema.	Porcentaje de la demanda no atendida con respecto a la demanda total.	0,07 %	20,00 %	0,01 %
						Total	**76,67 %**	**19,42 %**
						Bajo		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

4.5.2 Índice de capacidad de adaptación del sistema de la energía eléctrica

Tabla 4-13 Indicadores de capacidad de adaptación del subsector energía eléctrica para el componente generación

Recursos	Peso	Factores	Peso	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso	Valor ponderado
Recursos financieros	50,00 %	Activos	25,00 %	Empresa con índice de liquidez superior a 1.	Ponderación de la generación energética que está a cargo de empresas con un índice de liquidez superior a 1.	36,76 %	12,50 %	4,60 %
				Empresas con nivel de endeudamiento igual o menor a 0,7.	Ponderación de la generación energética que está a cargo de empresas con un índice de endeudamiento inferior a 0,7.	80,72 %	12,50 %	10,09 %

Recursos	Peso	Factores	Peso	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso	Valor ponderado
		Ventas o ingresos operacionales	25,00 %	Cantidad de empresas con las mayores ventas o ingresos operacionales.	Porcentaje de producción energética a cargo de empresas entre las 20 con más ventas o ingresos operacionales en el país.	20,96 %	25,00 %	5,24 %
Recursos empresariales.	30,00 %	Recursos humanos	10,00 %	Condiciones del recurso humano.	Promedio rotación del personal.	6,56 %	10,00 %	0,66 %
		Compromiso empresarial	10,00 %	Existencia de medidas concretas hacia el cambio climático o sus efectos.	Las compañías han elaborado o están elaborando planes de adaptación/ respuesta a emergencias/ información.	59,93 %	10,00 %	5,99 %
		Mecanismos de colaboración y difusión de experiencias	10,00 %	Existencias de gremios o asociaciones de empresas.	Porcentaje de empresas asociadas al gremio más grande del subsector.	92,03 %	10,00 %	9,20 %
Recursos sectoriales	20,00 %	Recursos operacionales	10,00 %	Capacidad de respuesta del componente de generación.	Porcentaje de la generación cubierto con las obligaciones de energía firme.	100,00 %	10,00 %	10,00 %
			10,00 %	Comportamiento del componente en escenario critico.	Promedio del volumen útil de los embalses cuando el precio de bolsa supera el precio de escasez.	53,72 %	10,00 %	5,37 %
Recursos institucionales	0,00 %	Marco normativo subsectorial	0,00 %	Existencia de reglamentos técnicos y normativas subsectoriales que incluyan consideraciones del cambio climático.	Incorporación de medidas referentes al cambio climático en la normativa del subsector (S/N).	0,00 %	0,00 %	0,00 %
						Total	**100,00 %**	**51,15 %**
						Alto		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 4-14 Indicadores de capacidad de adaptación del subsector energía eléctrica para el componente transmisión

Recursos	Peso	Factores	Peso	Criterio de medición	Indicador	Valor	Peso	Valor ponderado
Recursos financieros	60,00 %	Activos	30,00 %	Empresas con índice de liquidez superior a 1.	Índice de liquidez superior a 1 de empresas del STN (ponderado por su participación (en km) del STN).	58,44 %	15,00 %	8,77 %
				Empresas con nivel de endeudamiento igual o menor a 0,7.	Indicen de endeudamiento inferior a 0,7 de empresas del STN (ponderado por su participación (en km) del STN).	76,73 %	15,00 %	11,51 %
		Ventas o ingresos operacionales	30,00 %	Cantidad de empresas con las mayores ventas o ingresos operacionales.	%km del STN a cargo de empresas entre las 20 con más ventas o ingresos operacionales en el país.	66,97 %	30,00 %	20,09 %
Recursos empresariales.	40,00 %	Recursos Humanos	20,00 %	Condiciones del recurso humano.	Promedio rotación de personal.	9,51 %	20,00 %	1,90 %
		Compromiso empresarial		Existencia de medidas concretas hacia el cambio climático o sus efectos.	Las compañías han elaborado o están elaborando planes de adaptación/ respuesta a emergencias/ información.	24,20 %	10,00 %	10,00 %
		Mecanismos de colaboración y difusión de experiencias	20,00 %	Existencias de gremios o asociaciones de empresas.	% empresas asociadas al gremio más grande del subsector.	0,00 %	10,00 %	0,00 %
Recursos institucionales	0,00 %	Marco normativo subsectorial	0,00 %	Existencia de reglamentos técnicos y normativas subsectoriales que incluyan consideraciones del cambio climático.	Incorporación de medidas referentes al cambio climático en la normativa del subsector (S/N).	0,00 %	0,00 %	0,00 %
						Total	**100,00 %**	**52,27 %**
						Alto		

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

4.5.3 Índice de vulnerabilidad del sistema de la energía eléctrica

Tabla 4-15 Índice de vulnerabilidad del sistema de la energía eléctrica

Aspecto	Exploración	Producción
Sensibilidad	Bajo	Bajo
Capacidad de adaptación	Alto	Alto
Vulnerabilidad de sistema	Bajo	Bajo

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

4.6 Análisis de riesgo

4.6.1 Cambio Climático

4.6.1.1 Análisis de nivel de amenaza prospectiva del sistema sobre el subsector

Con el propósito de analizar las amenazas prospectivas que enfrentaría el subsector eléctrico por los eventos del cambio climático, que fueron analizados anteriormente; se hizo uso de la información geográfica (SIG), que describe las áreas a lo largo del territorio nacional que presentan alguna posibilidad de riesgo climático en la implementación de las actividades definidas para este estudio de consultoría en los negocios de generación y transmisión de energía eléctrica.

Tabla 4-16 Nivel de amenaza prospectiva del sistema sobre el subsector de energía eléctrica

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Hidroeléctricas - Grandes	Hidroeléctricas - Pequeñas	Térmicas	Eólicas	Solar fotovoltaica	Transmisión
Desabastecimiento hídrico	Alto	Alto	Alto		Alto	
Inundaciones	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo		Muy bajo	Muy bajo
Remoción en masa	Muy alto	Muy alto		Moderado	Moderado	Muy alto
Incendios forestales						Alto
Aumento de temperatura (olas de calor)	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados			Muy bajo	Alto	Moderado	
Tormentas (huracanes)			Muy bajo	Alto	Alto	

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Como se puede apreciar, los efectos asociados a la remoción en masa tienen un nivel de amenaza prospectivo muy alto sobre la generación hidroeléctrica y el sistema de transmisión, así mismo los impactos de los desabastecimientos hídricos tiene un nivel alto en las centrales hidroeléctricas, térmicas y solares fotovoltaicas. Los aumentos de temperatura tienen un nivel de amenaza alto en todo el subsector eléctrico. Así mismo se distingue un nivel de amenaza alto para el aumento del nivel de mar en la generación eólica, nivel que se comparte con la ocurrencia de tormentas y huracanes para este mismo subcomponente.

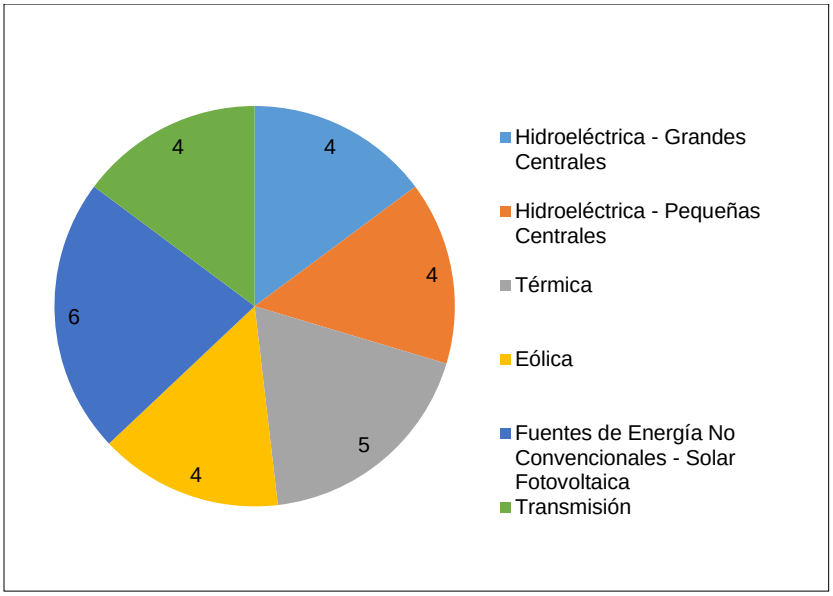
Es de resaltar el nivel de amenaza alto para el aumento de temperatura que afecta a todo el subsector eléctrico se debe principalmente por los esfuerzos que debe hacer el sistema para satisfacer la demanda de energía eléctrica, que bajo estas circunstancias tiende a elevarse por el incremento en consumos de Equipos de refrigeración y aire acondicionado en los diferentes subsectores de la economía.

El único componente afectado por el los efectos de los incendios forestales, es el componente de transmisión, toda vez que parte de su infraestructura atraviesa zonas boscosas que de verse afectadas por este evento puede comprometer la continuidad del servicio de transporte de energía eléctrica.

La generación eólica tiene un nivel alto de amenaza para eventos costeros como el aumento del nivel del mar y la ocurrencia de tormentas y huracanes pues todo el potencial eólico del país se encuentra localizado en el extremo norte de Colombia.

En la siguiente grafica se puede apreciar la cantidad de amenazas prospectivas evaluadas por componente, así como el número de amenazas por su nivel de impacto.

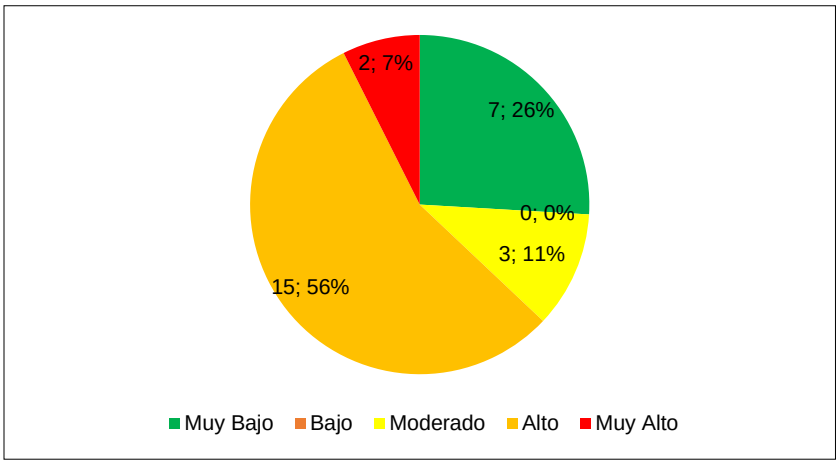
Gráfico 4-1 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Del gráfico anterior se puede concluir que el componente con mayor número de amenazas es el de generación de energía solar fotovoltaica (6), seguido por el componente de generación térmica (5) y con menor número de amenazas se presentan los componentes de generación de hidroeléctricas grandes y pequeñas, eólica y transmisión (4).

Gráfico 4-2 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector



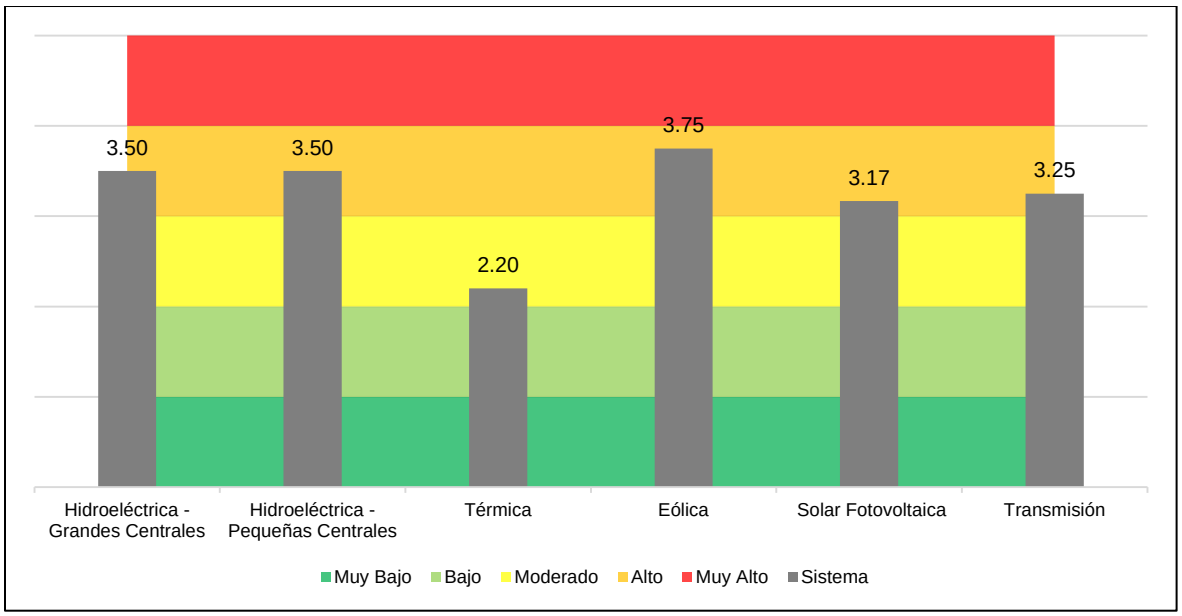
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

De acuerdo con esta gráfica y lo descrito anteriormente, el subsector eléctrico concentra la mayoría de sus amenazas en los eventos de aumentos de temperatura, desabastecimiento hídrico, incendios forestales (transmisión) y remoción en masa.

4.6.1.1.1 Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por componentes o subcomponentes

En esta parte se analizan de manera agregada el nivel de amenaza por cada componente evidenciando su susceptibilidad a la ocurrencia de eventos en el cambio climático. Esto se ilustra en el siguiente gráfico:

Gráfico 4-3 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Salta a la vista el resultado que arroja el análisis para las plantas de generación térmicas, cuyo nivel de amenaza se agrega como moderado. Diferentes al comportamiento de los otros subcomponentes del sistema cuyo nivel de amenaza se agrega como alto.

El primer puesto de este análisis, lo tienen las centrales de generación eólica, que si bien es cierto, su aporte a la matriz energética del país a 2017 es marginal, las áreas de potencial de desarrollo de esta tecnología se da en zonas con probabilidades de ocurrencias de eventos asociados al cambio climático mencionados anteriormente.

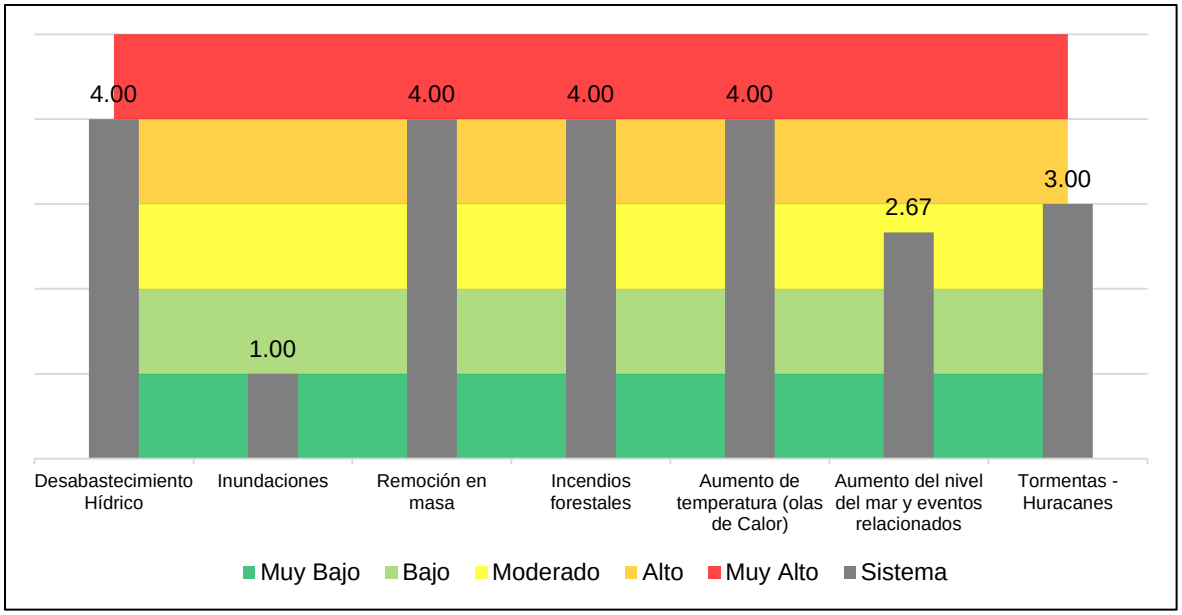
En segundo lugar se encuentran las centrales de generación hidroeléctrica, cuya participación en la matriz de generación nacional da una relevancia alta a la evaluación y

a la probabilidad de que ocurran eventos como desabastecimiento hídrico, remoción en masa y aumentos de temperatura, en las áreas del territorio nacional donde se encuentran localizadas.

4.6.1.1.2 Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por evento

Con el ánimo de desglosar el resultado presentado a manera general en las líneas anteriores, a continuación se presenta el gráfico 4-4 que muestra la distribución de las amenazas analizadas de acuerdo con su nivel de impacto:

Gráfico 4-4 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

La interpretación de esta gráfica es coherente con los sucesos que tuvo que afrontar el subsector eléctrico entre septiembre de 2015 y marzo de 2016 donde un aumento de temperaturas, aunado a la poca disponibilidad de agua comprometió la oferta de energía eléctrica, estos mismos eventos dispararon un incremento en la demanda que empeoró un escenario ya de por si crítico. Estos eventos han acompañado en varias oportunidades al país por lo que su probabilidad de ocurrencia jugó un papel importante en la valoración de la amenaza.

Si bien la valoración hecha para el impacto de la remoción en masa para el componente de transmisión resulto ser baja, el mapa que ilustra las áreas del territorio nacional con probabilidad de tener eventos de esta índole, evidencia que el nivel de amenaza prospectiva para las redes de transmisión es muy alto.

Para este mismo componente, transmisión, resulta relevante analizar el nivel alto de amenaza por incendios forestales y cómo se afecta la temperatura de operación y cómo esto se refleja en las pérdidas de transmisión de la línea.

Para este mismo evento, remoción en masa, se presenta un nivel de amenaza muy alto para las centrales hidroeléctricas, en primer lugar, a su ubicación dentro del territorio nacional y en segundo lugar por el impacto que tendría dicho evento en la operación de la planta hidroeléctrica.

4.6.1.2 Análisis de nivel de amenaza prospectiva del entorno sobre el subsector

Esta evaluación sigue la misma metodología explicada para las amenazas prospectivas directas al sistema, solo que en esta parte se analiza cómo afecta el entorno al sistema en caso de que un evento de cambio climático se diera a lugar.

En la siguiente tabla se ilustra la valoración de las amenazas prospectivas desde el entorno:

Tabla 4-17 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno para el subsector de energía eléctrica

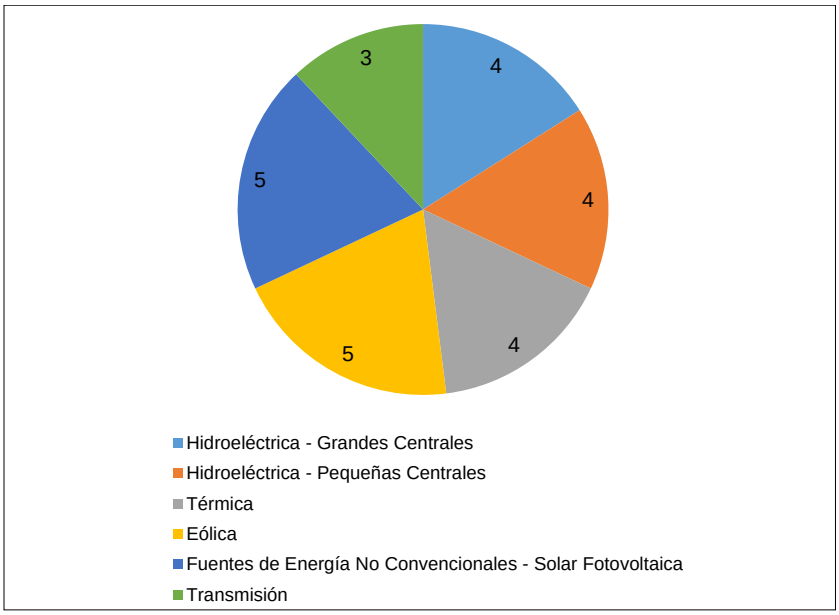
Evento	Componentes y subcomponentes					
	Hidroeléctricas - Grandes	**Hidroeléctricas - Pequeñas**	**Térmicas**	**Eólicas**	**Solar fotovoltaica**	**Transmisión**
Desabastecimiento hídrico	Alto	Alto				
Inundaciones			Muy Bajo			
Remoción en masa	Muy alto	Muy alto		Moderado	Moderado	Alto
Incendios forestales	Alto	Alto		Moderado	Moderado	Alto
Aumento de temperatura (olas de Calor)	Moderado	Moderado	Alto	Alto	Alto	Alto
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados			Muy bajo	Moderado	Bajo	
Tormentas (huracanes)			Muy bajo	Moderado	Bajo	

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Se destaca a simple vista que los dos eventos que representan una amenaza prospectiva desde el entorno para el sistema eléctrico nacional son desabastecimiento hídrico, aumento de temperaturas y remoción en masa.

Particularmente para el componente de trasmisión, los tres eventos analizados para este componente: remoción en masa, incendios forestales y aumento de temperatura, tienen un nivel de amenaza alto visto desde las afectaciones que el entorno puede causar en la ocurrencia de un evento asociado al cambio climático.

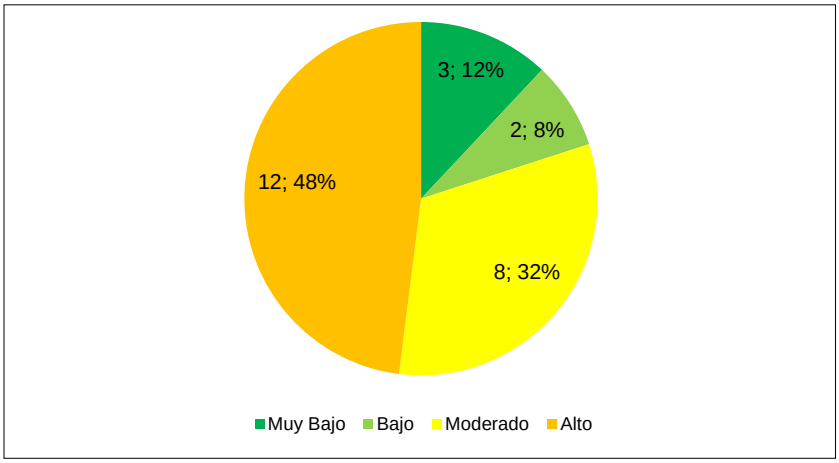
Gráfico 4-5 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Del gráfico anterior se puede concluir que los componentes con mayor número de amenazas son los de generación eólica y solar fotovoltaica (5), seguido por los componentes de generación hidroeléctricas grandes y pequeñas y térmicas (4) y finalmente con menor número de amenazas se presenta el componente de transmisión (3).

Gráfico 4-6 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector



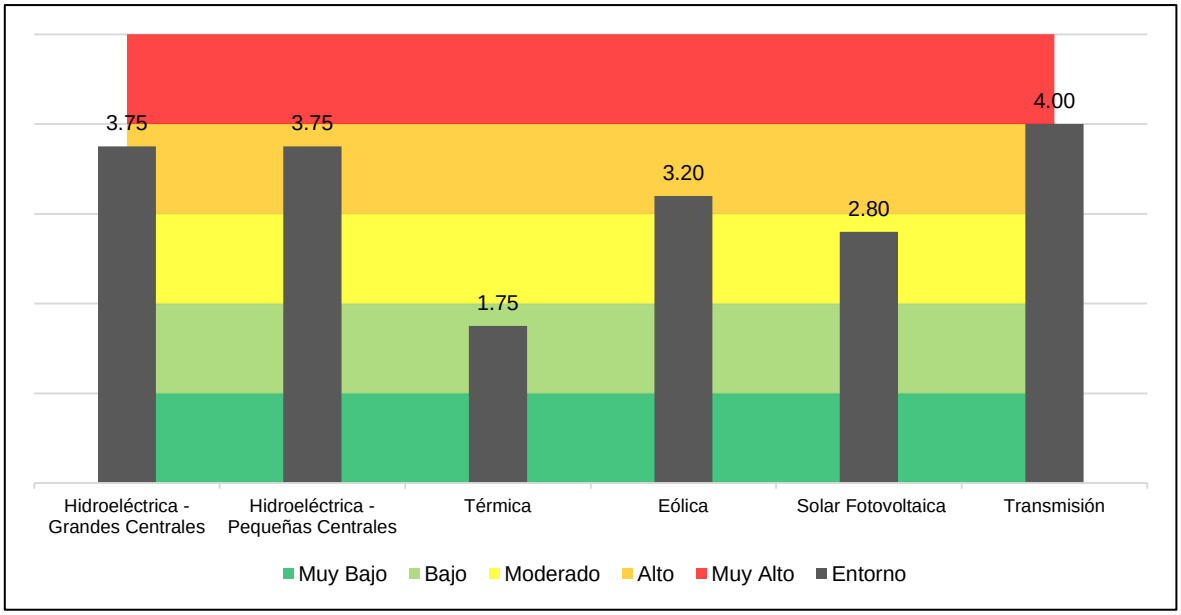
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

De acuerdo con el anterior gráfico, los niveles de amenaza desde el entorno que pueden afectar el sistema eléctrico nacional, se pueden distribuir de la siguiente manera: 48 % se encuentra en un nivel de amenaza alto, 32 % en Moderado, 12 % en muy bajo y 8 % en un nivel de amenaza bajo; lo que lleva a la conclusión que alrededor de un 80% de las amenazas se encuentran en niveles moderados o superiores para el sistema eléctrico nacional.

4.6.1.2.1 Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por componentes o subcomponentes

De manera agregada, a continuación se puede observar el nivel de amenazas desde el entorno para cada uno de los componentes del subsector eléctrico.

Gráfico 4-7 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

El componente del subsector eléctrico más susceptible a las amenazas que vienen desde el entorno, es el sistema de transmisión nacional, vale la pena mencionar que no solo es el potencial de daño que se tiene en cuenta en esta evaluación sino que esta conjugado con la probabilidad de que este evento ocurra en el territorio nacional.

Seguidamente, se encuentran las centrales hidroeléctricas cuyas amenazas agregadas para los eventos de: desabastecimiento hídrico, remoción en masa, incendios forestales y

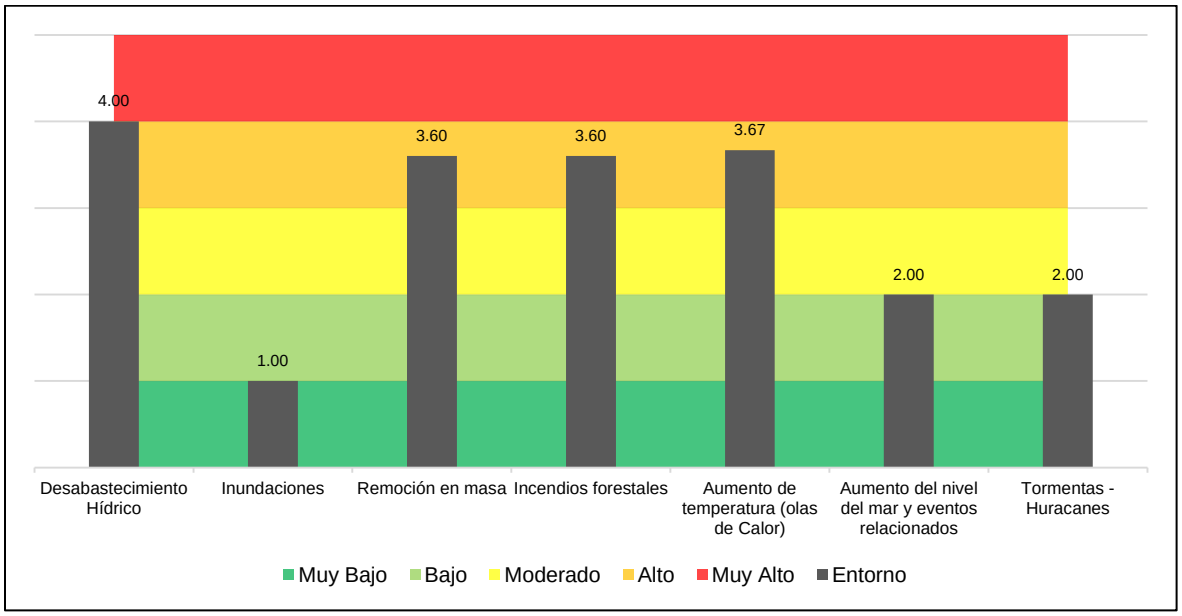
aumentos en la temperatura, aunado a su participación en la matriz energética más la probabilidad de ocurrencia en las zonas donde se encuentra ubicadas, dan un nivel prospectivo de amenaza alta desde el entorno.

La generación eólica también presenta un nivel de amenaza prospectiva alto debido a las afectaciones que la ocurrencia de eventos como aumento del nivel del mar o incluso tormentas o huracanes que puedan afectar el acceso a la infraestructura de generación. Esto mismo sucede para la generación solar fotovoltaica, pero su nivel de amenaza es menor: moderado, debido a la ubicación del desarrollo del potencial solar fotovoltaico a lo largo del territorio nacional.

4.6.1.2.2 Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por evento

Para visualizar como afecta el entorno con la ocurrencia de cada uno de los eventos asociados al cambio climático, se presenta el siguiente gráfico:

Gráfico 4-8 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

El evento que representa mayor amenaza para el sistema, desde el entorno, es el desabastecimiento hídrico pues al comprometerse la disponibilidad del recurso hídrico se aumenta la competencia por este recurso entre las diferentes actividades de la economía nacional, recordando que el principal energético en nuestra matriz de generación es el agua, lo que aporta de manera significativa a la valoración de la amenaza

Le sigue el evento de remoción en masa e incendios forestales, cuyas consecuencias asociadas son la dificultad de acceso a la infraestructura bien sea de generación o de transmisión.

También se encuentra el aumento de temperaturas que inducen a que el entorno consuma más energía eléctrica de lo usual causando problemas en la atención de esa demanda y comprometiendo la oferta eléctrica.

4.6.1.3 Análisis de los riesgos prospectivos del sistema sobre el subsector

Para los análisis de riesgo prospectivos a los cuales les debe hacer frente el subsector eléctrico si se llegan a presentar los eventos de cambio climático, se analizó de manera conjunta las amenazas prospectivas, discutidas anteriormente, y la vulnerabilidad estimada del subsector basada en su sensibilidad y capacidad de adaptación para hacer frente a estos eventos. Vale la pena mencionar, que en el ejercicio de evaluación de la vulnerabilidad dio que el subsector presenta un nivel bajo de vulnerabilidad tanto para generación como para transmisión.

El resultado de este contraste de evaluaciones, valoraciones de las amenazas prospectivas y vulnerabilidad del subsector se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4-18 Nivel de riesgo prospectivo medio del sistema para el subsector de energía eléctrica

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Hidroeléctricas - Grandes	**Hidroeléctricas - Pequeñas**	**Térmicas**	**Eólicas**	**Solar fotovoltaica**	**Transmisión**
Desabastecimiento hídrico	Moderado	Moderado	Alto		Alto	
Inundaciones	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo		Muy bajo	Muy bajo
Remoción en masa	Alto	Alto		Moderado	Moderado	Alto
Incendios forestales						Alto
Aumento de temperatura (olas de calor)	Moderado	Moderado	Moderado	Alto	Moderado	Moderado
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados			Muy bajo	Moderado	Moderado	
Tormentas (huracanes)			Muy bajo	Moderado	Moderado	

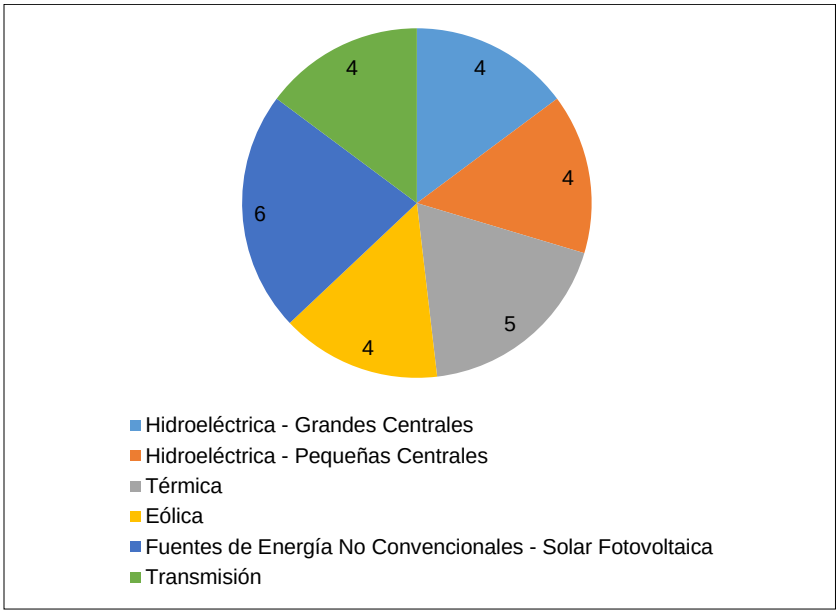
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Buena parte de las amenazas prospectivas analizadas anteriormente presentan niveles de riesgos con niveles más bajos, un ejemplo de ello, es la amenaza prospectiva de desabastecimiento hídrico y aumento de temperatura en centrales hidroeléctricas que es

Alta y que la vulnerabilidad del subsector le da una calificación moderada al riesgo prospectivo, esto se repite para el evento de aumentos de temperatura, exceptuando la generación eólica, cuyo nivel de riesgo prospectivo es alto.

El riesgo prospectivo para el evento de desabastecimiento hídrico tanto en generación térmica como para generación eólica es alto así como lo es el riesgo de incendio forestal para el componente de transmisión.

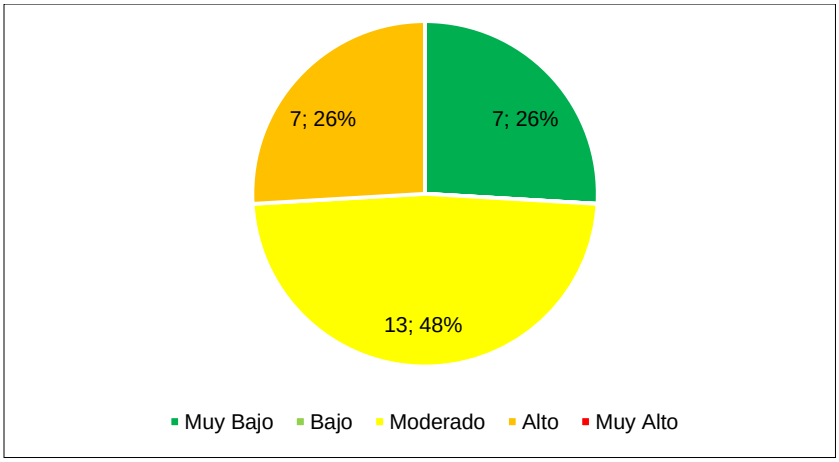
Gráfico 4-9 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Del gráfico anterior se puede concluir que el componente con mayor número de amenazas es el de generación solar fotovoltaica (6), seguido por el componente de generación térmica (5) y finalmente con menor número de amenazas se presentan los componentes de generación eólica, hidroeléctricas grandes y pequeñas y transmisión (4).

Gráfico 4-10 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector



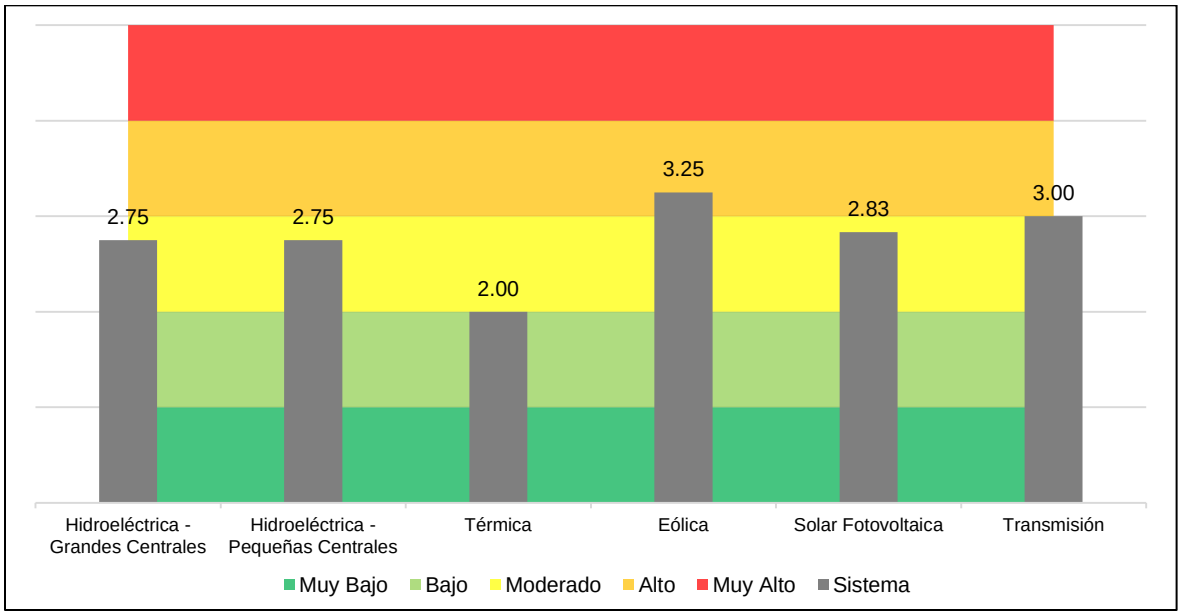
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

De acuerdo con este gráfico, los niveles de riesgo que afectan directamente al sistema, se pueden distribuir de la siguiente manera: 48 % se encuentra en un nivel de riesgo moderado, 26 % en Alto y 26 % en un novel de riesgo muy bajo; lo que lleva a la conclusión que alrededor de un 74 % de los riesgos se encuentran en niveles moderados o superiores para el sistema eléctrico nacional.

4.6.1.3.1 Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente

En el gráfico 4-11 se evidencia que el subcomponente de generación de energía a partir de fuentes eólicas, es que el mayor nivel de riesgo presente con un nivel de amenaza moderado, seguido por el componente de transmisión.

Gráfico 4-11 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente

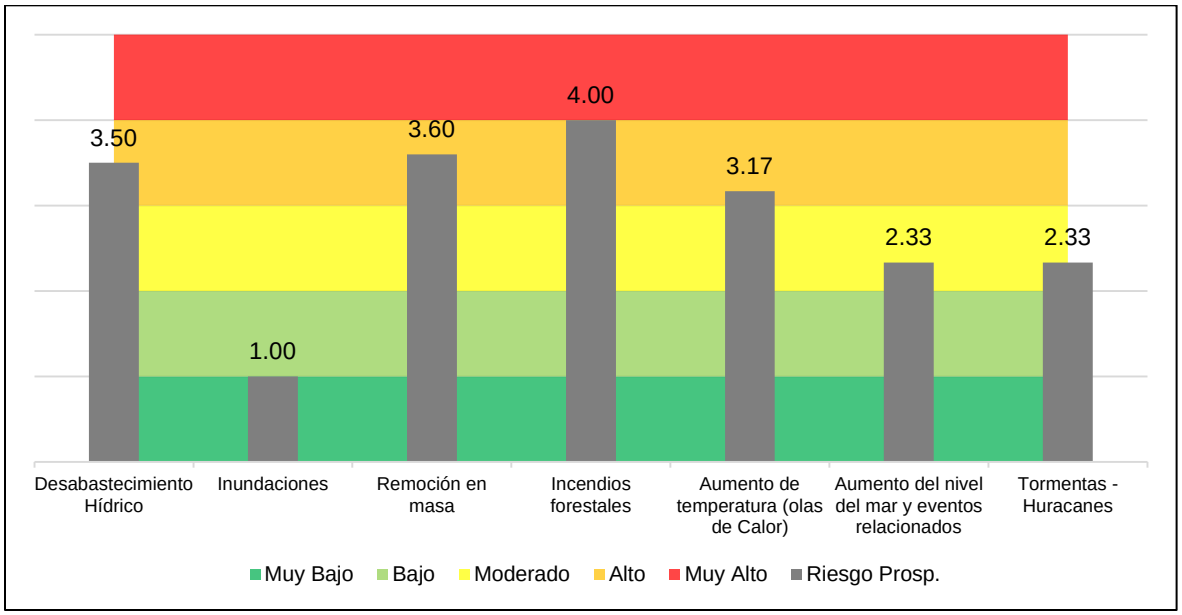


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

4.6.1.3.2 Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por evento

La siguiente grafica representa cómo impacta cada uno de los eventos asociados al cambio climático al sector eléctrico colombiano, como una aproximación agregada de cada riesgo prospectivo analizado en este ejercicio:

Gráfico 4-12 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema sobre el subsector eléctrico por evento



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

El evento que representa el mayor riesgo prospectivo para el subsector es el de incendios forestales, pero lo que llama más la atención de este análisis es que solo un componente tiene esta valoración, es decir que esta calificación alta es atribuible al riesgo prospectivo que tiene el componente de transmisión para este evento.

Le sigue en magnitud, el evento asociado a la remoción en masa, debido a los riesgos transversales a varios componentes del subsector que pueden poner en riesgo la continuidad del servicio y en el caso de las centrales hidroeléctricas de la oferta de generación.

En ese orden de magnitud, le siguen eventos como el desabastecimiento hídrico y los aumentos de temperatura que tiene en algunos de los componentes de generación (Térmicas y Solar fotovoltaica en desabastecimiento hídrico y eólica, en aumentos de temperatura).

Los aumentos en el nivel del mar, las tormentas y huracanes tienen un nivel de riesgo prospectivo bajo, guardando coherencia con el número de instalaciones del SIN, ubicadas en zona costera.

4.6.1.4 Análisis de los riesgos prospectivos del entorno sobre el subsector

Esta evaluación sigue la misma metodología aplicada para los riesgos prospectivos directos al sistema, solo que en esta parte se analiza cómo son los riesgos desde el entorno que afectan al sistema en caso tal que un evento asociado al cambio climático se diera a lugar.

En la tabla 4-19 se describe la valoración de los riesgos prospectivos desde el entorno:

Tabla 4-19 Nivel de riesgo prospectivo del entorno hacia el subsector de energía eléctrica

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Hidroeléctricas - Grandes	Hidroeléctricas - Pequeñas	Térmicas	Eólicas	Solar fotovoltaica	Transmisión
Desabastecimiento hídrico	Moderado	Moderado				
Inundaciones			Muy bajo			
Remoción en masa	Alto	Alto		Moderado	Moderado	Moderado
Incendios forestales	Moderado	Moderado		Moderado	Moderado	Moderado
Aumento de temperatura (olas de calor)	Moderado	Moderado	Moderado	Alto	Bajo	Moderado
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (huracanes)						

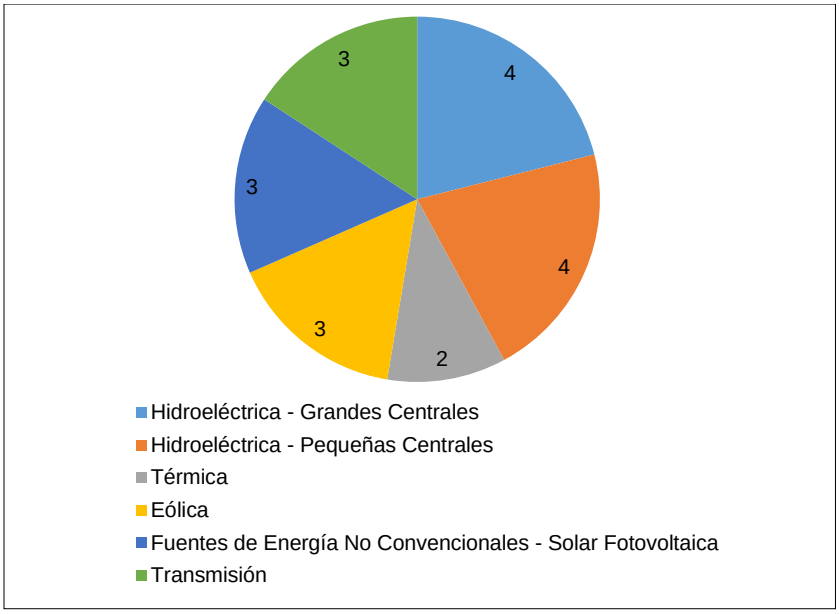
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Al igual que sucedió con los riesgos prospectivos directos al sistema, la baja vulnerabilidad del subsector conjugada con los riesgos prospectivos desde el entorno, han arrojado niveles más bajos que los evaluados en las amenazas prospectivas desde el entorno.

Resalta el nivel alto del riesgo prospectivo de la remoción en masa a las centrales hidroeléctricas, en coherencia con la ubicación de buena parte de las plantas de generación hidroeléctrica en zonas que representan alguna probabilidad de que este evento ocurra.

En esa misma línea se tiene un nivel de riesgo prospectivo alto para las centrales eólicas que se vean abatidas por aumentos en la temperatura.

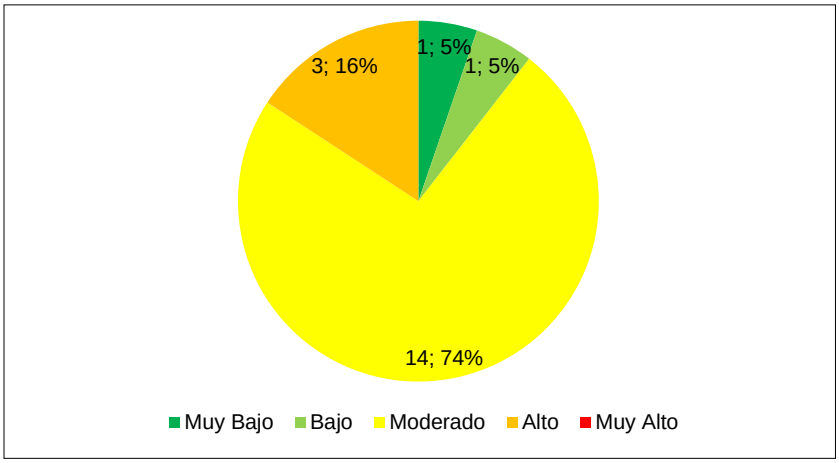
Gráfico 4-13 Número de riesgo prospectivo del entorno por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Del gráfico anterior se puede concluir que el componente con mayor número de amenazas es el de generación de hidroeléctricas grandes y pequeñas (4), seguido por los componentes de generación eólica, solar fotovoltaica y transmisión (3) y con menor número de amenazas se presenta en el componente de generación térmica (2).

Gráfico 4-14 Distribución por nivel de riesgo prospectivo del entorno para el subsector



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

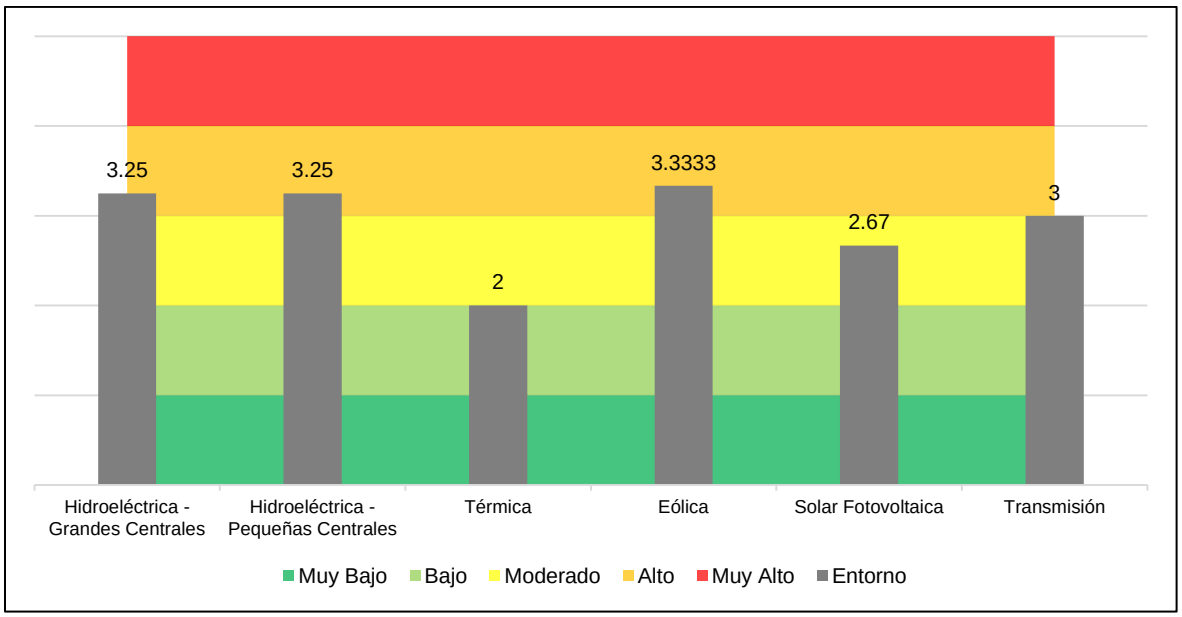
De este grafico se puede concluir que los niveles de riesgo desde el entorno que afectan al sistema eléctrico nacional, se pueden distribuir de la siguiente manera: 74 % se encuentra en un nivel de riesgo moderado, 16 % en Alto, 5 % en Bajo y 5 % en un nivel de

riesgo muy bajo; así las cosas, alrededor de un 90 % se encuentra en niveles de riesgo moderados o superiores.

4.6.1.4.1 Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente

En la siguiente gráfica se puede observar de manera agregada el nivel de riesgo prospectivo desde el entorno por cada componente definido para el subsector eléctrico:

Gráfico 4-15 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Los riesgos prospectivos altos que se dan desde el entorno para los componentes de centrales hidroeléctricas y la generación eólica son resultado de la valoración alta de riesgo que se ha dado a la remoción en masa y al aumento de temperaturas, respectivamente para cada uno de estos componentes.

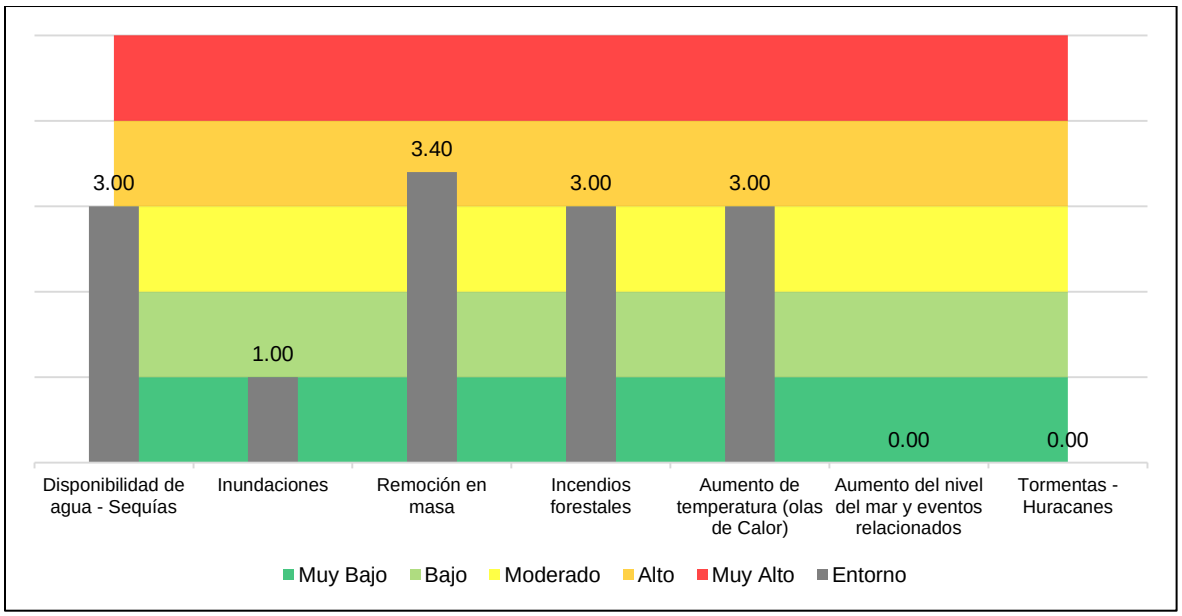
Para los componentes de transmisión y generación solar fotovoltaica los niveles de riesgo se sitúan en una calificación moderada.

En coherencia con la estimación de la vulnerabilidad baja del subsector eléctrico a los eventos asociados al cambio climático, el impacto que puedan tener las amenazas prospectivas desde el entorno se ve atenuado por la baja sensibilidad del sistema y la alta capacidad de adaptación del mismo.

4.6.1.4.2 Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por evento

Con el ánimo de ilustrar como son los riesgos desde el entorno que afectan al sistema eléctrico nacional, se presenta el siguiente gráfico:

Gráfico 4-16 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

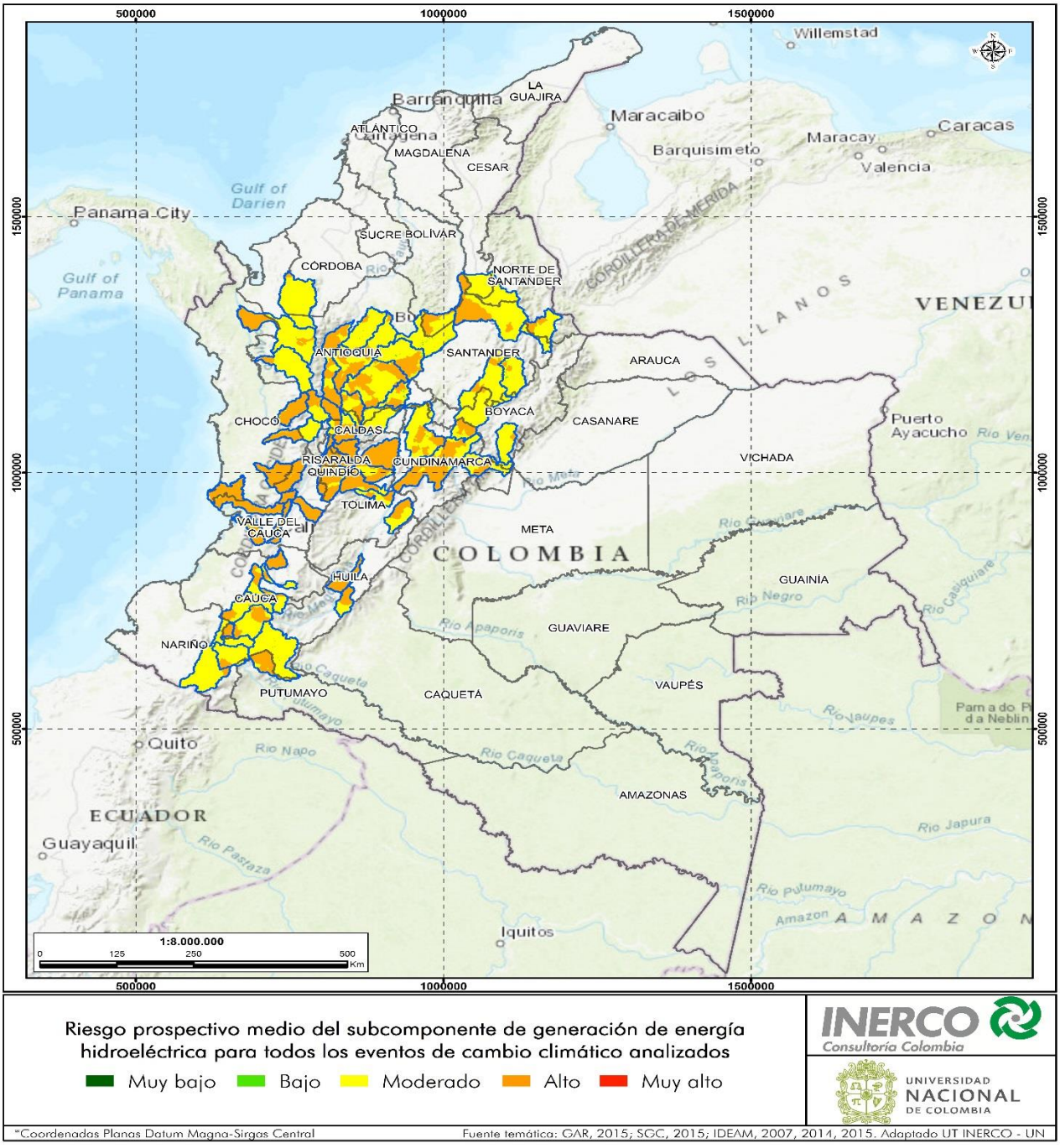
El evento que tiene un nivel alto de riesgo es la remoción en masa para las centrales hidroeléctricas. La remoción en masa está asociada con flujo de agua con sedimentación que eventualmente pueden generar ceses temporales de operación y, por supuesto, a la ubicación de buena parte de las centrales de hidroeléctricas en zonas con alguna probabilidad de ocurrencia del evento, sumado a la baja vulnerabilidad del componente de generación al cambio climático.

Le sigue en magnitud los eventos: desabastecimiento hídrico, incendios forestales y aumentos en la temperatura con un nivel de riesgo prospectivo moderado desde el entorno.

4.6.1.5 Escenario de riesgo

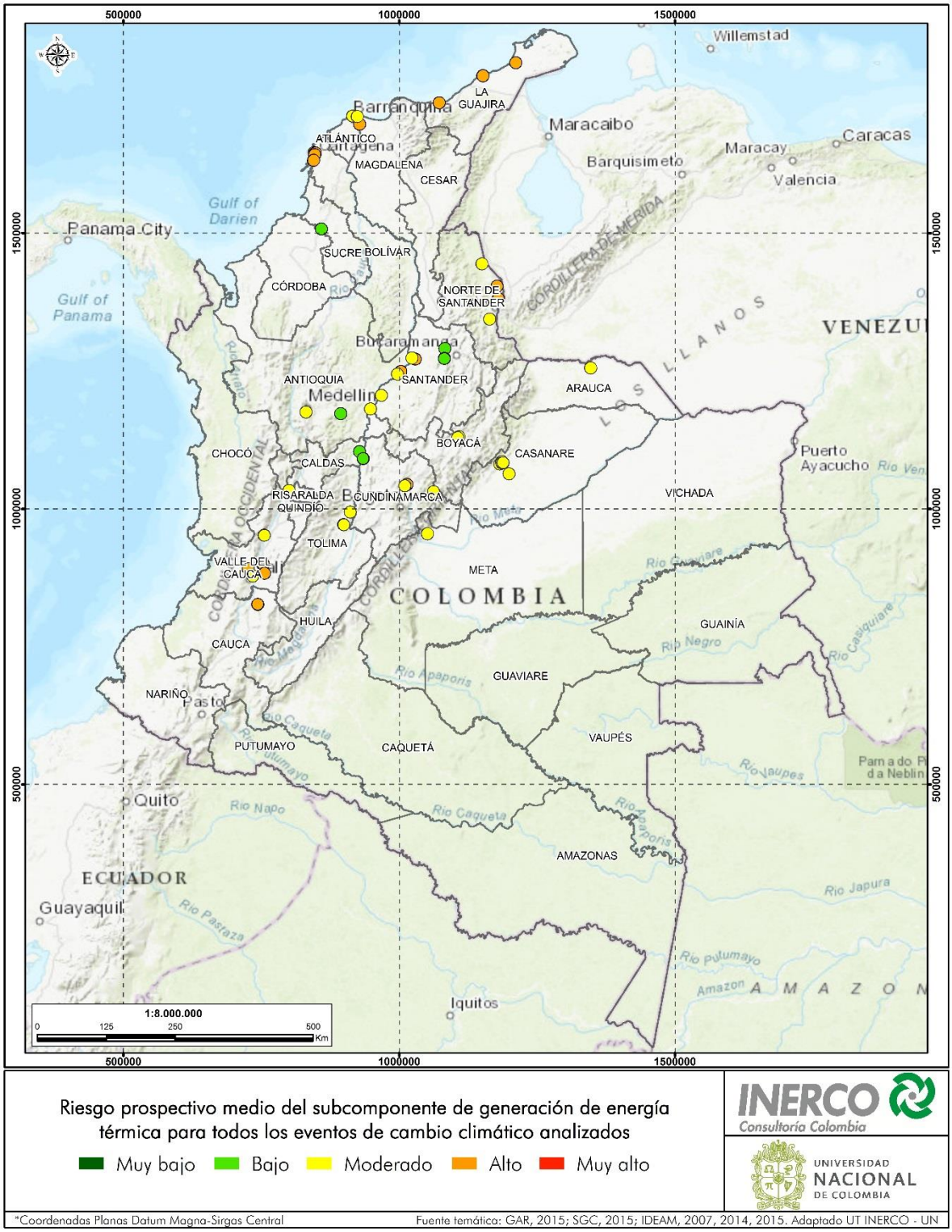
A continuación se presentan los mapas de riesgos por componente:

Figura 4-23 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación de energía hidroeléctrica



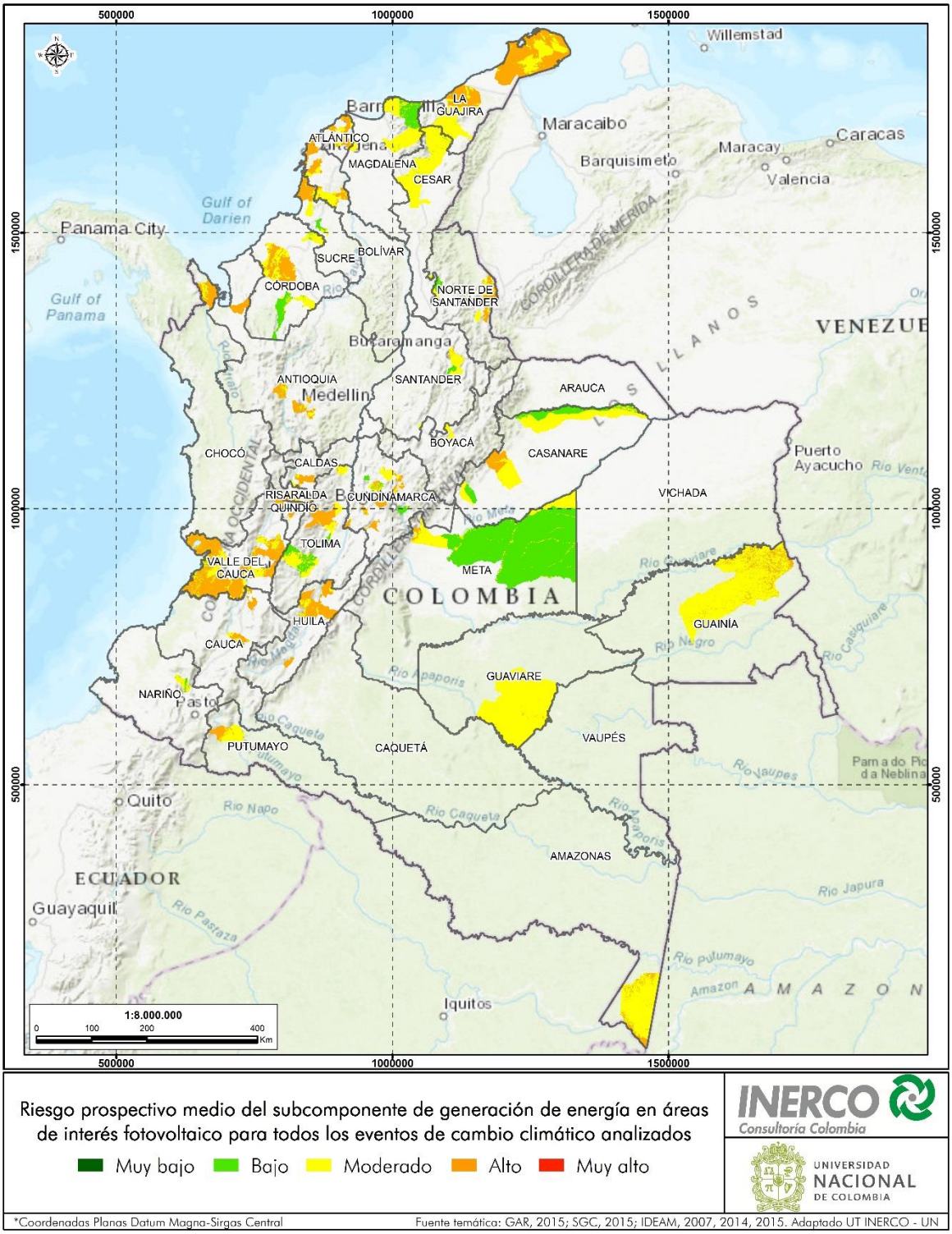
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 4-24 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación de energía térmica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 4-25 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación de energía fotovoltaica



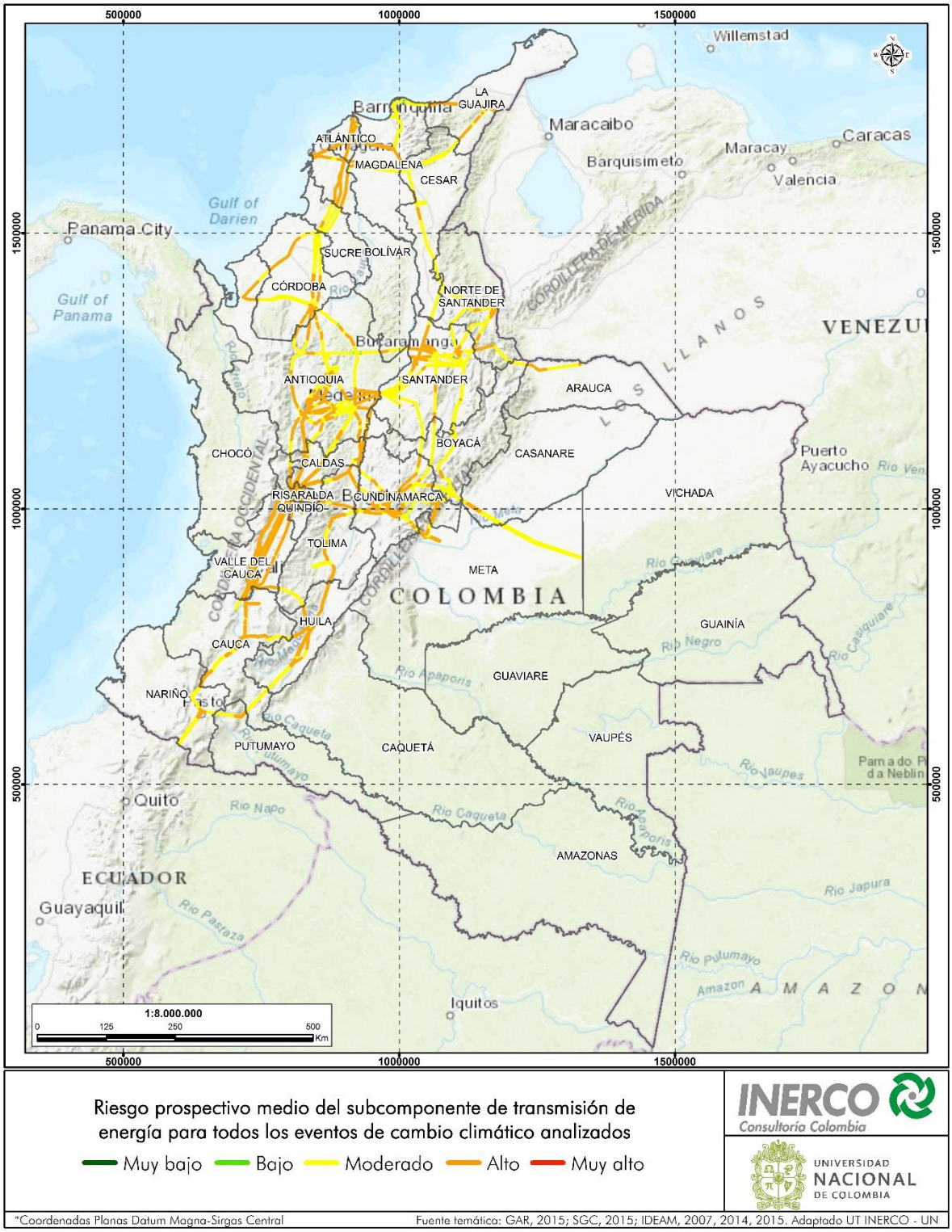
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 4-26 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación de energía eólica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Figura 4-27 Riesgo prospectivo medio para el componente de transmisión



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

4.6.2 Variabilidad Climática

4.6.2.1 Fenómeno de La Niña

4.6.2.1.1 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del sistema sobre el subsector

Para analizar las amenazas prospectivas del sector eléctrico a consecuencia del fenómeno de La Niña, se utilizó la información geográfica SIG, que describe las áreas a lo largo del territorio nacional que presenta alguna probabilidad de riesgo en la implementación de las actividades definidas para este estudio de consultoría en los negocios de generación y transmisión de energía eléctrica.

El resultado de este contraste de evaluaciones: valoraciones de las amenazas por la ocurrencia del fenómeno de La Niña y áreas con probabilidades de eventos de cambios climáticos se reflejan en la tabla 4-20. Se puede observar que las amenazas prospectivas debidas a inundaciones son muy bajas, caso contrario, lo que ocurre con las remociones en masa que si bien tienen un nivel de amenaza bajo para la generación eólica (por la ubicación geográfica de su potencial) para la generación hidroeléctrica y la transmisión tiene niveles de amenaza muy alto y alto respectivamente.

Tabla 4-20 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

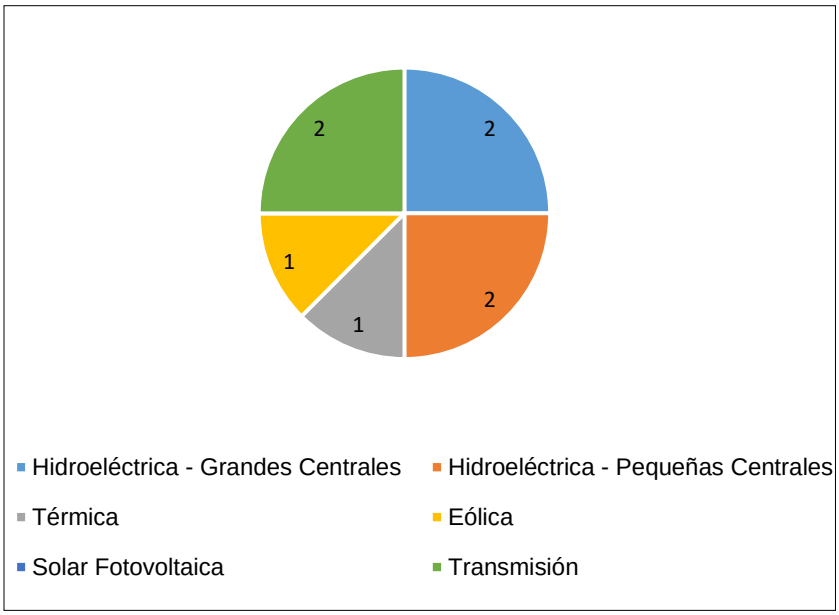
Evento	Componentes y subcomponentes					
	Generación					Transmisión
	Hidroeléctricas - Grandes	Hidroeléctricas - Pequeñas	Térmicas	Eólicas	Solar Fotovoltaica	
Desabastecimiento hídrico						
Inundaciones	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo			Muy Bajo
Remoción en masa	Muy Alto	Muy Alto		Bajo		Alto
Incendios forestales						
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)						
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

El número de amenazas prospectivas se reparte de manera homogénea para todos los subcomponentes del sistema con dos amenazas en centrales hidroeléctricas y

transmisión, y con una amenaza la generación térmica y eólica, como se evidencia en el siguiente gráfico.

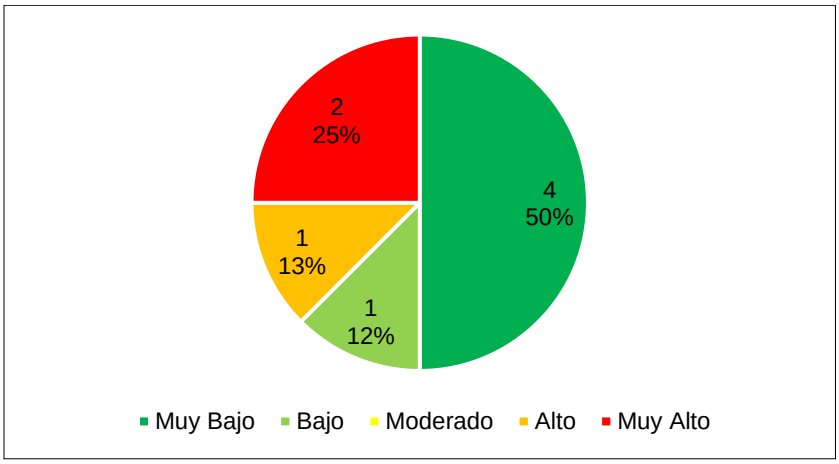
Gráfico 4-17 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Como se puede observar en el gráfico 4-18, del total de las amenazas analizadas, la mitad de ellas (50 %) están dentro de un nivel de amenaza prospectivo muy bajo relacionados con los eventos de inundación, un 25 % con nivel de amenaza muy alto, concentradas todas ellas los efectos de la remoción en masa en la generación hidroeléctrica, un 13 % con nivel de amenaza prospectiva alto concentrado en los efectos de la remoción en masa en el negocio de transmisión, y finalmente un 12% perteneciente a los efectos de la remoción en masa en la generación eólica con nivel bajo.

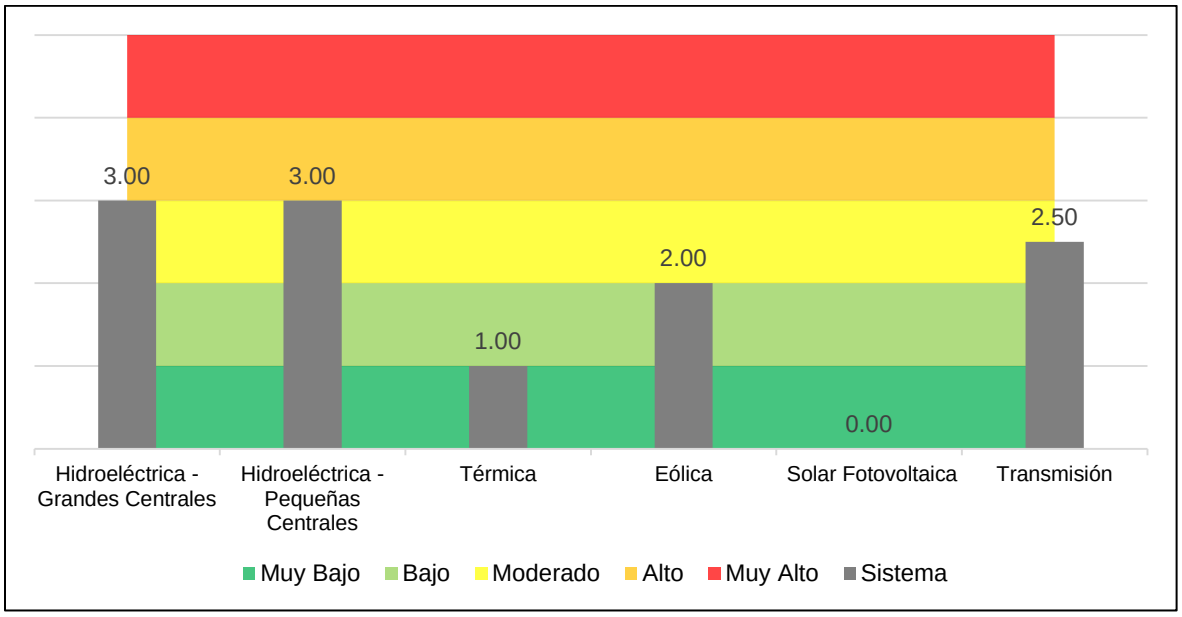
Gráfico 4-18 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

A. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 4-19 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

- Generación

Para la generación hidroeléctrica, que tiene un grado de impacto moderado, se da principalmente por las afectaciones que se pueden causar por las remociones en masa a la infraestructura de generación y en la disminución en la vida útil del embalse.

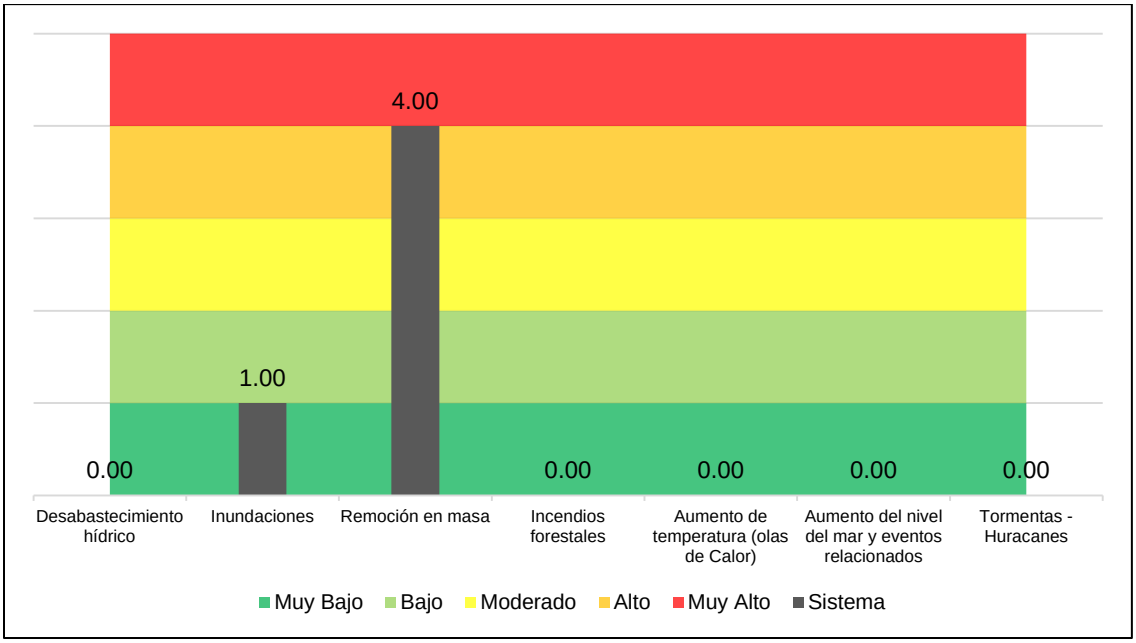
La generación eólica y la generación térmica presentan un grado de amenaza bajo y muy bajo, esto se da básicamente, por la localización geográfica que presenta este tipo de centrales eléctricas.

- Transmisión

Para el componente de transmisión, el grado de impacto moderado del nivel de la amenaza lo da la conjugación de la susceptibilidad de la infraestructura de transporte de energía a vientos como las inundaciones y la remoción en masa, que puede afectar el perfil físico de las torres y comprometer la continuidad del servicio de transporte de energía eléctrica.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por eventos

Gráfico 4-20 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

- Remoción en masa

El evento con un grado de amenaza alto para el sector eléctrico son las remociones en masas que afectarían principalmente la generación hidroeléctrica y la transmisión eléctrica. Para la generación hidroeléctrica, este nivel está asociado a la afectación a la vida útil del embalse que impacta en el largo plazo la producción eléctrica por este tipo de centrales y eventualmente por la afectación en la infraestructura de generación. Para transmisión, aunque la valoración de la amenaza tuvo un nivel bajo, pues a la fecha no se tienen registros de eventos que hayan afectado la infraestructura de transporte de energía eléctrica (validado en los talleres llevados a cabo con el sector), la información geográfica reveló la alta susceptibilidad que tiene la infraestructura ante la eventualidad de remociones en masa a consecuencia de fenómenos de La Niña.

- Inundaciones

El grafico evidencia el grado de impacto de las amenazas con nivel muy bajo que tienen las inundaciones para el sector eléctrico nacional para los componentes de generación y transmisión eléctrica en su conjunto.

4.6.2.1.2 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del entorno sobre el subsector

Esta evaluación sigue la misma metodología explicada para las amenazas prospectivas directas al sistema, solo que en esta parte se analiza cómo afecta el entorno al sistema en caso de que ocurra el fenómeno de La Niña.

Como se puede apreciar en la tabla 4-21, el único componente con alguna valoración de nivel de amenaza desde el entorno para inundaciones asociadas al fenómeno de la Niña es para la generación térmica con un nivel muy bajo, esto debido a la localización geográfica actual y prevista de este tipo de generación.

Tabla 4-21 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

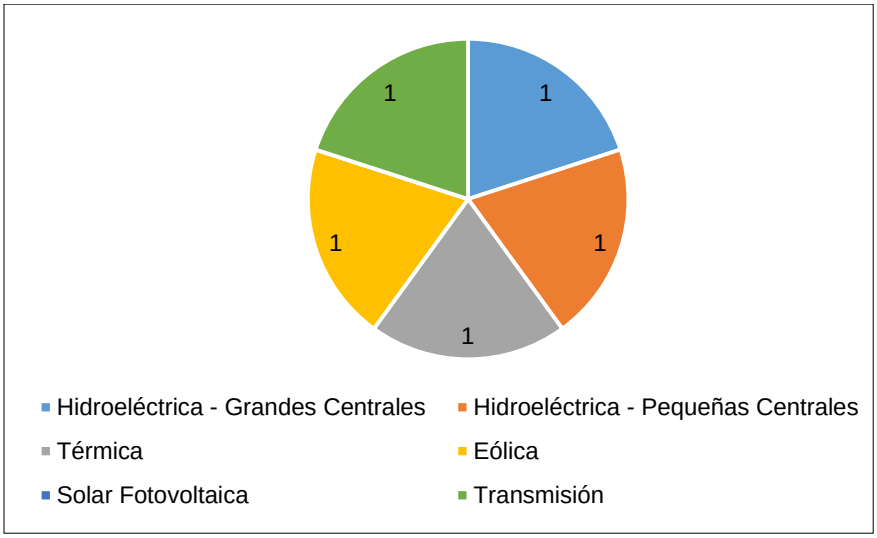
Evento	Componentes y subcomponentes					
	Generación					Transmisión
	Hidroeléctricas - Grandes	Hidroeléctricas - Pequeñas	Térmicas	Eólicas	Solar Fotovoltaica	
Desabastecimiento hídrico						
Inundaciones			Muy Bajo		0	
Remoción en masa	Muy Alto	Muy Alto		Moderado		Alto
Incendios forestales						
Aumento de Temperatura (Olas de						

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Generación					Transmisión
Calor)						
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

El número de amenazas prospectivas se distribuye de manera homogénea entre los subcomponentes del sector eléctrico, con una amenaza para cada componente, como se puede observar en el siguiente gráfico.

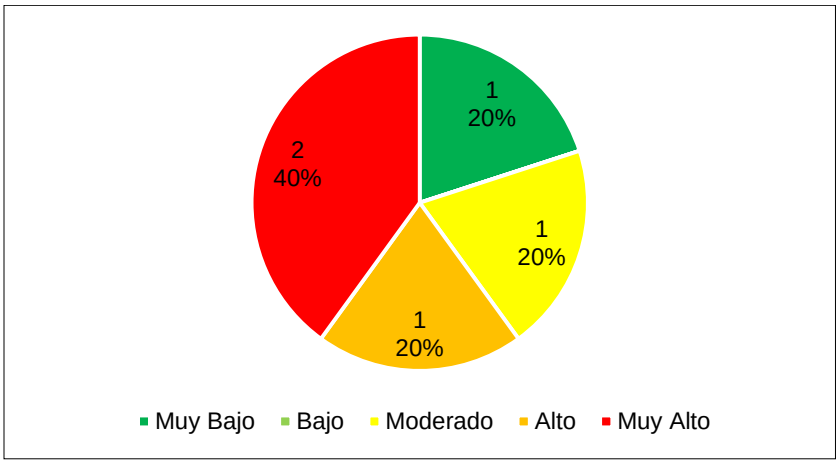
Gráfico 4-21 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

El gráfico 4-22 ilustra como ante la ocurrencia del fenómeno de La Niña el 60 % de las amenazas prospectivas desde el entorno al sistema (sector eléctrico) se encuentra en niveles alto y muy alto. Con una participación igual del 20 %, las amenazas prospectivas se encuentran en niveles moderados y muy bajos.

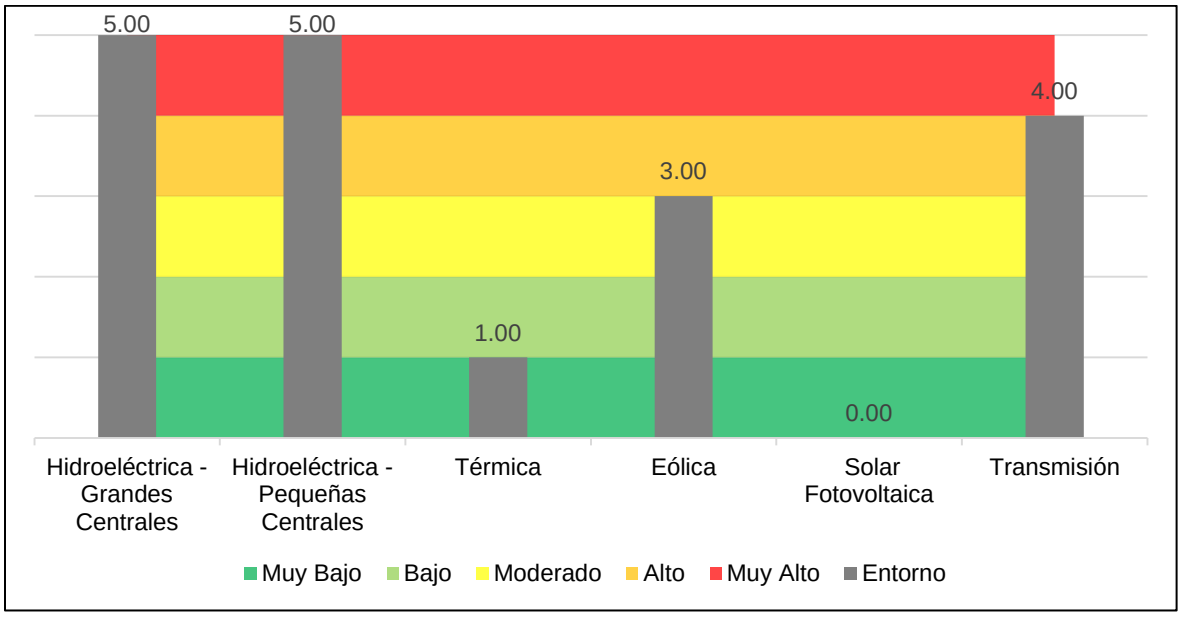
Gráfico 4-22 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

A. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por componentes o subcomponentes

Gráfico 4-23 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

- Generación

El grado de impacto muy alto en la generación hidroeléctrica se debe principalmente a las afectaciones debidas a las remociones en masa que puede generar flujos hídricos con sedimentación que pueden afectar la producción eléctrica y al igual que en el resto de subcomponentes, también se incluye las amenazas debido a las posibles obstrucciones a las vías de acceso a las actividades de generación o transmisión.

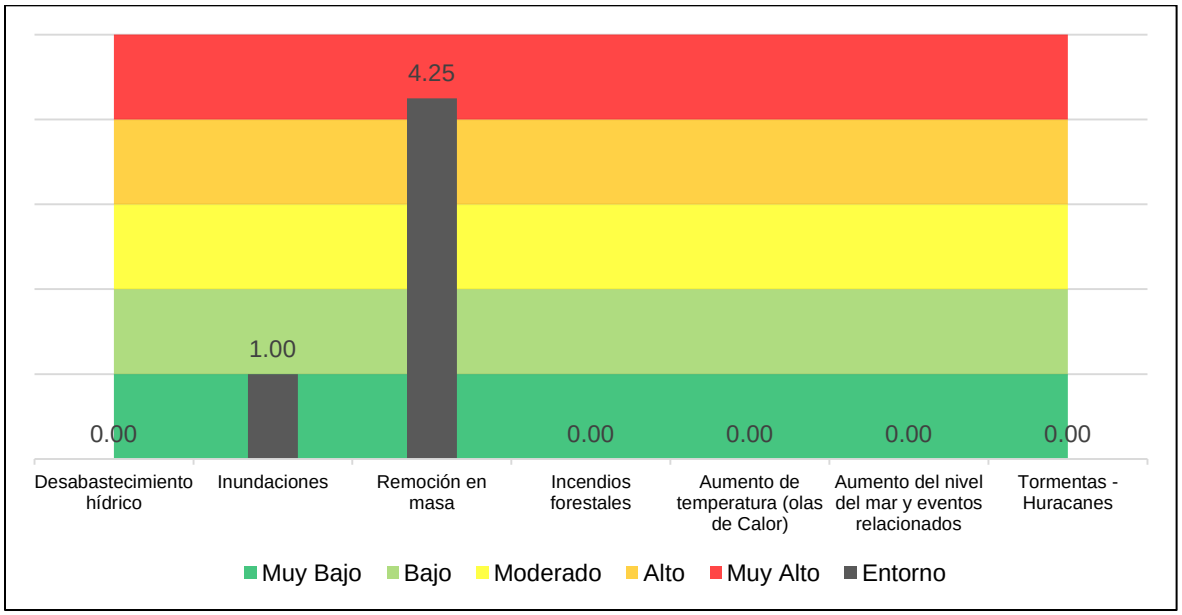
En centrales eólicas el grado de impacto es moderado por las afectaciones de la remoción en masa y muy bajo para la generación térmica por el evento de inundaciones, cuya calificación se da por la ubicación geográfica actual de este tipo de centrales.

- Transmisión

Este componente tiene un grado de impacto alto, esto debido a la ubicación geográfica de la red de transporte de energía eléctrica y los escenarios prospectivos para este evento.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por eventos

Gráfico 4-24 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

- Remoción en masa

La remoción en masa, afecta la generación hidroeléctrica, la generación eólica y la transmisión eléctrica desde el entorno, la mayoría de las amenazas relacionadas con las obstrucciones a las vías de acceso donde la actividad de generación o transmisión se lleva o llevará a cabo, por lo que el grado de impacto para este evento es muy alto.

- Inundaciones

Las inundaciones representan un grado de impacto muy bajo para el sector eléctrico, puntualmente para la generación térmica, que es el único componente evaluado con algún tipo de amenaza prospectiva.

4.6.2.1.3 Análisis del riesgo prospectivo del sistema sobre el subsector

Para el análisis de riesgo prospectivo, el cuales se debe hacer frente el sector eléctrico si se llegan a presentar fenómenos de La Niña, se analizó de manera conjunta las amenazas prospectivas, discutidas anteriormente, y la vulnerabilidad estimada del sector basada en su sensibilidad y capacidad de adaptación para hacer frente a estos eventos. Vale la pena mencionar, que en el ejercicio de evaluación de la vulnerabilidad dio que el sector presenta un nivel bajo de vulnerabilidad tanto para generación como para transmisión.

El resultado de este contraste de evaluaciones: valoraciones de las amenazas prospectivas y vulnerabilidad del sector se presenta en la tabla 4-22. Como se puede apreciar, la capacidad de adaptación del sector ayudo a amortiguar el nivel de amenazas prospectivas evaluadas anteriormente, es así que el nivel de riego de la remoción en masa bajo a alto para la generación hidroeléctrica; a bajo para la generación eólica y moderado para la transmisión.

Tabla 4-22 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

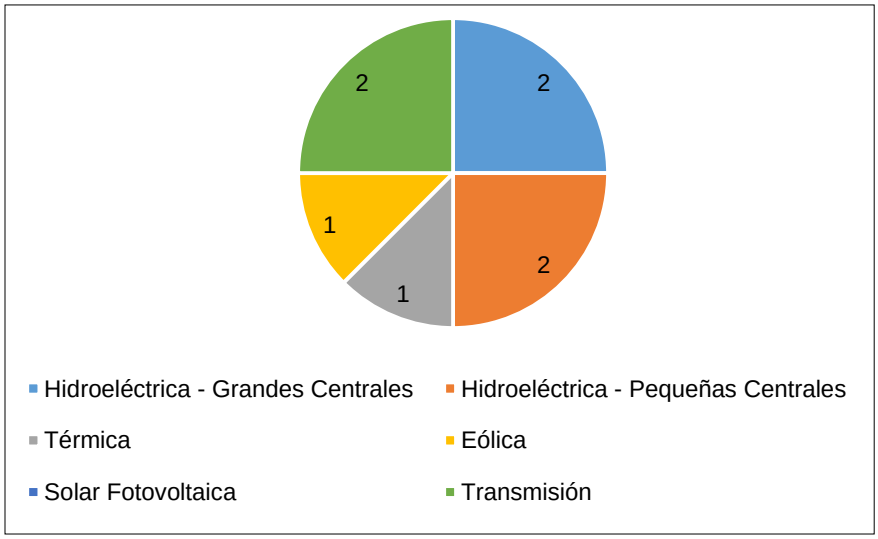
Evento	Componentes y subcomponentes					
	Generación					Transmisión
	Hidroeléctricas - Grandes	Hidroeléctricas - Pequeñas	Térmicas	Eólicas	Solar Fotovoltaica	
Desabastecimiento hídrico						
Inundaciones	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo			Muy Bajo
Remoción en masa	Alto	Alto		Bajo		Moderado
Incendios forestales						
Aumento de Temperatura (Olas						

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Generación					Transmisión
de Calor)						
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

El número de riesgos prospectivos se reparte de manera homogénea para los subcomponentes del sistema con dos amenazas en centrales hidroeléctricas y transmisión, y con una amenaza la generación térmica y eólica, como se evidencia en el siguiente gráfico.

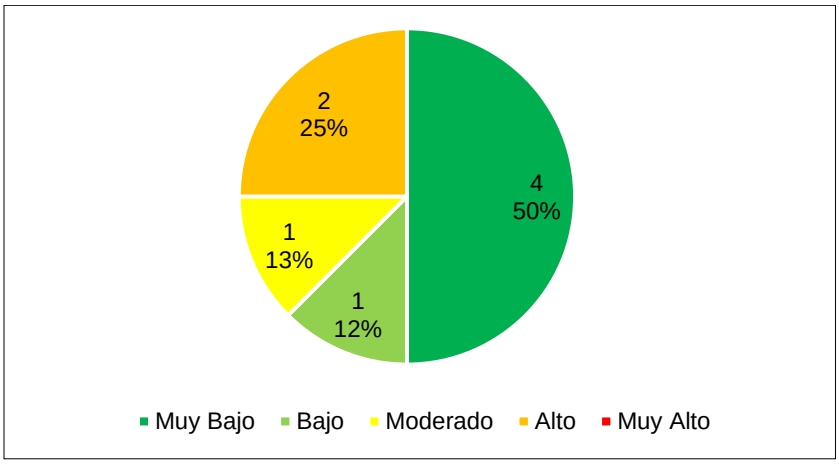
Gráfico 4-25 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 4-26, a diferencia de lo ocurrido con el fenómeno de El Niño, el 62 % de los riesgos prospectivos están en los niveles bajo y muy bajo para el fenómeno de La Niña, el 25 % está en el nivel de riesgo prospectivo alto enfocado en la generación hidroeléctrica y solo un 13 % en nivel de riesgo moderado.

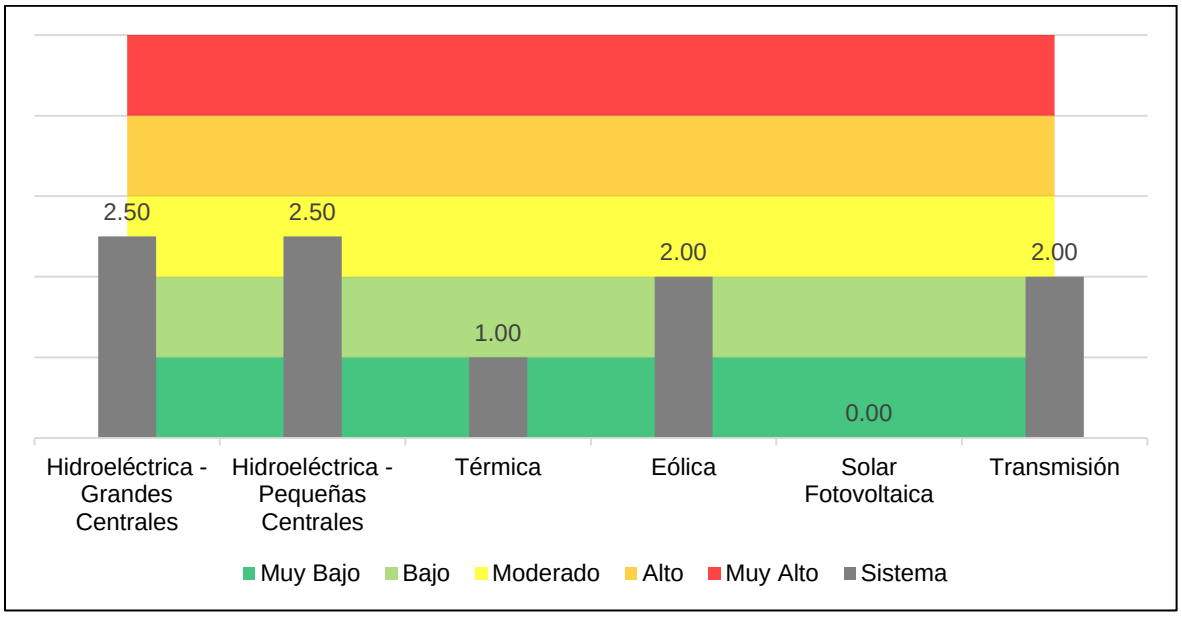
Gráfico 4-26 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 4-27 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

- Generación

La alta capacidad de adaptación del sector eléctrico nacional amortigua el impacto de la amenaza prospectiva. Se refleja en que las centrales hidroeléctricas tienen un grado de impacto moderado, asociados a inundaciones y remociones en masa. La generación eólica tienen grado de impacto bajo y la generación térmica muy bajos.

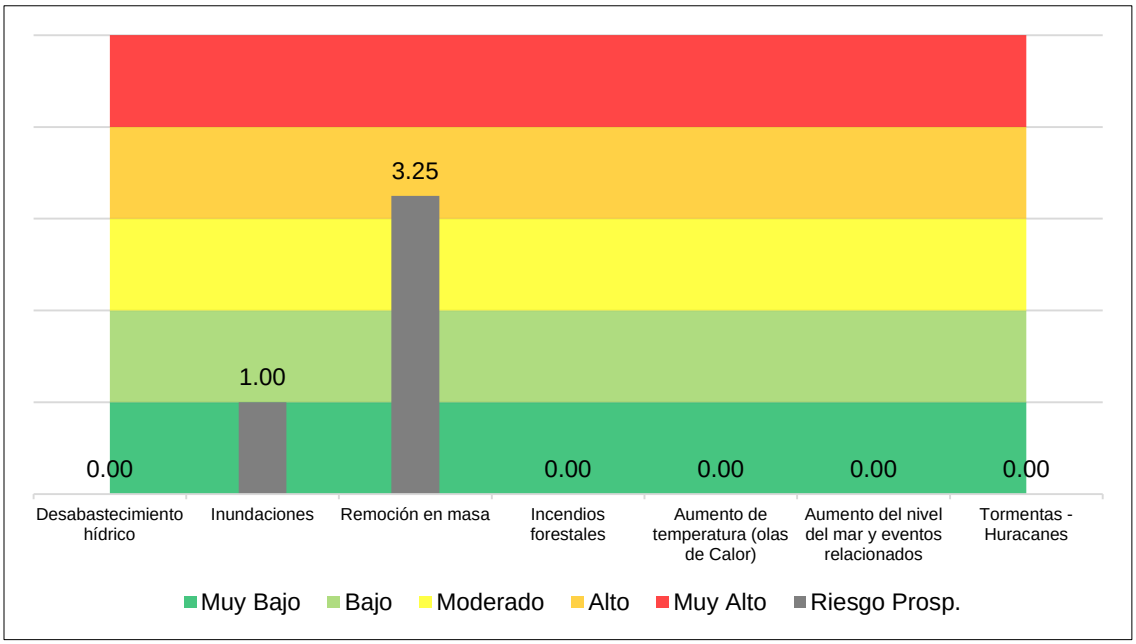
- Transmisión

El grado de impacto bajo en el componente de transmisión se debe a los niveles de riesgo muy bajo y moderados en inundaciones y remoción en masa respectivamente.

B. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por eventos

La siguiente grafica representa como impacta cada uno de los eventos asociados al fenómeno de La Niña al sector eléctrico colombiano.

Gráfico 4-28 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Remoción en masa

El evento que tiene un grado de impacto alto para el sector, es la remoción en masa por el impacto que tiene en la generación hidroeléctrica que puede afectar la infraestructura

asociada a la producción de energía y en el largo plazo impacta la vida útil de los embalses. En menor medida está la transmisión eléctrica, en donde la remoción en masa también puede afectar la infraestructura comprometiendo la continuidad del servicio.

- Inundaciones

Las inundaciones asociadas al fenómeno de La Niña tienen un grado de impacto muy bajo para el sector por los niveles de riesgo muy bajos en los componentes de generación (hidroeléctricas y térmicas) y transmisión.

4.6.2.1.4 Análisis del riesgo prospectivo del entorno sobre el subsector

Esta evaluación sigue la misma metodología aplicada para los riesgos prospectivos directos al sistema, solo que en esta parte se analiza cómo son los riesgos desde el entorno que afectan al sistema en caso tal que ocurriera un evento asociado al fenómeno de La Niña.

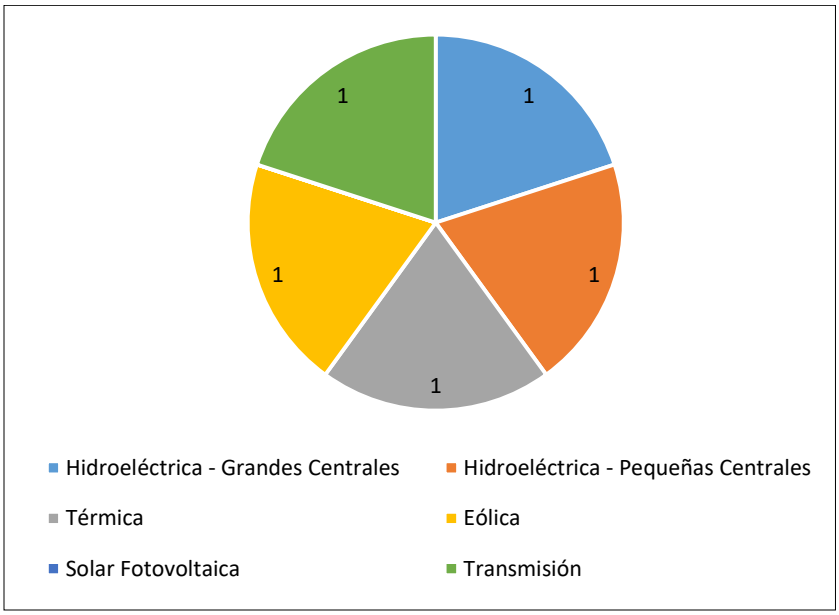
Tabla 4-23 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Generación					Transmisión
	Hidroeléctricas - Grandes	Hidroeléctricas - Pequeñas	Térmicas	Eólicas	Solar Fotovoltaica	
Desabastecimiento hídrico						
Inundaciones			Muy Bajo			
Remoción en masa	Alto	Alto		Moderado		Alto
Incendios forestales						
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)						
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						0

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

El número de riesgo prospectivos asociados a la ocurrencia en escenarios del fenómeno de La Niña desde el entorno para el sector eléctrico se distribuye de manera homogénea con un riesgo en sus subcomponentes.

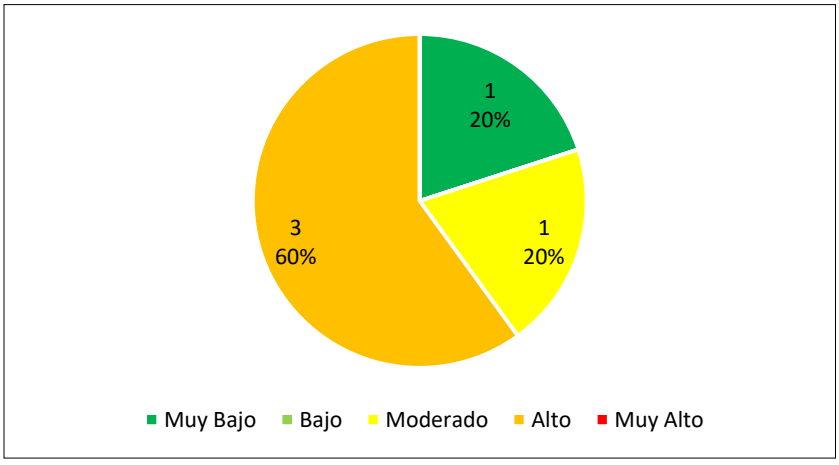
Gráfico 4-29 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

En el gráfico 4-30, la mayoría de riesgos prospectivos desde el entorno (60 %) se encuentran en un nivel alto, un 20 % en un nivel moderado y un 20 % en un nivel de riesgo prospectivo muy bajo.

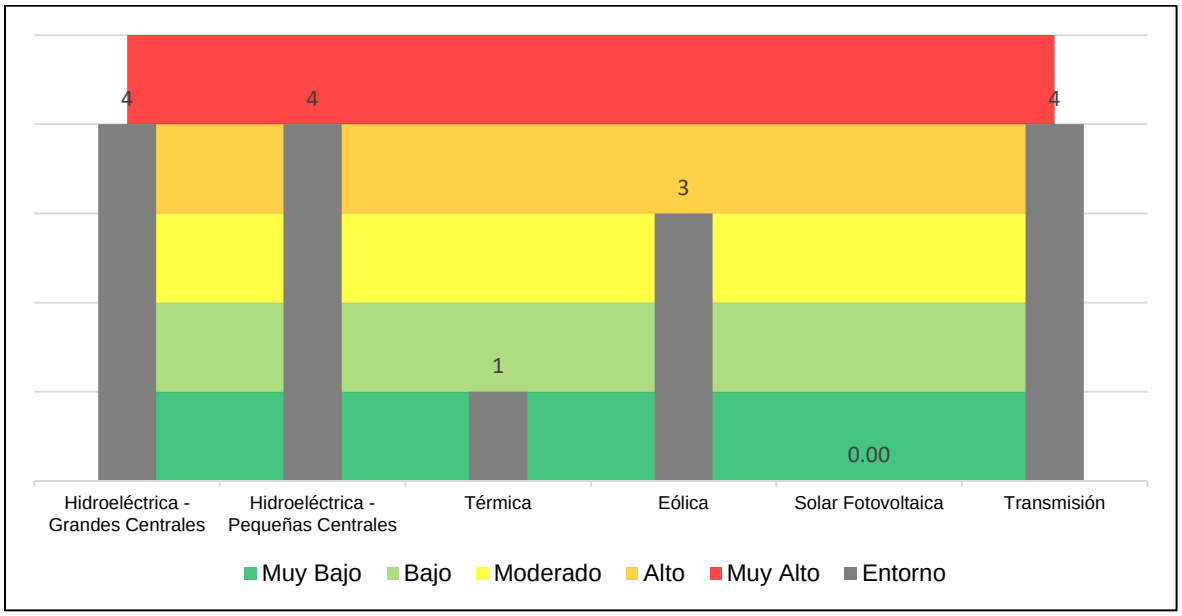
Gráfico 4-30 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

A. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por componentes o subcomponentes

Gráfico 4-31 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

- Generación

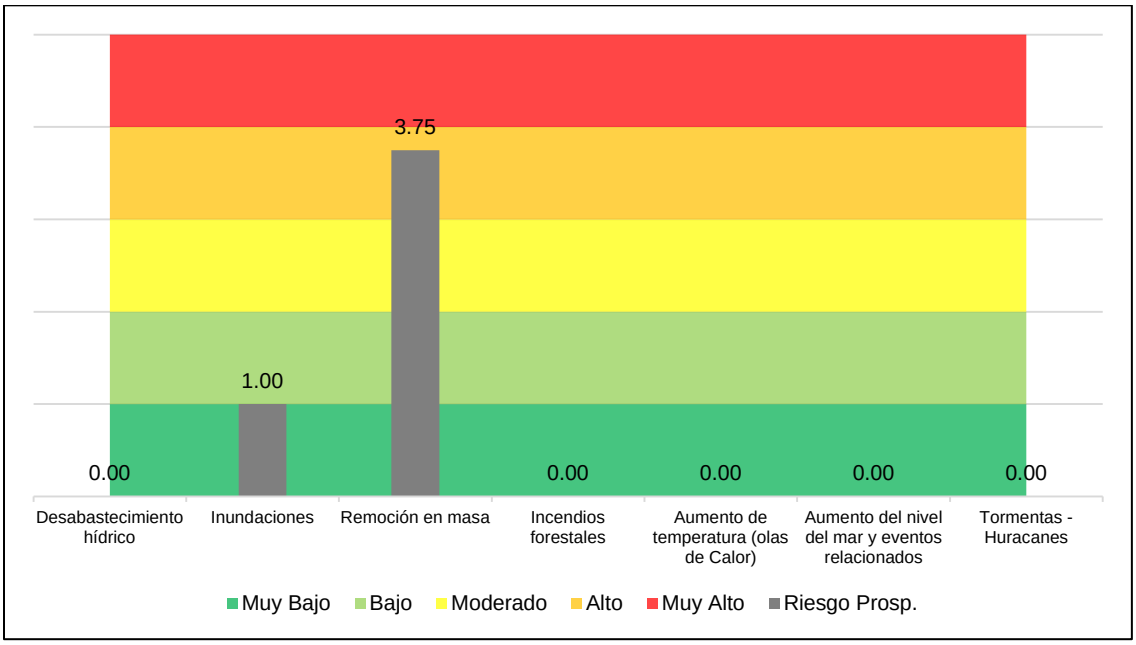
La generación hidroeléctrica presenta un grado de impacto alto ya que la localización geográfica tiene un nivel alto de que se presenten riesgos que afecten el ingreso a la infraestructura, asociados a la remoción en masa. El subcomponente eólico con un grado de impacto moderado y bajo para la generación térmica para eventos asociados al fenómeno de La Niña se da básicamente por su ubicación geográfica.

- Transmisión

De los eventos asociados a la ocurrencia de futuros eventos de La Niña, la transmisión eléctrica presenta un grado de impacto alto, debido a la localización geográfica de la infraestructura de este componente.

B. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por eventos

Gráfico 4-32 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de La Niña



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

- Remoción en masa

La remoción en masa representa el evento con un grado de impacto alto desde el entorno y esto se debe a la afectación que se pueda dar a las vías de acceso a las centrales de generación o a la infraestructura asociada al transporte de energía eléctrica.

- Inundaciones

Se puede apreciar que las inundaciones representan un grado de impacto muy bajo de riesgo desde el entorno para el sector eléctrico nacional.

4.6.2.2 Fenómeno de El Niño

4.6.2.2.1 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del sistema sobre el subsector

Con el propósito de analizar las amenazas prospectivas que enfrentaría el sector eléctrico a consecuencia del Fenómeno de El Niño, se hizo uso de la información geográfica SIG, que describe las áreas a lo largo del territorio nacional que presenta alguna posibilidad de riesgo en la implementación de las actividades definidas para este estudio de consultoría en los negocios de generación y transmisión de energía eléctrica.

El resultado de este contraste de evaluaciones: valoraciones de las amenazas por la ocurrencia del fenómeno de El Niño y áreas con probabilidades de eventos de cambios climáticos se reflejan en la siguiente tabla:

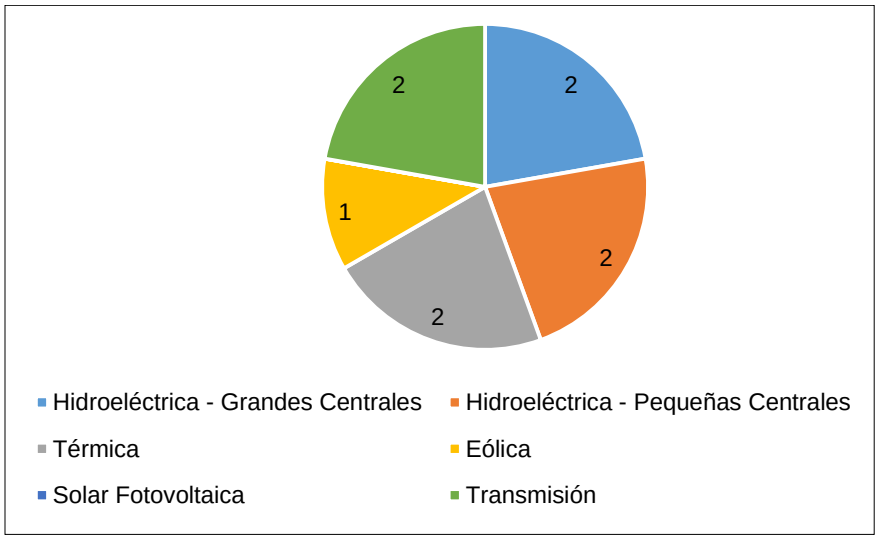
Tabla 4-24 Nivel de amenaza media prospectiva del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Generación					Transmisión
	Hidroeléctricas - Grandes	Hidroeléctricas - Pequeñas	Térmicas	Eólicas	Solar Fotovoltaica	
Desabastecimiento hídrico	Muy Alto	Muy Alto	Alto			
Inundaciones						
Remoción en masa						
Incendios forestales						Muy Alto
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto		Muy Alto
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

El número de amenazas prospectivas se reparte de manera homogénea para todos los subcomponentes del sistema (2), exceptuando la generación eólica que cuenta con una sola amenaza prospectiva, como se evidencia en el siguiente gráfico.

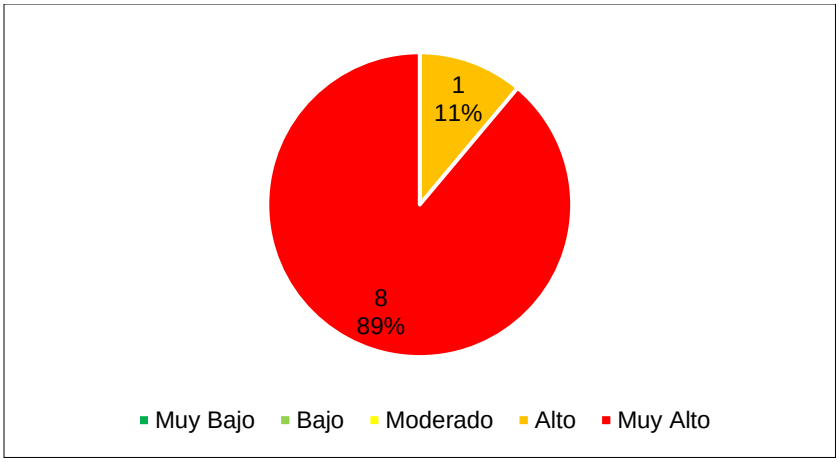
Gráfico 4-33 Número de amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

En el gráfico 4-34 se puede evidenciar la distribución de los niveles de amenazas que se presentan en el sistema. En donde el 89 % corresponde a un nivel muy alto y el 11 % restante a un nivel de amenaza alto para el subsector de energía eléctrica. Esta grafica da un anunció de alerta y es una invitación a la toma de acción oportuna, toda vez que el 100 % de las amenazas prospectivas analizadas están en niveles alto o muy altos ante la ocurrencia de Fenómenos de El Niño futuros.

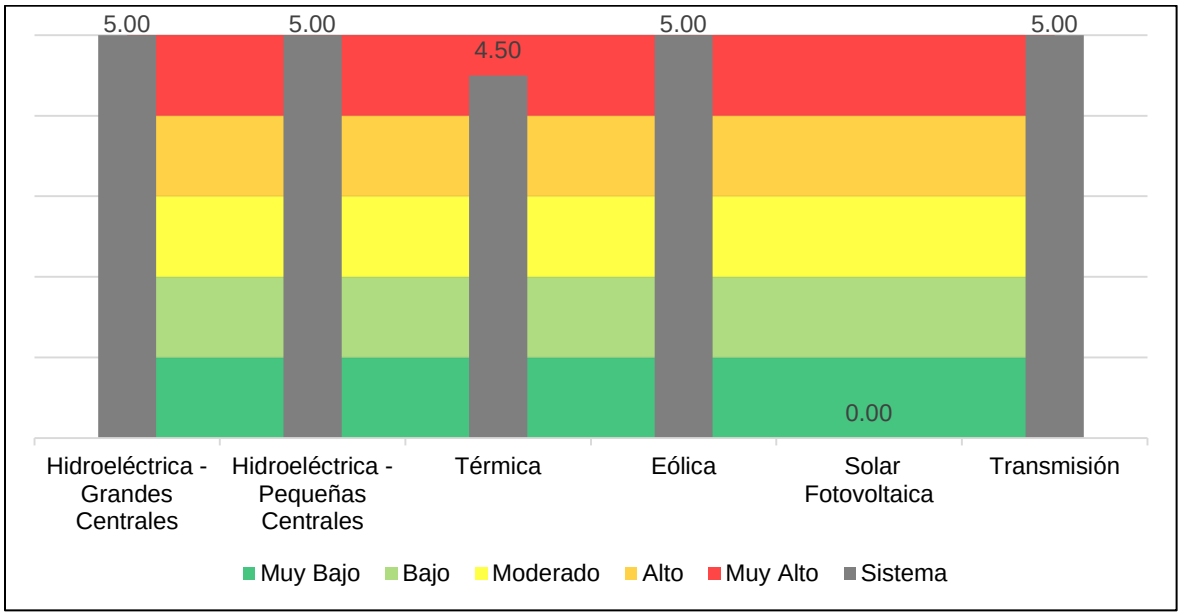
Gráfico 4-34 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

A. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 4-35 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Salta a la vista, como todos los subcomponentes definidos para el sector eléctrico tienen un grado de amenaza prospectiva muy alto ante la eventualidad de ocurrencia de fenómenos de El Niño.

- Generación

Como se puede apreciar, el grado de impacto para todos los tipos de generación es muy alto, debido la disminución en la disponibilidad de agua debido a desabastecimiento hídrico y aumentos de olas de calor que afectan principalmente a la generación hidroeléctrica y afecta la refrigeración para centrales térmicas, así mismo con las olas de calor se afectan los patrones de viento y por ende, bajo el análisis llevado a cabo, se afecta la generación de energía eólica.

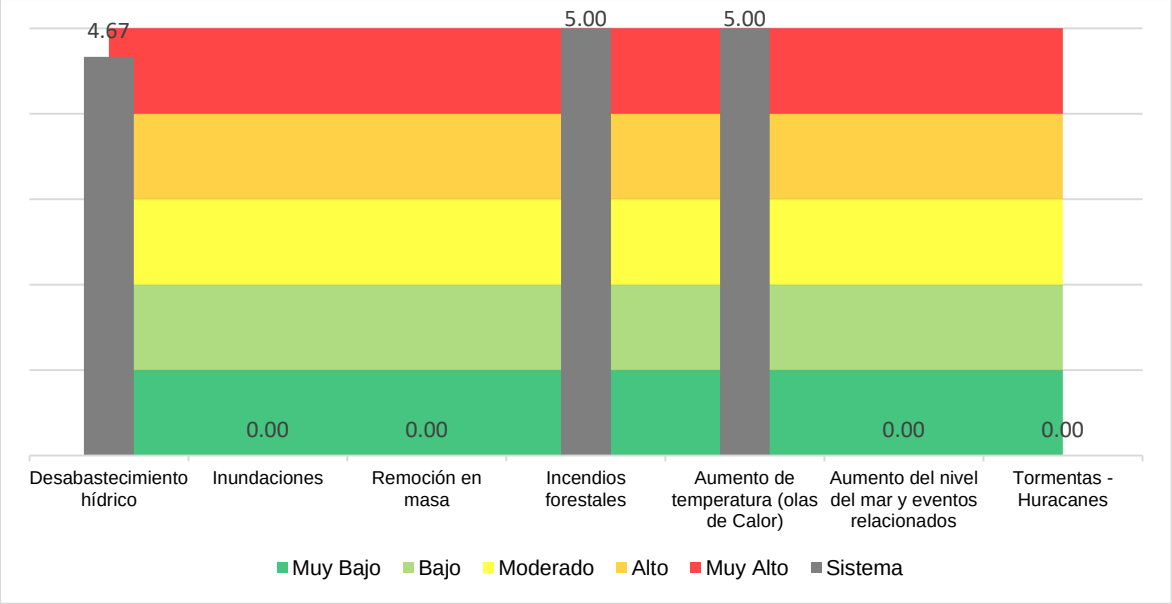
- Transmisión

Para el componente de la transmisión eléctrica, se prevé un grado de impacto alto ante la ocurrencia de incendios forestales y aumentos de temperatura, toda vez, que se puede afectar el aislamiento de los conductores, o aumentar el índice de pérdidas de la red, esto sumado a un efecto colateral: y es que ante aumento de temperatura el lado de la

demanda tiende a subir sus requerimientos (refrigeración, aire acondicionado, por mencionar algunos) y la red de transporte de energía eléctrica puede tener problemas en la gestión de la carga.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del sistema por eventos

Gráfico 4-36 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

La interpretación de la gráfica anterior, es coherente con los sucesos que tuvo que afrontar el sector eléctrico entre septiembre de 2015 y marzo del 2016 donde un aumento de temperaturas, aunado a la poca disponibilidad de agua comprometió la oferta de energía eléctrica, estos mismos eventos dispararon un incremento en la demanda que empeoró un escenario ya de por si crítico. Estos eventos han acompañado en varias oportunidades al país por lo que su probabilidad de ocurrencia jugó un papel importante en la valoración de la amenaza.

- Desabastecimiento hídrico

Este evento tiene un grado de impacto muy alto ya que aún se tiene una alta participación de la generación hidroeléctrica en el país, que como es sabido depende de la disponibilidad de agua para su producción. Algo similar ocurre con la generación térmica, que si bien, el agua no es el principal insumo para su producción, si tiene un papel relevante para la refrigeración de equipos asociados con la producción de energía eléctrica.

- Incendios forestales y aumento de temperatura

Las amenazas derivadas de los incendios forestales y el aumento en la temperatura, tienen un grado de impacto muy alto ya que presenta niveles de amenaza muy altos en el componente de transmisión eléctrica, por sus afectaciones en el aislamiento de los conductores, por estrés térmico que operacionalmente pueden afectar el índice de pérdidas de la red. Con los aumentos en la temperatura, los patrones de viento pueden modificarse, alterándola generación de energía eólica.

4.6.2.2.2 Análisis del nivel de amenaza prospectiva del entorno sobre el subsector

Esta evaluación sigue la misma metodología explicada para las amenazas prospectivas directas al sistema, solo que en esta parte se analiza cómo afecta el entorno al sistema en caso de que ocurra el fenómeno de El Niño.

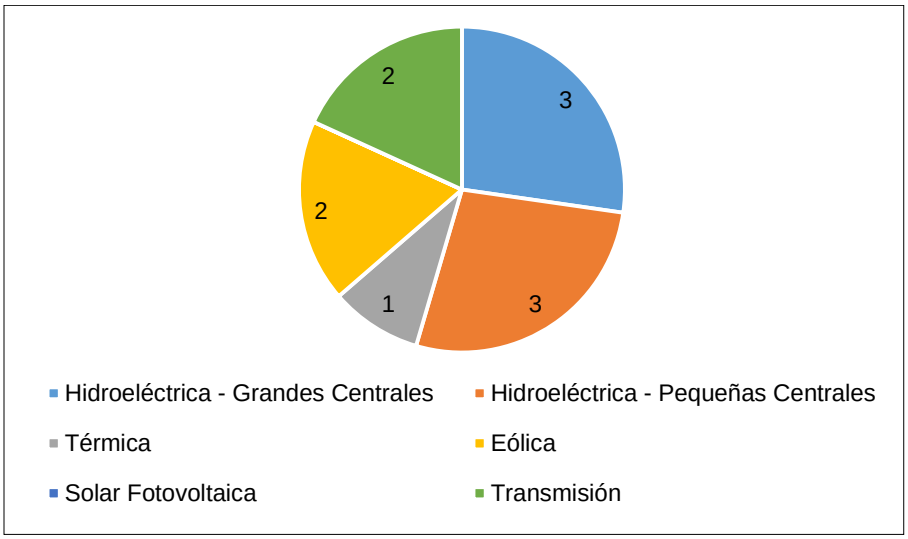
Tabla 4-25 Nivel de amenaza media prospectiva del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Generación					Transmisión
	Hidroeléctricas - Grandes	Hidroeléctricas - Pequeñas	Térmicas	Eólicas	Solar Fotovoltaica	
Desabastecimiento hídrico	Muy Alto	Muy Alto				
Inundaciones						
Remoción en masa						
Incendios forestales	Muy Alto	Muy Alto		Alto		Alto
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto		Muy Alto
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

El número de amenazas prospectivas desde el entorno es mayor para a generación hidroeléctrica (grandes y pequeñas centrales) con tres amenazas, seguida por la generación eólica y la transmisión eléctrica con dos y finalmente la generación térmica con una amenaza.

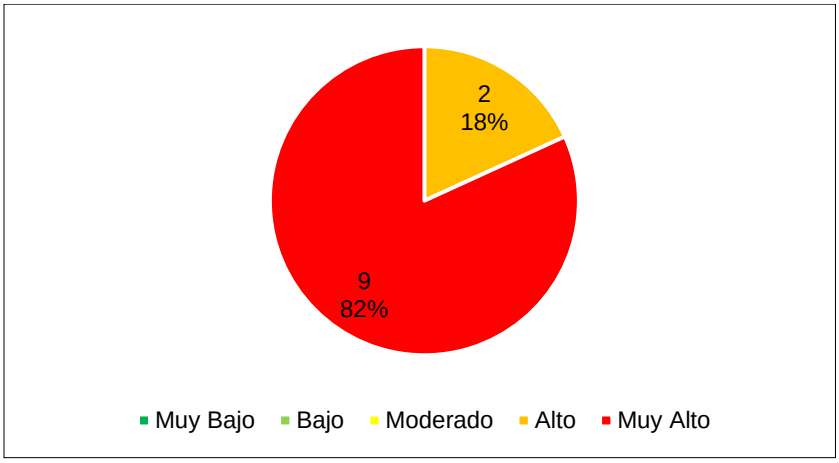
Gráfico 4-37 Número de amenazas prospectivas del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

En el gráfico 4-38 se puede evidenciar la distribución de los niveles de amenazas que se presentan en el sistema. En donde el 82 % corresponde a un nivel muy alto y el 18 % restante a un nivel de amenaza alto para el subsector de energía eléctrica. Esta grafica ilustra como ante la ocurrencia del Fenómeno de El Niño, el 100% de las amenazas prospectivas desde el entorno al sistema se encuentra en niveles alto y muy alto.

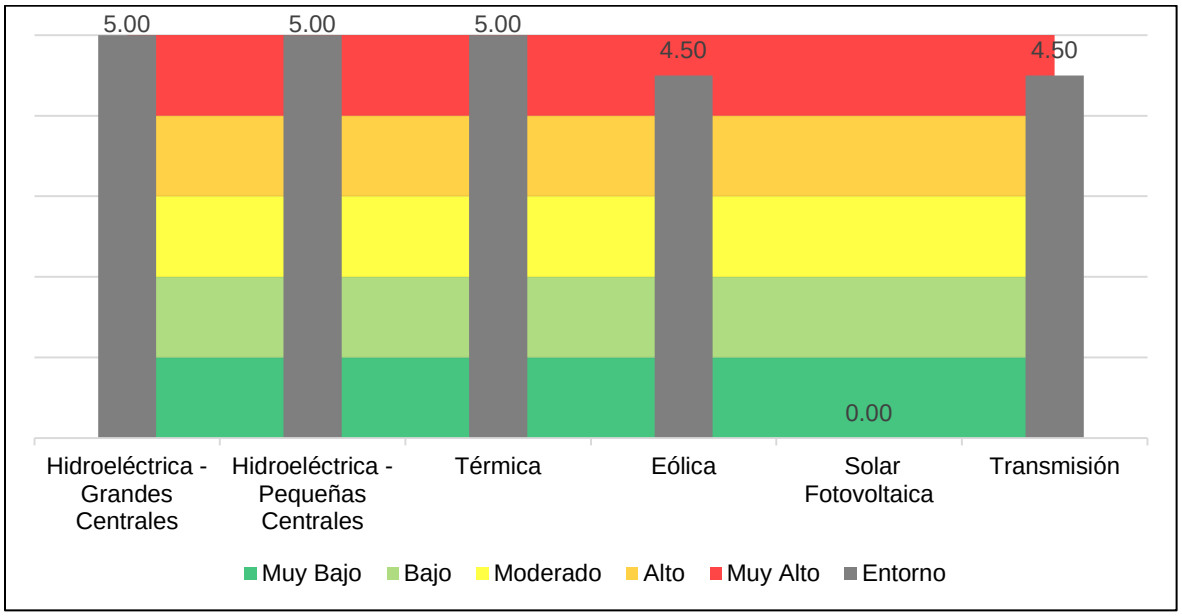
Gráfico 4-38 Distribución por nivel de amenazas prospectivas del entorno para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

A. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por componentes o subcomponentes

Gráfico 4-39 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Teniendo en cuenta el gráfico anterior se puede concluir que ante la ocurrencia de un fenómeno de El Niño en el sector eléctrico no solo presenta niveles de amenazas relevantes desde su sistema sino que también es importante prestar la oportuna atención a las amenazas desde el entorno.

- Generación

El componente generación tiene un grado de impacto muy alto, ya que la generación hidroeléctrica (grandes y pequeñas centrales) es el subcomponente que tiene la mayor valoración en el nivel de amenazas desde el entorno. La generación térmica tiene una amenaza que se da por el evento de aumento de temperatura con nivel muy alto, finalmente la generación eólica con dos amenazas de nivel alto y muy alto para los eventos de incendios forestales y aumento de temperatura respectivamente.

Exceptuando por la generación solar fotovoltaica, todos los subcomponentes del sector eléctrico son muy susceptibles a las amenazas que vienen desde el entorno, vale la pena mencionar que no solo es el potencial de daño que se tiene en cuenta en esta evaluación sino que esta conjugado con la probabilidad de que este evento ocurra en el territorio nacional.

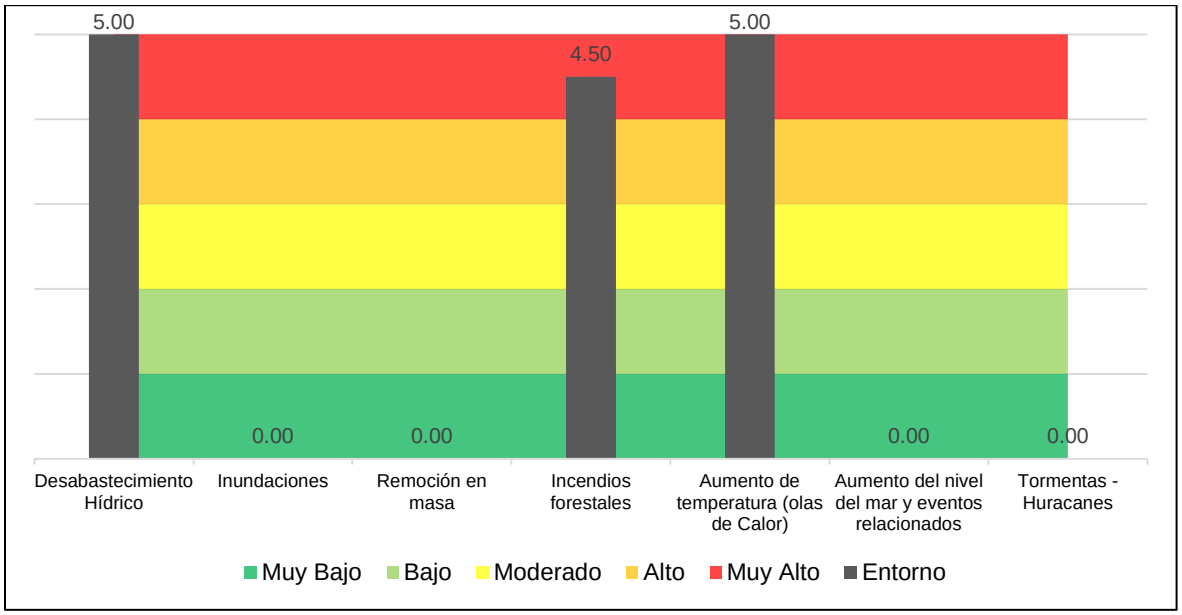
Las amenazas desde el entorno se dan desde la obstrucción de vías para el acceso a la infraestructura de generación o transmisión por causa de incendios forestales o por el desgaste en la cobertura vegetal por este mismo evento que compromete las cuencas hídricas para la generación hidroeléctrica, y en el más transversal de todos los casos el aumento en las exigencias de la demanda (refrigeración, aire acondicionado) por aumento en las temperaturas.

- Transmisión

La transmisión de energía presenta un grado de impacto muy alto debido a que los niveles de amenaza que se presentan en los eventos de aumento de temperatura e incendios forestales son alto y muy alto respetivamente.

B. Análisis de las amenazas prospectivas del entorno por eventos

Gráfico 4-40 Grado de impacto de las amenazas prospectivas del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Con la ocurrencia del fenómeno de El Niño los eventos con niveles de amenazas muy altos desde el entorno son el desabastecimiento hídrico, incendios forestales y el aumento de temperaturas

- Desabastecimiento hídrico

El grado de impacto para este evento es muy alto ya que la poca disponibilidad de agua afecta a la generación hidroeléctrica, pues la competencia por el recurso hídrico se exacerba ante la ocurrencia del fenómeno de El Niño, lo que puede traer como consecuencia pérdida de reputación organizacional a los agentes generadores.

- Incendios forestales

Los incendios forestales pueden afectar el acceso a la infraestructura de generación o transmisión, así como también puede afectarse la cobertura vegetal y ver comprometida las cuencas hídricas que son usadas para la generación hidroeléctrica. Por su parte, este evento tiene un grado de impacto muy alto y merece una mirada atenta toda vez que sus niveles de amenaza desde el entorno están entre alto y muy alto.

- Aumento de temperatura

El aumento en la temperatura, ocasiona alta demanda en refrigeración y aire acondicionado, esto aunado con lo explicado en párrafos anteriores puede afectar una oferta de generación, ya amainada por la ocurrencia del fenómeno de El Niño y ocasionar problemas con la gestión de la demanda en la red de transporte de energía eléctrica.

4.6.2.2.3 Análisis del riesgo prospectivo del sistema sobre el subsector

Para el análisis de riesgo prospectivo, el cual se debe hacer frente el sector eléctrico si se llegan a presentar fenómenos de El Niño, se analizó de manera conjunta las amenazas prospectivas, discutidas anteriormente, y la vulnerabilidad estimada del sector basada en su sensibilidad y capacidad de adaptación para hacer frente a estos eventos. Vale la pena mencionar, que en el ejercicio de evaluación de la vulnerabilidad dio que el sector presenta un nivel bajo de vulnerabilidad tanto para generación como para transmisión.

Buena parte de las amenazas prospectivas analizadas anteriormente presentan niveles de riesgos con niveles más bajos, un ejemplo de ello, es la amenaza prospectiva de desabastecimiento hídrico y aumento de temperatura en centrales hidroeléctricas que es muy alta y que la vulnerabilidad del sector le da una calificación alta al riesgo prospectivo, esto se repite para el evento de aumentos de temperatura, exceptuando la generación térmica, cuyo nivel de riesgo prospectivo es muy alto.

Tabla 4-26 Nivel de riesgo medio prospectivo del sistema sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño

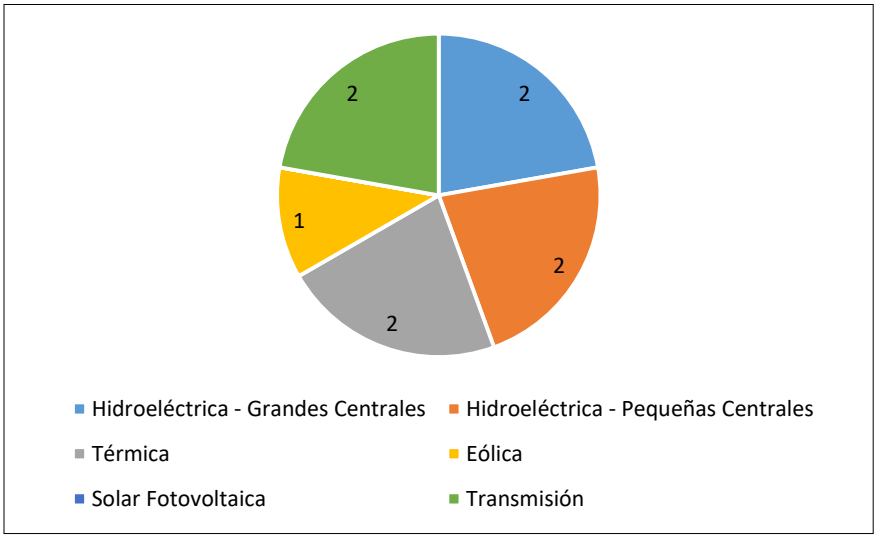
Evento	Componentes y subcomponentes	
	Generación	Transmisión

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Generación					Transmisión
	Hidroeléctricas - Grandes	Hidroeléctricas - Pequeñas	Térmicas	Eólicas	Solar Fotovoltaica	
Desabastecimiento hídrico	Alto	Alto	Alto			
Inundaciones						
Remoción en masa						
Incendios forestales						Alto
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)	Alto	Alto	Muy Alto	Alto		Alto
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

El número de riesgos prospectivos se reparte de manera homogénea para todos los subcomponentes del sistema con dos amenazas en cada uno, exceptuando la generación eólica que cuenta con un solo riesgo prospectivo.

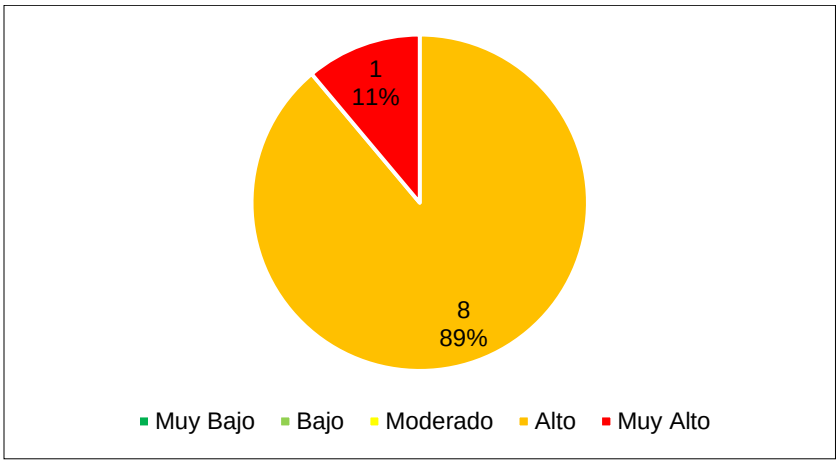
Gráfico 4-41 Número de riesgos prospectivos del sistema por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

La capacidad de adaptación amortigua las amenazas prospectivas analizadas en el capítulo anterior, aun así el 89% de los riesgos están en un nivel alto y el restante 11% permanece en un nivel muy alto de riesgo como se evidencia en el gráfico 4-42.

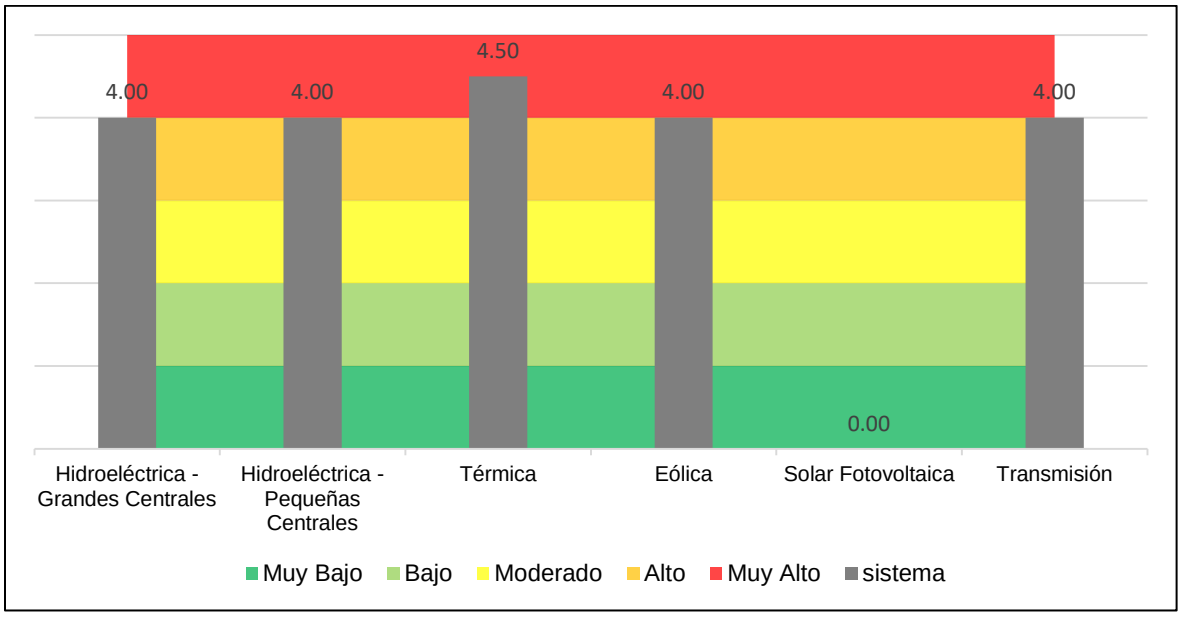
Gráfico 4-42 Distribución por nivel de riesgos prospectivos del sistema para el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

A. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por componentes o subcomponentes

Gráfico 4-43 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

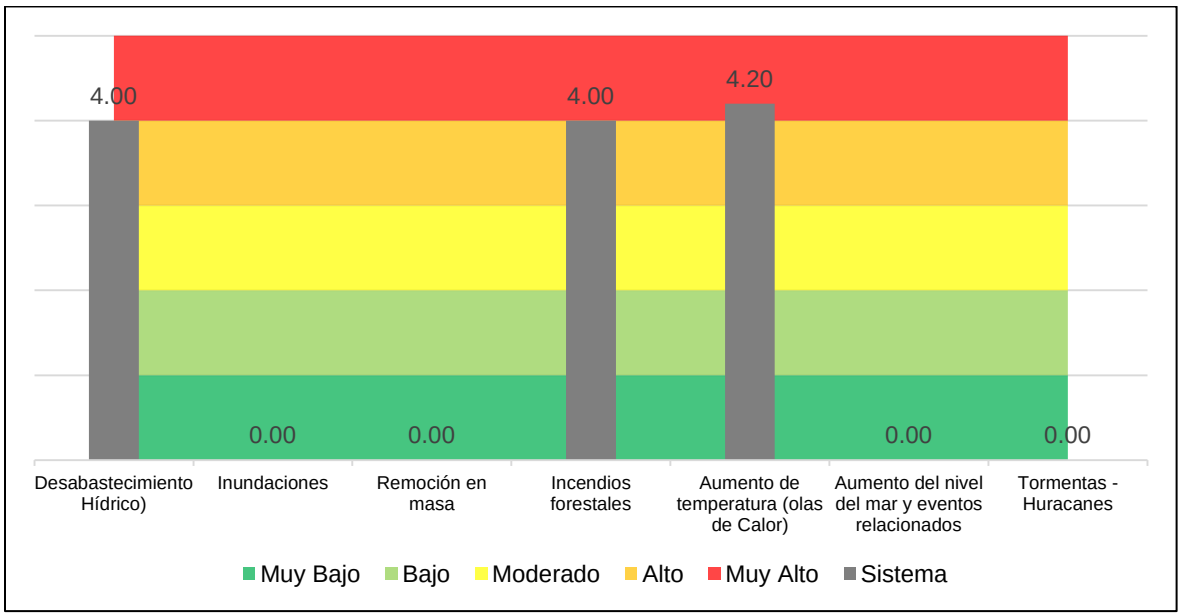
En coherencia con la baja vulnerabilidad calculada para el sector eléctrico, se puede apreciar que el nivel evaluado para las amenazas prospectivas bajó en una unidad para la todos los componentes del sistema, es así que el nivel de riesgo para todos los

subcomponentes evaluados ahora está en un nivel alto, a excepción de la generación térmica, la cual sigue presentando un nivel de riesgo muy alto a pesar de que el nivel de amenaza bajó en una proporción mínima.

B. Análisis de los riesgos prospectivos del sistema por eventos

La siguiente grafica representa como impacta cada uno de los eventos asociados al fenómeno de El Niño al sector eléctrico colombiano.

Gráfico 4-44 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del sistema por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

- Desabastecimiento hídrico

El evento asociado al desabastecimiento hídrico, presenta un grado de impacto alto que afecta principalmente la generación hidroeléctrica y puede afectar la generación térmica en sus necesidades de refrigeración.

- Incendios forestales

Los incendios forestales tienen un grado de impacto alto, que afectan principalmente la infraestructura de transmisión al aumentar su temperatura de operación, en la pérdida de aislamientos de los conductores que puede traer problemas para la continuidad del servicio de transporte de energía eléctrica.

- Aumento de temperatura

El evento que representa el mayor riesgo prospectivo para el sector es el de aumento de temperatura, pues su grado de impacto es muy alto y sus efectos son transversales a todos sus componentes, pues tiene efectos que van desde evaporación de agua superficial, reducción en las tasas de eficiencia en los equipos involucrados en la generación, pasando por afectación en los parámetros de producción de vientos que impacta la generación eólica, o el estrés térmico que aumenta el índice de pérdidas en el sistema de transmisión eléctrica nacional.

4.6.2.2.4 Análisis del riesgo prospectivo del entorno sobre el subsector

Esta evaluación sigue la misma metodología aplicada para los riesgos prospectivos directos al sistema, solo que en esta parte se analiza cómo son los riesgos desde el entorno que afectan al sistema en caso tal que ocurriera un evento asociado al fenómeno de El Niño.

Al igual que sucedió con los riesgos prospectivos directos al sistema, la baja vulnerabilidad del sector conjugada con los riesgos prospectivos desde el entorno, han arrojado niveles más bajos que los evaluados en las amenazas prospectivas desde el entorno. En ese sentido los niveles de riesgo son ahora catalogados en el nivel alto.

Tabla 4-27 Nivel de riesgo medio prospectivo del entorno sobre el subsector – variabilidad climática fenómeno de El Niño

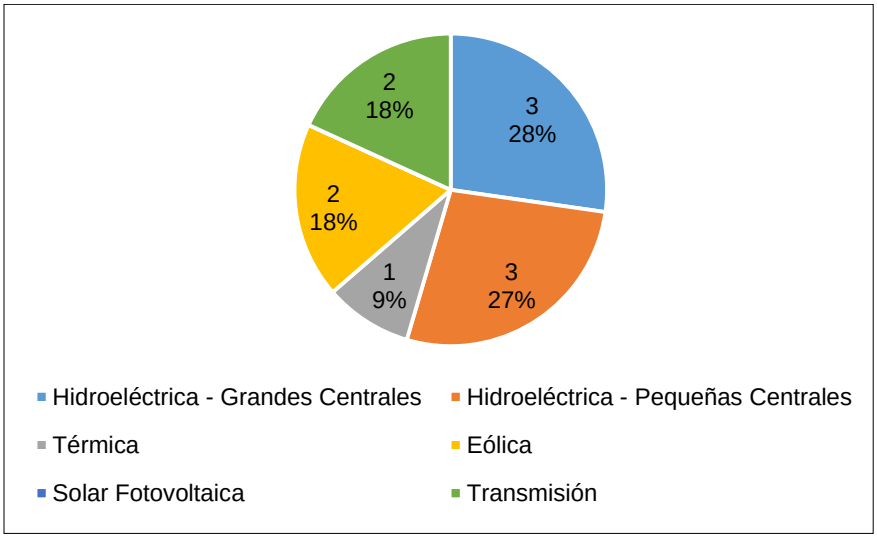
Evento	Componentes y subcomponentes					
	Generación					Transmisión
	Hidroeléctricas - Grandes	Hidroeléctricas - Pequeñas	Térmicas	Eólicas	Solar Fotovoltaica	
Desabastecimiento hídrico	Alto	Alto				
Inundaciones						
Remoción en masa						
Incendios forestales	Alto	Alto		Alto		Alto
Aumento de Temperatura (Olas de Calor)	Alto	Alto	Alto	Alto		Alto

Evento	Componentes y subcomponentes					
	Generación					Transmisión
Aumento del nivel del mar y eventos relacionados						
Tormentas (Huracanes)						

Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

El número de riesgos prospectivos desde el entorno es mayor para a generación hidroeléctrica con tres riesgos para cada una de sus centrales (grandes y pequeñas), seguida por la generación eólica y la transmisión eléctrica con dos riesgos y un riesgo para la generación térmica, en donde el 100 % de los riesgos corresponden a un nivel

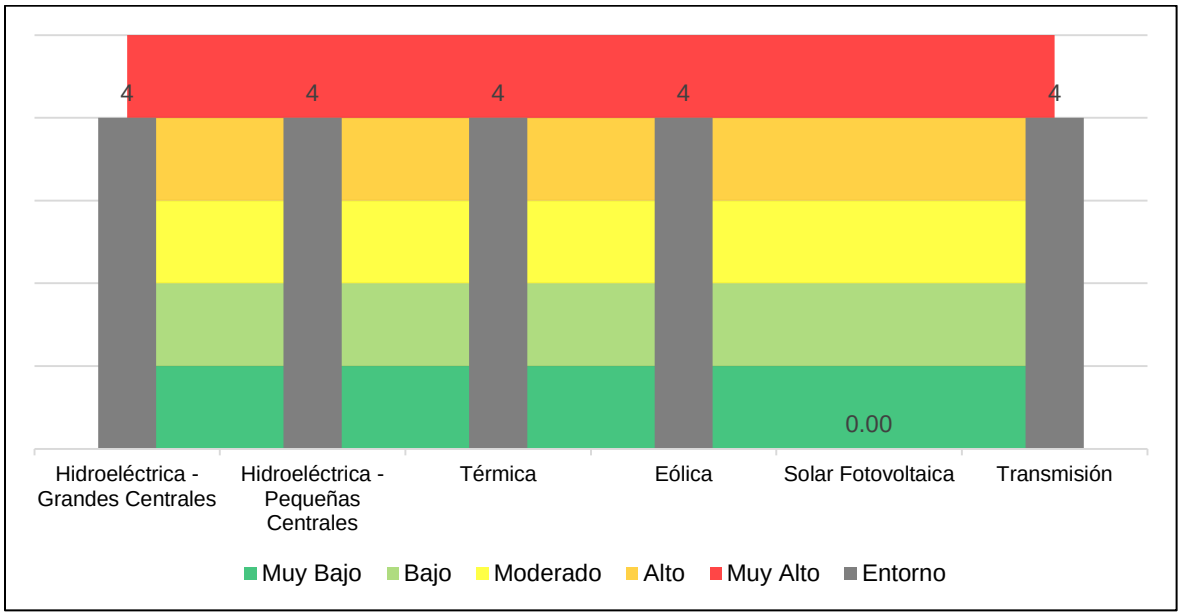
Gráfico 4-45 Número de riesgos prospectivos del entorno por componente y subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U.T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

A. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por componentes o subcomponentes

Gráfico 4-46 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por componente o subcomponente – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

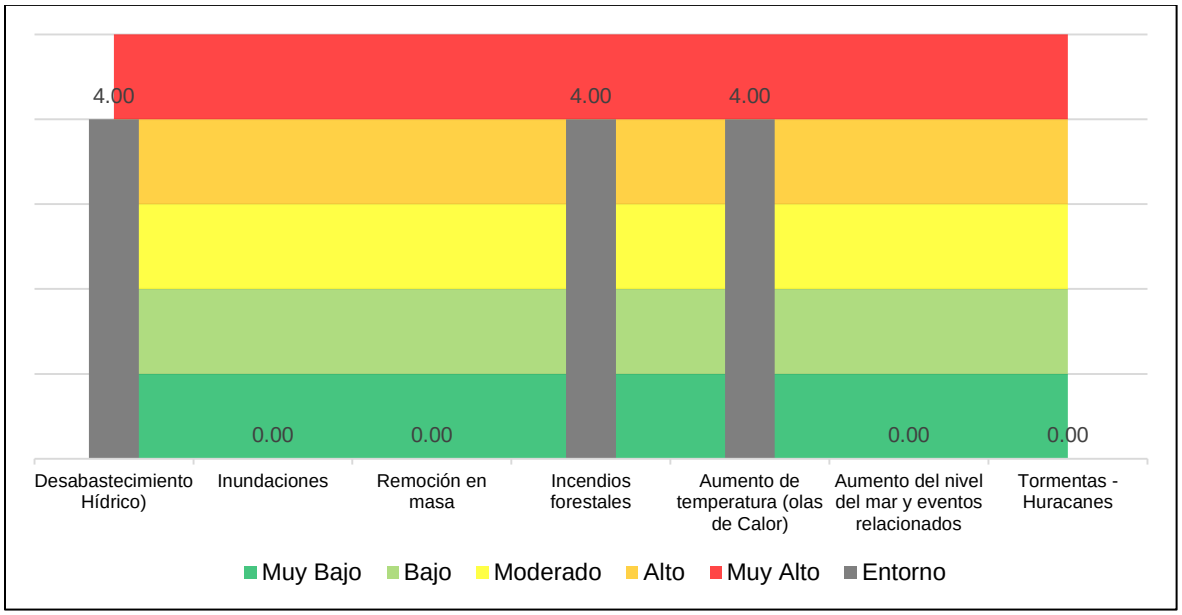
- Generación y transmisión

El grado de impacto de los riesgos que se dan desde el entorno para los componentes de centrales hidroeléctricas, centrales térmicas, generación eólica y el componente de transmisión, son resultado de la valoración alta de riesgo que se ha dado a los eventos asociados al desabastecimiento hídrico, incendios forestales y aumento de las temperaturas

En coherencia con la estimación de la vulnerabilidad baja del sector eléctrico a los eventos asociados al fenómeno de El Niño, el impacto que puedan tener las amenazas prospectivas desde el entorno se ve atenuado por la baja sensibilidad del sistema y la alta capacidad de adaptación del mismo, pues se pasó de tener una valoración de amenazas prospectivas muy altas a niveles de riesgo prospectivos altos.

B. Análisis de los riesgos prospectivos del entorno por eventos

Gráfico 4-47 Grado de impacto de los riesgos prospectivos del entorno por evento – variabilidad climática fenómeno de El Niño



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Los eventos asociados al desabastecimiento hídrico, a los incendios forestales y a los aumentos de temperatura tienen un grado de impacto alto de los riesgos prospectivos.

Aunque desde el entorno, puede generarse competencia por el recurso hídrico, para centrales hidroeléctricas, la capacidad de adaptación del sector amortigua un poco el nivel de esta amenaza, sin embargo, su nivel de riesgo invita a tomar medias de adaptación oportunas para el caso de que los fenómenos de El Niño sean más repetitivos y más severos.

Conclusiones similares pueden sacarse de las valoraciones de riesgo para incendios forestales y para aumentos de temperatura, que gracias a la capacidad de adaptación del sector aminoran el impacto de la amenaza prospectiva. Sin embargo, las valoraciones altas para ambos eventos denotan un signo de posible alarma ante la ocurrencia futura de fenómenos de El Niño.

4.6.2.3 Escenario de riesgo

4.6.2.5.1 Fenómeno de La Niña

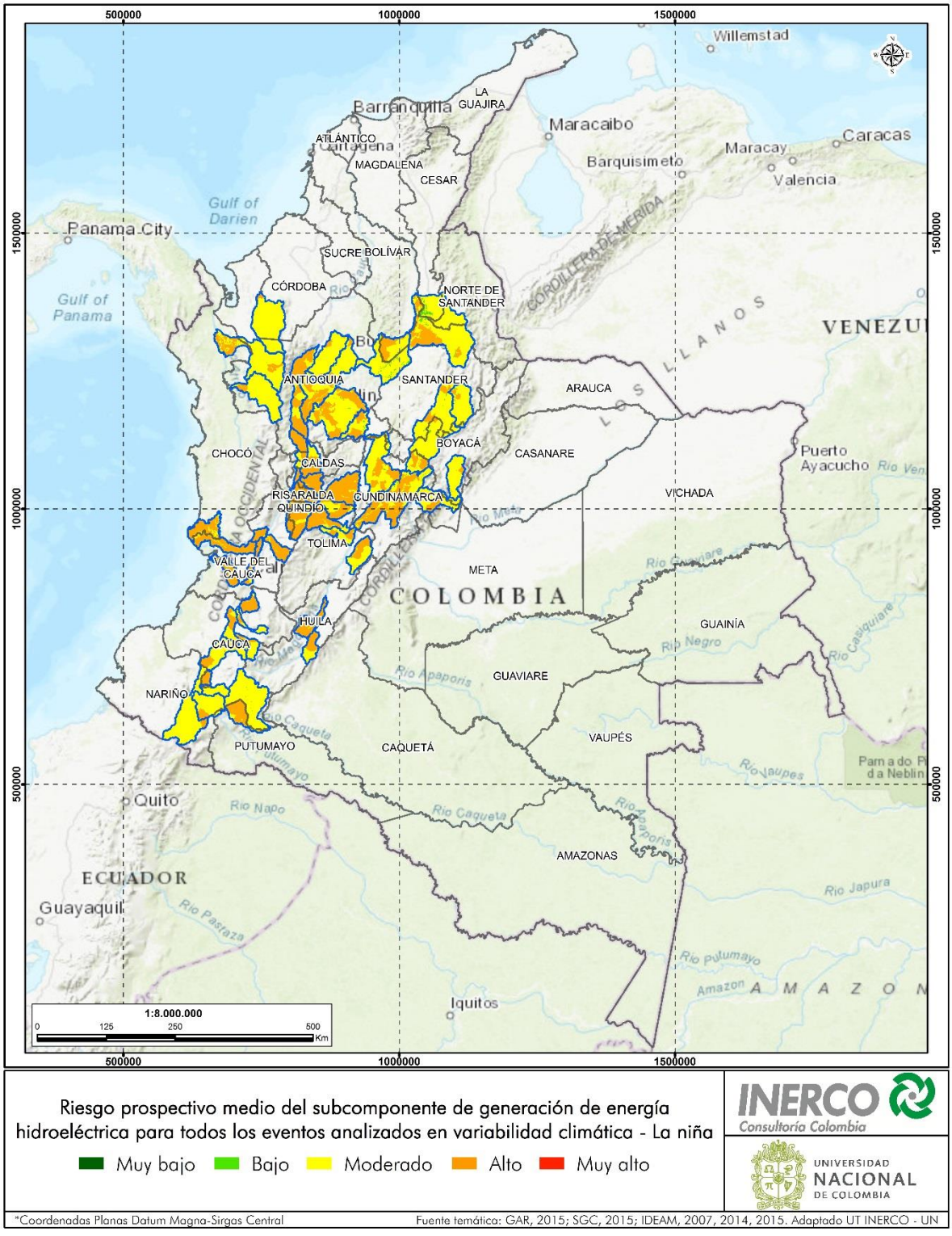
Para la ocurrencia del fenómeno de La Niña, se puede concluir que las inundaciones, comunes con este Fenómeno, no representan una amenaza prospectiva ni un riesgo prospectivo relevante para el sector, no afecta la oferta en la generación eléctrica ni la infraestructura de transporte de energía eléctrica.

Sin embargo, los eventos de remoción en masa tienen un impacto relevante en el sector, especialmente en la generación hidroeléctrica y en la transmisión, pues estos eventos pueden afectar la infraestructura de generación y en el largo plazo disminuir la vida útil de los embalses para la producción de energía. Con respecto a la transmisión, la remoción en masa también puede afectar la infraestructura comprometiendo la continuidad del servicio de transporte de energía eléctrica.

Vale la pena resaltar que la capacidad de adaptación es alta y aunque las conclusiones para el fenómeno de La Niña no son tan urgentes como para la del fenómeno de El Niño, es importante trabajar en acciones que mitiguen el impacto de las remociones en masa para mitigar el nivel de riesgo y mantener la confiabilidad del sistema eléctrico nacional.

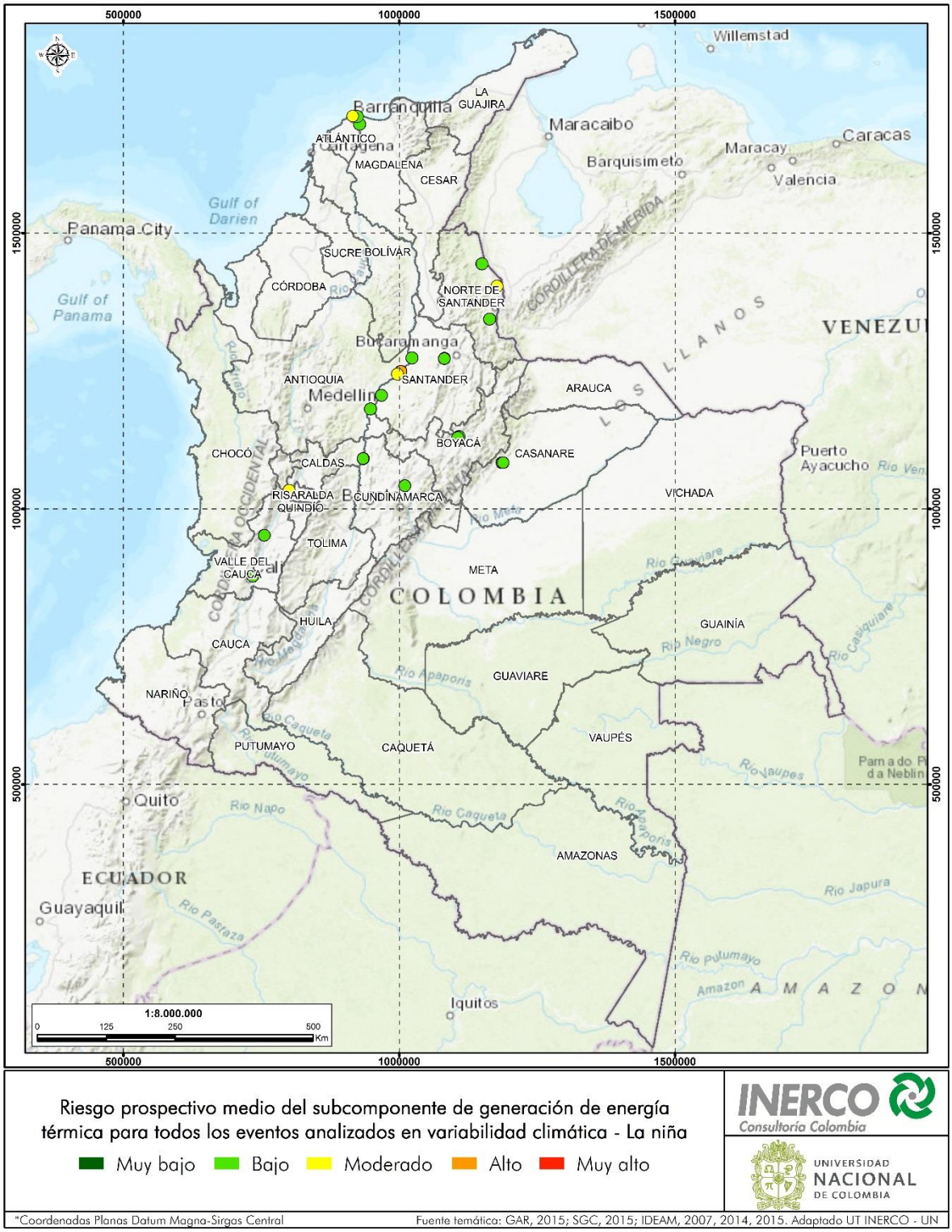
A continuación se presentan los mapas por componente:

Figura 4-28 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación hidroeléctrica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 4-29 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente generación térmica



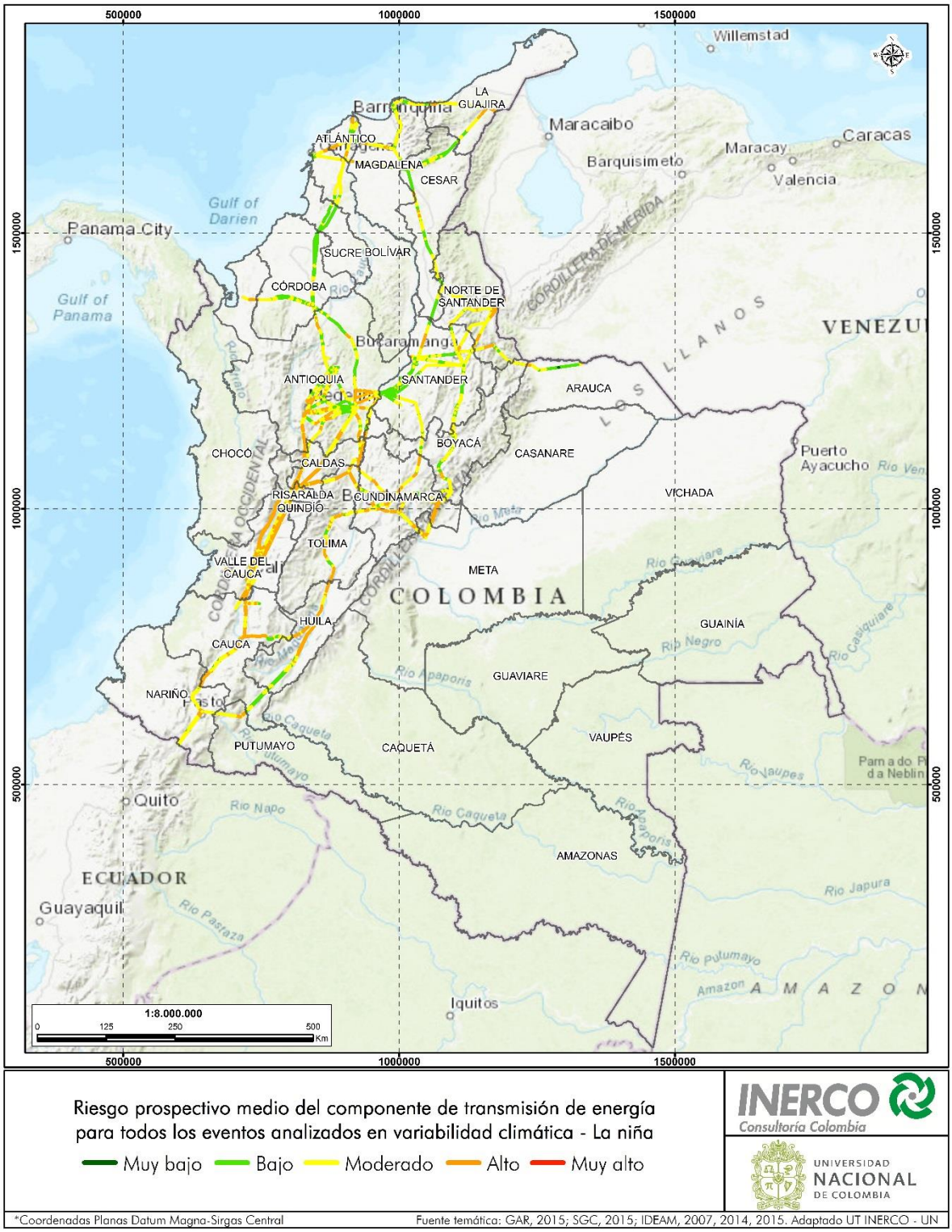
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 4-30 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación eólica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 4-31 Riesgo prospectivo medio para el componente de transmisión



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

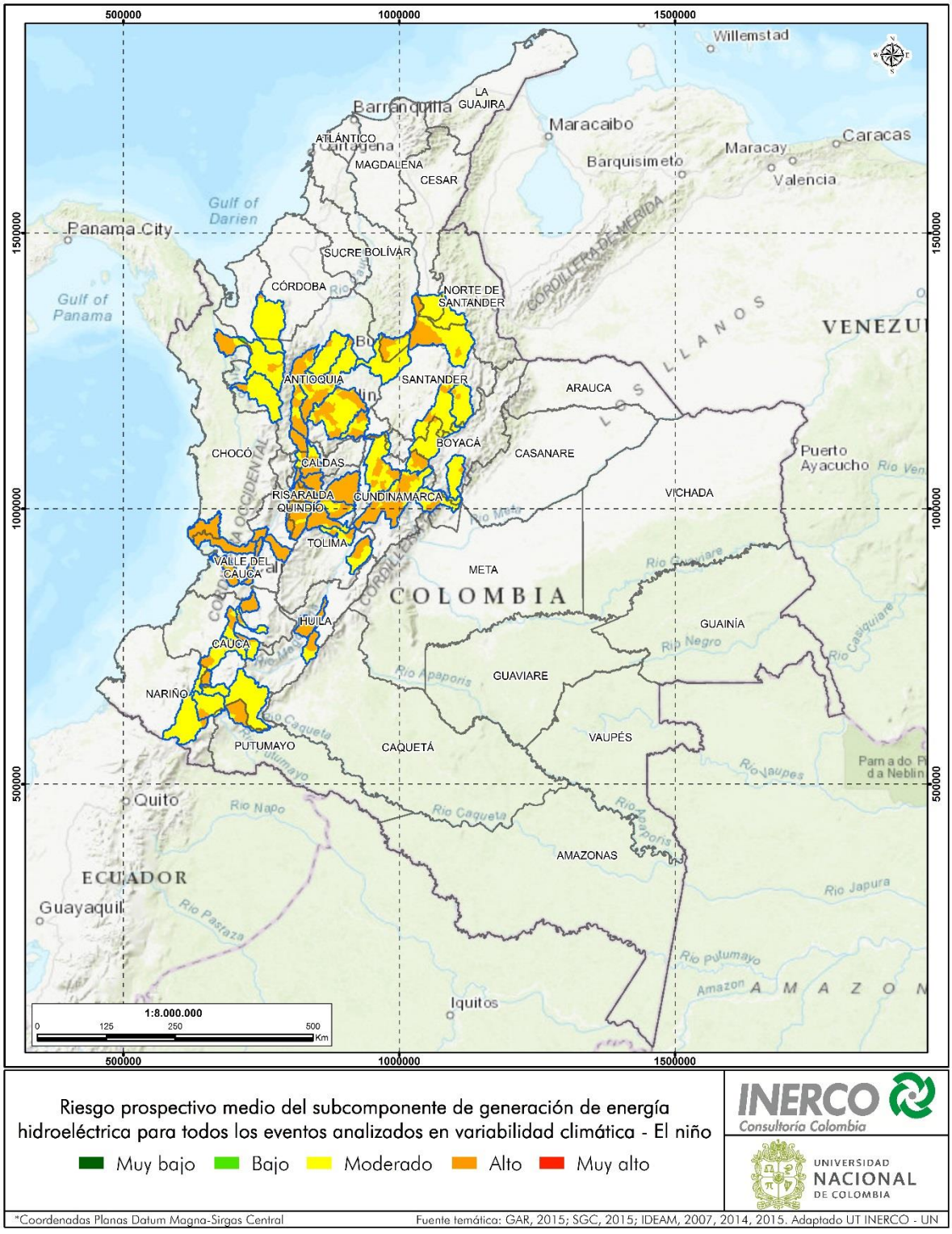
4.6.2.5.2 Fenómeno de El Niño

Los escenarios actuales del sector eléctrico dejan ver unas amenazas prospectivas con niveles de calificación muy altos para eventos asociados al desabastecimiento hídrico, incendios forestales y aumentos de temperatura, los cuales se exacerban con la ocurrencia del fenómeno de El Niño.

Aunque la capacidad de adaptación del sector eléctrico es alta, los escenarios actuales para el fenómeno de El Niño muestran que sus efectos en el sector eléctrico tienen un nivel de amenaza alto. Esto se debe, por diferentes factores como la alta participación de la generación hidroeléctrica dentro de la matriz energética colombiana, también por temas como las exigencias del lado de la demanda cuando el fenómeno de El Niño ocurre cuyas exigencias en refrigeración y aire acondicionado aumentan e imponen un reto en la gestión de carga para las redes de transmisión y para atención de la demanda en todos los subcomponentes del negocio de generación eléctrica. Así mismo los incendios forestales pueden afectar la cobertura vegetal y por ende impactar negativamente las cuencas hídricas, por otro lado, los incendios forestales imponen un estrés térmico a las redes de transmisión que puede afectar el aislamiento de los conductores y aumentar el índice de pérdidas de la red.

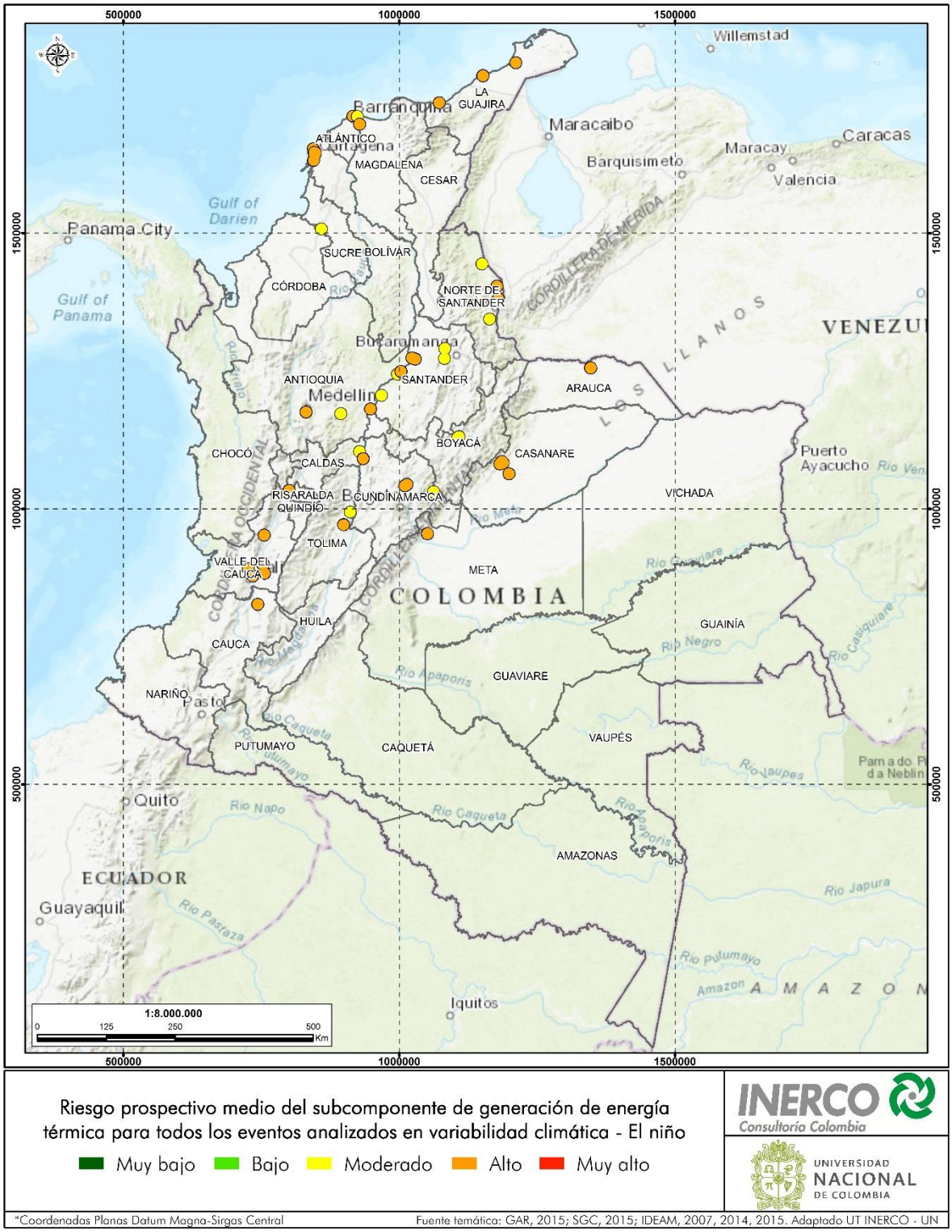
Con este escenario, se hace necesario prever las acciones que ayuden a mitigar el nivel de riesgo prospectivo para asegurar el suministro de energía eléctrica al territorio nacional.

Figura 4-32 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación hidroeléctrica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 4-33 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente generación térmica



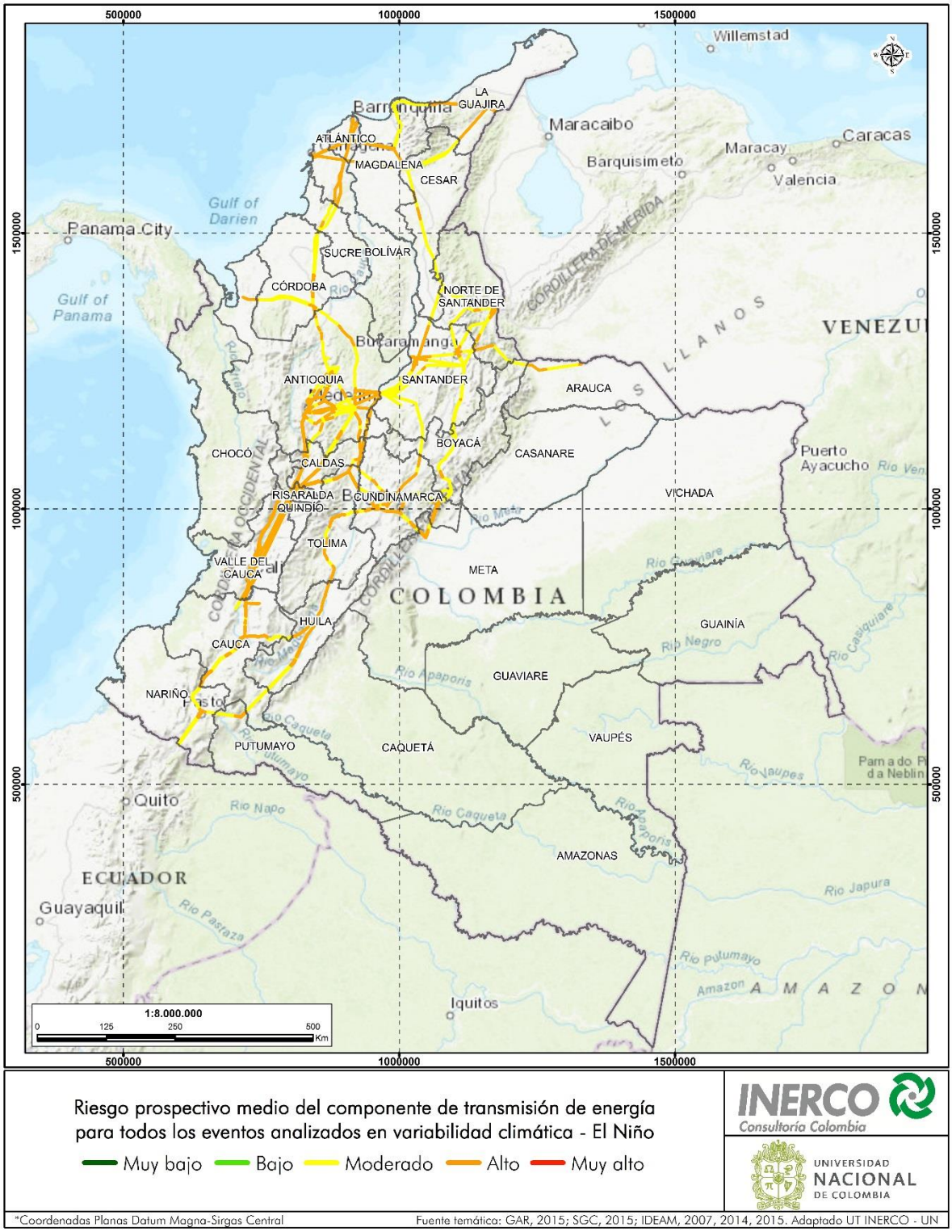
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 4-34 Riesgo prospectivo medio para el subcomponente de generación eólica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

Figura 4-35 Riesgo prospectivo medio para el componente de transmisión



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

4.7 Identificación medidas de adaptación

A continuación se presenta la revisión de medidas a nivel nacional e internacional, realizada por los expertos sectoriales de la Unión temporal INERCO – Universidad Nacional de Colombia.

Tabla 4-28 Revisión internacional de medidas para subsector de energía eléctrica

Revisión internacional de medidas de adaptación
Gobernanza climática
IPCC Magrin et. al 2007 • Adquirir el empoderamiento de los grupos marginados para influir en las decisiones que los afectan a ellos y a sus servicios ecosistémicos, y hacer campaña para el reconocimiento legal de la propiedad de los recursos naturales por parte de las comunidades locales. Esta opción es la clave para reducir la incidencia de incendios forestales. - Incluir una valoración sólida y la gestión de los servicios ecosistémicos en todas las decisiones de planificación regional y en las estrategias de reducción de la pobreza es la clave para reducir la incidencia de incendios forestales. - Incluir una valoración sólida y la gestión de los servicios ecosistémicos en todas las decisiones de planificación regional y en las estrategias de reducción de la pobreza • Desarrollo de campañas de concientización pública para resaltar el valor de los ríos y humedales como amortiguadores contra el aumento de la variabilidad climática y para mejorar la participación de los grupos vulnerables en los programas de mitigación y adaptación a las inundaciones
Resiliencia de entorno
Bedsworth & Hanak 2010 • Adquisición de reservas • Creación de corredores de hábitat que converjan el áreas de protección preventiva para anticipar las necesidades futuras de especies • Programas de rescate (p. ej.: criaderos de especies amenazadas de extinción).
IPCC Magrin et. al 2007 • Establecer áreas protegidas adicionales, en particular los corredores biológicos o ecológicos, para preservar las conexiones entre las áreas protegidas, con el objetivo de prevenir la fragmentación de los hábitats naturales
• Incluir una valoración sólida y la gestión de los servicios ecosistémicos en todas las decisiones de planificación regional y en las estrategias de reducción de la pobreza • Mejora y el desarrollo posterior de la legislación relacionada con el uso de la tierra en las llanuras de inundación, asegurando el cumplimiento de las regulaciones existentes de zonas de riesgo, uso de la llanura de inundación y códigos de construcción.
Resiliencia/Seguridad en la distribución
Bedsworth & Hanak 2010

Revisión internacional de medidas de adaptación
Gobernanza climática
• Restricciones en el desarrollo de los valles de inundación. • Seguros contra inundaciones obligatorios.
Resiliencia/Seguridad energética/sectorial
Bedsworth & Hanak 2010
• Establecer requisitos para la participación en la matriz energética con recursos renovables (generación distribuida) • Incentivos para ahorros energéticos y/o eficiencia energética • Programas de respuesta a la demanda de energía • Promover el establecimiento de un código de construcción de edificaciones con consumo eficiente de agua y energía
Wilbanks et.al 2013
• Apuntar a cambios tecnológicos dirigidos, por ejemplo, a aplanar el pico de generación de electricidad o reducción del consumo de agua. Más si el cambio climático introduce riesgos al suministro y uso de energía; se puede incluir como prioridad la reducción del riesgo, vía, agendas para la investigación y desarrollo tecnológico • Smart Systems. Son redes de distribución de electricidad que se combinan con modernas tecnologías de información (p. ej.: de monitoreo y control) que brindan información importante tanto a operadores de red como a usuarios finales
Resiliencia/Seguridad operativa
Bedsworth & Hanak 2010
• Blindaje costero (p. ej.: malecones, diques) • Códigos de construcción y zonificación más estrictos. • Nuevos regulaciones para la operación de embalses. • Reubicación de estructuras para permitir la migración hacia el interior de la costa. • Seguros obligatorios • Sistemas de drenaje artificial para áreas bajas
Wilbanks et.al 2013
• Aumentar la altura de las presas • Construir pequeñas presas en altas cuencas • Mejorar el diseño de aerogeneradores para soportar velocidades de viento más altas • Reubicación en áreas con bajo riesgo de inundación • Reubicación en áreas con bajo riesgo de sequía

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Tabla 4-29 Revisión nacional de medidas para subsector de energía eléctrica

Revisión nacional de medidas de adaptación

Revisión nacional de medidas de adaptación
Resiliencia de entorno
UPME 2013 • Adoptar e implementar políticas de conservación de bosques que genere los incentivos económicos necesarios para promover la conservación de ecosistemas y cuencas estratégicas en áreas privadas y comunitarias. • Dar continuidad y profundizar el desarrollo de las siguientes políticas: Política para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, Política para la Conservación de Áreas Naturales y la Biodiversidad, Fortalecimiento del Sistema Nacional y de los Sistemas Regionales de Áreas Protegidas, Plan Nacional de Restauración y las Políticas de Ordenamiento Territorial • Fortalecer el IDEAM, y fomentar en el sector privado, la capacidad para capturar, procesar, analizar, interpretar y difundir información climática útil para el diseño de medidas de adaptación a nivel local. • Mantener actualizada la agenda regulatoria en temas relativos a la calidad del aire, el caudal Ambiental y las tasas de uso de agua. • Mantener un proceso continuo de fortalecimiento de autoridades ambientales nacionales y regionales para asegurar la eficiencia y pertenecía de la regulación ambiental aplicable al sector.
Resiliencia/Seguridad en la distribución
UPME 2013 • Mantener y profundizar el sistema de incentivos económicos del mercado de electricidad gestado por las Leyes 142 y 143 de 1993 y sus normas reglamentarias. • Mantenimiento actualizado de los límites de pérdidas aceptables. • Mantenimiento actualizado de Planes de Reducción de Pérdidas
Resiliencia/Seguridad energética/sectorial
UPME 2013 • Ajuste precio tasas de uso de agua - Caudal ecológico • Aumento en la cobertura del servicio gas natural domiciliario para desplazar calentadores eléctricos. • Considerar de forma explícita en los planes de expansión en generación y transmisión de energía eléctrica, los riesgos asociados al cambio climático. • De acuerdo con lo previsto por el PROURE: mejoramiento de la eficiencia energética: optimización de la cadena de frio; remplazo de luminarias, optimización de procesos de combustión, de motores convencionales, cogeneración y autogeneración; uso eficiente de la energía en Pequeñas y Medianas Empresas, renovación tecnológica para la optimización del uso de calderas, programas de gestión integral de energía en empresas. • Según lo previsto por el PROURE: mejoramiento de la eficiencia energética: viviendas energéticamente eficiente; remplazo de bombillas incandescentes, chatarrización de neveras.

Revisión nacional de medidas de adaptación
• De acuerdo con lo previsto por el PROURE: mejoramiento de la eficiencia energética: fomento reconversión energética y uso eficiente y sostenible de edificaciones, caracterización y gestión de indicadores, actualización y reconversión tecnológica del alumbrado público, y sustitución de equipos de refrigeración, eficiencia energética en iluminación en entidades públicas (centros hospitalarios y colegios). • Desarrollar una infraestructura suficiente para el transporte de gas natural • Diseñar un Cargo por Confiablidad que reconozca la naturaleza y la temporalidad de las fuentes no convencionales de energía. • Elevar el límite de 10 MW para conectarse al SIN, sin necesidad de ofertar en el mercado mayorista. • Facilitar la entrada al SIN de proyectos de cogeneración y/o autogeneración de pequeña y mediana capacidad. • Implementación del plan de expansión de referencia • Implementación del Reglamento técnico de etiquetado-RETIQ • Introducir cambios regulatorios que incentiven al micro generación a nivel de hogares con tecnología fotovoltaica. • Mantener y profundizar el sistema de incentivos económicos del mercado de electricidad gestado por las Leyes 142 y 143 de 1993 y sus normas reglamentarias. • Optimización de la distribución de subsidios entre los estratos 1,2, 3. • Promoción Diésel orgánico (Jatropha etc.) y Biogás para generación en ZNI • Promoción Plantaciones forestales dedicadas para producción de biomasa en ZNI • Que el ENFICC que reportan los generadores sea el más conservador posible: utilizando la hidrología más crítica; y (en las térmicas) la garantía física del combustible se base en contratos. • Rediseñar el Cargo por Confiablidad de manera que cada usuario pueda, de acuerdo con sus propias condiciones (aversión al riesgo, costos de desabastecimiento etc.) optar por la inclusión, o no, de este cargo en su tarifa • Rediseñar el sistema de subsidios a los combustibles para la generación con fuentes fósiles de energía en ZNI para que esos mismos recursos permitan transitar gradualmente hacia FNCE en las ZNI. • Remover el límite de 19.9 MW para acceso de FVCE al SIN • Tarifa diferenciada para un mercado de energía de FNCE
Resiliencia/Seguridad operativa
UPME 2013 • Regulación de emisiones
Transversales: Conocimiento
UPME 2013 • Adelantar los programas de investigación geotermia previstos en el Plan de Ciencia Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable.

Revisión nacional de medidas de adaptación
• Adelantar los programas de investigación sobre eficiencia energética en el sector industrial previstos en el Plan de Ciencia Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable. • Adelantar los programas de investigación sobre energía eólica previstos en el Plan de Ciencia Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable. • Adelantar los programas de investigación sobre energía solar previstos en el Plan de Ciencia Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable. • Adelantar los programas de investigación sobre generación con biomasa previstos en el Plan de Ciencia Tecnología e Innovación para el Desarrollo de la Energía Sustentable. • Construcción de base de información pública sobre oferta de energía geotérmica en Colombia • Construcción de base de información pública sobre oferta de energía solar en Colombia

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

4.7.1 Priorización medidas de adaptación

En el marco del estudio se analizó la propuesta metodológica de priorización de medias de adaptación elaborada por la Universidad Nacional de Mendellin para la UPME con el propósito de analizar su aplicabilidad al contexto de la formulación del PIGCC.

El modelo de priorización desarrollado por la UN Medellín, sin embargo, con toda la utilidad que tiene, está diseñado para priorizar medidas o acciones en un contexto decisional distinto al de la formulación de un plan de las características del PIGCC.

La metodología de priorización propuesta consiste básicamente en un diseño de análisis multiciriterio para ordenar opciones alterativas para la consecución de un objetivo. Esto significa que cada medida de adaptación o cada acción tiene un mismo propósito. No obstante el PIGCC está estructurado, no sólo en torno a un objetivo y varios objetivos específicos dentro de los cuales se alinean las acciones de adaptación identificadas, sino que ademas esas líneas y esas acciones dentro de un misma línea estratégica, antes que alternativas, son complementarias las unas con las otras.

En este contexto la aplicación de un proceso de priorización de medias o acciones no parece una opción adecuada.

4.8 Indice de confiabilidad

Coincidiendo con la metodolgía planteada, a continuación se presenta los resultados del indice de confiabilidad del subsector de energía eléctrica:

Tabla 4-30 Índice de confiabilidad del subsector energía eléctrica

Operaciones	¿Considera que la información utilizada para la operación ha sido?	¿Considera que la/las operacion de cálculo utilizada en la operación ha/han sido?	¿Considera que la métrica utilizada en la operación ha sido?	¿Considera que la validación de la operación con actores claves ha sido?
Rango de calificación	5=la más adecuada y mejor disponible 4=la más decuada y más aproximada a la mejor disponible 3=la disponible que permitia operar 2=insuficiente 1=muy insuficiente	5=suficientemente rigurosas 4=adecuada 3=la única disponible que permitia operar 2=mejorable 1=notablemente mejorable	5=suficientemente rigurosas 4=adecuada 3=la única disponible que permitia operar 2=mejorable 1=notablemente mejorable	5= Muy amplia 4= Amplia 3= Suficiente 2= Mejorable 1= Notablemente mejorable
Promedio	4,0	4,4	3,8	4,0
Indice metodologico	0,40	0,40	0,30	0,40
Indice operativo	0,80	0,89	0,38	0,40

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017.

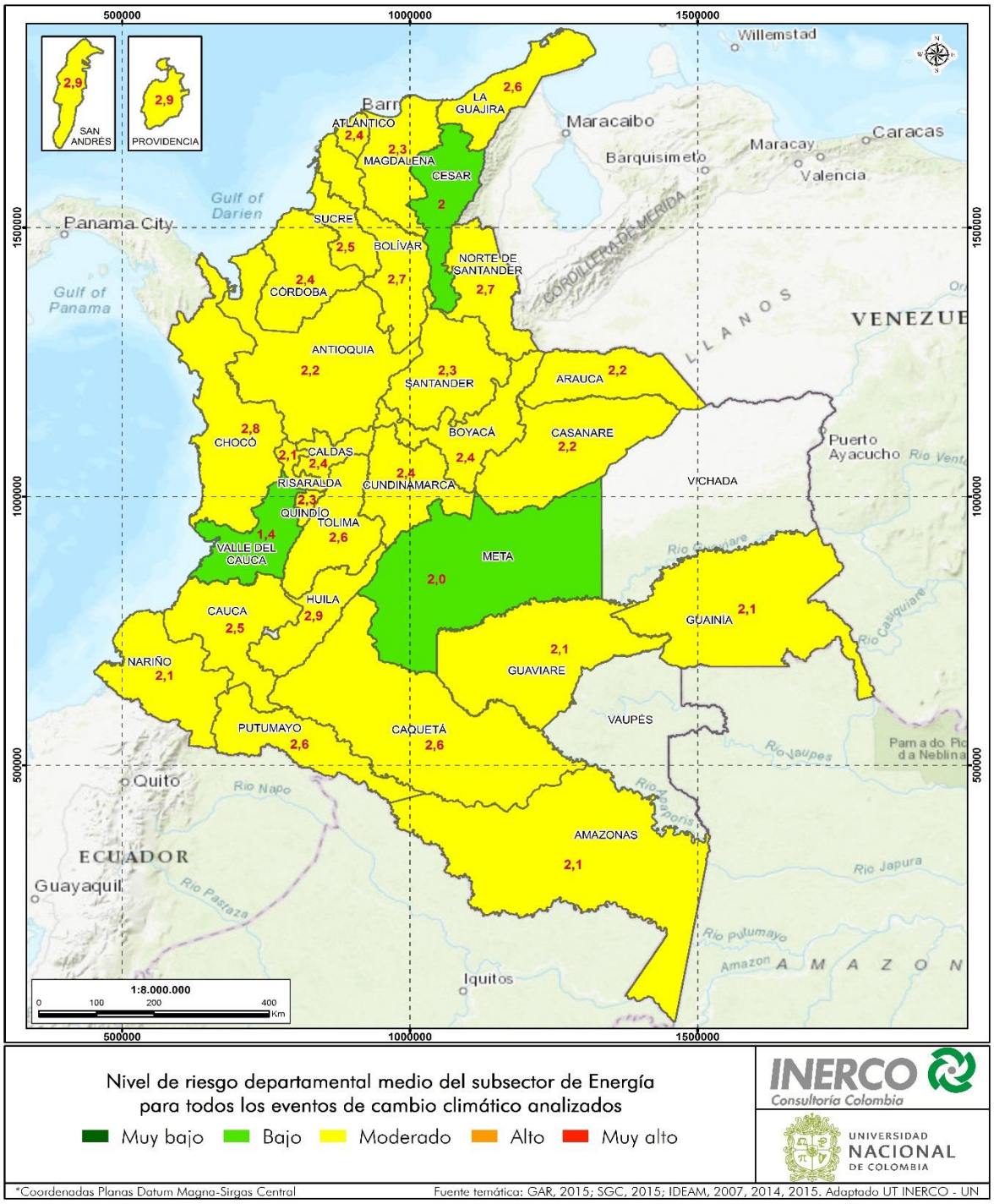
En total se calcula un índice de 4,0, lo que se traduce en un índice operativo y metodológico riguroso. El nivel de confianza del escenario es ALTO.

4.9 Indice de riesgo departamental

4.9.1 Cambio Climático

Como se evidencia en la figura 4-36, los departamentos que no representan riesgo para el subsector de energía eléctrica son Vichada y Vaupés, mientras que Meta, Cesar y Valle del Cauca presentan un nivel riesgo bajo, seguido por los demás departamentos con un nivel de riesgo moderado.

Figura 4-36 Nivel de riesgo departamental medio del subsector de energía eléctrica para todos los eventos de cambio climático analizados



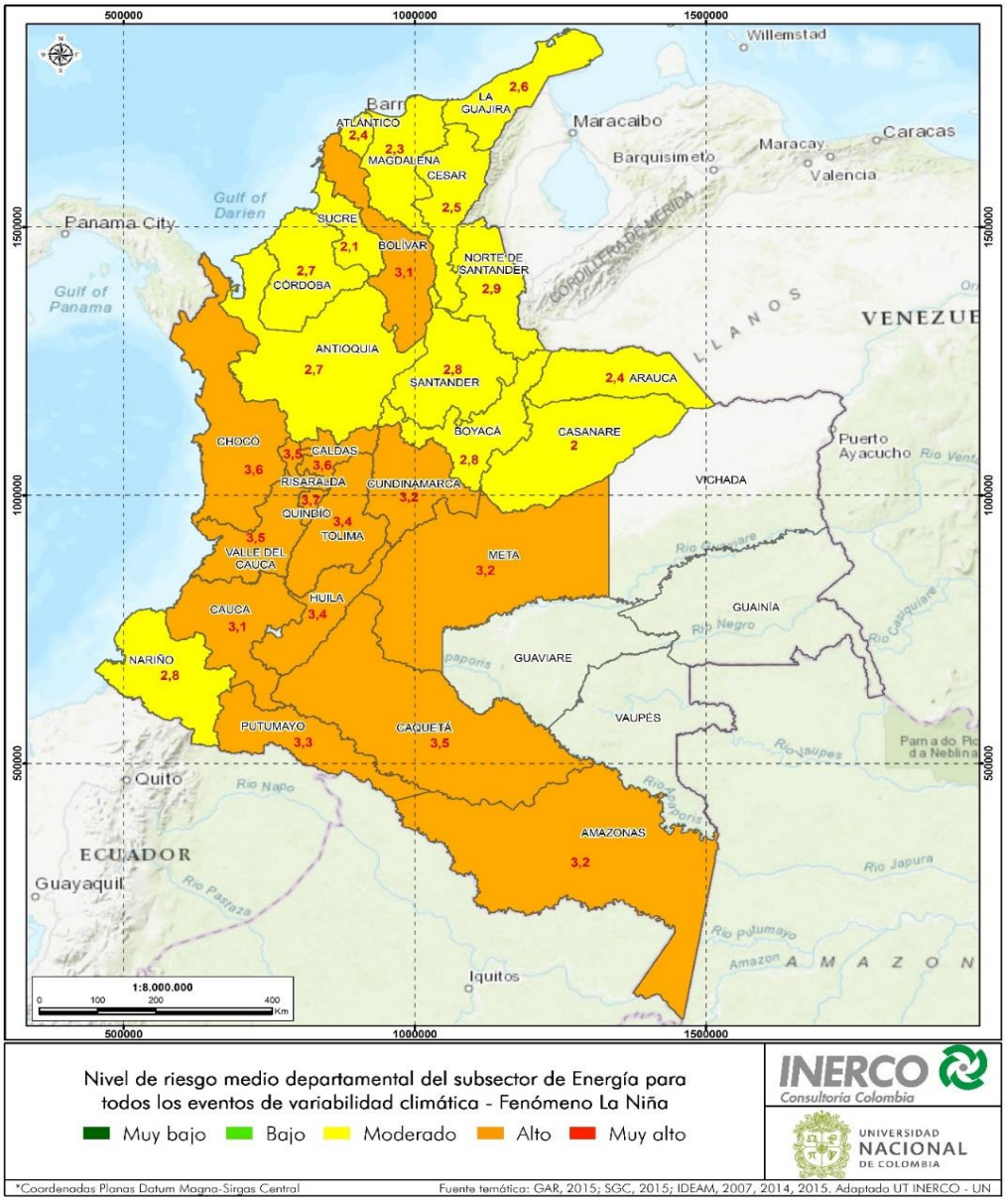
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2017

4.9.2 Variabilidad Climática

4.9.2.1 Fenómeno de La Niña

Como se evidencia en la figura 4-37, los departamentos que no representan riesgo para el subsector de energía eléctrica son Guaviare, Guainía, Vichada y Vaupés, mientras que, casi que en igual proporción, otros se clasifican entre riesgos altos y moderados.

Figura 4-37 Riesgo departamental medio del subsector de energía eléctrica para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de La Niña

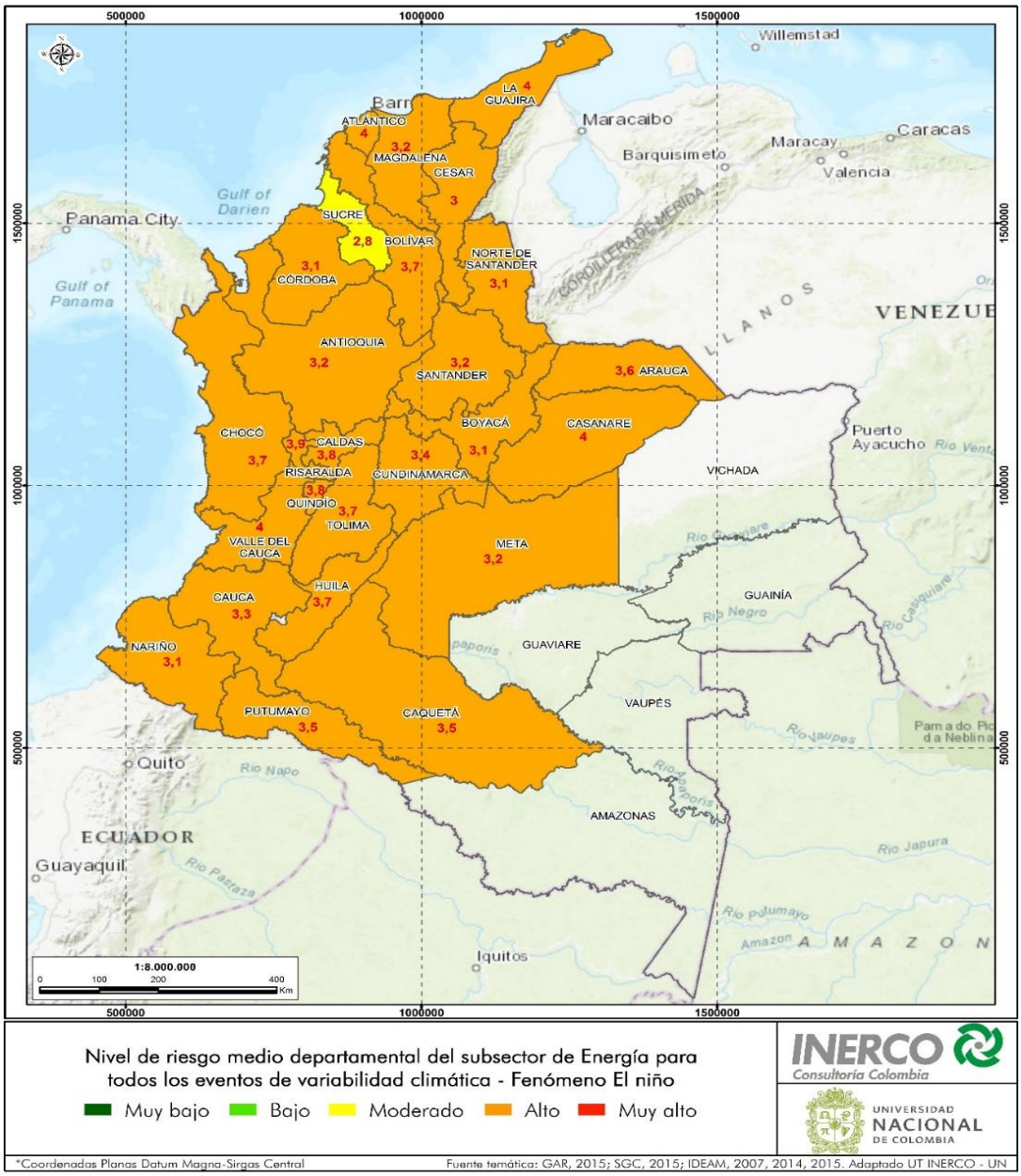


Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

4.9.2.2 Fenómeno de El Niño

Como se evidencia en la figura 4-38, los departamentos que no presentan riesgo para el subsector de energía eléctrica son Vichada, Guainía, Guaviare, Vaupés y Amazonas. Por otro lado, el departamento de Sucre representa un riesgo moderado, mientras los demás departamentos del país presentan riesgo alto.

Figura 4-38 Riesgo departamental medio del subsector de energía eléctrica para los eventos de variabilidad climática analizados – Fenómeno de El Niño



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018.

5. INDICADORES DE COMPETITIVIDAD

5.1 Índice de sensibilidad socio climática

El funcionamiento del sector minero energético abarca geográficamente gran parte del territorio nacional, donde interactúa permanentemente con la población asentada en este. Debido a esto, se ha encontrado en años recientes que la dinámica de relación sector – comunidad ha resultado en una problemática de conflictividad social que, en algunas ocasiones, ha impedido el desarrollo de nuevos proyectos y, en consecuencia, el funcionamiento del sector.

Ahora bien, teniendo en cuenta que el cambio climático, por su naturaleza, puede generar efectos adversos sobre el territorio debido a la distorsión y presión sobre los recursos naturales del entorno donde se encuentra asentada la comunidad y el sector tiene interés de desarrollar su negocio, se debe adelantar un análisis para determinar la influencia de este fenómeno sobre la conflictividad social desde una perspectiva de sector.

Para esto, se plantea un *Índice de Sensibilidad Socio Climático Sectorial,* que cruza a escala municipal un índice de vulnerabilidad socioeconómica de los entornos minero energéticos con las amenazas prospectivas de entorno del cambio climático identificadas en esta consultoría. De esta forma se pretenden identificar zonas en las que el sector minero energético tiene amenazas prospectivas de entorno altas y la vez presentan índices altos de vulnerabilidad socio económicas, circunstancia que genera mayores índices de susceptibilidad a conflictos sociales derivados de los efectos del cambio climático.

5.1.1 Resultados

Los resultados obtenidos se clasificaron de forma cualitativa de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 5-1 Rango de clasificación del índice de sensibilidad socio climático sectorial

Escala	Rango
Muy Bajo	0% - 20%
Bajo	>20% - 40%
Moderado	>40% - 60%
Alto	>60% - 80%
Muy Alto	>80% - 100%

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

La tabla 5-2 muestra los resultados del Índice de sensibilidad socio climática calculado con el objetivo de ilustrar la situación a la se enfrenta cada subsector y el sector en general. En este, se resalta que los departamentos de mayor cantidad de población en los niveles altos y muy altos de sensibilidad socio climática son Bogotá D.C., Bolívar, Córdoba, Magdalena, Quindío, San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Sucre y Valle del Cauca.

Tabla 5-2 Índice de sensibilidad socio climática a nivel departamental por cada sector y para el sector en general

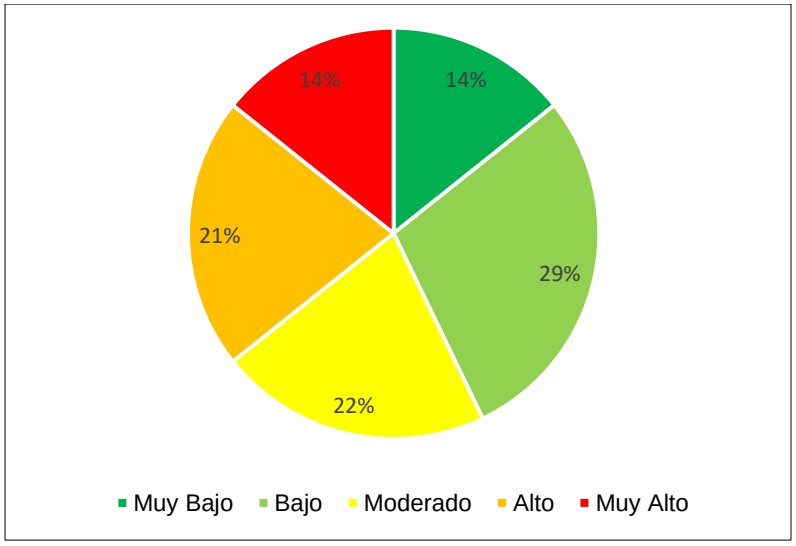
Departamento	Población Depto.	EE	GM	HC	Sectorial
Amazonas	80.682	53,24%	N.A.	N.A.	53,24%
Antioquia	6.845.093	28,37%	N.A.	12,58%	30,62%
Arauca	275.814	N.A.	N.A.	29,79%	29,79%
Atlántico	2.600.904	41,46%	34,64%	41,83%	41,83%
Bogotá, D.C.	8.380.801	100,00%	N.A.	100,00%	100,00%
Bolívar	2.219.139	62,03%	59,65%	82,33%	84,45%
Boyacá	1.287.032	39,90%	N.A.	58,72%	58,72%
Caldas	997.831	33,48%	N.A.	10,47%	33,48%
Caquetá	508.517	N.A.	N.A.	23,06%	23,06%
Casanare	387.828	4,06%	N.A.	12,45%	12,45%
Cauca	1.436.916	39,66%	N.A.	47,06%	50,06%
Cesar	1.089.792	37,83%	18,65%	46,37%	48,68%
Chocó	525.505	34,34%	N.A.	53,74%	56,67%
Córdoba	1.838.371	60,36%	13,72%	85,57%	85,57%
Cundinamarca	2.887.005	27,51%	N.A.	29,14%	29,14%
Guainía	44.844	46,04%	N.A.	66,70%	66,70%
Guaviare	119.214	N.A.	N.A.	6,75%	6,75%
Huila	1.225.343	55,78%	N.A.	60,01%	60,01%
La Guajira	1.093.671	13,69%	25,09%	30,41%	30,41%
Magdalena	1.326.525	74,64%	87,00%	56,09%	98,15%
Meta	1.053.867	61,98%	N.A.	76,22%	76,22%
Nariño	1.851.477	59,47%	N.A.	45,99%	79,76%
Norte de Santander	1.413.837	62,44%	N.A.	63,93%	64,71%
Putumayo	369.332	10,39%	N.A.	66,26%	70,80%
Quindío	581.552	88,48%	N.A.	88,48%	88,48%
Risaralda	978.173	19,85%	N.A.	17,32%	22,35%
San Andrés, Providencia y Santa Catalina	79.693	100,00%	N.A.	N.A.	100,00%
Santander	2.110.580	33,34%	N.A.	32,78%	33,64%
Sucre	894.785	52,10%	5,71%	84,43%	84,43%
Tolima	1.427.427	75,04%	N.A.	73,63%	77,63%
Valle del Cauca	4.853.327	81,38%	N.A.	80,90%	81,38%
Vaupés	45.822	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

Departamento	Población Depto.	EE	GM	HC	Sectorial
Vichada	81.048	N.A.	N.A.	43,53%	43,53%

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

De estos resultados, en el caso del subsector energía eléctrica, se encuentra que cuatro (15%) de los departamentos donde opera cuentan con un índice de sensibilidad socio climático “Muy Alto” y seis (22%) en “Alto”, lo que significa que los departamentos que tienen la mayor proporción de población acumulada en estos niveles son Bogotá D.C., Quindío, San Andrés, Providencia y Santa Catalina, y Valle del cauca. Por otro lado, la mayoría de departamentos (30%) se encuentran en un índice de sensibilidad bajo, entre ellos Casanare, La Guajira, Putumayo y Risaralda tienen la mayoría de su población distribuida en otros niveles de sensibilidad.

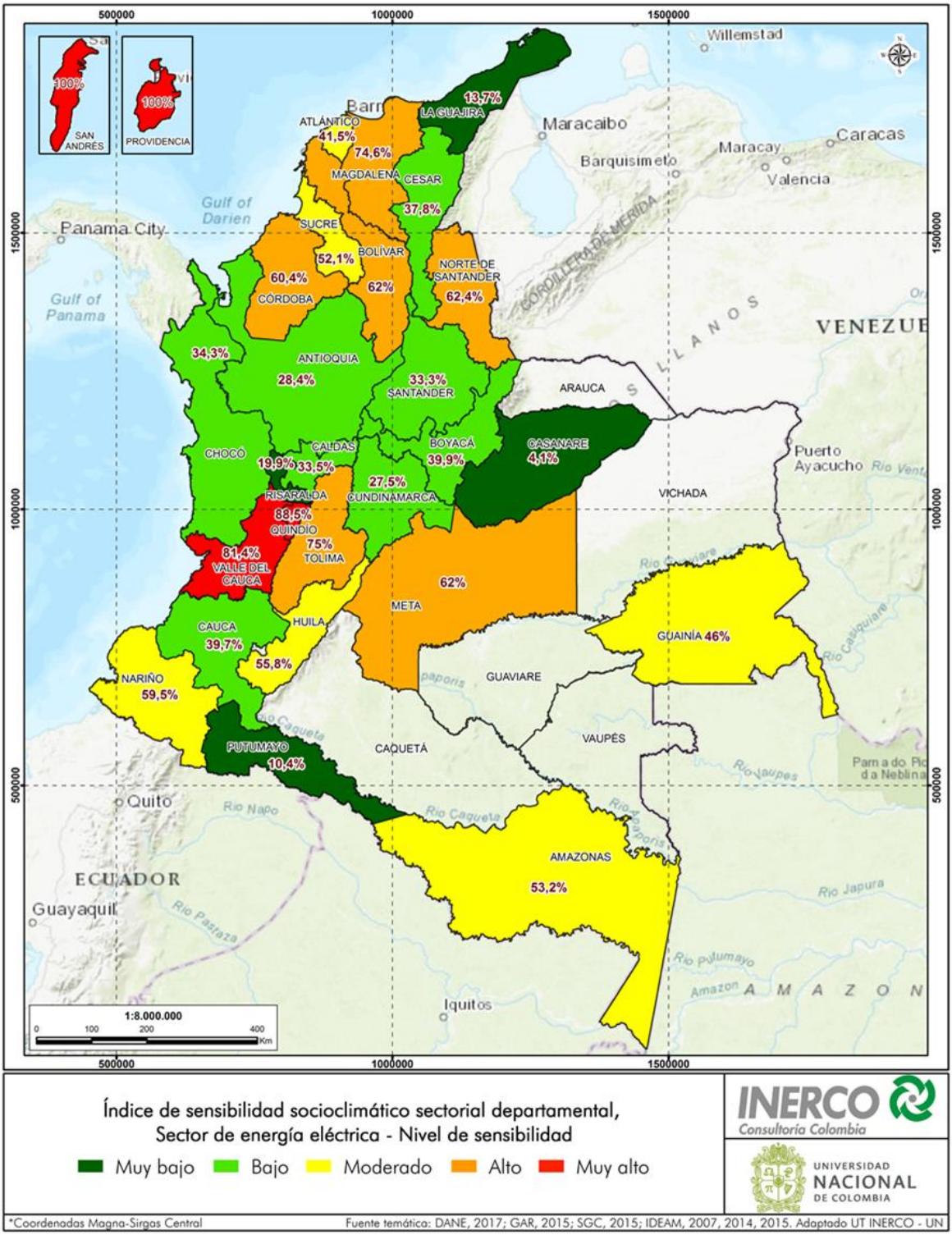
Gráfico 5-1 Distribución del índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Energía Eléctrica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A continuación, se presenta un mapa de la distribución geográfica del índice calculado a nivel departamental para el subsector energía eléctrica.

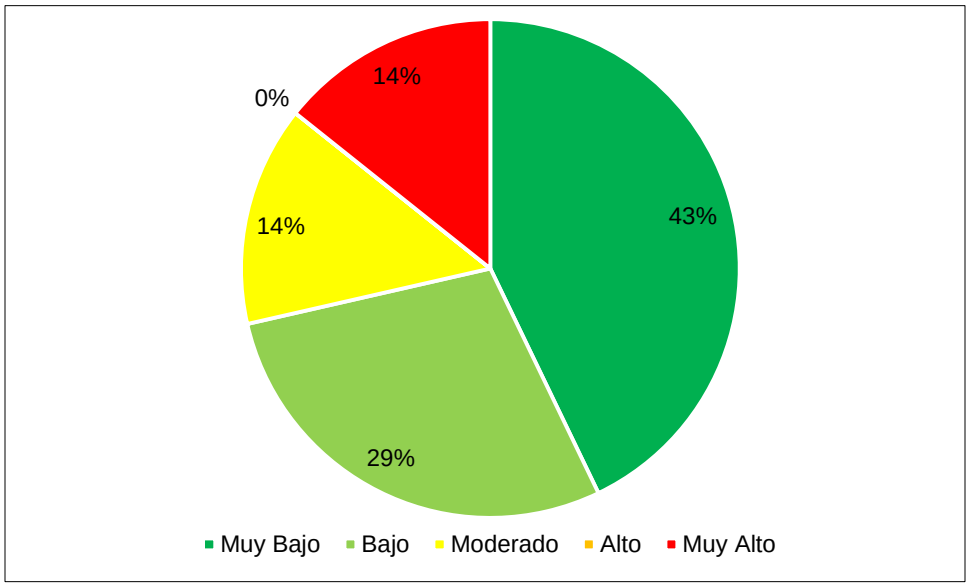
Figura 5-1 Mapa índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Energía Eléctrica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

El subsector gran minería registra únicamente el departamento de Magdalena, acumulando el 14% de departamentos donde opera, en nivel de sensibilidad socio climático “Muy Alto”; mientras que, aproximadamente, los departamentos Atlántico, Cesar, Córdoba, La Guajira y Sucre (aproximadamente 72%) reportan niveles “Bajo” y “Muy Bajo”. En cuanto a este subsector, se puede ver que la ubicación de la mayoría de los títulos mineros y demás infraestructura asociada corresponde a municipios poco poblados, cuyas condiciones sociales tienen buenos niveles de cobertura.

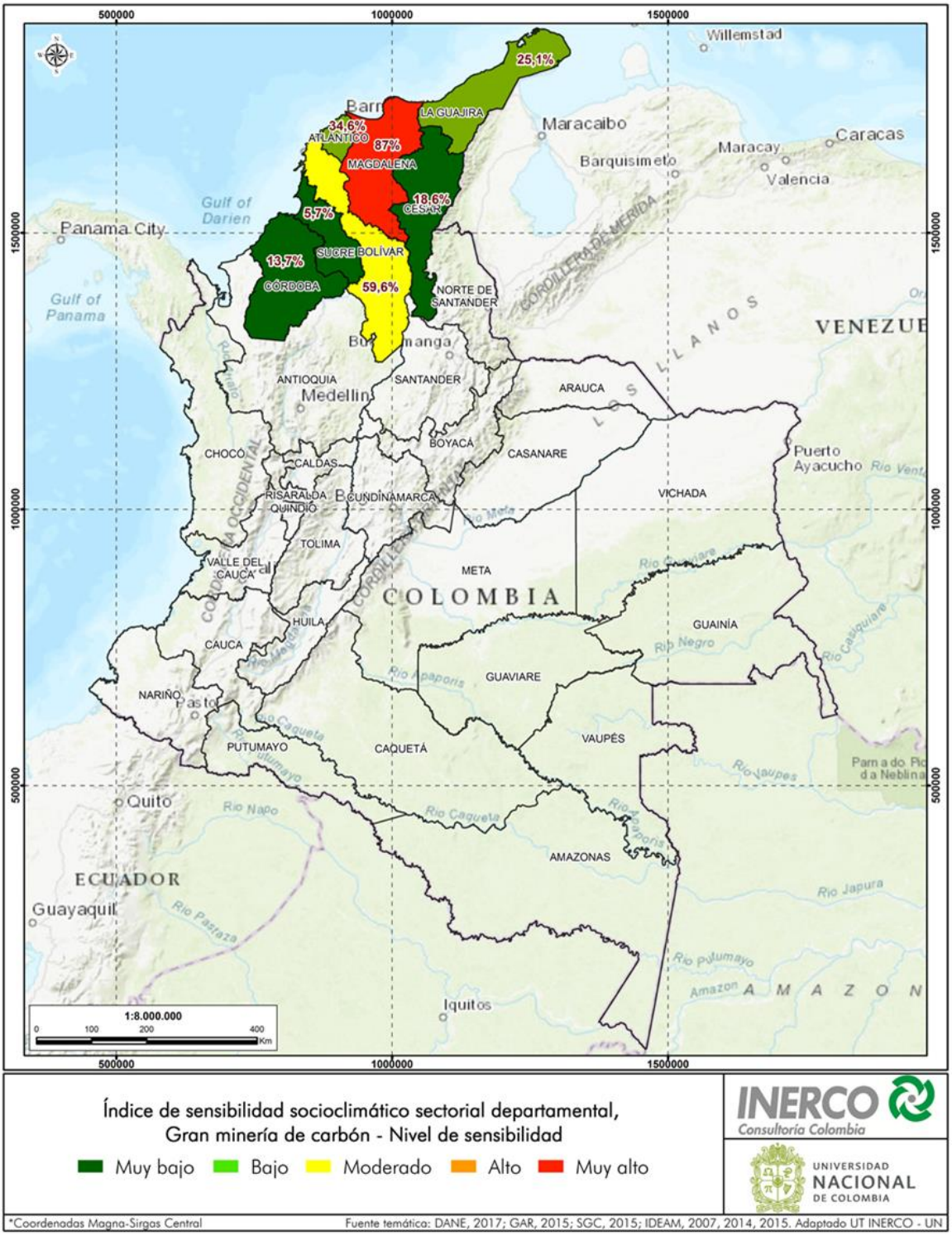
Gráfico 5-2 Distribución del índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Gran Minería



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A continuación, se presenta un mapa de la distribución geográfica del índice calculado a nivel departamental para el subsector minería.

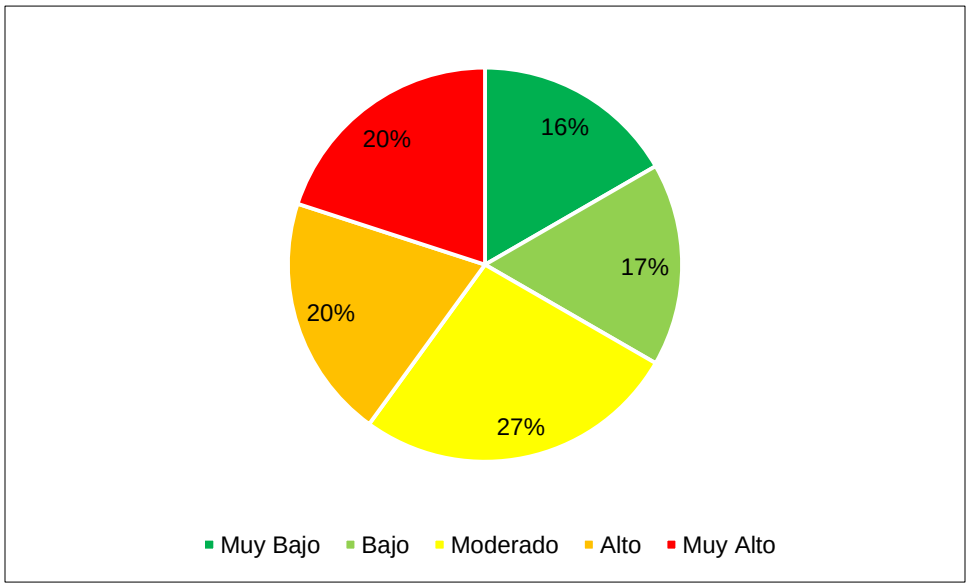
Figura 5-2 Mapa índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Gran Minería



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el caso del subsector hidrocarburos, se encuentra que 12 (40%) de los 30 departamentos donde opera se encuentran en nivel de sensibilidad socio climático “Muy Alto” y “Alto”. Por otro lado, la mayoría de departamentos (60%) se distribuyen entre los otros niveles de índice de sensibilidad, siendo “Moderado” el más representativo con un 27%.

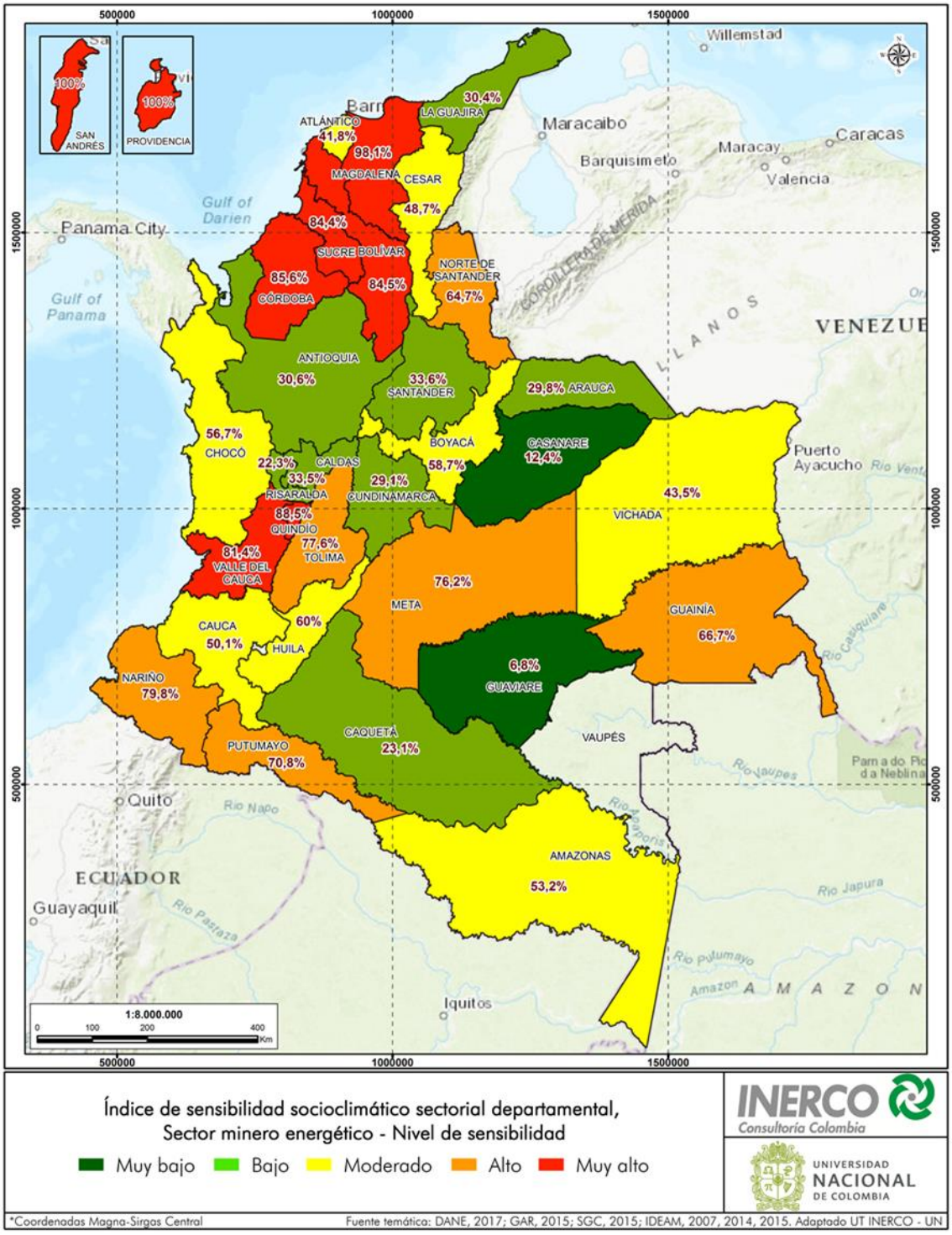
Gráfico 5-3 Distribución del índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Hidrocarburos



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A continuación, se presenta un mapa de la distribución geográfica del índice calculado a nivel departamental para el subsector hidrocarburos.

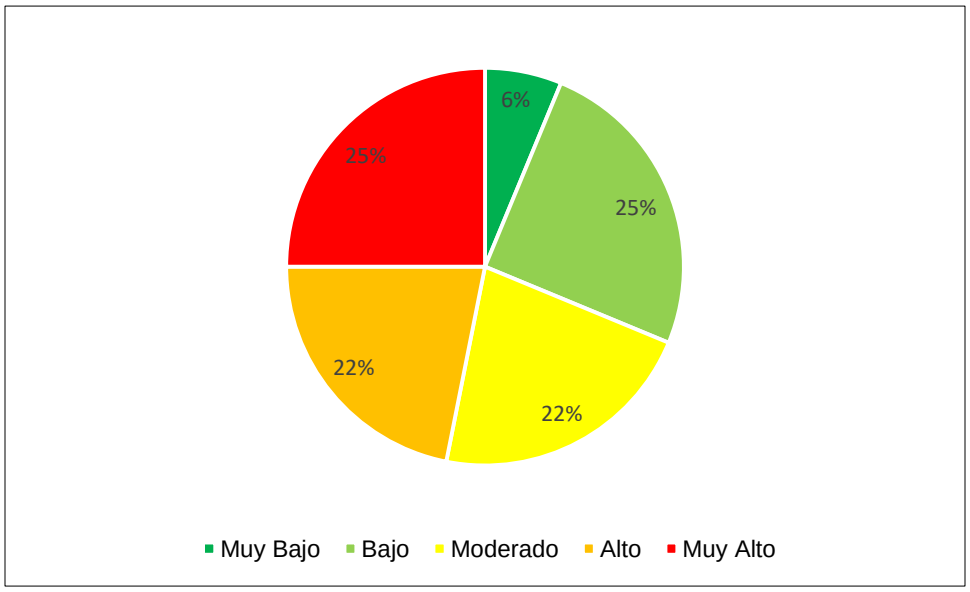
Figura 5-3 Mapa índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Subsector Hidrocarburos



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Finalmente, el sector minero energético presenta una distribución muy equitativa para todos los niveles menos “Muy Bajo”. A resaltar, el 26 % de los departamentos donde cuenta con presencia se clasificaron con un nivel de sensibilidad socio climático “Muy Alto” y el 23 % en “Alto”. Por otro lado, tan solo el 6 % de los departamentos se encuentran en un nivel “Muy Bajo”.

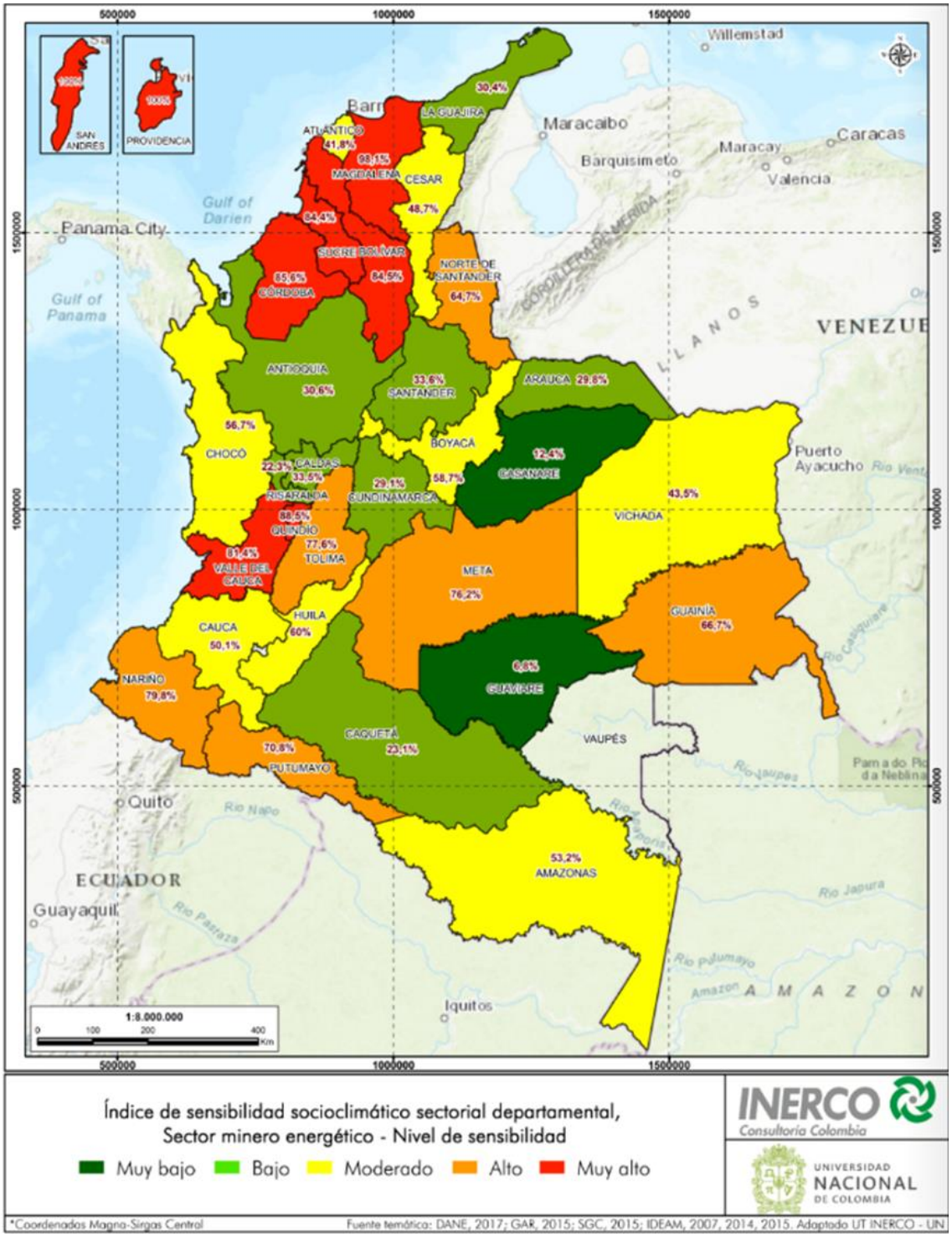
Gráfico 5-4 Distribución del índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Sector Minero - energético



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

A continuación, se presenta un mapa de la distribución geográfica del índice calculado a nivel departamental para el sector minero energético.

Figura 5-4 Mapa índice de sensibilidad socio climática por su nivel – Sector Minero – energético



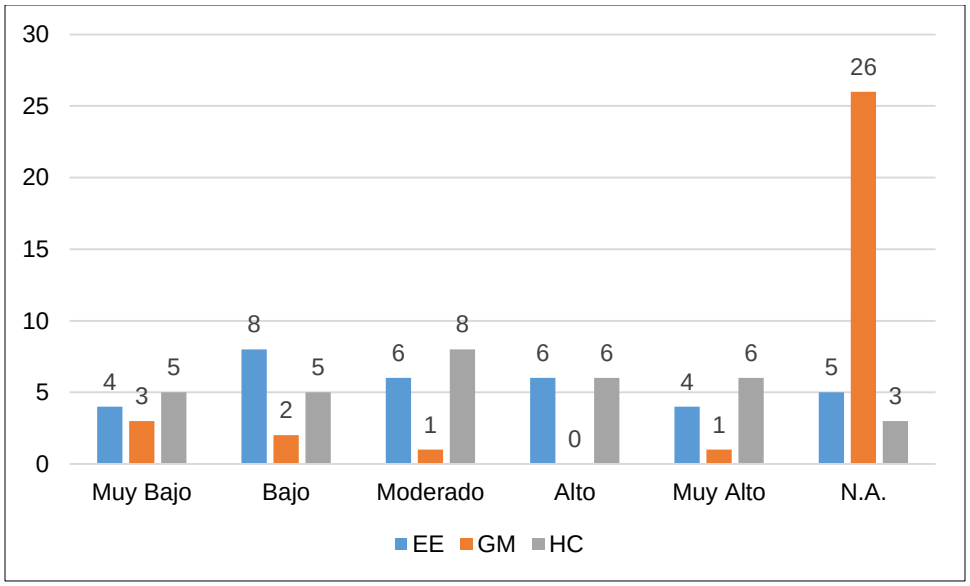
Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

5.1.2 Análisis

Se debe tener en cuenta que los resultados presentados anteriormente corresponden a la determinación de la proporción de la población de cada departamento que se encuentra en un nivel de sensibilidad socio climático “Muy Alto” y “Alto” y, por tanto, en algunos casos, no se cuenta con información de datos para aquellos departamentos donde el total de la población se encuentra en los tres primeros niveles.

Teniendo en cuenta lo anterior, energía eléctrica es el subsector que tiene operaciones en la mayor parte de los departamentos de Colombia (31 de 33), seguido por hidrocarburos con 30 y, finalmente, minería con 7. Ahora bien, teniendo en cuenta la naturaleza del índice calculado, se encuentra que, para el sector energía eléctrica, los departamentos Arauca y Guaviare, a pesar de contar con actividades desarrolladas por el sector en su territorio, no cuentan con índice de sensibilidad socio climático, pues no existe población alguna en los niveles de sensibilidad “Alto” y “Muy Alto.

Gráfico 5-5 Cantidad de departamentos por nivel de sensibilidad socio climático para cada subsector



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Los niveles “Muy Alto” y “Alto” del índice permiten identificar aquellos departamentos cuya mayoría de población se encuentran en sensibilidad socio climática alta y muy alta. En este sentido, el subsector que más acumula población en estas condiciones es Hidrocarburos, con un total de 12 departamentos, seguido por energía eléctrica con 10 y minería con 1.

En caso contrario, la acumulación de población en niveles de índice “Bajo” y “Muy Bajo” corresponde a que la mayoría de la población está clasificadas en niveles sensibilidad socio climática moderados, bajos y muy bajos. Así pues, se observa que Energía eléctrica con aproximadamente el 36,36 %; mientras que, hidrocarburos y gran minería, acumulan un 30,30 % y 15,15 % respectivamente.

En cuanto a la mayor acumulación de población por nivel de sensibilidad socio climática para cada sector, se tiene que hidrocarburos y energía cuentan con 8 y 7 departamentos, respectivamente, y acumulando 24,24 % del total de la población de sus departamentos donde hace presencia en estas condiciones. En el caso de minería, la mayoría de departamentos cuentan con índice “muy bajo”.

5.2 Índice impacto del sector minero energético en el desabastecimiento hídrico departamental

Las principales presiones sobre los recursos hídricos se relacionan con factores demográficos, económicos y sociales, es por ello que la mayoría de los conflictos del sector minero energético en los territorios se concentra en el conflicto por uso del agua.

Con el propósito de evaluar la participación que los subsectores gran minería de carbón, hidrocarburos y energía eléctrica tienen sobre el índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico departamental se calcula el indicador denominado impacto del sector minero energético en el desabastecimiento hídrico departamental.

5.2.1 Resultados

Los resultados obtenidos se clasificaron de forma cualitativa a través de la técnica natural breaks, una técnica estadística de distribución, que según el número de rangos (5 en este caso) distribuye los valores de acuerdo a su proximidad y diferencia, es decir que agrupa en un solo rango los valores más próximos y a la vez agrupa en otro, aquellos que estén lejos del primer grupo, pero muy próximos entre ellos. A continuación se detalla la distribución para cada sector

Tabla 5-3 Rango de clasificación del índice ambiental subsector hidrocarburos

Escala	Rango
	0,66 - 0,70
	0,71 - 63,00
	63,01 - 80,00
	80,01 - 90,00
	90,01 - 100,00

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Tabla 5-4 Rango de clasificación del índice ambiental subsector energía eléctrica

Escala	Rango
	0,00 - 12,00
	12,01 - 30,00
	30,01 - 45,00
	45,01 - 70,00
	70,01 - 100,00

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Tabla 5-5 Rango de clasificación del índice ambiental subsector gran minería de carbón

Escala	Rango
	0,00 - 0,01
	0,01 - 0,02
	0,03 - 0,06
	0,07 - 0,08
	0,09 - 3,67

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

La siguiente tabla muestra los resultados del índice de producción calculado con el objetivo de ilustrar la situación a la que se enfrenta el sector gran minería de carbón:

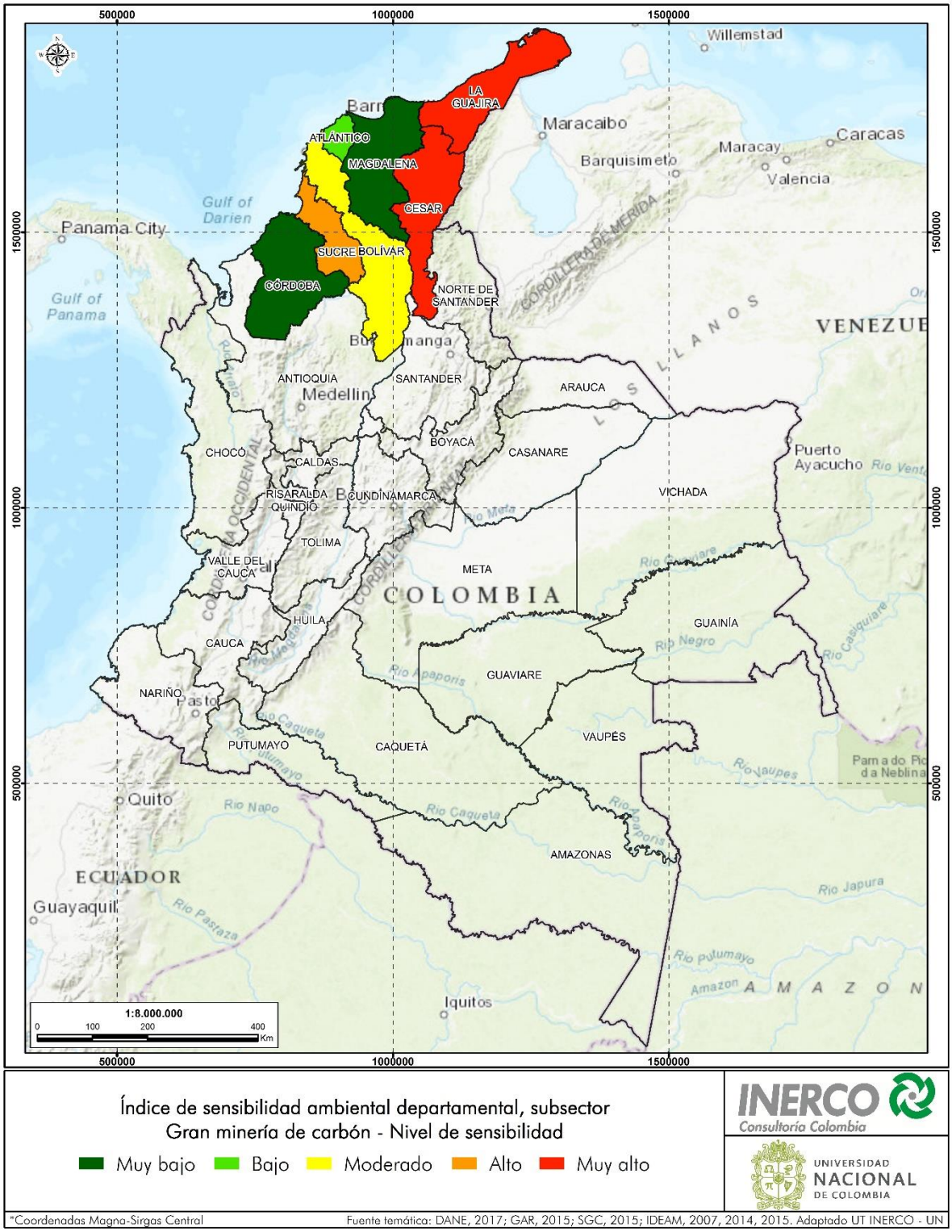
Tabla 5-6 Índice ambiental a nivel departamental subsector Gran Minería de Carbón

Departamento	**Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico**		**Índice**
	Área departamental con nivel alto y muy alto	**Área sectorial con nivel alto y muy alto**	
Atlántico	329.303,21	70,40	0,02%
Bolívar	979.800,39	554,64	0,06%
Cesar	2.079.337,84	76.312,00	3,67%
Córdoba	1.125.752,25	78,54	0,01%
La Guajira	2.006.560,15	69.823,15	3,48%
Magdalena	2.290.161,01	218,31	0,01%
Sucre	185.838,75	157,08	0,08%
Total	**8.996.753,60**	**147.214,12**	**7,33%**

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

El subsector Gran Minería de Carbón solo aporta el 7,33 % a la vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico departamental, en términos generales el consumo de agua del subsector Gran Minería de Carbón no afecta de manera significativa el grado de fragilidad del sistema hídrico departamental, por lo que en un escenario de cambio climático es posible mantener una buena oferta para el abastecimiento de agua de otros sectores económicos y de uso doméstico.

Figura 5-5 Mapa índice ambiental por su nivel – Subsector Gran Minería de Carbón



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Tabla 5-7 Índice ambiental a nivel departamental subsector Hidrocarburos

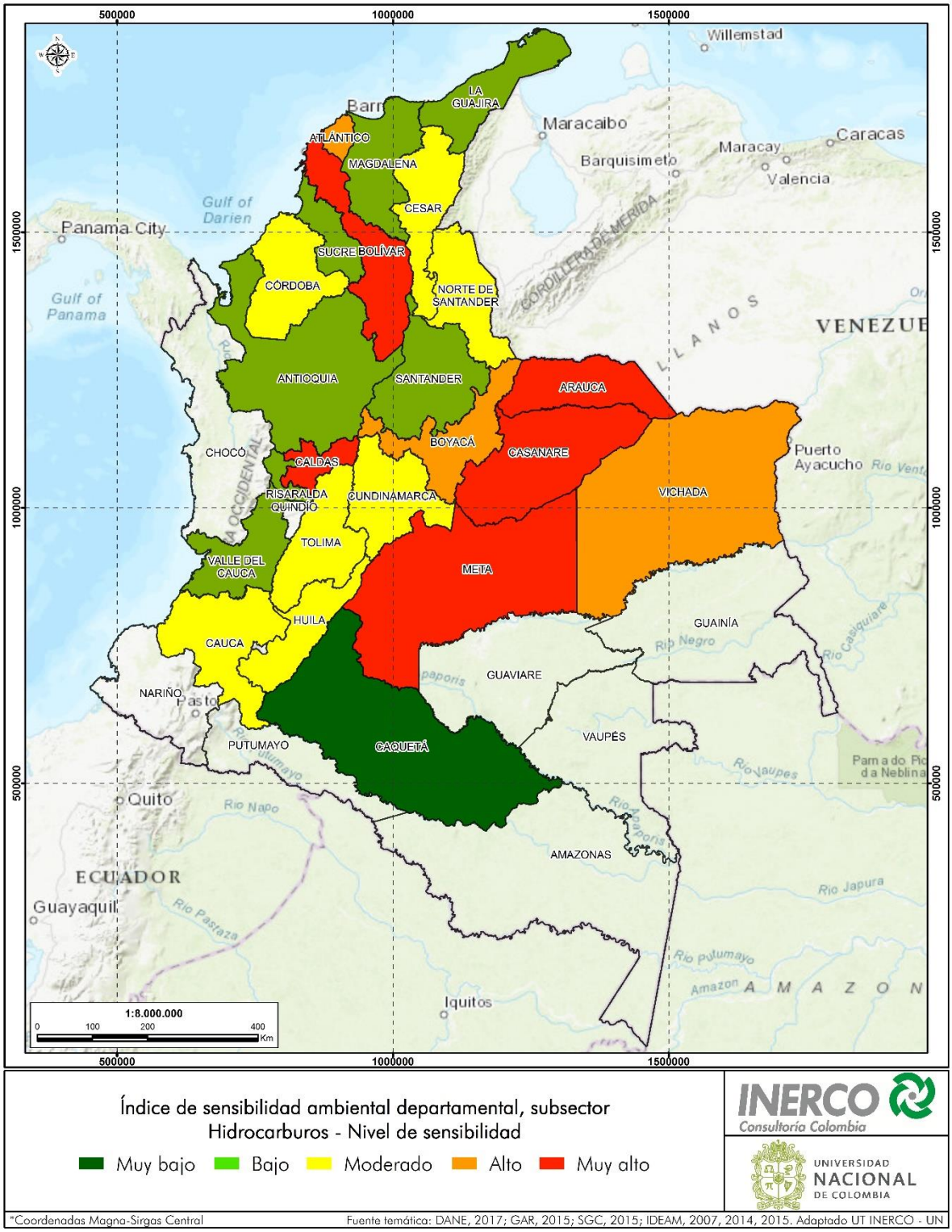
Departamento	Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico		Índice
	Área departamental con nivel alto y muy alto	Área sectorial con nivel alto y muy alto	
Antioquia	382.211,56	202.449,00	52,97%
Arauca	375.573,32	373.907,94	99,56%
Atlántico	329.303,21	291.294,50	88,46%
Bolívar	979.800,39	903.299,59	92,19%
Boyacá	718.285,09	604.061,64	84,10%
Caldas	0,01	0,01	100,00%
Caquetá	6.821,99	44,80	0,66%
Casanare	284.018,39	283.952,39	99,98%
Cauca	243.537,52	179.775,47	73,82%
Cesar	2.079.337,84	1.581.134,86	76,04%
Córdoba	1.125.752,25	889.598,59	79,02%
Cundinamarca	1.178.165,50	931.085,09	79,03%
Huila	744.894,63	602.417,60	80,87%
La Guajira	2.006.560,15	1.145.555,89	57,09%
Magdalena	2.290.161,01	1.135.041,12	49,56%
Meta	9.550,41	8.994,91	94,18%
Norte de Santander	477.785,02	379.541,08	79,44%
Risaralda	15.916,99	9.728,72	61,12%
Santander	569.614,47	311.377,71	54,66%
Sucre	196.478,64	107.785,62	54,86%
Tolima	970.557,18	776.776,61	80,03%
Valle del Cauca	907.604,32	571.401,70	62,96%
Vichada	2.379.021,02	1.961.881,55	82,47%
Total	**18.270.950,91**	**13.251.106,39**	**72,53%**

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

El subsector Hidrocarburos aporta el 72,53 % a la vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico departamental, en términos generales el consumo de agua del subsector Hidrocarburos afecta de manera significativa el grado de fragilidad del sistema hídrico departamental, por lo que es poco probable que en un escenario de cambio climático se mantenga una buena oferta para el abastecimiento de agua de otros sectores económicos y de uso doméstico.

Los departamentos que tiene más impacto son Caldas, Casanare, Arauca, Bolívar y Meta. Seguido por los departamentos de Atlántico, Boyacá, Vichada, Huila y Tolima.

Figura 5-6 Mapa índice ambiental por su nivel – Subsector Hidrocarburos



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Tabla 5-8 Índice ambiental a nivel departamental subsector Energía Eléctrica

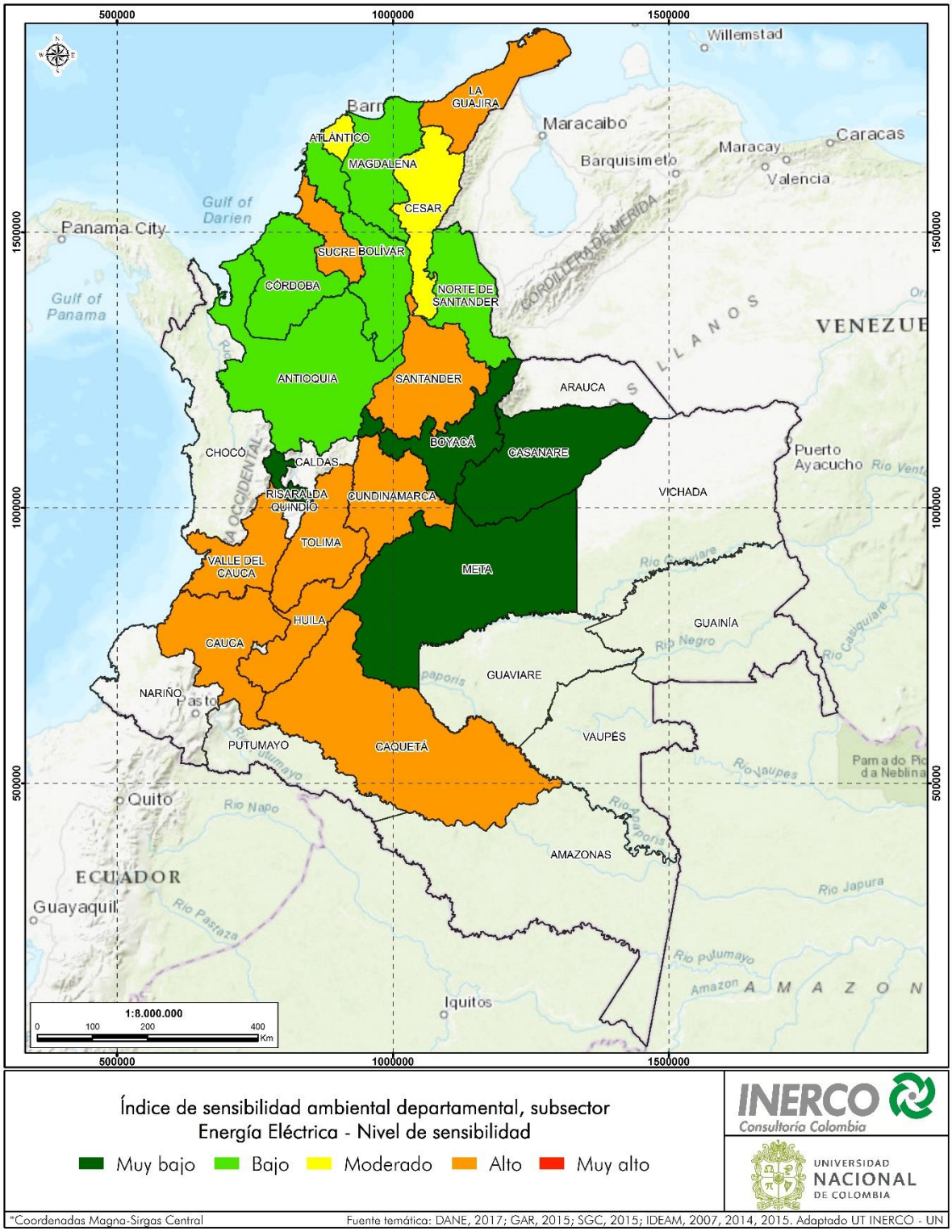
Departamento	Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico		Índice
	Área departamental con nivel alto y muy alto	Área sectorial con nivel alto y muy alto	
Antioquia	382.211,56	67.838,09	17,75%
Atlántico	329.303,21	131.531,30	39,94%
Bolívar	979.800,39	207.558,90	21,18%
Boyacá	718.285,09	78.733,77	10,96%
Caquetá	6.821,99	3.499,47	51,30%
Casanare	284.018,39	33.185,42	11,68%
Cauca	243.537,52	144.061,56	59,15%
Cesar	2.079.337,84	675.374,77	32,48%
Córdoba	1.125.752,25	329.025,89	29,23%
Cundinamarca	1.178.165,50	793.211,95	67,33%
Huila	744.894,63	434.369,12	58,31%
La Guajira	2.006.560,15	1.251.145,80	62,35%
Magdalena	2.290.161,01	416.683,25	18,19%
Meta	9.550,41	162,99	1,71%
Norte de Santander	477.785,02	97.809,68	20,47%
Risaralda	15.916,99	16,99	0,11%
San Andrés	2.123,12	2.123,12	100,00%
Santander	569.614,47	261.574,10	45,92%
Sucre	196.478,64	115.236,81	58,65%
Tolima	970.557,18	651.374,43	67,11%
Valle del Cauca	907.604,32	470.826,24	51,88%
Total	**15.518.479,68**	**6.165.343,65**	**39,73%**

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

El subsector Energía Eléctrica aporta el 39,73 % a la vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico departamental, en términos generales el consumo de agua del subsector Energía Eléctrica afecta de manera moderada el grado de fragilidad del sistema hídrico departamental, por lo que es poco probable que en un escenario de cambio climático se mantenga una buena oferta para el abastecimiento de agua de otros sectores económicos y de uso doméstico.

El departamento que tiene más impacto es San Andrés. Seguido por los departamentos de Cundinamarca, Tolima, La Guajira, Cauca, Huila, Sucre, Valle del Cauca, Caquetá y Santander.

Figura 5-7 Mapa índice ambiental por su nivel – Subsector Energía Eléctrica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

5.3 Índice de impacto sobre producción

Una de las mayores preocupaciones de los actores públicas y privados del sector minero energético es la influencia que ha tenido y tendrá el cambio climático en la generación de energía eléctrica y la producción de petróleo y carbón exportable.

Aunque existe evidencia de que el Fenómeno La Niña y el Fenómeno El Niño han generado impactos económicos en el sector minero energético, lamentablemente las empresas del sector hidrocarburos, minería y energía eléctrica no han estimado las pérdidas económicas que estos los eventos climáticos han causado.

Por esta razón, en este apartado se calcula el índice que mide el impacto en la producción de la amenaza con mayor afectación territorial para las áreas de producción el sector en minero energético.

5.3.1 Resultados

Los resultados obtenidos se clasificaron de forma cualitativa a través de la técnica natural breaks, una técnica estadística de distribución, que según el número de rangos (5 en nuestro caso) distribuye los valores de acuerdo a su proximidad y diferencia, es decir que agrupa en un solo rango los valores más próximos y a la vez agrupa en otro, aquellos que estén lejos del primer grupo, pero muy próximos entre ellos. A continuación se detalla la distribución para cada sector.

Tabla 5-9 Rango de clasificación del índice de producción subsector hidrocarburos

Escala	Rango
	0,00 - 0,50
	0,51 - 1,50
	1,51 - 3,00
	3,01 - 12,00
	12,01 - 39,49

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Tabla 5-10 Rango de clasificación del índice de producción subsector energía eléctrica

Escala	Rango
	0,00 - 0,20
	0,21 - 3,00
	3,01 - 6,00
	6,01 - 9,00
	9,01 - 23,43

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

Tabla 5-11 Rango de clasificación del índice de producción subsector gran minería de carbón

Escala	Rango
	5

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

La siguiente tabla muestra los resultados del índice de producción calculado con el objetivo de ilustrar la situación a la que se enfrenta el sector gran minería de carbón:

Tabla 5-12 Índice de producción a nivel departamental Gran Minería de Carbón

Departamento	Producción afectada por desabastecimiento hídrico (%)	Producción afectada 2016 (Toneladas)	Producción afectada 2016 * Precio mercado[69]
Cesar	100%	35.057.923	$2.018.284.628,07
La Guajira	100%	30.486.076	$1.755.083.408,56
Córdoba	0%	0	0
	Total	**65.543.999**	**$3.773.368.037**

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En un evento de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico, amenaza con mayor afectación territorial para las áreas de producción del subsector Gran Minería de Carbón, se encuentra que las áreas de producción ubicadas en los departamentos de Cesar y La Guajira perderían el 100% de su producción, en total 65 Mton de carbón, lo equivalente a $3.773.368.037 USD. Este evento no afectaría las áreas de producción del departamento de Córdoba.

[69] Precio de mercado por tonelada métrica $57,57 USD

Figura 5-8 Mapa índice de producción por su nivel – Subsector Gran Minería de Carbón



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En un evento de incendios forestales, amenaza con mayor afectación territorial para las áreas de producción del subsector Hidrocarburos, se encuentra que los departamentos más afectados son Meta y Casanare con un nivel muy alto y alto, seguido por los departamentos de Arauca, Boyacá, Huila y Santander con un nivel moderado. Si el evento de incendios forestales afecta a todas las áreas del sistema, afectaría el 64% de la producción del país, lo equivalente a 569.112 barriles o $24.699.450 USD.

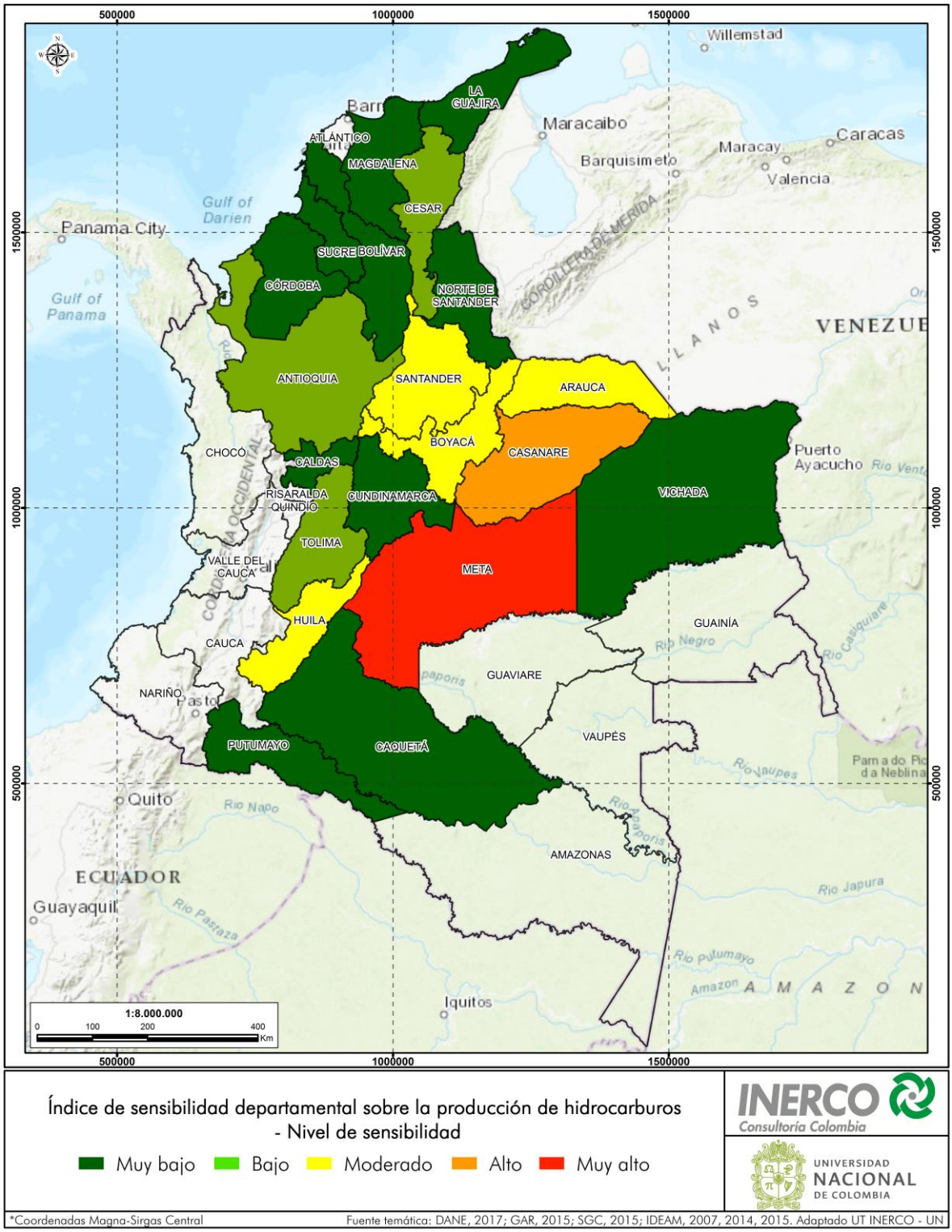
Tabla 5-13 Índice de producción a nivel departamental Hidrocarburos

Departamentos	Producción afectada por Incendios Forestales (%)	Producción afectada 2016 (Barriles)	Producción afectada 2016 * Precio WTI (USD)[70]
Antioquia	0,96%	8.514,13	369.513,4
Arauca	1,98%	17.541,49	761.300,5
Bolívar	0,39%	3.436,34	149.137,4
Boyacá	2,48%	21.916,58	951.179,7
Caldas	0,00%	0,00	0,0
Caquetá	0,00%	8,61	373,5
Casanare	11,68%	103.333,90	4.484.691,2
Cesar	0,86%	7.605,05	330.059,0
Córdoba	0,00%	1,89	82,2
Cundinamarca	0,03%	265,87	11.538,6
Huila	1,77%	15.650,48	679.230,7
La Guajira	0,00%	0,00	0,0
Magdalena	0,02%	186,56	8.096,5
Meta	39,49%	349.310,77	15.160.087,5
Norte de Santander	0,16%	1.453,03	63.061,6
Putumayo	0,50%	4.438,86	192.646,6
Santander	2,69%	23.795,56	1.032.727,3
Sucre	0,00%	19,70	855,0
Tolima	1,37%	12.115,57	525.815,7
Vichada	0,00%	0,00	0,0
Total	**64,4%**	**569.594**	**$ 24.720.396,19**

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

[70] Precio del barril de petróleo (Promedio anual), $43,40 USD

Figura 5-9 Mapa índice de producción por su nivel – Subsector Hidrocarburos



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

En un evento de remoción en masa, amenaza con mayor afectación territorial para las áreas de producción del subsector Energía Eléctrica, se encuentra que los departamentos más afectados son Antioquia, Cundinamarca y Boyacá con niveles muy alto y alto, seguido por los departamentos Huila, Santander y Valle del Cauca con nivel moderado. Si el evento de remoción en masa afecta a todas las áreas del sistema, afectaría el 74,3% de la producción del país, lo equivalente a 40.890.875.426 KW/h o $ $12.479.077.362.728 USD.

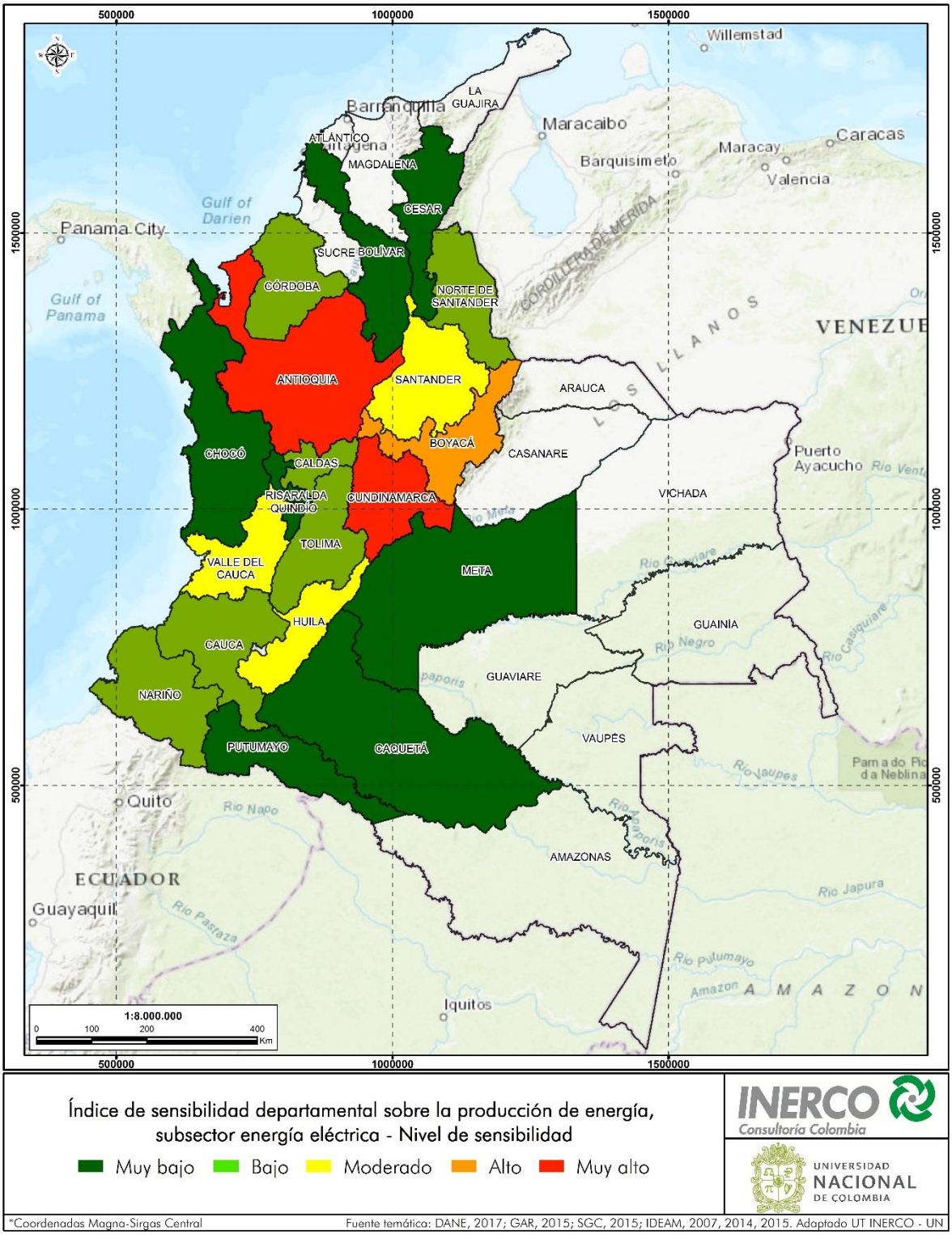
Tabla 5-14 Índice de producción a nivel departamental Energía Eléctrica

Departamentos	Producción afectada por remoción en masa (%)	Producción afectada 2016 (KW/h)	Producción afectada 2016 * Precio en bolsa (COP)[71]
Antioquia	23,4%	12.897.914.924,51	3.936.185.676.661,14
Bolívar	0,1%	57.775.164,66	17.631.824.750,13
Boyacá	8,9%	4.919.293.687,17	1.501.270.047.450,47
Caldas	2,8%	1.556.642.889,25	475.056.276.940,86
Caquetá	0,0%	0,00	0,00
Cauca	1,6%	865.216.090,70	264.046.646.559,17
Cesar	0,0%	0,00	0,00
Chocó	0,0%	0,00	0,00
Córdoba	2,8%	1.521.487.222,44	464.327.470.543,54
Cundinamarca	17,4%	9.595.257.263,76	2.928.280.611.753,29
Huila	5,8%	3.215.803.055,99	981.398.776.627,21
Meta	0,0%	674.809,30	205.938.302,17
Nariño	0,2%	113.163.909,63	34.535.361.942,13
Norte de Santander	1,1%	579.742.250,67	176.925.740.060,02
Putumayo	0,0%	2.088.941,29	637.503.103,63
Quindío	0,0%	15.847.416,52	4.836.314.574,65
Risaralda	0,2%	105.165.192,14	32.094.313.336,49
Santander	4,0%	2.224.666.358,18	678.923.679.190,60
Sucre	0,0%	0,00	0,00
Tolima	1,0%	526.168.733,42	160.576.174.064,42
Valle del cauca	4,9%	2.693.967.517,10	822.145.006.868,98
Total	74,3%	40.890.875.426,73	$12.479.077.362.728,90

Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

[71] Precio de bolsa nacional 2016 (Promedio anual), $305,18 por kWh

Figura 5-10 Mapa índice de producción por su nivel – Subsector Energía Eléctrica



Fuente: U. T. INERCO – Universidad Nacional de Colombia, 2018

6. ESTRUCTURA DEL COMPONENTE DE ADAPTACIÓN DEL PIGCC

Con el propósito de fomentar la incorporación progresiva de la gestión del riesgo climático en todos los niveles de decisión del sistema minero energético para fortalecer su resiliencia frente a los efectos del cambio y la variabilidad climática y asegurar su competitividad futura, se proponenen las siguientes líneas estratégicas:

6.1 Líneas estratégicas del componenete de adaptación

6.1.1 Resiliencia Energética

La línea estratégica de Resiliencia Energética se concentra en la gestión de los riesgos climáticos que pueden afectar a la seguridad energética del país, en particular la generación y trasmisión de energía eléctrica, el transporte de hidrocarburos (petróleo y gas), el transporte por carretera de carbón y de insumos para la actividad minero energética. Con este fin se proponen las siguientes acciones:

6.1.1.1 Seguridad energética

El objetivo de esta acción es incorporar sistemáticamente a la agenda de política pública sectorial la seguridad energética frente al cambio climático con el propósito de asegurar el soporte y direccionamiento a todos los esfuerzos sectoriales destinados a garantizar la resiliencia del sistema energético a eventos de cambio climático y variabilidad climática con el fin de asegurar el servicio público de acceso a energía eléctrica y la competitividad sectorial.

6.1.1.2 Planificación sectorial - Generación de energía eléctrica

El objetivo de esta acción es incluir dentro de la planeación de la generación eléctrica nacional la gestión de riesgo ante la ocurrencia de eventos asociados al cambio climático para todas las tecnologías de generación y derivado de todos los eventos amenazantes, para garantizar el permanente suministro de energía eléctrica y por ende su confiabilidad**.**

6.1.1.3 Planificación sectorial - Transmisión de energía eléctrica

El objetivo de esta acción es incluir dentro del análisis de vulnerabilidad de las redes de trasmisión eléctrica en el marco de la planeación de la transmisión eléctrica nacional la gestión de riesgo ante la ocurrencia de eventos asociados al cambio climático, para garantizar el permanente suministro de energía eléctrica y por ende su confiabilidad**.**

6.1.1.4 Planificación sectorial - Redes de transporte de hidrocarburos (Ductos)

El objetivo de esta acción es incorporar la gestión de riesgo por cambio climático en los procesos de planificación del sector para el sistema de transporte y distribución de hidrocarburos del país, asegurando la continuidad en la cadena de abastecimiento (disponibilidad y suministro), la confiabilidad en el sistema y el aumento de su resiliencia.

6.1.1.5 Modelo Tripartito para la Evaluación de Riesgo para la Generación de Energía Eléctrica Derivada del Cambio Climático

El objetivo de esta acción es crear el marco interinstitucional para que, con participación del sector privado, sector público y la academia se pueda establecer una modelación sistemática y detallada de la vulnerabilidad de la generación de energía eléctrica ante la ocurrencia de los eventos asociados al cambio climático y la variabilidad climática.

6.1.1.6 Protocolo para la resiliencia del sistema de generación eléctrica nacional,

El objetivo de esta acción es crear un protocolo para la gestión del riesgo por cambio climático para el sistema de generación eléctrica nacional que garantice el suministro en el territorio nacional.

6.1.1.7 Protocolo de seguridad de la red de transporte de hidrocarburos por ductos y de energía eléctrica ante riesgos climáticos

El objetivo de esta acción es crear un protocolo para la gestión del riesgo por cambio climático para la red de transporte de hidrocarburos por ductos y de energía eléctrica por el sistema de transmisión nacional, que garantice la seguridad energética del país.

6.1.1.8 Términos de referencia para licitaciones de la red de transmisión eléctrica nacional, incorporando los riesgos asociados al cambio climático

El objetivo de esta acción es actualizar los términos de referencia de las licitaciones para el tendido y operación de las líneas de transmisión del sistema nacional de interconexión eléctrica, compuesto por el conjunto de líneas y sus correspondientes módulos de conexión (subestaciones) incluyendo no solo parámetros técnicos, sino también de riesgo ante la ocurrencia de eventos asociados a la variabilidad climática y el cambio climático que garanticen la operación del sistema de transporte de energía bajo esas circunstancias.

6.1.1.9 Actualización de los términos de referencia para licitaciones de la red de transporte por ductos de hidrocarburos

El objetivo de esta acción es actualizar los términos de referencia de las licitaciones para la operación de la red de ductos de transporte y distribución de hidrocarburos con la incorporación de parámetros técnicos y organizacionales que garanticen la adecuada operación en el escenario de riesgo ante el cambio climático y la variabilidad climática.

6.1.1.10 Gestión de riesgo en las carreteras minero energéticas del país

El objetivo de esta acción es asegurar la participación sectorial en los procesos de planificación que identifiquen y gestionen los principales impactos y riesgos del cambio climático sobre la red vial terrestre del país relevantes para el sector minero energético con el propósito de aumentar la resiliencia de la infraestructura de carreteras.

6.1.2 Gobernanza climática

La línea estratégica de Gobernanza Climática se concentra en apoyar los esfuerzos que los actores públicos y privados deben realizar para gestionar los riesgos climáticos de los territorios en donde se desarrollan las actividades minero-energéticas con el propósito de disminuir la vulnerabilidad del sector, así como para mantener una saludable gobernanza territorial ante los posibles eventos climáticos adversos. Con este fin se proponen las siguientes acciones:

6.1.2.1 Programa de territorios prioritarios

El objetivo de esta acción es formular un programa de territorios prioritarios de adaptación para el sector minero energético del país en áreas de alta vulnerabilidad y sensibilidad para el territorio y el sector en coordinación con la estrategia de relacionamiento de la OAAS.

6.1.2.2 Programa de disponibilidad y uso eficiente del agua del sector minero energético

El objetivo de esta acción es disponer de una herramienta estratégica que oriente la mejora en el uso del recurso hídrico de forma transversal en el sector minero energético, en particular en los territorios con presencia sectorial más vulnerables a la escasez del recurso.

6.1.2.3 Modelo Solidario de Gestión de los Riesgos del Cambio Climático

El objetivo de esta acción es generar un modelo de gestión de los riesgos del cambio climático a escala empresarial y local que incorpore integralmente a las comunidades aledañas a las actividades productivas sectoriales que facilite un gestión conjunta y solidaria de los mismos transformando este reto en una oportunidad para mejorar la gobernanza sectorial y prevenga cualquier posibilidad de conflictividad en torno a los efectos del cambio climático.

6.2 Líneas estratégicas del componenete transversal

6.2.1 Línea Estratégica de Apoyo a la Gestión Empresarial

La Línea Estratégica de Apoyo a la Gestión Empresarial se concentra en todos los esfuerzos destinados a favorecer y fortalecer la gestión del cambio climático a nivel empresarial, tanto en el campo de la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, como de la gestión de los riesgos derivados del cambio climático. Con este fin se proponen las siguientes acciones:

6.2.1.1 Acuerdo voluntario para la gestión del cambio climático

El objetivo de esta acción es contribuir colectivamente a la adaptación al cambio climático y la variabilidad climática mediante el compromiso individual y voluntario de las empresas del sector minero energético a participar activamente en las diferentes acciones propuestas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático -PIGCC.

6.2.1.2 Foro Nacional de Cambio Climático del Sector Minero Energético

El objetivo de esta acción es reunir a los actores públicos y privados del sector minero energético para profundizar en el conocimiento de los retos impuestos para la adaptación y la mitigación de los riesgos climáticos, e identificar las alianzas y los procesos que permitan incrementar su resiliencia frente al cambio climático.

6.2.1.3 Plataforma climática del sector minero energético

El objetivo de esta acción es crear una plataforma de apoyo al análisis económico y a la financiación de proyectos de mitigación y adaptación al cambio climático

6.2.2 Línea Estratégica de Generación y Difusión del Conocimiento

La Línea Estratégica de Apoyo a la Gestión Empresarial se concentra en las acciones para la generación de capacidades transversales para la gestión de los riesgos del cambio climático y los compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector minero energético. Con este fin se proponen las siguientes acciones:

6.2.2.1 Centro Temático de cambio climático del sector minería energético, CISME

El objetivo de esta acción es crear de una instancia académica permanente que pueda canalizar las necesidades generales de estudios, investigación, desarrollo, innovación, modelación, formación y capacitación, así como gestión de la información necesaria para llevar adelante la agenda de gestión del cambio climático del sector minero energético: Adaptación y mitigación.

6.2.2.2 Estrategia de comunicación, sensibilización y posicionamiento del PIGCC

El objetivo de esta acción es comunicar, sensibilizar y posicionar los objetivos y las acciones del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático del sector minero energético entre los diferentes actores del sector y entre los tomadores de decisiones públicas que pueden contribuir a alcanzarlos y realizarlas.

.

7. ÍNDICE DE NIVEL DE COBERTURA DE LOS RIESGOS

En la tabla 7-1 se listan los riesgos identificados para el sector minero energético, con base en las amenazas identificadas por los expertos subsectoriales y se clasificaron de acuerdo a las líneas estratégicas expuestas en el capítulo anterior.

Tabla 7-1 Riesgos identificados para el sector minero energético

	Cod.	Tipo	Descripción genérica
Seguridad energética	**S1**	Riesgo a la producción (minera e hidrocarburos) / generación (energía)	Situaciones derivadas de los eventos producidos por el cambio o la variabilidad climática que de forma agregada ponen en riesgo la continuidad de la generación de energía eléctrica, producción de hidrocarburos o minera, generando pérdidas económicas, sociales o ambientales.
	S2	Riesgo en la transmisión de la energía eléctrica y transporte de productos finales hidrocarburíferos y mineros	Afectación de vías, ductos, cuerpos de agua, que dificulten o imposibiliten el transporte de productos (carbón/hidrocarburos) o la transmisión de la energía, a causa de fenómenos de remoción en masa, inundaciones, aumento del nivel del mar, aumento en la temperatura generando pérdidas económicas, sociales o ambientales.
Gobernanza Climática	**G1**	Riesgos para la actividad hidrocarburífera, minera y de energía eléctrica, derivada de la falta de gestión de la vulnerabilidad del entorno de las mismas ante el cambio climático.	Problemas en la operación o de naturaleza social o administrativa de sobre las actividades minero energéticas, derivados de los efectos producidos por el cambio o la variabilidad climática en el entorno de la actividad minero energética, generando pérdidas económicas, sociales o ambientales.
	G2	Riesgo de que los efectos cambio climático generen conflictividad social en los entornos de la actividad minero energética.	Situaciones de conflictividad social que puede afectar al sector minero energético, derivada de los efectos del cambio climática tanto en el sistema minero energético como en el entorno del mismo, generando pérdidas económicas, sociales o reputacionales. (Afectación a la comunidad por interrupciones en la operación, vertimientos no intencionales, aumento en la generación de emisiones, pérdida de credibilidad o reputación)
	G3	Riesgo de que los efectos del cambio climático incrementen la competencia por los recursos naturales	Incremento de la conflictividad social y productiva en torno al uso del recurso hídrico derivado del cambio climático, generando pérdidas económicas, sociales o reputacionales.
Apoyo a la	**A1**	Riesgo por falta de prevención de los	Problemas de diversa naturaleza en la operación de las actividades

	Cod.	Tipo	Descripción genérica
gestión empresarial		efectos de cambio climático que generen afectación sobre la operación (minera, energética, hidrocarburífera)	minero energéticas derivados de los eventos producidos por el cambio climático, generando pérdidas económicas, sociales o ambientales. Ejemplos abajo:
			Problemas administrativos ambientales por incumplimiento de los parámetros de vertimientos a causa de disminución de la capacidad de dilución de contaminantes, ocasionado por la reducción en el volumen de recurso disponible en cuerpos de agua receptores a causa de la sequía
			Problemas administrativos ambientales por incumplimiento de los parámetros sobre las concentraciones de material particulado por falta de humectación (sequía)
			Problemas operativos por daños en la infraestructura por procesos de remoción en masa, inundaciones, incendios, aumento del nivel del mar, tormentas y huracanes
			Afectación tanto a las actividades logísticas de transporte de maquinaria de producción, insumos y suministros, como al ingreso y/o salida del personal, debido a la ocurrencia de eventos de remoción en masa, inundaciones, tormentas y huracanes, aumento del nivel del mar
			Problemas de salud laboral por condiciones climáticas desfavorables
			Problemas ambientales por detrimento de las características y propiedades del suelo afectando su potencial explotación y/o uso futuro
Difusión de conocimiento	**D1**	Riesgo por falta de conocimiento para la gestión adecuada de los riesgos climáticos	Problemas derivados de falta de información y gestión de la información y del conocimiento para gestionar adecuadamente los efectos futuros derivados del cambio climático a lo largo de toda la escala jerárquica de actores sectoriales (MME, Gremios, empresas, Actores sociales, etc.) que derivan finalmente en pérdidas económicas, sociales o ambientales.
	D2	Riesgo por falta de conciencia y disponibilidad de capacidades para enfrentar las problemáticas generadas por el cambio climático	Problemas derivados de la falta de sensibilización, conciencia, compromiso, o de capacidades técnicas, económicas y financieras, para gestionar adecuadamente los efectos futuros derivados del cambio climático, que derivan finalmente en pérdidas económicas, sociales o ambientales.

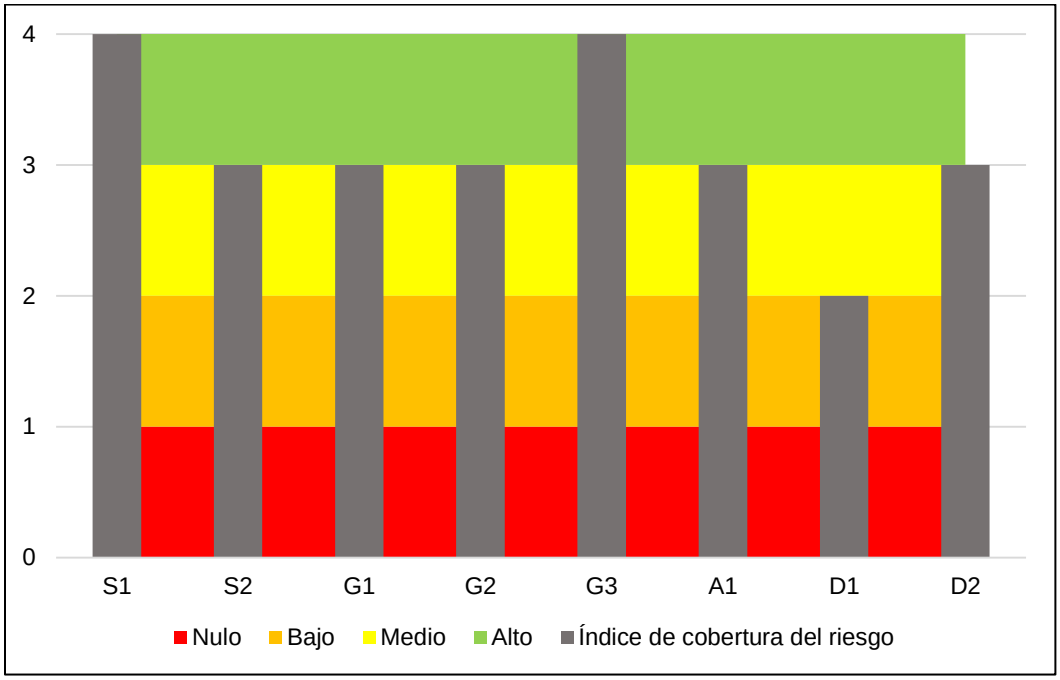
Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

Los riesgos identificados en la tabla anterior se cruzaron en una matriz de doble entrada con las acciones propuestas en cada una de las líneas estratégicas del PIGCC, con el fin de establecer el grado de cobertura de dichas acciones para cada uno de los riesgos, así como la efectividad e cada acción para todos los riesgos, el desarrollo de esta evaluación se encuentra en el Anexo 2, capítulo 7.

7.1 Hidrocarburos

A continuación se presenta el análisis de los resultados de la matriz de cobertura de riesgos, (ver Anexo 2), en la cual se evaluó la contribución de las acciones propuestas para cubrir cada uno de los riesgos para el subsector de hidrocarburos.

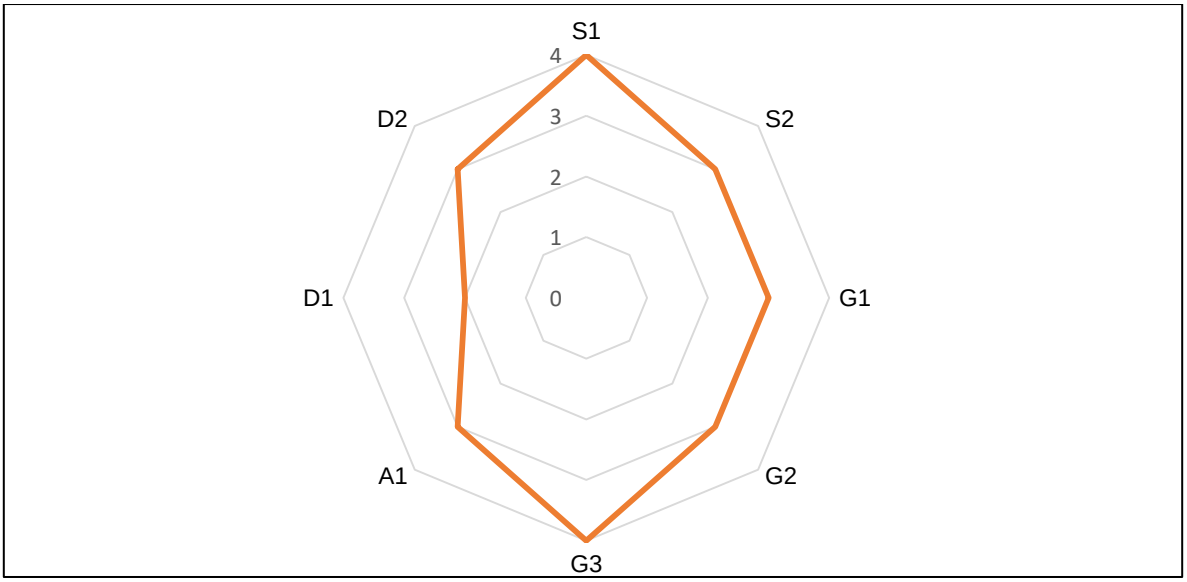
Gráfico 7-1 Índice de cobertura de los riesgos



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 7-2 se evidencia que siete de los ocho riesgos tienen una cobertura alta, lo que quiere decir que para dichos riesgos las acciones propuestas satisfacen las necesidades de gestión del riesgo. Sin embargo, para el riesgo D1, correspondiente al riesgo por falta de conocimiento para la gestión adecuada de los riesgos climáticos, el índice de cobertura es de dos, es decir que contribuye, pero de manera incompleta., esto se debe principalmente a la falta de gestión de conocimiento y de información para la formulación de estrategias como: sistematizar de la gestión del riesgo climático en temas de planificación, impulsar espacios para las autoridades viales para incluir la gestión de riesgo en las carreteras que utiliza el sector, entre otras.

Gráfico 7-2. Cobertura de los riesgos



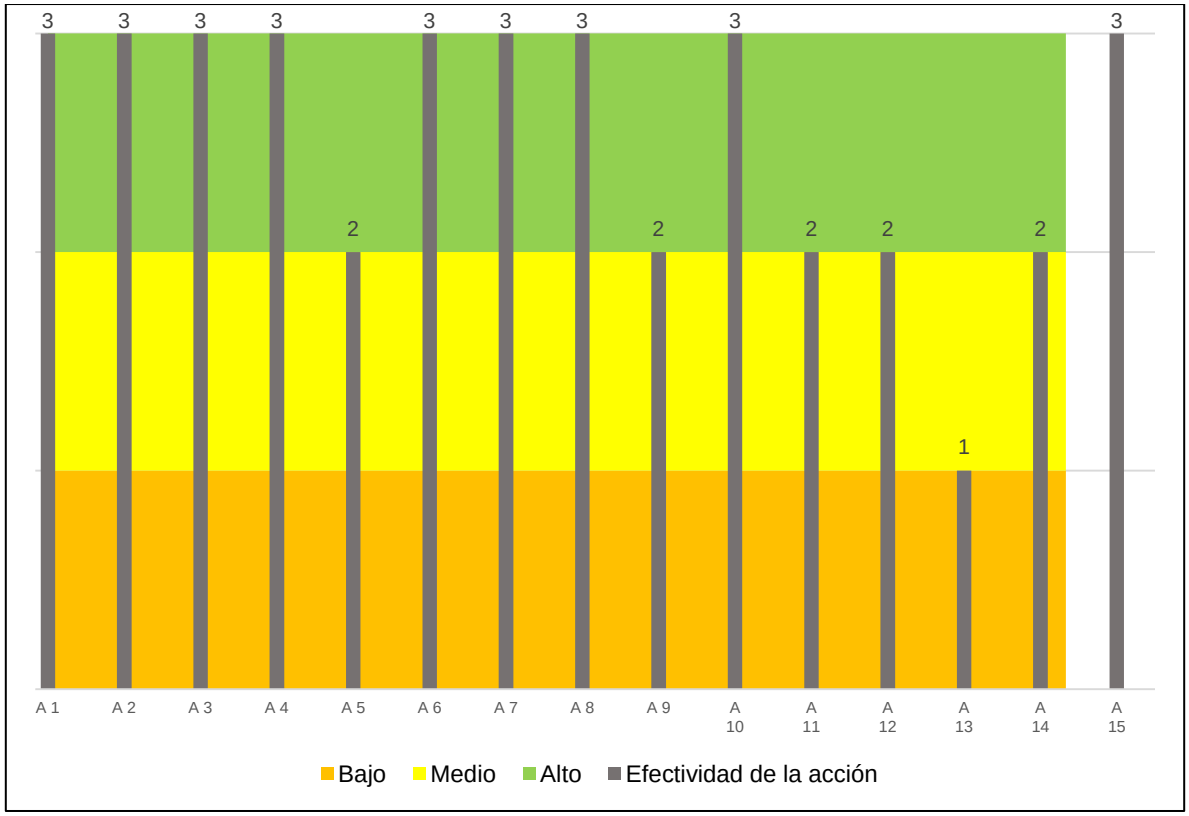
Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

De igual manera el gráfico 7-2, muestra de otra forma lo expuesto en el párrafo anterior. Vemos aquí que los riesgos S1 y G3 tienen un índice de cobertura de 4, puesto que la mayoría de las acciones cubre los aspectos que supone el riesgo en gran profundidad.

7.1.1 Efectividad de las acciones

Adicional al análisis de cobertura de riesgo se evaluó por medio de la misma matriz, la efectividad de las acciones propuestas para los ocho riesgos identificados. En el gráfico 7-3 se presentan los resultados para cada una de las acciones

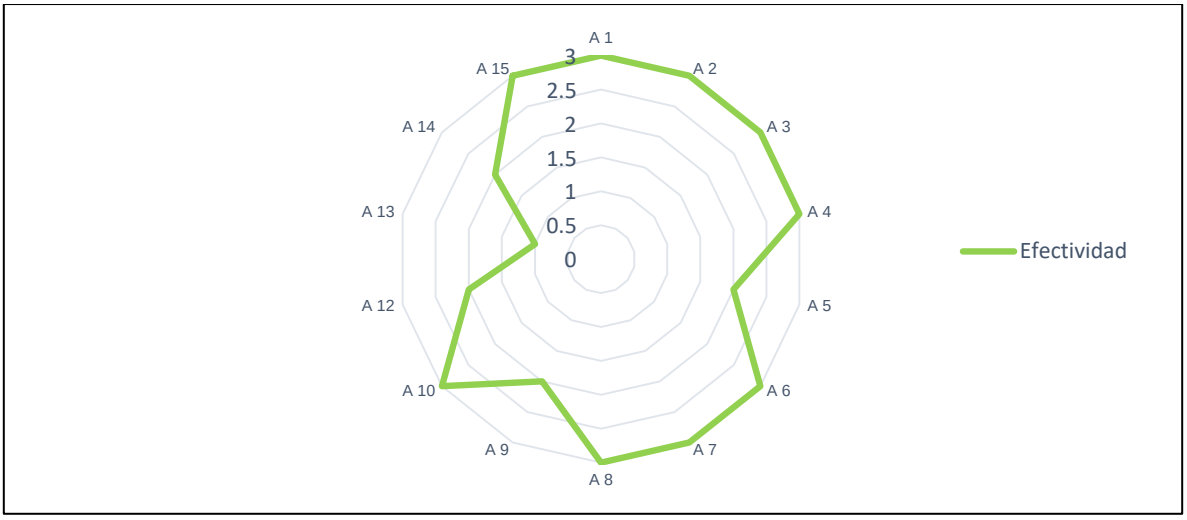
Gráfico 7-3 Índice de efectividad de las acciones.



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

Como se evidencia en el gráfico 7-3, la mayoría de las acciones para los riesgos están siendo efectivas. Cabe resaltar que la acción A3 “Establecer un modelo tripartito (público-privada-academia) de modelación de los riesgos climáticos”, es la acción más efectiva para todos los riesgos, puesto que, en todos tuvo una calificación de tres.

Gráfico 7-4 Nivel de efectividad de las acciones



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

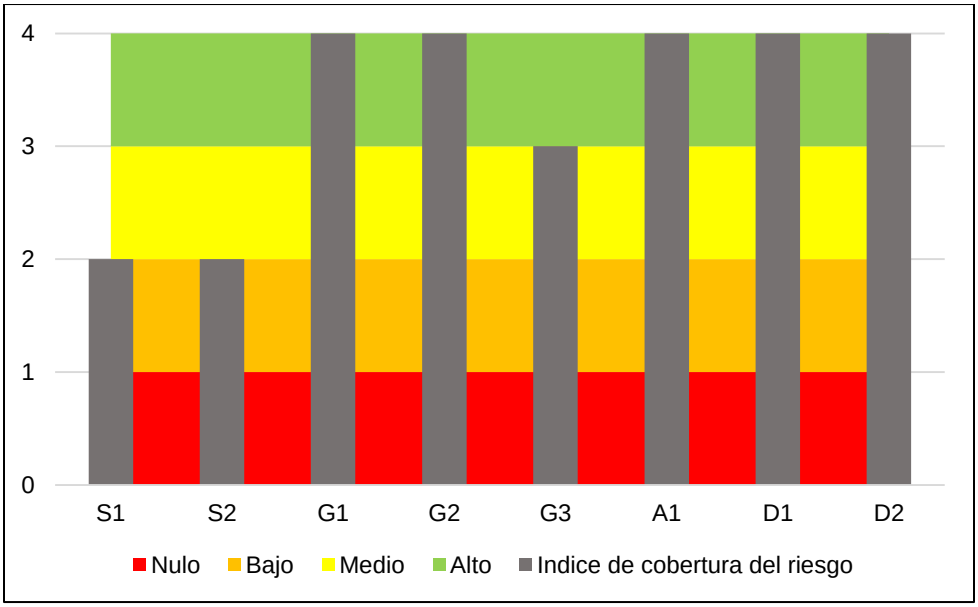
Por otro lado, la acción A13, referente a la creación de un Centro Temático (Universitario) para la gestión del conocimiento del cambio climático del sector minero energético, es la que más atención requiere por su baja puntuación, ya que es la única acción que tiene un nivel de efectividad uno, es decir, que solo cubre algunos aspectos del riesgo.

Además, las acciones que tienen nivel de efectividad dos, en su mayoría están relacionadas con la gestión de conocimiento e información, siendo esto consecuente con lo visto en las gráficas de cobertura de riesgos y por lo tanto siendo uno de los temas principales a observar para futuros diagnósticos.

7.2 Gran Minería de Carbón

A continuación se presenta el análisis de los resultados de la matriz de cobertura de riesgos, (ver Anexo 2), en la cual se evaluó la contribución de las acciones propuestas para cubrir cada uno de los riesgos para el subsector de gran minería de carbón.

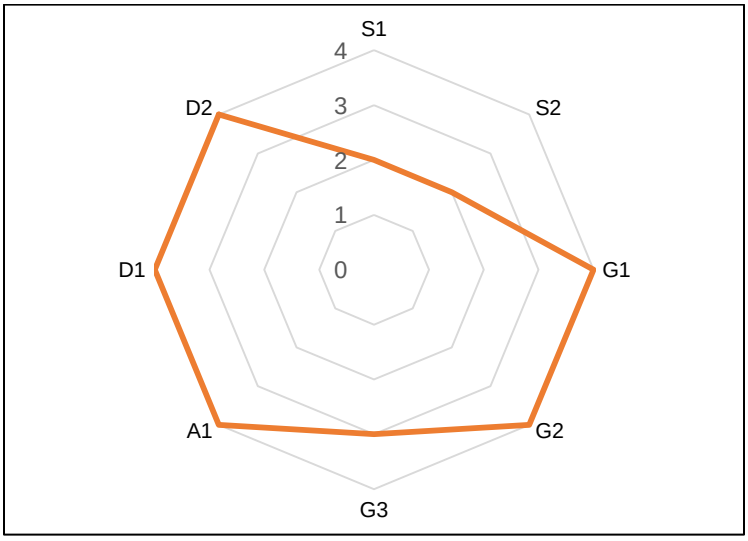
Gráfico 7-5 Índice de cobertura de riesgos



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

Para la mayoría de los riesgos del sector de gran minería de carbón se satisfacen las necesidades de la gestión de riesgos. En el gráfico 7-5, se puede observar que a diferencia del sector hidrocarburos, los riesgos referentes a difusión del conocimiento son los que mayor índice tienen (D1 y D2), junto con los riesgos de gobernanza climática (G1, G2 y G3) y el de apoyo a la gestión empresarial (A1).

Gráfico 7-6 Índice de cobertura de riesgo



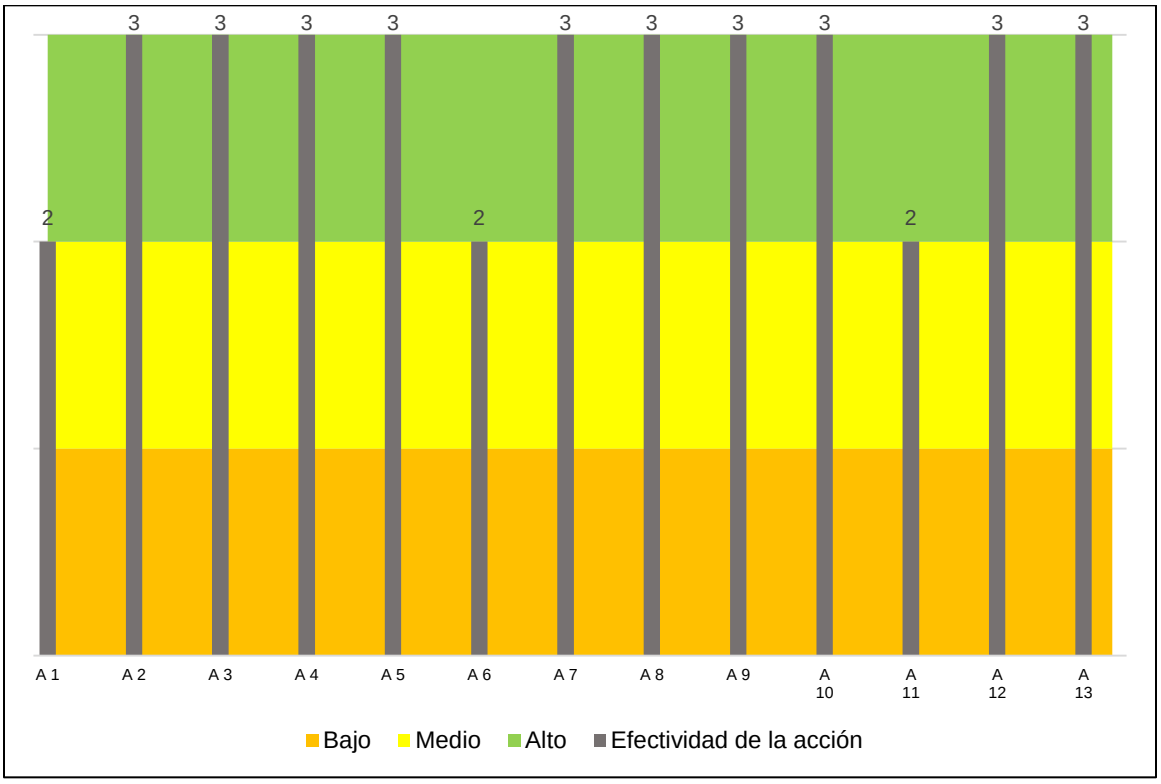
Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

En el gráfico 7-6, como en el gráfico 7-5, se evidencia que las acciones relacionadas con la seguridad energética satisfacen las necesidades de la gestión de riesgos pero de manera incompleta, lo cual se puede atribuir a cambios climáticos que afecten la infraestructura vial, reduciendo la capacidad de transporte a puerto.

7.2.1 Efectividad de la acción.

Adicional al análisis de cobertura de riesgo se evaluó por medio de la misma matriz, la efectividad de las acciones propuestas para los ocho riesgos identificados. En el gráfico 7-7 se presentan los resultados para cada una de las acciones, es importante que para este subsector no aplican el mismo número de acciones planteadas para el subsector de hidrocarburos

Gráfico 7-7. Índice de efectividad de las acciones.



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

Comparando el gráfico 7-7 con el gráfico 7-3, se observa que para la gran minería de carbón las acciones están siendo más efectivas que las del sector hidrocarburos. En este sector la acción A2 “sistematizar la gestión del riesgo climático en los procesos de planificación” es la acción más fuerte en cuanto a efectividad en el juzgamiento de los expertos.

Gráfico 7-8. Índice de efectividad de las acciones.



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

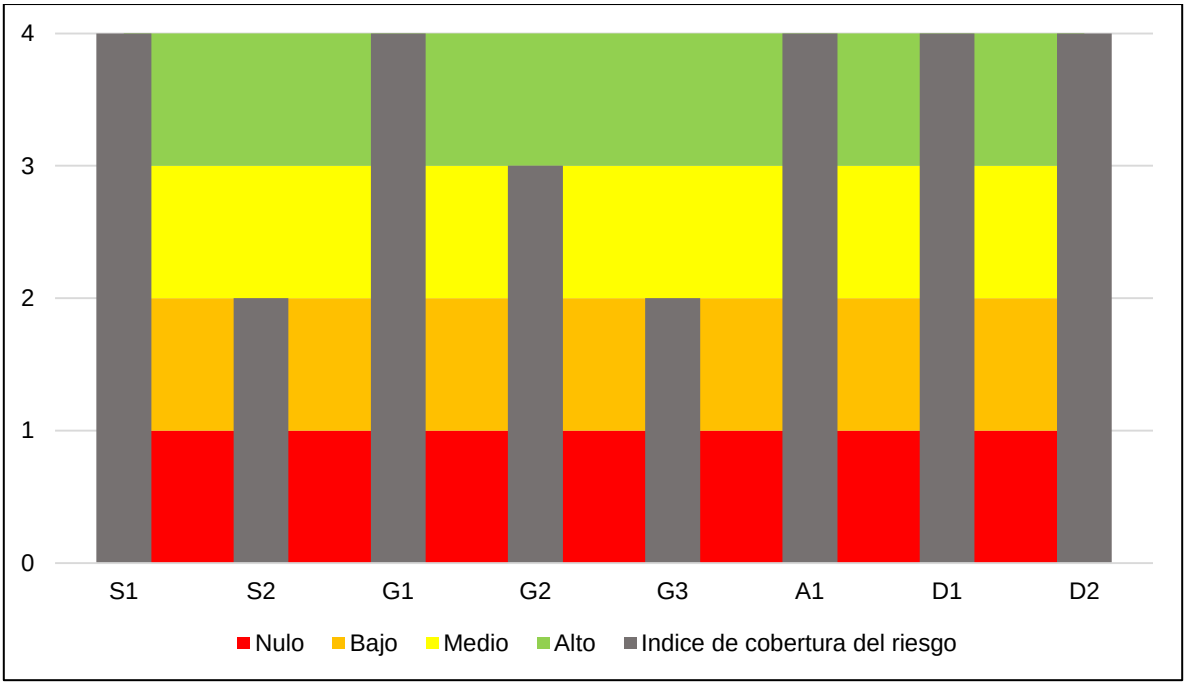
Para la gran minería de carbón, al igual que para el sector hidrocarburos, la acción A11 “creación de un Centro Temático (Universitario) para la gestión del conocimiento del cambio climático del sector minero energético”, es para los expertos la menos efectiva.

De igual forma, la acción A1 “incorporar sistemáticamente a la agenda de política pública energética, la seguridad energética frente al riesgo climático”, también debe estar en observación puesto que está relacionada con los riesgos de seguridad energética, que como se evidenció en la anterior sección, son los riesgos con menor cobertura.

7.3 Energía Eléctrica

A continuación se presenta el análisis de los resultados de la matriz de cobertura de riesgos, (ver Anexo 2), en la cual se evaluó la contribución de las acciones propuestas para cubrir cada uno de los riesgos para el subsector de energía eléctrica.

Gráfico 7-9. Índice de cobertura de riesgo para el subsector de energía eléctrica

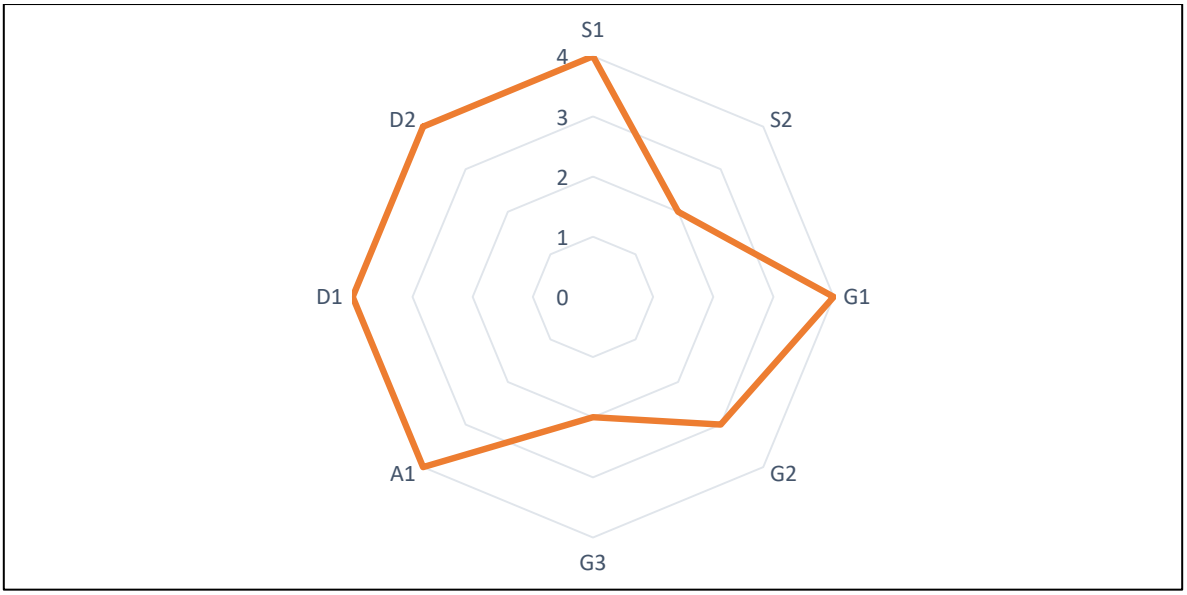


Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

El subsector de energía eléctrica, a diferencia de los demás subsectores presenta un índice de cobertura medio para dos de los ocho riesgos, específicamente para los riesgos asociados a la seguridad energética y de gobernanza climática, lo cual implica que se deben reforzar las acciones planteadas para mitigar estos riesgos.

Al contrastar el gráfico 7-9 con los gráficos de los anteriores subsectores, se refleja que el subsector de energía eléctrica es el único que cuenta con un índice de cobertura medio en el tema de gobernanza climática.

Gráfico 7-10 Índice de cobertura de para los riesgos del subsector de energía eléctrica



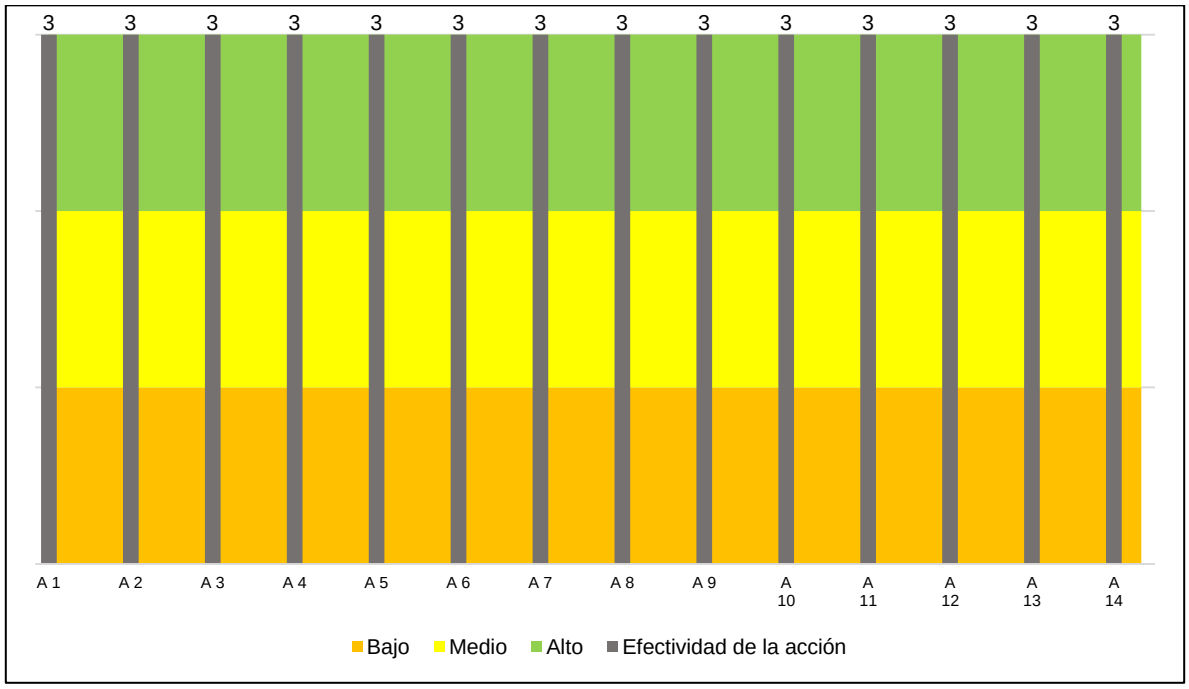
Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

El subsector de energía eléctrica es el único que cuenta con una alta cobertura en los riesgos asociados a temas de apoyo de la gestión empresarial y difusión de conocimiento. Sumado a lo anterior, también es el único subsector que cuenta con al menos un riesgo de cada grupo con un índice de cobertura de 4.

7.3.1 Efectividad de la acción

Adicional al análisis de cobertura de riesgo se evaluó por medio de la misma matriz, la efectividad de las acciones propuestas para los ocho riesgos identificados. En el gráfico 7-11 se presentan los resultados para cada una de las acciones

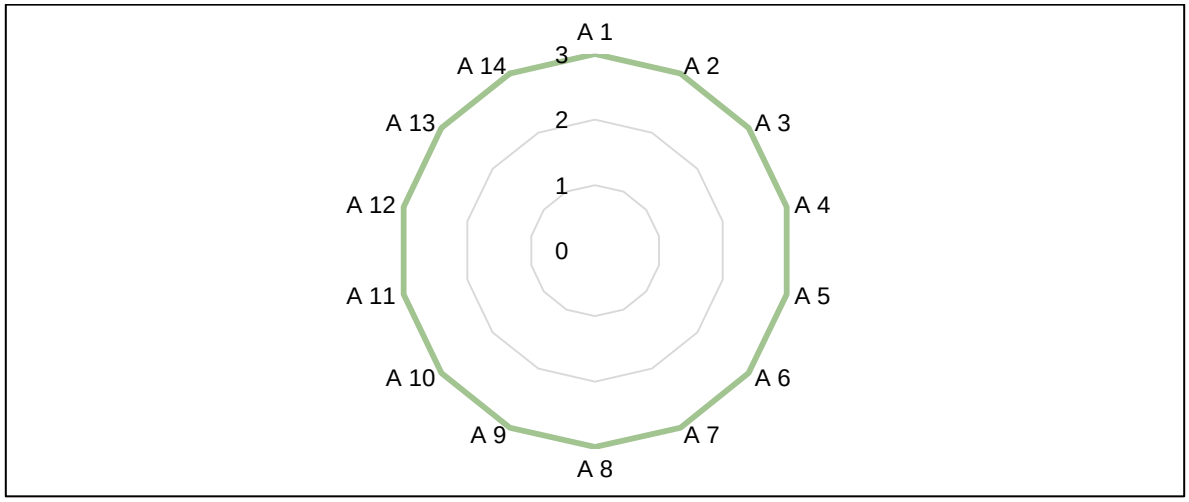
Gráfico 7-11. Índice de efectividad de las acciones propuestas para los riesgos del subsector de energía eléctrica



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

El subsector de energía eléctrica, es el único de los tres subsectores en el que todas las acciones son efectivas para todos los riesgos. Sumado a esto, es el sector con menos acciones no relacionadas con los riesgos, es decir, con menos vacíos en la matriz.

Gráfico 7-12. Índice de efectividad de las acciones propuestas para los riesgos del subsector de energía eléctrica



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

La efectividad de sus acciones se ve reflejado en los índices de cobertura, donde cinco de los ocho tiene una puntuación del experto de 4 (valor máximo del índice de cobertura). Sin embargo se debe analizar los dos riesgos que tienen índices de cobertura medio.

De igual forma que los subsectores anteriores, revisando punto a punto, la acción “creación de un Centro Temático (Universitario) para la gestión del conocimiento del cambio climático del sector minero energético” es una de las dos acciones con menos puntuación de los expertos, concluyendo entonces, que es la primera acción que debe ser monitoreada para futuros diagnósticos

8. SINERGIAS

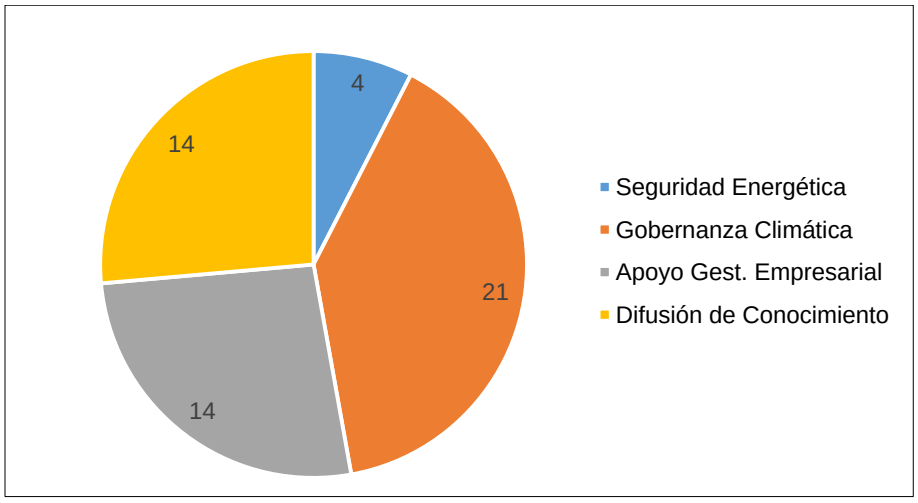
La gestión de cambio climático del sector minero energético, liderada por el Ministerio de Minas y Energía, establece la necesidad de seguir una visión integral, es decir, incluir de manera simultánea la mitigación de gases efecto invernadero y la adaptación del sector. En este sentido, el presente documento estableció líneas estratégicas para cada uno de estos aspectos por separado y, en esta sección, se presente adelantar una identificación de posibles sinergias entre estas, específicamente en lo concerniente a los posibles efectos que pueda tener la mitigación en la adaptación. A continuación se presenta una breve descripción del cálculo realizado.

En esta sección se presenta una compilación de los resultados obtenidos de la estimación de sinergias existentes entre las medidas de mitigación y los riesgos de adaptación, de acuerdo con la metodología expuesta en el Anexo 1, capítulo 9 .

8.1.1 Cálculo del Grado de gestión del riesgo de adaptación asociado a la sinergia con la medida de mitigación

De acuerdo al gráfico 8-1, se puede evidenciar que las líneas estratégicas de adaptación que más cuentan con sinergias que beneficien la gestión de sus riesgos son Difusión de Conocimiento (21) y Seguridad Energética y Gobernanza Climática (14 cada una); mientras que, Apoyo a la Gestión Empresarial cuenta con la menor cantidad (4).

Gráfico 8-1 Cantidad de sinergias identificadas por línea estratégica de adaptación

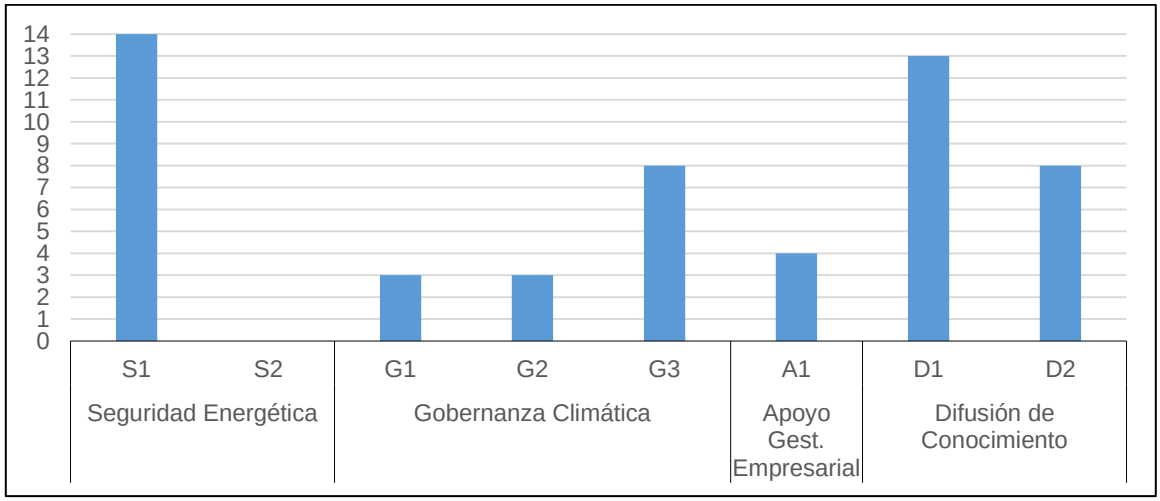


Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

En detalle, los riesgos de seguridad energética en la generación energética (S1) y de difusión de conocimiento relacionado con la pertinencia de capacidades en la gestión de cambio climático (D1) cuentan con la mayor cantidad de sinergias con 14 y 13,

respectivamente; y, por su parte, los de gobernanza climática a nivel territorial y comunitario (G1 y G2) alcanzaron tres medidas cada uno. Asimismo, para el riesgo seguridad energética en el transporte de los diferentes energéticos (S2) no se identificó sinergia alguna, lo cual significa que la gestión de este riesgo no obtiene beneficios directos o indirectos derivados de las medidas de mitigación (ver gráfico 8-2).

Gráfico 8-2 Cantidad de sinergias identificadas por cada riesgo y línea estratégica de adaptación



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

Asimismo, se realizó una estimación del indicador de Grado de gestión del riesgo de adaptación asociado a la sinergia con la medida de mitigación, el cual permite evidenciar como cada riesgo se beneficia de uno o varias medidas de mitigación de acuerdo a lo establecido en el Anexo 1, capítulo 9.

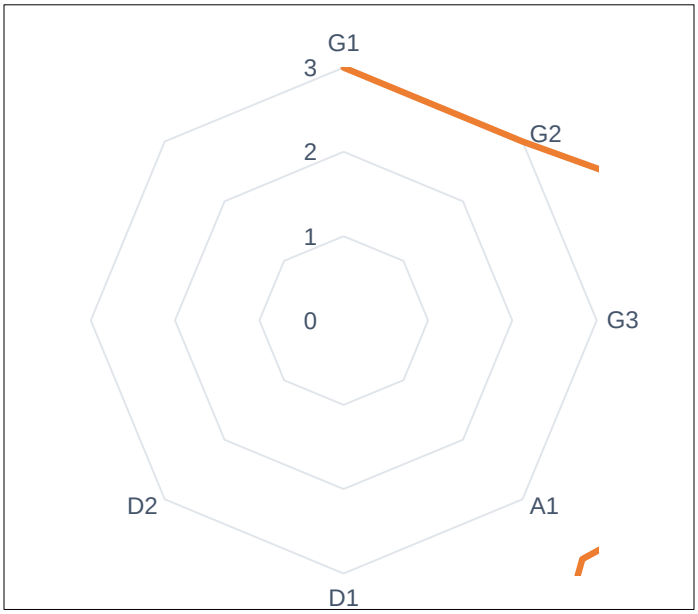
El gráfico 8-3 muestra que 6 de los 8 riesgos identificados son gestionados por las medidas de mitigación planteadas: Específicamente, se puede observar que los riesgos de seguridad energética en la generación energética (S1), de difusión de conocimiento (D1y D2), de asistencia a la gestión empresarial (A1) y de gobernanza climática asociados al incremento de competencia por recursos naturales (G3) son los riesgos más gestionados (grado 3) por las medidas de mitigación, lo que se traduce en una generación de la energía más eficiente y, en consecuencia, disminuye la presión sobre la generación de energía Asimismo, esta sinergia produce mejoras de la modelación en materia de generación de energía, lo que, en caso de materializarse, contribuiría inmensamente a la gestión del riesgo, y, en consecuencia, conllevaría a una evidente una mejora en el proceso de generación de conocimiento para una apropiada gestión del cambio climático y el desarrollo de una apropiada estrategia de comunicación.

La sinergia de menor grado (grado 1) se presenta con los riesgos de gobernanza climática a nivel territorial y comunitario (G1 y G2). Esto implica que la mitigación de emisiones

fugitivas, aunque se traduce en beneficios tales como la diversificación de la matriz energética, el uso de energía más eficientemente y la disminución de la presión sobre los recursos naturales, estos requieren una mayor y mejor gestión territorial y comunitaria para garantizar una apropiada gestión integral de cambio climático, la cual no es totalmente impulsada por las propuestas de mitigación. El riesgo de seguridad energética en el transporte de los diferentes energéticos (S2) no evidencia gestión alguna por parte de las medidas de mitigación.

Lo anterior evidencia que todos los riesgos de cada una de las líneas estratégicas de adaptación son gestionados por alguna o varias medidas de mitigación, exceptuando la línea de Seguridad energética.

Gráfico 8-3 Indicador de grado de gestión del riesgo de adaptación asociado a las sinergias identificadas con las medidas de mitigación

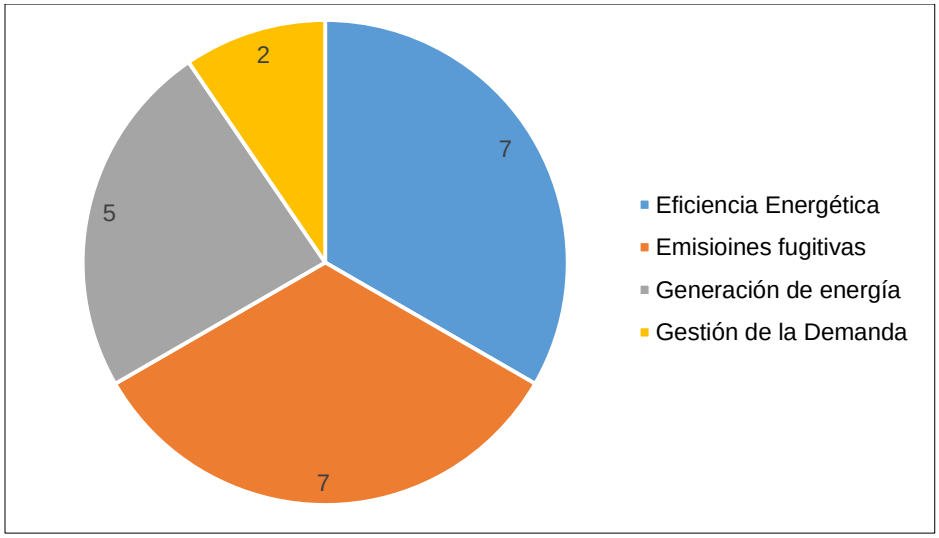


Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

8.1.2 Cálculo de Grado de sinergia de la medida de mitigación con los riesgos de adaptación

Por otro lado, de acuerdo al gráfico 8-4, se puede evidenciar que las líneas estratégicas de mitigación que cuentan mayor cantidad de sinergias entre sus medidas y los riesgos de adaptación son Eficiencia energética y Emisiones fugitivas, cada una con 7. La línea Generación de Energía Eléctrica cuenta con 5 sinergias; mientras que, Gestión de la Demanda cuenta con la menor cantidad con 2 sinergias.

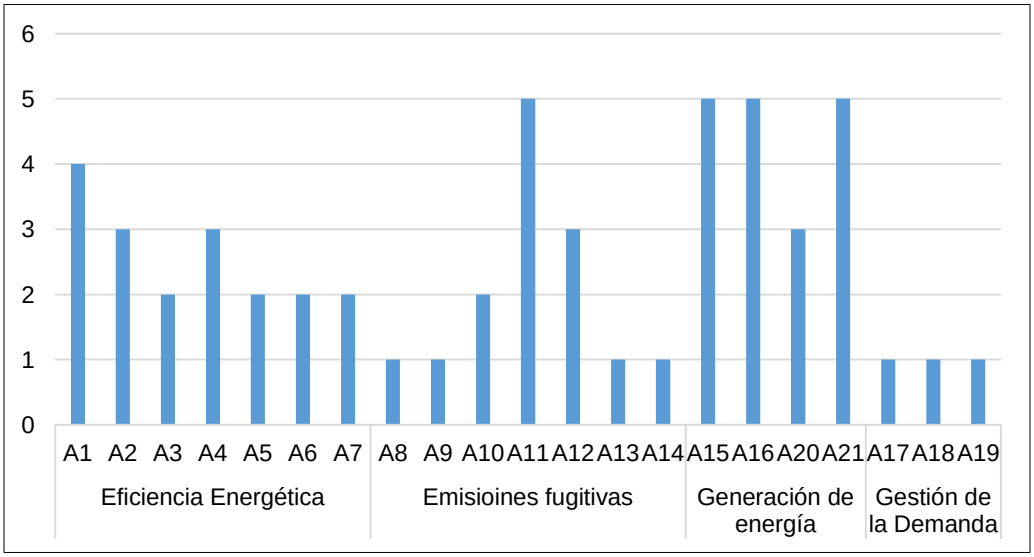
Gráfico 8-4 Cantidad de sinergías por linea estratégica de mitigación



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

En detalle, las medidas de mitigación enfocadas a la gestión de emisiones fugitivas (A11) y a la generación de energía eléctrica (A15, A16 y A21) cuentan con la mayor cantidad de sinergias con 5 cada una. Por su parte, las medidas de emisiones fugitivas (A8, A9, A13 y A14) y gestión de la demanda (A17, A18 y A19) alcanzaron la cantidad mínima con solo 1 cada una. La cantidad de sinergias identificadas para el resto de medidas oscila entre 2 y 4 (ver gráfico 8-5).

Gráfico 8-5 Cantidad de sinergías por medida y linea estratégica de mitigación



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

El indicador Grado de sinergia de la medida de mitigación con los riesgos de adaptación mide el nivel de influencia que cada medida de mitigación tiene en la gestión de uno o varios riesgos. Esto se obtuvo mediante una cuantificación de sinergias identificadas entre una medida específica y los diferentes riesgos de adaptación de acuerdo a lo establecido en el Anexo 1, capítulo 9 como resultado, el gráfico 8-6 permite observar que se identificó al menos una sinergia de gestión de riesgos de adaptación para todas las medidas de mitigación.

Respecto a la clasificación de estos resultados, se observa que en el nivel más bajo (1), es decir, aquellas que generan menor sinergia en la gestión de los diferentes riesgos de adaptación, corresponden a aquellas medidas que se encuentran en las líneas de eficiencia energética (A3) y emisiones fugitivas (A12 y A13). Las medidas de grado medio son eficiencia energética (A1, A2, A4 y A7), emisiones fugitivas (A8 y A9) y Gestión de la Demanda (A17). Finalmente, los niveles más altos corresponden a las medidas eficiencia energética (A5 y A6), emisiones fugitivas (A11y A14), generación de energía eléctrica (A15, A16, A20 y A21) y Gestión de la Demanda (A18 y A19).

Gráfico 8-6 Indicador del grado de sinergia de la medida de mitigación con los riesgos de adaptación



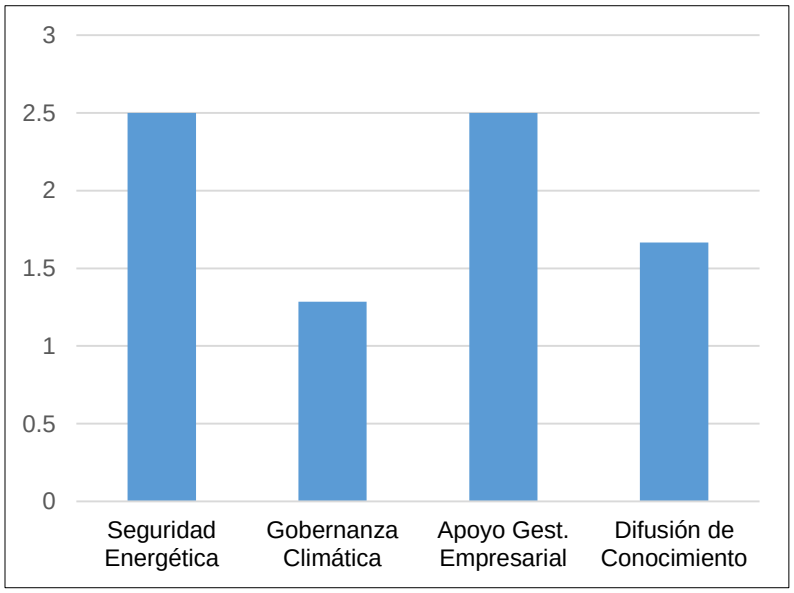
Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

8.2 Conclusiones

Tal como lo muestran los resultados presentados en la sección anterior, se realizaron dos tipos de análisis. El primero fue identificar para cada riesgo el nivel de influencia que tiene las medidas de mitigación en términos de cantidad y grado de gestión del riesgo de adaptación asociado a la sinergia con la medida de mitigación(ver sección 8.1.1). Por su parte, el segundo consistió determinar qué tan relevante es cada medida de mitigación en la gestión de riesgos de adaptación en cantidades y el grado de sinergia de la medida de mitigación con los riesgos de adaptación (ver sección 8.1.2).

En este sentido, se puede concluir que las líneas estratégicas de adaptación que cuentan con mayores niveles de sinergia con las medidas de mitigación son Seguridad Energética y Apoyo a la Gestión empresarial; mientras que, Gobernanza Climática es la que menores niveles de sinergia presenta (ver gráfico 8-7). Sin embargo, en términos de cantidad de sinergias, Seguridad Energética y Apoyo a la Gestión empresarial cuentan con 4 y 14, respectivamente, y Gobernanza climática con 21 (ver gráfico 8-1). Esto evidencia que las medidas planteadas para la seguridad energética presenta mejor alineación con la gestión de riesgos de adaptación, aunque no sea gestionado por muchas medidas de mitigación; mientras que, el caso de Gobernanza Climática es totalmente contrario, pues, a pesar de la gran cantidad de sinergias existentes, estas no son lo suficientemente relevantes para la adaptación al cambio climático.

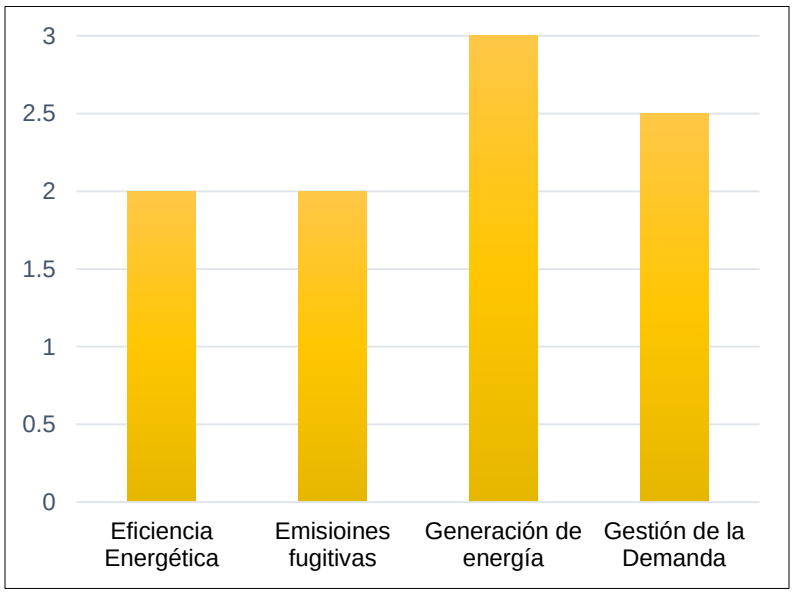
Gráfico 8-7 Nivel medio del grado de sinergia de las medidas de mitigación con los riesgos de cada línea estratégica de adaptación



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

Finalmente, en cuanto a la influencia que genera cada línea de mitigación sobre la gestión de los riesgos de adaptación en general, se concluye que Generación de Energía Eléctrica alcanza el mayor grado de sinergia con los riesgos de adaptación asociado a la efectiva gestión de cinco (5) de estos riesgos, lo que implica que su relevancia es mucho más determinante y beneficiosa para la adaptación del sector. Por su parte, los niveles más bajos se presentan para Eficiencia energética y emisiones fugitivas, los cuales acumulan 7 sinergias cada uno con dichos riesgos, sin tener mayor correlación entre la mitigación y adaptación.

Gráfico 8-8 Nivel medio del grado de sinergia de las medidas de cada línea estratégica de mitigación con los riesgos de adaptación



Fuente: U. T. INERCO-Universidad Nacional de Colombia, 2018

BIBLIOGRAFÍA

ANM (2014). Producción de minas y canteras. Tercer trimestre de 2014. Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/produccion_minerales_3_trimestre_2014.pdf

AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA (2017). Informe detallado de producción de carbón según declaraciones. Año 2016. Disponible en: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/carbon_produccion_i_a_iv_trimestre_de_2016_m_6.xls

Banco de la República. 2013. Borradores de Economía: La Economía petrolera en Colombia (Parte II). Relaciones intersectoriales e importancia en la Economía Nacional. Pág. 4.

Bayona, E., (2006). Producción de carbón y crecimiento económico en la región minera del Caribe colombiano. En: Revista de Economía del Caribe. N°. 17. Disponible en: http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/economia/article/view/8452/html_312

Caracol Radio (13 de junio de 2017). Las quemas son una de las causas más frecuentes de interrupción de la energía": Ana María Gómez Mora, directora Ambiental y Predial de INTERCOLOMBIA. Disponible en:
http://caracol.com.co/radio/2017/06/08/ecologia/1496879948_152776.html

CARBONES DEL CERREJÓN (2017). Informe de sostenibilidad 2016: año de alianzas con el territorio. Disponible en: http://www.monodual.com/InformeSostenibilidad2016lg.pdf

Center for Climate and Energy Solutions. C2ES. Weathering the storm: Building Business Resilience to Climate Change. 2013. Pág. 11.

Centro Nacional de Operación. Disponible en:
https://www.cno.org.co/sites/default/files/documentos/acuerdos/acuerdo533.PDF

Chestney, N. y Henning, G. (24 de julio de 2017). After China –induced prices spike, coal set to resume long-term decline. Reuters. Disponible en: https://www.reuters.com/article/us-coal-prices-analysis/after-china-induced-price-spike-coal-set-to-resume-long-term-decline-idUSKBN1A91IJ

Consorcio Silva Carreño y Asociados – Hugo Millán. Plan de infraestructura de transporte y portuaria para el desarrollo minero en Colombia. Informe final Módulo I. 2004

DRUMMOND LTD. (2016). Informe de sostenibilidad 2015. Disponible en: http://issuu.com/drummondltd/docs/informe_de_sostenibilidad_dltd_2015?e=19253911/40462356

El Heraldo (11 de enero de 2017). "La imprudencia humana es la que más genera incendios forestales": Corpocesar. Disponible en: https://www.elheraldo.co/cesar/la-imprudencia-humana-es-la-que-mas-genera-incendios-forestales-corpocesar-318837

El Espectador (3 de julio de 2013). Bosques de energía. Disponible en: https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/bosques-de-energia-articulo-431525

El Espectador (2 de abril de 2014). "Responsables de incendios forestales irán a la cárcel": Santos. Disponible en: https://www.elespectador.com/noticias/politica/responsables-de-incendios-forestales-iran-carcel-santos-articulo-484575

El Universal (14 de mayo de 2017). 12 departamentos afectados por la ola invernal. Disponible en: http://www.eluniversal.com.co/ambiente/12-departamentos-afectados-por-la-ola-invernal-253078

Freed, J. y Westbrook, T. (2 de abril de 2017). Coal exports disrupted in cyclone-hit Australia as floodwaters rise. Reuters. Disponible en: https://www.reuters.com/article/us-australia-cyclone-coal/coal-exports-disrupted-in-cyclone-hit-australia-as-floodwaters-rise-idUSKBN1750BZ

GRUPO PRODECO (2016). Informe de sostenibilidad 2015. Disponible en: http://www.grupoprodeco.com.co/informesostenibilidad2015/esp/index.html#0

Hurtado, G. (2012). Sequía meteorológica y sequía agrícola en Colombia: incidencias y tendencias. Contrato 223-2012. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Sequias+Incidencias+y+Tendencias.pdf/3e72c86c-cf4a-42f9-95f1-07e7cf88861a

IDEAM, MINAMBIENTE. Estudio nacional del agua. Bogotá D.C. 2015. Pág. 386

INDEX MUNDI (2017). Commodity Price Index. Coal, Colombia monthly price. Disponible en: http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=colombian-coal&months=120

Minambiente (2009). Resolución número 1762 del 15 de septiembre de 2009. Disponible en: http://anla.gov.co/sites/default/files/res_1762_150909.pdf

Ministerio de Minas y Energía (2016). Política Minera de Colombia: Bases para la minería del futuro. Disponible en: https://www.minminas.gov.co/documents/10180/698204/Pol%C3%ADtica+Minera+de+Colombia+final.pdf/c7b3fcad-76da-41ca-8b11-2b82c0671320

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2017). Memorias al Congreso de la República 2016 – 2017. Disponible en: https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23907914/memorias_congreso_2016_2017.pdf/17a87ec8-e5e4-49ed-b0ab-d9af973f745d

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2015). Análisis del comportamiento del PIB minero en el año 2014. Disponible en: https://www.minminas.gov.co/documents/10180/558364/PibIVTrimestre2014.pdf/2e08741f-fa27-4e0f-81f4-fcb136886eb4

Puig, D., Haselip, J. A., & Naswa, P. (2015). Adaptation to climate change in Colombia's oil and gas industry: Recommendations to promote risk management. UN

RCN Noticias (31 de agosto de 2016). Cerrejón reanuda sus exportaciones de carbón tras suspensión por contaminación. Disponible en: http://www.noticiasrcn.com/nacional-economia/cerrejon-reanuda-exportaciones-carbon-tras-suspension-contaminacion

Reuters (29 de abril de 2016). Australia coal mines brace for floods as La Nina Looms. Reuters. Disponible en: https://www.reuters.com/article/coal-australia-lanina/australia-coal-mines-brace-for-floods-as-la-nina-looms-idUSL3N17V3ES

Superintendencia de Sociedades. 2017. Desempeño del sector de Hidrocarburos, Informe. Pág. 4.

UPME (2006). Plan Nacional de Desarrollo Minero visión al año 2019: Colombia país minero. Disponible en: http://www1.upme.gov.co/simco/PlaneacionSector/Documents/PNDM_2019_Final.pdf

UPME. 2012. Escenarios de oferta y demanda de hidrocarburos en Colombia. Pág. 37

UPME. 2013. La Cadena del Petróleo. Pág. 107

UPME (2013). Plan Nacional de Desarrollo Minero 2010 – 2018: versión preliminar para discusión (tiene cifras pendientes de revisión y actualización). Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Minero/PNDM_2010_2018_dic_31.pdf