



ZONAS CARBONÍFERAS SOSTENIBLES CONFORME AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA TERMOELÉCTRICA EN EL MUNICIPIO DE PAIPA, BOYACÁ

MAURICIO HENAO OROZCO
Código 83201715380

FABIO YASUP GALEANO TORRES
Código 83201720838

**Proyecto presentado como requisito para optar al título
de Especialista en Sistemas de Información Geográfica**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2017**

TABLA DE CONTENIDO

1	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	7
1.1	ÁREA PROBLEMÁTICA.....	7
2	OBJETIVOS	10
2.1	OBJETIVO GENERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3	JUSTIFICACIÓN.....	11
4	METODOLOGÍA	13
4.1	ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO	13
4.2	UNIDAD DE ANÁLISIS	13
4.3	DISEÑO METODOLÓGICO	14
5	ANTECEDENTES	15
6	MARCO TEORICO.....	21
6.1	PROCESO DE GENERACION	23
6.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DE GENERACION.....	24
6.3	FUNCIONAMIENTO Y PARTES DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA 25	
6.4	PROVEEDORES DE CARBON	28
7	ANÁLISIS ESPACIAL Y ESTADÍSTICO.....	33
7.1	PARÁMETROS Y CONDICIONES	33
7.2	ELEMENTOS Y SUSTANCIAS PRODUCTOS DE LA COMBUSTION	35
7.2.1	Dióxido de azufre (SO ₂)	36
7.2.2	Óxidos de nitrógeno (NO _x)	37
7.2.3	Monóxido de carbono (CO)	38
7.2.4	Dióxido de carbono (CO ₂)	38

7.2.5	Óxido nitroso (N ₂ O)	38
7.2.6	Amoniaco (NH ₃)	39
7.2.7	Metales pesados	39
7.3	DIAGNOSTICO DE LA VARIABLES EN LA GENERACIÓN DE ENERGIA TERMOELECTRICA	42
7.4	ANALISIS GEOESTADISTICO	46
7.5	CAMBIO CLIMATICO	60
7.5.1	CONDICIONES DEL CARBÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO	68
7.5.2	ESTRATEGIAS Y ACCIONES INMEDIATAS	69
8	CONCLUSIONES Y RECONENDACIONES	72
9	REFERENCIAS	74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diseño metodológico.....	14
Figura 2 Localización de la zona de estudio	15
Figura 3 Ubicación de la central termoeléctrica Paipa (Boyacá)	23
Figura 4 Etapas Básicas Transformación de Energía.....	25
Figura 5 procesos ingreso, generación.....	26
Figura 6 Ciclo combustión del carbón.....	27
Figura 7 Ciclo combustión del carbón.....	28
Figura 8 Ubicación Bocaminas De Los Proveedores De Carbón En El Departamento De Boyacá. Fuente GENSA2017	29
Figura 9 Ubicación Yacimientos de carbón en el departamento de Boyacá(blogspot, 2014).....	32
Figura 10 GENSA 2017	45
Figura 11 Análisis Geoestadístico IDW, Cenizas.....	47
Figura 12 Análisis Modelo Estadístico Radial De Cenizas	48
Figura 13 Análisis Modelo Estadístico Radial De Cenizas	49
Figura 14 Análisis Estadístico Kriging Simple	49
Figura 15 Análisis Geoestadístico Kriging Universal	50
Figura 16 Comparación Geoestadística De Interpolación	50
Figura 17 Porcentaje de Ceniza.....	52
Figura 18 Mapa Interpolación Material Volátil.....	53
Figura 19 Mapa Interpolación Azufre	54
Figura 20 Mapa Interpolación FSI (Índice de Hinchamiento).....	55
Figura 21 Mapa Interpolación Poder Calorífico	56
Figura 22 Mapa Interpolación Humedad Total	57
Figura 23 Mapa Interpolación Variables	59
Figura 24 Escenario De Precipitación De Lluvias Al Año 2040	63
Figura 25 Escenario Cambio Climático Temperatura Al Año 2040.....	64

Figura 26 Escenario Cambio Climático Lluvias Al Año 2040 Y Variables Mineralógicas.....	66
Figura 27Escenario Cambio Climático Precipitación Lluvias Al Año 2040, Proveedores Y Variables Mineralógicas	67

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características De Las Unidades De Generación	24
Tabla 2 Ciclo combustión del carbón	27
Tabla 3 Distribución de bocaminas. Gensa 2017	30
Tabla 4 Mineralogía de los yacimientos. (deyarlynaparicio, junio de año 2014)	30
Tabla 5 Parámetros De Compra De Carbón. Fuente Gensa 2017.	34
Tabla 6. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para actividades industriales a condiciones de referencia (25 °C y 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%.(D.D, 208)	42
Tabla 7 Fuente Gensa 2017	43
Tabla 8 Parámetros	46
Tabla 9 Reducción De Emisiones De Gei - Termopaipa Total	62

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 ÁREA PROBLEMÁTICA

Desde hace varios años se ha venido estableciendo que el cambio climático es un proceso real cuya causa es la emisión de la concentración de Gases de Efecto Invernadero- GEI por las actividades humanas (Girardin, 1998). El cambio climático se define según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como un cambio en el clima, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global; se da además de la variabilidad natural del clima observada a lo largo de períodos de tiempo comparables (Naciones Unidas, 1992).

Los efectos del cambio climático se presentan de manera diferente dependiendo de la región, la capacidad de adaptación y el nivel de vulnerabilidad presente en cada país; así como de las diferentes actividades antrópicas. Colombia se encuentra influenciado por la altitud, la latitud, la distancia al mar y la continentalidad (IDEAM, 2005), además estos aspectos determinan un amplio espectro de climas que van desde los más calurosos hasta los más fríos en los picos de las montañas de las Cordilleras de los Andes (IDEAM, 2010; Ocampo et al., 2014).

Según el quinto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2013), un organismo de Naciones Unidas compuesto por científicos de todos los países

que desde los años ochenta investiga el cambio climático, sus causas, sus consecuencias y las medidas para hacerle frente, advierte que cada uno de las tres últimas décadas ha sido sucesivamente más cálida que cualquier otra década desde 1850.

En este informe el IPCC (2013) plantea una serie de escenarios futuros posibles para finales del siglo XXI, considerando las trayectorias de concentración representativas (RCP). Es probable que el incremento de la temperatura sea superior en 2 °C para los escenarios RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5. Por otra parte, se estima que el calentamiento continuará después de 2100 en todos los escenarios de RCP excepto para el RCP2.6.

Por otra parte, las estimaciones del incremento de la temperatura y su relación con la concentración de Gases de Efecto Invernadero- GEI; muestran que es necesario establecer medidas de mitigación de modo que, a finales de siglo, el aumento oscile entre 1,5°C a 2,5°C. Colombia es responsable del 0.46% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global, según datos de 2010. Sin embargo, esta participación tiene tendencia a crecer. A pesar de que las emisiones en Colombia son relativamente bajas en comparación con otros países, sus emisiones acumuladas entre 1990 y 2012 la sitúan entre los 40 países con mayor responsabilidad histórica en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente, por la deforestación (García, Barrera, Gómez, & Suárez Castaño, 2015)

Las emisiones de dióxido de carbono proceden de la oxidación del carbono de los combustibles durante la combustión. En condiciones de combustión óptimas, el contenido total de carbono de los combustibles debería convertirse en CO₂. Sin embargo, los procesos de combustión reales no son perfectos y la consecuencia de ello es que se producen pequeñas cantidades de carbono parcialmente oxidado y no oxidado.

En el caso del carbón, se ha detectado que la cantidad de carbono no oxidado, principalmente en forma de ceniza, es mayor y puede variar considerablemente con diferentes tecnologías de combustión y eficiencias (por ejemplo, puede haber una variación de entre el 0,6 y el 6,6 %). El factor de oxidación por omisión del IPCC es de 98 %.

En el caso de la generación termo eléctrica de Gensa, no es ajena a la problemática de las emisiones de material particulado y gases de efecto invernadero GEI, lo cual es un reto que día a día en sus nuevas estrategias del core del negocio, busca la eficiencia, el cumplimiento normativo y liderar los procesos frente al cambio climático.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer las geozonas de mantos de carbón a partir de sus características geoquímicas en el municipio de Paipa, Boyacá, que favorezcan la reducción de emisiones de GEI (Gases de efecto Invernadero), y aporten a la sostenibilidad (Ambiental-Económico-Social).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Espacializar las bocaminas presentes en el municipio de Paipa, Boyacá.
- Caracterizar las bocaminas por las propiedades presentes en el manto de Carbón.
- Determinar las minas que presenten mejores características mineralógicas para el proceso de generación de energía termoeléctrica.
- Analizar geoestadísticamente los componentes y las propiedades fisicoquímicas del carbón procedente de los proveedores de Gensa.
- Determinar la influencia de los factores de emisión sobre los escenarios de cambio climático en el periodo 2011-2040.
- Generar estrategias y procesos a partir de los resultados que contribuyan a la reducción de gases de efecto invernadero GEI.

3 JUSTIFICACIÓN

La gestión energética, el óptimo aprovechamiento de los recursos y la reducción de emisiones de contaminantes y de gases efecto invernadero representan grandes retos para las empresas de generación de energía eléctrica, especialmente para las termoeléctricas que operan a base de combustibles fósiles. Además, la eficiencia energética es uno de los pilares del Plan de Acción Sectorial de Mitigación del Cambio Climático de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo Carbono (ECDBC), establecido por el Sector de Energía Eléctrica en Colombia que, a su vez, está totalmente alineado con el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía, PROURE (GENSA, 2016)

En ese orden de ideas, GENSA S.A. E.S.P. ha venido realizando grandes esfuerzos en rehabilitación, repotenciación y/o restitución de sistemas y equipos de sus unidades de generación, así como en análisis y optimización de sus procesos operativos y logísticos en la Central Termoeléctrica de Paipa, con el objetivo de incrementar la eficiencia energética y reducir sus niveles de emisión de contaminantes atmosféricos y de gases de efecto invernadero.

Las acciones realizadas por GENSA S.A. E.S.P. se pueden enmarcar dentro de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono, y las emisiones reducidas o

evitadas pueden ser incluidas como parte de los compromisos adquiridos por el País en la COP-21 (Paris).

4 METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO

Esta investigación es de tipo cuantitativo, con enfoque explicativo pues busca determinar geozonas de mantos de carbón a partir de sus características geoquímicas en el municipio de Paipa, Boyacá que se ajusten a los cumplimientos de la norma en los planes de manejo ambiental (Resolución 0909 del 2008, por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones).

Gensa conforme a lo anterior además de cumplir con la norma ambiental, quiere liderar sus procesos conforme a las políticas del orden nacional en el cambio climático (ley 164 de 1994-decreto 298 del 24 de febrero de 2016).

4.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

Para analizar la información se va tener presente una serie de variables espaciales como son las características del carbón propias del departamento de Boyacá, el cual se utiliza como insumo en la generación de energía termoeléctrica, dicho proceso conlleva a la generación de gases de efecto invernadero GEI, los cuales la empresa está en la búsqueda de dichas emisiones, contribuyendo a las metas de reducción de GEI para el año 2030, y como valor agregado obtener beneficios tributarios.

4.3 DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico general seguido constó de las siguientes etapas que se esquematizan a continuación:

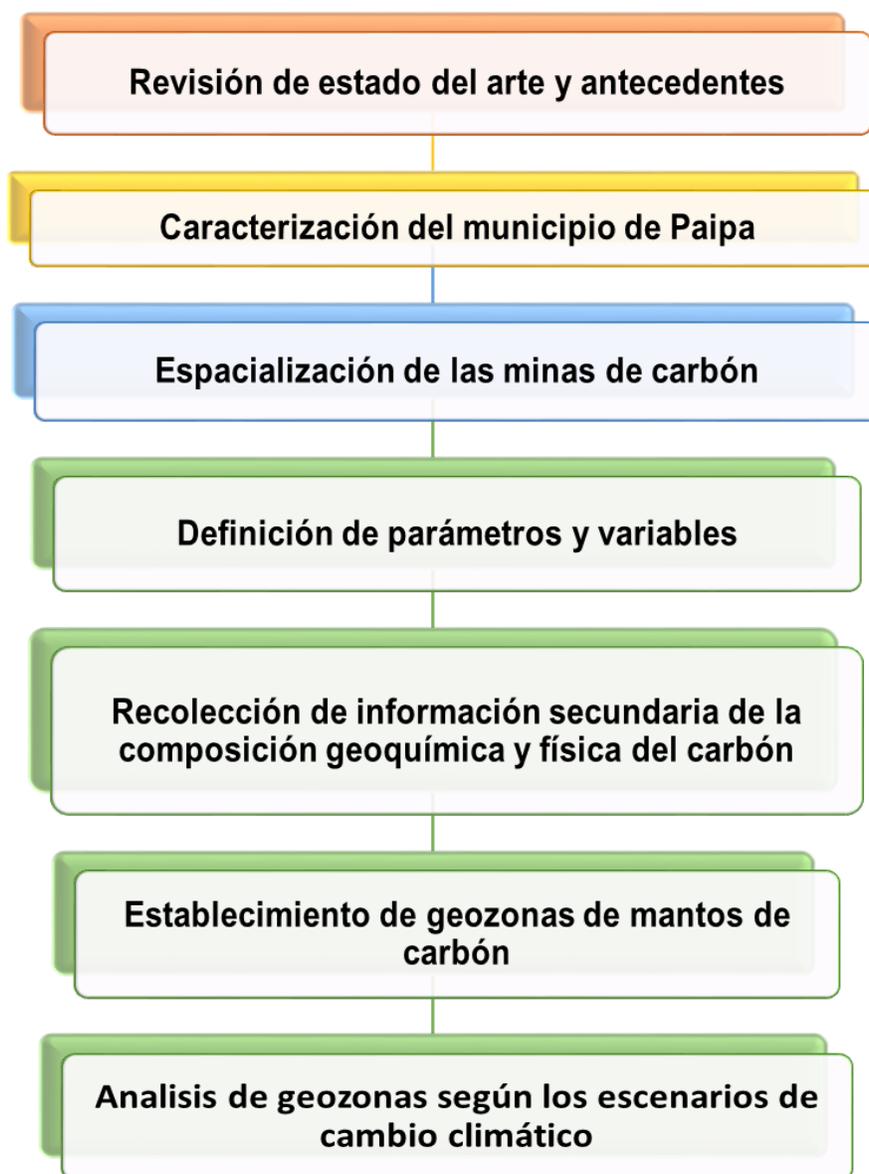


Figura 1 Diseño metodológico
Fuente: Elaboración propia

5 ANTECEDENTES

En Boyacá la minería se constituye como un importante renglón de la economía del departamento, según Rincón (2015) “el departamento ha permitido la explotación a cielo abierto la cual es una forma de aumentar la vida útil del proyecto minero”.

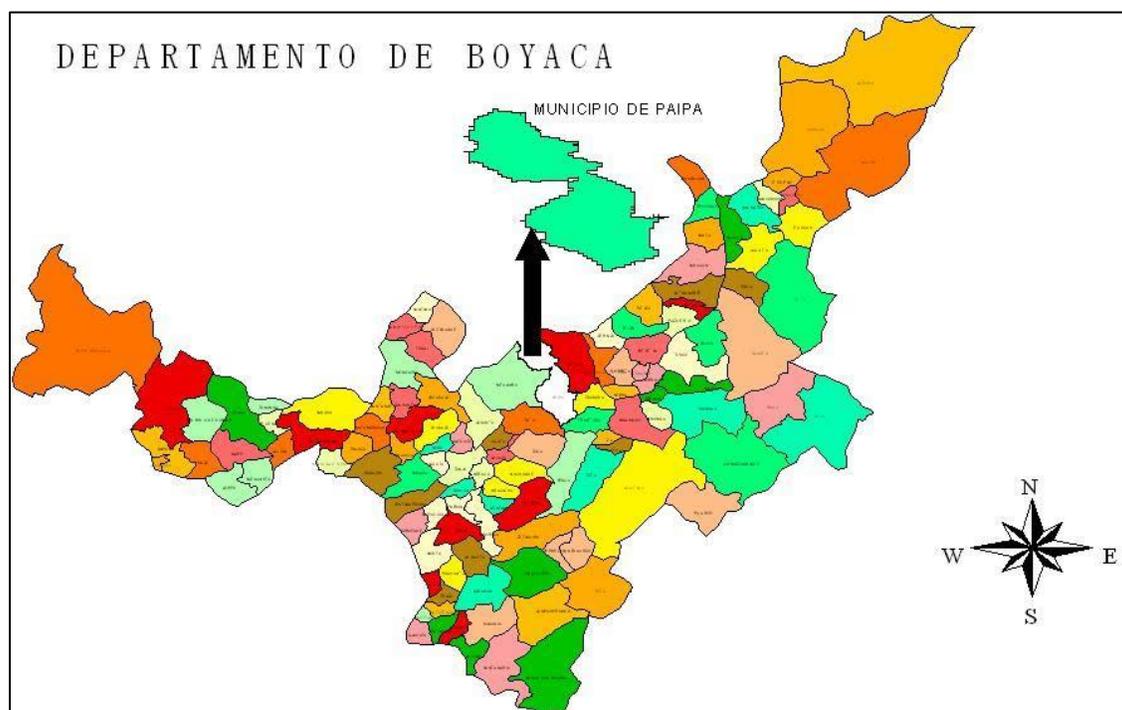


Figura 2 Localización de la zona de estudio
Fuente: Elaboración propia

Según el informe *“La Minería Sin Control Un Enfoque Desde La Vulneración De Los Derechos Humanos”*, realizado por la Defensoría del Pueblo (2016), la producción de carbón se centra en los municipios de El Paso y La Jagua de Ibirico del departamento del Cesar, con un 52%, en Barrancas, Albania y Hato Nuevo de La Guajira, con un 39%, seguido de Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Norte de Santander y Córdoba con el 9% restante, estas reservas sobrepasan las 6.600 millones de toneladas.

El carbón colombiano contiene recursos de muy buena calidad los cuales pueden participar en el mercado mundial por largo tiempo; las reservas se cuantifican en 7.063,6 Mt, ubicadas principalmente en la Costa Atlántica, donde se encuentra el 90% del carbón térmico que a su vez corresponde al 98% del carbón nacional.

En un 95% las reservas se ubican en los departamentos de La Guajira, Cesar, Córdoba, Norte de Santander, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Valle del Cauca y Cauca (Ministerio de Minas y Energía, 2005).

Según GENSA (2015), el mercado colombiano alberga así, un segmento de la minería que destina su producción a agentes económicos internos, que si bien no poseen la representatividad de lo exportable (96.4% año 2015, equivalente a cerca de 82 millones de toneladas), si sostienen un consumo doméstico relativamente estable, donde sobresale la actividad de la generación eléctrica y la industrial. El consumo doméstico de carbón, especialmente el térmico, no se destaca propiamente por ser vigoroso, más bien su común denominador ha sido la estabilidad; una causa de tal tendencia se puede interpretar en la falta de una política pública que promueva su uso, Lo normal,

en años recientes, es tener consumos internos por debajo de las 6 millones toneladas año.

En el caso de los departamentos de Santander, Cundinamarca y Boyacá, muy particularmente en este último donde dominan carbones de tipo térmico, la confluencia de factores externos como el precio internacional y precios domésticos y de factores internos como la atomización de la producción en innumerables, títulos de pequeña superficie elaborados con bajos estándares técnicos y ambientales, aunado a la queja de los líderes gremiales, sobre la mora en la construcción del ya célebre Tren del Carare, han convertido a Boyacá en una isla con poca oportunidad de comercialización de su riqueza carbonífera hacia el exterior y dependiente de la demanda doméstica del recurso. Estas condiciones básicas que identifican la cadena del carbón en el país dejan ver una actividad con potencialidad pero con una demanda baja que no facilita su crecimiento sostenible y ello aunado a las políticas de cambio climático propuestas en el COP 21, hacen que iniciativas de inversionistas nacionales se vean con dificultades a la hora de su ejecución, en particular con financiamiento de la banca. En este caso específico, es urgente analizar de forma continua la situación actual de la actividad generadora de energía en su conjunto y el papel que debe jugar un recurso mineral abundante como es el carbón en la sostenibilidad del sistema energético nacional y el desarrollo industrial como foco complementario de consumo (GENSA, 2016).

La minería igual que cualquier actividad industrial debería ser beneficiosa al hombre, además de proteger el entorno ejecutando medidas de desarrollo sostenible y mejorando la

calidad de vida de los habitantes cercanos a las minas. Sin embargo, se ha planteado que está genera deterioros progresivos al entorno así como sus habitantes (España, 2016).

Preocupado por los efectos deletéreos de la minería en Colombia, el Gobierno Nacional recientemente adopto la Política Nacional de Cambio Climático, la cual establece el desarrollo de acciones en adaptación, mitigación de gases efecto invernadero y en medios de implementación; los cuales incluyen los mecanismos de financiamiento, construcción y fortalecimiento de capacidades, así como de transformación tecnológica. Esta mitigación de gases de efecto invernadero se tiene proyectada para disminuirse en un 20% al año 2030 según la Tercera Comunicación Nacional elaborada por el IDEAM, desarrollándose mediante la implementación de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo Carbono. (GENSA, 2016).

De acuerdo con lo anterior, y a partir de lo establecido en la Ley del Plan Nacional de Desarrollo, de la recientemente aprobada Política Nacional de Gestión de Cambio Climático y de los proyectos de reglamentación que actualmente el gobierno está estructurando, se identifican diversos caminos que GENSA SA ESP podría tomar y que están consignados dentro de la Estrategia de Cambio Climático de la Central Termoeléctrica Termopaipa (GENSA, 2016).

Según Guzmán y otros (2015), Colombia es un país que vela por un mundo eco eficiente y eco sostenible, ratificándose en la cumbre de Río respondiendo a ocho necesidades entre estas la protección de las fuentes de agua y el acceso al líquido,

promoción del uso de energías renovables, protección de los océanos, reducción de las tasas de destrucción de ecosistemas esenciales, mejoramiento de la eficiencia y la sostenibilidad en el uso de los recursos. Todas estas políticas ambientales se consolidan en el artículo 1 de la ley 99 de 1993.

Se han creado una serie de incentivos para el caso de la minería responsable del carbón en Colombia, el marco regulatorio y técnico para el desarrollo de minería responsable se impulsa a partir del Decreto 2811 de 1974, el cual se estableció por el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, para la gestión ambiental. Por otra parte se expide también el Código de Minas modificada en el año 2010 por la Ley 1382 (Congreso de Colombia, 2010), con el propósito de actualizar las políticas mineras en el país, llevándola a potencializar la economía minera mediante el aumento de la productividad y competitividad del sector. El incremento de la inversión y la regulación de los trámites para obtener o renovar los títulos mineros (Martinez et al., 2014), Además de otras políticas que impiden la explotación en zonas de páramo y humedales.

Conforme avanzan los desarrollos se han observado algunas iniciativas que ayudan a la preservación del medio ambiente, una de ellas es la planteada por la Asociación del Sector de la Minería a Gran Escala, creada en 2011 con el objetivo de buscar una minería responsable y competitiva que además de buscar rentabilidad en el negocio contribuya con el desarrollo sostenible y equitativo de las empresas que se encuentran afiliadas ya sean nacionales o extranjeras las cuales “buscan incorporar las mejores

prácticas reconocidas a nivel internacional en el marco de la minería responsable y sostenible” (Trujillo & Chica, 2016).

6 MARCO TEORICO

El Carbón es una roca sedimentaria compuesta por materia mineral y por materia orgánica en diferentes grados de preservación y transformación, este carbón se caracteriza por presentar características fisicoquímicas que permiten su evaluación y posterior utilización en diferentes procesos como son: gasificación, licuefacción, combustión y coquización entre otros. Los carbones Térmicos se caracterizan por tener bajo contenido de carbono y un mayor contenido de humedad que los carbones metalúrgicos, además de tener altos índices de poder calorífico. Sus características físicas son relevantes sólo en la medida que ellas puedan afectar la combustión, es decir que la característica más valorada es su contenido energético.

Por otra parte, uno de los parámetros importantes en el análisis de carbones es el Índice de molienda Hardgrove el cual se puede ver afectado por una serie de propiedades como son la humedad, los porcentajes altos de materia mineral, entre otros. Además, es tradicionalmente utilizado para valorar el comportamiento de los carbones durante la molienda y es uno de los principales parámetros tecnológicos para determinar la capacidad industrial de pulverización; como se conoce, el carbón es utilizado en granulometrías finas en todos los procesos de utilización como por ejemplo en las termoeléctricas, en procesos de gasificación, licuefacción y en la elaboración de coque (JHL Consultores mineros 2014).

El carbón juega un papel fundamental en la demanda Energética y desarrollo del país por su abundancia y distribución. Existen en Boyacá alrededor de 6.800 explotaciones mineras, en su mayoría de carácter artesanal, principalmente de carbón coquizables, arcilla, roca fosfórica, arena, yeso, mármol, hierro y caliza. El mayor número de minas asociadas a la pequeña minería (alrededor de 500 explotaciones activas), dieron el 100% de la producción; para el año 2004 se destinaron el 78% para consumo interno y solo un 22% para exportación, este último valor representa un 2.2% del total de exportación carbonífera del país. Cerca del 75% está destinado para el sector eléctrico y la industria metalúrgica, el resto va a la industria del cemento, del papel y la producción de ladrillo (GENSA, 2016).

Para entender la cadena de contexto del carbón, Colombia es una de las 10 principales fuentes de aprovisionamiento de carbón térmico a nivel mundial, donde la influencia de la Cuenca Carbonífera del Caribe dinamiza principalmente el carácter de bien exportable de este recurso energético, sin desconocer la función que desarrollan los agentes económicos que exportan coques y semicoques.

Los departamentos productores de Cesar, Guajira y en menor proporción Córdoba, por su cercanía a infraestructura portuaria, disponibilidad de red de transporte adecuada para el caso, y un modelo extractivo de alta productividad, hacen que la canasta exportable del carbón producido en Colombia se ubique en niveles superiores al 90%. Los recursos carboníferos que posee el país según fuentes oficiales se cuantifican en

cerca de los 6.250Mt medidas, siendo los mayores depositarios a nivel de Latinoamérica.

En contraposición, en las otras cuencas carboníferas (Santander y Norte de Santander, Altiplano Cundi-Boyacense, Amagá - Antioquia, Valle del Cauca y Cauca), prevalece la vocación de abastecimiento del consumo interno y modelos extractivos de baja productividad, debido al tipo subterráneo de explotación y la baja tecnificación.

6.1 PROCESO DE GENERACION

Las instalaciones de Gensa está ubicada en el municipio de Paipa, ubicado a 5 km de de la salida del municipio.



Figura 3 Ubicación de la central termoeléctrica Paipa (Boyacá)

GENSA participa en el mercado de energía mayorista colombiano, en calidad de generador de energía eléctrica, a través de la explotación comercial de tres unidades generadoras en la central Térmica a Carbón Termopaipa, la cual está ubicada en el municipio de Paipa, departamento de Boyacá, a una altura de 2576 metros sobre el nivel del mar, distante 195 Km. del norte de Bogotá.

6.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DE GENERACION.

DESCRIPCION	UNIDAD1	UNIDAD2	UNIDAD3
CAPACIDAD INICIAL MW	33 Mw	66 Mw	74Mw
REGISTRO MERCADO DE ENERGIA	31 Mw	72 Mw	70 Mw
MARCA TUROGENERADOR	ALSTHOM	MITSUBISHI	MITSUBISHI
GENERADOR DE VAPOR COMBUSTION	Stain&Roubaix	Distral (Foster Wheeler)	Distral (Foster Wheeler)

Tabla 1 Características De Las Unidades De Generación

El grupo termoeléctrico está compuesto básicamente por un generador de vapor o CALDERA, que aprovecha la energía química del combustible y la convierte en calor, vaporizando una determinada cantidad de agua, una TURBINA, encargada de transformar el contenido del vapor en energía mecánica de rotación y un ALTERNADOR que es el encargado de transformar la energía mecánica que le transmite la turbina en energía eléctrica y la SUBESTACIÓN encargada de transformar la corriente y el voltaje originado en los bornes del generador a diferentes niveles de tensión e Intensidad con sus respectivos transformadores, disyuntores, seccionadores, etc. Entregando la Energía al Sistema Interconectado Nacional SIN o al sistema de distribución de la Empresa de Energía de Boyacá EBSA.

Esta transformación de energía se efectúa en cuatro etapas básicas:



Figura4Etapas Básicas Transformación de Energía

6.3 FUNCIONAMIENTO Y PARTES DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA

El carbón que llega de las minas existentes en la región del altiplano Cundiboyasence a la Central es almacenado en las pilas de acopio, de allí es llevado a tolvas de almacenamiento a través del sistema de bandas transportadoras (T2 – T22 - T4 – T24- T25 – T5) haciéndolo pasar por una etapa de trituración (homogenización), luego pasa a los alimentadores que son los encargados de regular la cantidad de carbón que debe pasar a los pulverizadores, allí se mezcla con aire caliente a una temperatura entre 65°C a 75°C. La mezcla de carbón pulverizado y aire es impulsada a través de ductos hasta los quemadores y la cámara de combustión de la caldera.

Los generadores de vapor o calderas de alta presión están compuestas básicamente por un hogar, conjunto de quemadores, un tambor o domos, un sobrecalentador de baja temperatura (SBT), un sobrecalentador de alta temperatura (SHT), atemperador, economizador, un calentador de aire, ventiladores de tiro forzado, ventiladores de tiro inducido, entre otros, que permiten que el agua que circula por el interior de los tubos de la caldera se caliente hasta el punto de convertirse en vapor saturado y sobrecalentado que será utilizado para impulsar el movimiento de rotación a una

turbina donde sufre una expansión, es decir pasa de una presión P_1 a una P_2 adquiriendo por lo tanto una velocidad.

El generador eléctrico o alternador es el encargado de convertir la energía mecánica transmitida por la turbina en energía eléctrica, es una máquina sincrónica que gira a 3.600 RPM, en una tensión (voltaje) de 13.800 voltios, 60 Hz.

La actividad de generación de energía eléctrica en el contexto del mercado mayorista está abierta a la libre competencia y se remunera a través de la venta de energía en contrato de largo plazo o en el mercado spot (Bolsa de energía), De manera adicional un generador puede participar en la venta de otros servicios tales como: regulación secundaria de frecuencia o AGC y venta de reconciliaciones, es de aclarar que de igual manera un generador puede requerir estos mismos servicios para su cobertura razón por la cual los podrá comprar en el mercado.

A continuación se muestra los procesos desde el ingreso hasta la generación:

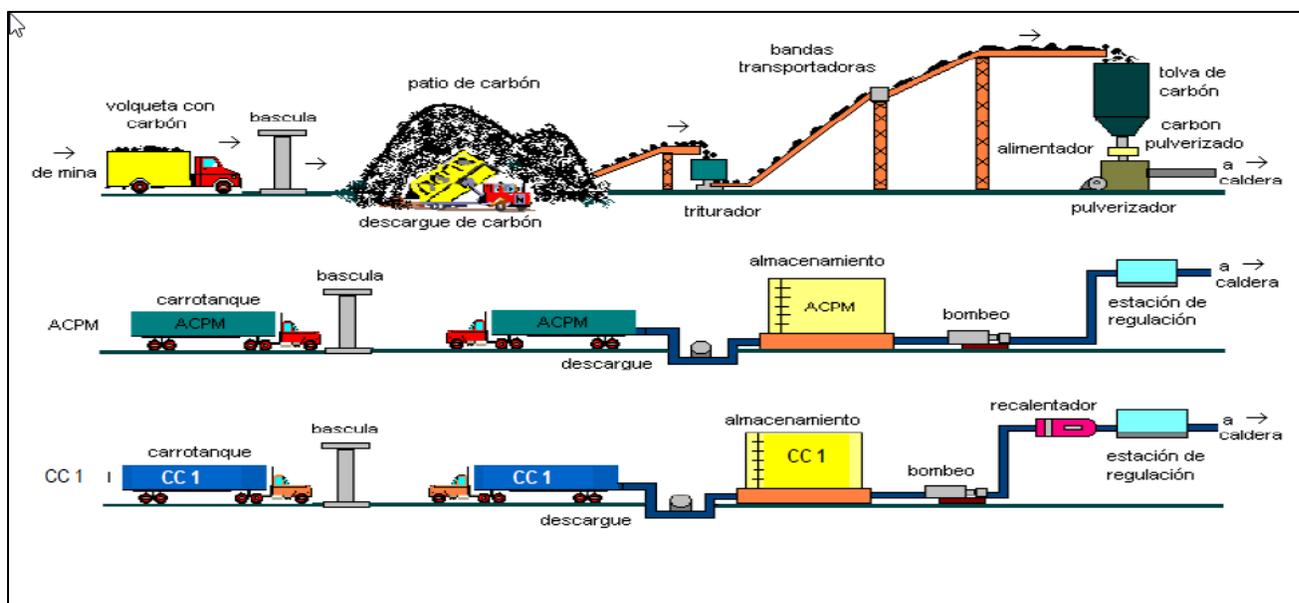


Figura 5 procesos ingreso, generación

CICLO DE COMBUSTIÓN DEL CARBÓN	
Actividad	Condiciones Físico - Ambientales
Alimentar banda con carbón	Temperatura ambiente
Triturar carbón	Temperatura Ambiente
Alimentar tolva con carbón	Temperatura Ambiente
Pulverizar carbón	Temperatura entre 60°C y 75°C
Quemar carbón para producir vapor	Temperatura mezcla entre 250°C y 850 °C
Retener cenizas en el precipitador	Presión negativa
Transporte de ceniza del precipitador al silo	Ambiente confinado
Almacenamiento de cenizas como deposito de relleno	Temperatura Ambiente

Tabla 2 Ciclo combustión del carbón

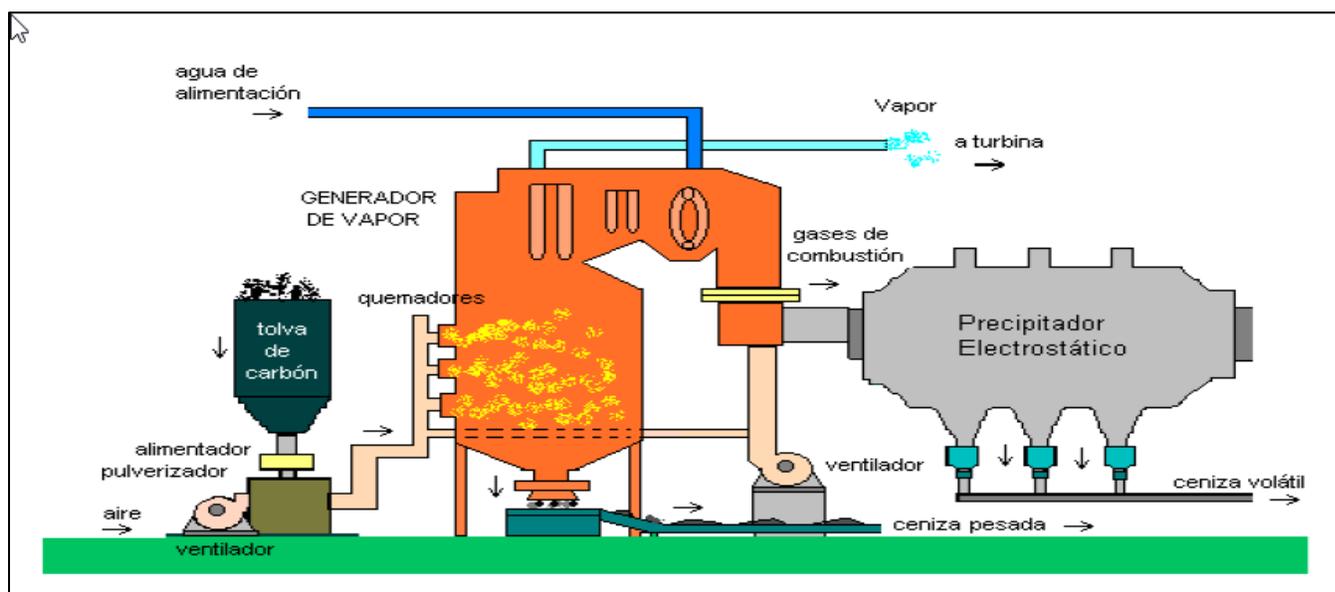


Figura 6 Ciclo combustión del carbón

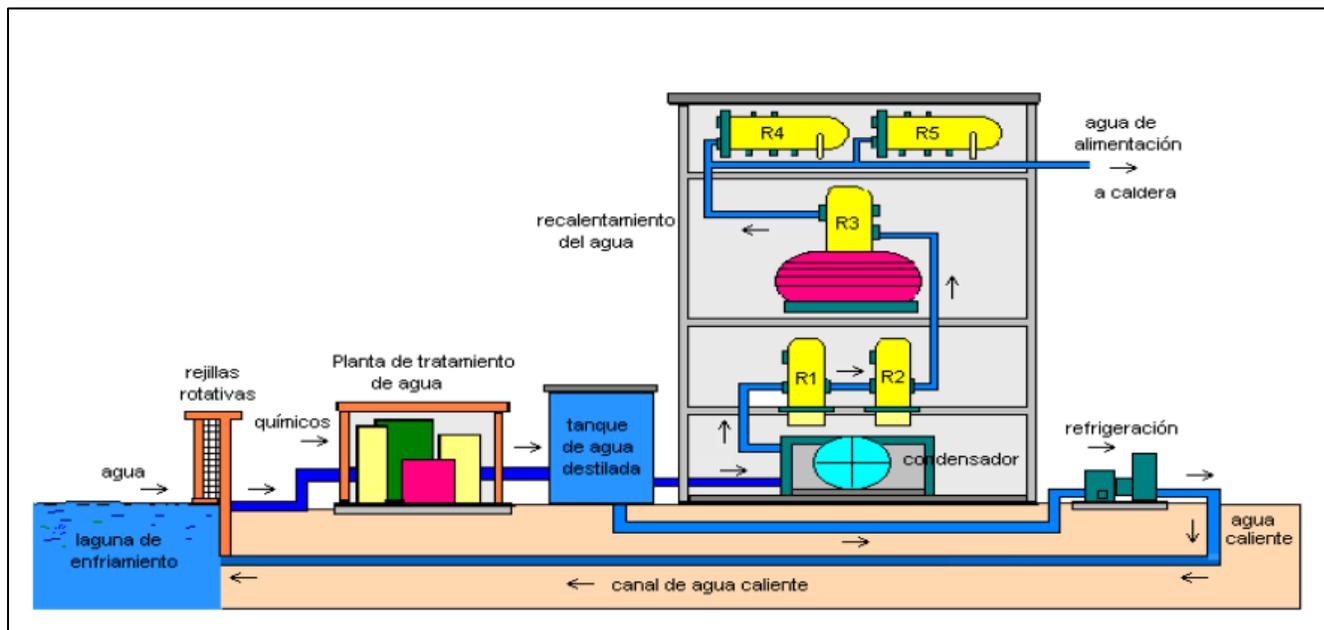


Figura 7 Ciclo combustión del carbón

6.4 PROVEEDORES DE CARBON

Gensa actualmente cuenta con 121 proveedores de carbón distribuidos en la parte oriental del departamento de Boyacá, lo cuales tiene en promedio entre dos y tres entradas o accesos a las minas, y en minería se conoce como bocaminas distribuidas así.

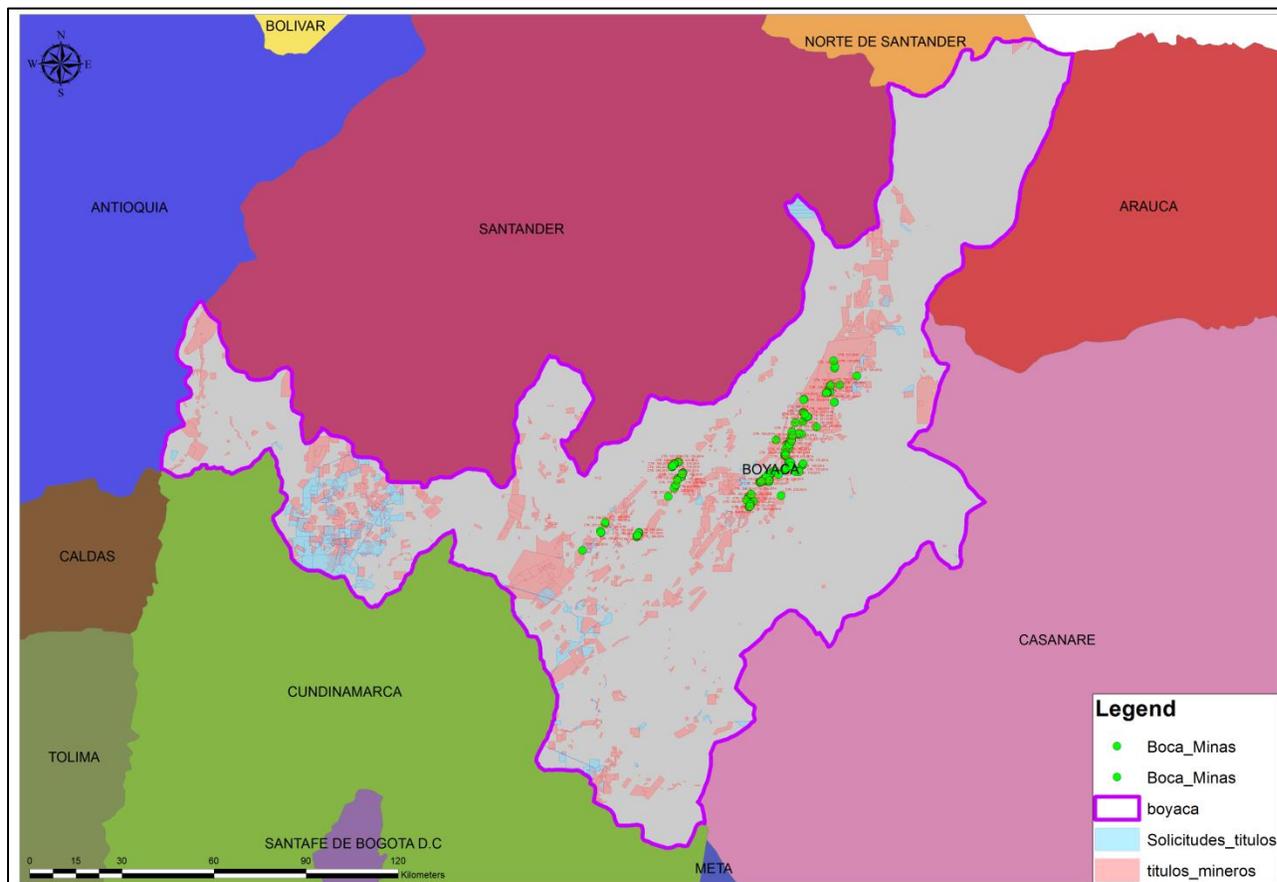


Figura 8 *Ubicación Bocaminas De Los Proveedores De Carbón En El Departamento De Boyacá. Fuente GENSA2017*

Cada uno de ellos suministra periódicamente varias toneladas del mineral de acuerdo a las necesidades de demanda de energía a nivel nacional, dichos proveedores tienen distribuido por municipio sus bocaminas de la siguiente manera:

MUNICIPIO	Proveedores-Bocaminas
Sogamoso	63
Paipa	39
Socha	32
Corrales	29
Tasco	25
Topaga	20
Topaga	17
Gameza	11
Tuta	10

Beteitiva	9
Chivata	7
Gameza	7
Mongua	7
Sativasur	7
Mongui	6
Motavita	4
Cucaita	3
Paz Del Rio	2
Socota	2
Iza	1
Mongui	1
Pesca	1
Total	303

Tabla 3 Distribución de bocaminas. Gensa 2017

La mayoría de los proveedores están ubicados en subzona de Sogamoso - Jericó que tienen las siguientes características geológicas:

Subzona Sogamoso -Jericó		
	Morca	Chapa
Humedad	2.0%	2.0%
Cenizas	4.0%	6.0%
Carbono fijo	38.0%	31.0%
Materia Volátil	45%	39.0%
Azufre	0.90%	0.70%
Poder calorífico	6.90al /gr	6.5 cal /gr

Tabla 4 Mineralogía de los yacimientos. (deyarlynparicio, junio de año 2014)

Se cree que la mayor parte del carbón se formó durante la era carbonífera (hace 280 a 345 millones de años), pero los yacimientos reconocidos en el Departamento de Boyacá son de edad cretácica.

Sus yacimientos corresponden a la formación Guaduas (transición del Cretáceo al Terciario), que es infra yacida por la formación Guadalupe y supra yacida por la formación Socha.

La formación Guaduas es arcillolítica con intercalaciones de limolitas y algunos potentes paquetes de areniscas, la presencia de esta ha permitido una división en 5 niveles que van desde el Tkg1 hasta Tkg5 de inferior a superior; los carbones económicamente explotables se encuentran en los niveles Tkg2 y Tkg3.

Se ha determinado la existencia de 12-17 mantos de carbón que varían entre 0.70-1.50m de espesor para un total acumulado promedio de 11m para el flanco occidental y 8.0m para el flanco oriental.

A pesar de esa edad joven los carbones de Boyacá son de una buena calidad, pues están transformados en gran parte en verdaderas hullas, por intensas acciones tectónicas e intrusiones ígneas. Los mantos de carbón de Boyacá son las prolongaciones norte de los yacimientos de Cundinamarca. (*deyarlyn aparicio, junio de año 2014*)

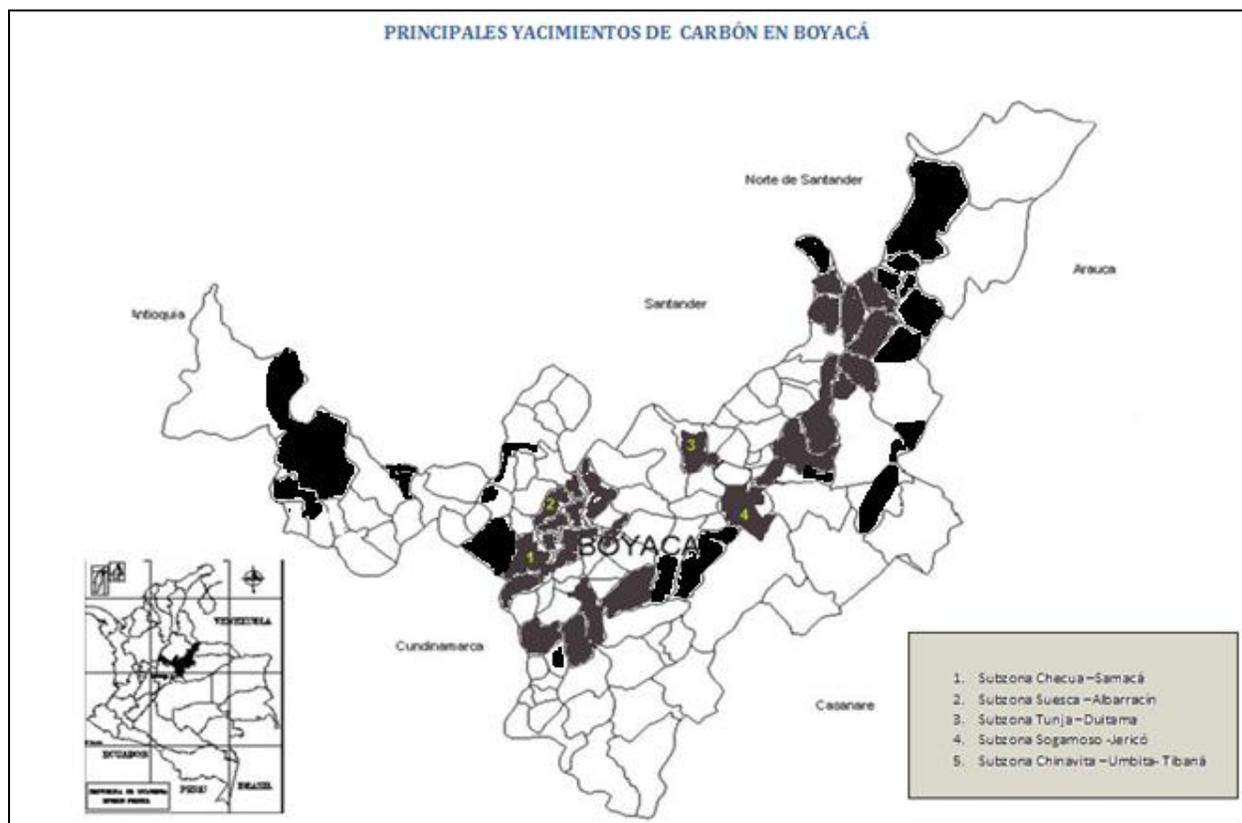


Figura 9 Ubicación Yacimientos de carbón en el departamento de Boyacá (blogspot, 2014)

7 ANALISIS ESPACIAL Y ESTADADISTICO

7.1 PARAMTEROS Y CONDICIONES

Una vez contextualizados sobre el proceso de generación de energía termo eléctrica, debemos tener en cuenta las siguientes condiciones para realizar nuestros análisis espaciales:

Las condiciones de calidad y mineralógicas óptimas para combustión del carbón son las siguientes:

- Humedad: se presenta como humedad total, inherente o de equilibrio, superficial, agua de hidratación o agua de descomposición. Tiene importancia en contratos de compraventa, en evaluación y control de procesos industriales y en manejo y pulverización del carbón.
- Cenizas (Cz): residuo no combustible de origen orgánico e inorgánico.
- Materias volátiles (Mv): su contenido determina los rendimientos del coque y sus productos y es criterio de selección del carbón para gasificación y licuefacción.
- Carbono fijo (CF): es una medida de material combustible sólido y permite clasificar los carbones y definir los procesos de combustión y carbonización.
- Azufre total (St): parámetro en la definición de gases tóxicos de los procesos de gasificación y licuefacción.
- Poder Calorífico (PC): representa la energía de combustión del carbono e hidrógeno y del azufre, es el parámetro más importante en la definición de los

contratos de compraventa de carbones térmicos y en la clasificación de los carbones por rango.

A continuación se relaciona los valores establecidos para la compra del carbón a través de los proveedores

Parámetros	Valores
Humedad (Ht)	0-12 %
Cenizas (Cz)	0-22 %
Azufre (St)	1.5%
Materiales Volátiles	30-45 %
Poder Calorífico (Pc)	4800-7600 kcal/kg
Indicie de Hinchamiento	3.5 max

Tabla 5 Parámetros De Compra De Carbón. Fuente Gensa 2017.

Desde el punto de vista técnico, para que se origine un proceso de combustión tiene que ocurrir que la velocidad de oxidación debe ser lo bastante alta para que el calor desprendido en la reacción sea elevado. Debido a lo complicado de la estructura del carbón, se pueden producir ciertas reacciones de descomposición o transformación (pirolisis), lo que puede hacer que el carbón, tras sufrir este proceso, no sea tal, sino que se convierta en una serie de compuestos derivados. En la pirolisis, el carbón se descompone en ciertos productos, siempre en ausencia de oxígeno. Primero se segrega el agua, después moléculas de mayor tamaño que se desgajan, y así sucesivamente; el hecho de que esto se produzca en ausencia de oxígeno implica que no se produzca la combustión, sin embargo, puede darse el caso de que el calor

producido sea suficiente para alcanzar la temperatura de inflamación, y se produce la oxidación del carbón.

Normalmente la llama resulta de la incandescencia del carbono elemental, que se produce por cracking de las materias volátiles, por lo tanto, cuantas más materias volátiles haya, más llama se producirá.

Otro factor que se debe tener en cuenta en la combustión del carbón es que se encuentra en estado sólido, por lo que para favorecer el contacto entre combustible y comburente hay que aumentar la superficie de contacto. Para ello se hace necesario disminuir el tamaño de partícula, por lo que se tiende a formar prácticamente polvo.

(Textos científicos 2006)

7.2 ELEMENTOS Y SUSTANCIAS PRODUCTOS DE LA COMBUSTION

Los gases contaminantes más significativos originados en los procesos de combustión son el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂ simbolizados conjuntamente como NO_x), el dióxido de carbono (CO₂) y los metales pesados (arsénico(As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), selenio(Se), zinc (Zn) y, en algún tipo de fuelóleo, vanadio (V)). De importancia cuantitativa bastante reducida son las emisiones de Contaminantes Orgánicos Volátiles (COV), que se desglosan en los no metánicos (COVNM) y en metano (CH₄), de monóxido de carbono (CO), de óxido nitroso (N₂O), y a un nivel casi marginal el amoníaco (NH₃). Adicionalmente, se consideran también las emisiones de

determinados contaminantes orgánicos persistentes, y entre ellos, las dioxinas y furanos (DIOX) y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

En las actividades de este grupo, las emisiones se canalizan normalmente a chimeneas, siendo las emisiones fugitivas o escapes (juntas, etc.) prácticamente descartables.

Seguidamente se comentan las especies contaminantes más relevantes de las emisiones de los gases de combustión:

7.2.1 Dióxido de azufre (SO₂)

Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) dependen directamente del contenido de azufre en el combustible, contenido que en términos de peso sobre combustible libre de cenizas varía habitualmente entre el 0,3% y el 1,2% para las hullas y antracitas, pudiendo alcanzar valores extremos del 5% para los lignitos; entre el 0,3% y el 3,0% en los fuelóleos; mientras es insignificante en el caso del gas.

El cálculo de los factores de emisión de SO₂ se basa en el contenido de azufre en el combustible. En el caso de los carbones, el azufre se presenta habitualmente en alguna o varias de las formas siguientes: azufre pirítico (FeS₂), azufre orgánico, sales de azufre o azufre elemental. Las dos primeras formas son las dominantes y ambas contribuyen a la formación de SO₂. El contenido total de azufre en el carbón se determina habitualmente por un análisis químico vía húmeda, pero este procedimiento suele presentar un sesgo al alza en comparación con el más preciso de Rayos-X.

7.2.2 Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Para los óxidos de nitrógeno (NO, que normalmente es referenciado de forma conjunta con el NO₂ como NO_x), hay que distinguir entre dos mecanismos diferentes de formación:

- Formación del “NO del combustible” a partir de la conversión del nitrógeno que forma parte del propio combustible.
- Formación del “NO térmico” a partir de la fijación de nitrógeno de la atmósfera en el proceso de combustión.

La primera vía (NO_x del combustible) contribuye aproximadamente con el 80% del NO_x generado pudiendo superar incluso el 90%. La segunda vía (NO_x térmico) representa aproximadamente el 20% y, en función de la temperatura de combustión, puede bajar su contribución a menos del 10%.

En lo que se refiere a los combustibles sólidos, el contenido de nitrógeno varía, habitualmente, para las hullas y antracitas entre el 0,2% y 3,5%; entre el 0,4% y el 2,5% para el lignito pardo; entre el 0,6% y el 1,55% para el coque; entre el 0,7% y 3,4% para la turba; entre el 0,1% y el 0,3% para la madera; y entre el 0,3% y el 1,4% para los residuos urbanos. En los combustibles líquidos, el contenido de nitrógeno oscila entre el 0,1% y el 0,8% para los fuelóleos pesados, y el 0,005% y 0,07% para los ligeros. Por su parte, el gas natural no contiene nitrógeno en sus enlaces orgánicos y su contenido de nitrógeno molecular no tiene influencia sobre la formación de NO_x del combustible (sólo se forma en este caso NO_x térmico).

Compuestos orgánicos volátiles: COVNM y CH₄ Las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles no metano (COVNM) (p. ej. olefinas, cetonas, aldehídos) se originan

por combustión incompleta. El metano puede emitirse sin sufrir alteración desde el propio combustible.

7.2.3 Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) aparece siempre como un producto intermedio del proceso de combustión, especialmente en condiciones subestequiométricas de combustión. Sin embargo, la relevancia del CO liberado de las instalaciones de combustión no es muy elevada. El mecanismo de formación del CO (y el de los COV) es similar al del NO térmico.

7.2.4 Dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂) es el principal producto de los procesos de combustión de todos los combustibles fósiles. Existe una relación directa entre la emisión de CO₂ y el producto de la cantidad de combustible por su contenido en carbono, siempre que se admita combustión (cuasi) completa.

Para los combustibles fósiles sólidos el contenido de carbono varía, habitualmente, entre el 61% y 87%, (en términos de masa de combustible libre de ceniza).

7.2.5 Óxido nitroso (N₂O)

El mecanismo de formación del óxido nitroso (N₂O) no se conoce todavía con precisión. Una posible vía de formación, parecida a la del NO_x, se desarrollaría a través de productos intermedios como el HCN o el NH₃. Se ha descubierto que la

reducción de la temperatura de combustión, especialmente por debajo de 1.000 °C, repercute en una mayor emisión de N₂O. A temperaturas bajas, la molécula de N₂O es relativamente estable, mientras que a temperaturas altas el N₂O que se forma se reduce a N₂. Comparadas con las emisiones de las instalaciones de combustión convencionales, las instalaciones que incorporan técnicas de lecho fluido presurizado, re circulante o de borboteo dan lugar a emisiones más elevadas. En ensayos de laboratorio, se ha demostrado que el óxido nitroso se forma en los procesos de Reducción Catalítica Selectiva (RCS) presentando un valor máximo en, o cerca de, la “ventana” de la temperatura óptima del proceso.

7.2.6 Amoníaco (NH₃)

La emisión de amoníaco (NH₃) no se origina por reacción química en el proceso de combustión sino más bien por la reacción incompleta del NH₃ utilizado como aditivo en el proceso de desnitrificación de las emisiones.

7.2.7 Metales pesados

La mayoría de los metales pesados considerados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn) se emiten normalmente como compuestos (óxidos, cloruros) asociados a las partículas. Tan sólo el Hg y el Se se presentan parcialmente en la fase de vapor. Los elementos menos volátiles tienden a condensarse en las partículas de menor tamaño de los gases. El contenido de metales pesados en los carbones es normalmente superior en varios órdenes de magnitud al de los fuelóleos y gasóleos (excepto ocasionalmente el

Ni en el fuelóleo) y al del gas natural. Para el gas natural sólo son significativas las emisiones de mercurio, cuyas concentraciones se encuentran en el rango de 2 - 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante la combustión del carbón, las partículas experimentan cambios complejos que conducen a la vaporización de elementos volátiles. La tasa de volatilización de los compuestos de metales pesados depende de las características de los combustibles (concentraciones en el carbón, fracción de componentes inorgánicos, tales como el calcio) y de las características tecnológicas (tipo de caldera, modo de operación).

Para las calderas de fondo seco (CFS), los metales pesados considerados se emiten en forma de partículas, excepto el Hg y el Se. En este tipo de calderas, las emisiones procedentes de la combustión de lignito son potencialmente inferiores a las de las hullas y antracitas, dado que el contenido de metales y las temperaturas de combustión son menores. En las calderas de fondo húmedo (CFH), suele operarse con recirculación de las cenizas volantes, lo que produce un incremento considerable en las concentraciones de metales pesados en los gases de salida de la combustión. Las emisiones de metales pesados de las calderas de lecho fluidificado (CLF) se consideran que son inferiores debido a que las temperaturas de operación son más bajas y a la menor proporción de partículas finas. La adición de caliza en las instalaciones con CLF puede reducir la emisión de alguno de los metales pesados, debido al incremento que se produce en la retención de los mismos en las cenizas. Este efecto se ve parcialmente contrarrestado por el incremento que se produce en la proporción de partículas finas en los gases de salida, lo que conduce a un incremento

de las emisiones por la presencia de partículas finas que tienen una mayor concentración de metales pesados.

Conviene también señalar que las altas concentraciones de arsénico (As) dañan los catalizadores de las tecnologías de desnitrificación. Por ello, las plantas que han incorporado técnicas de Reducción Catalítica Selectiva (RCS) con altos niveles de partículas pueden requerir la aplicación de medidas especiales (reducción de la recirculación de cenizas volantes).(ESPAÑA, s.f.)

Conforme a los cumplimiento normativos en Colombia, conforme a la resolución 909 de 5 de junio de 2008, del ministerio de medio ambiente y desarrollo, "se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones, específicamente en su capítulo II, fija los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas puntuales de actividades industriales en el país, Artículo 4. Estándares de emisión admisibles para actividades industriales. En la Tabla siguiente se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades industriales definidas en el Artículo 6 de la presente resolución".

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m ³)	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevas
Material Particulado (MP)	≤ 0,5	250	150
	> 0,5	150	50
Dióxido de Azufre (SO ₂)	TODOS	550	500
Óxidos de Nitrógeno (NO _x)	TODOS	550	500
Compuestos de Fluor Inorgánico (HF)	TODOS	8	
Compuestos de Cloro Inorgánico (HCl)	TODOS	40	
Hidrocarburos Totales (HC _T)	TODOS	50	
Dioxinas y Furanos	TODOS	0,5*	
Neblina Ácida o Trióxido de Azufre expresados como H ₂ SO ₄	TODOS	150	
Plomo (Pb)	TODOS	1	
Cadmio (Cd) y sus compuestos	TODOS	1	
Cobre (Cu) y sus compuestos	TODOS	8	

Tabla 6. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para actividades industriales a condiciones de referencia (25 °C y 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%.(D.D, 208)

7.3 DIAGNOSTICO DE LA VARIABLES EN LA GENERACIÓN DE ENERGIA TERMOELECTRICA

Una vez establecidos los parámetros de calidad mineralógica y niveles permisibles de elementos o sustancias productos de la combustión, procedimos a espacializar los proveedores de carbón de Gensa, en el cual se realizó una descripción geológica, cualitativa y cuantitativa de los compuestos químicos del carbón de las bocaminas con las siguientes variables:

CODIGO MUESTRA	
FECHA	
CONTRATO	
MINA	
BOCAMINA	
MANTO	
COORDENADAS	X
	Y
PROVEEDOR	
MUNICIPIO	
Análisis Próximo (como se recibe)	ADL
	HR
	Ht (%)
	Cz (%)
	Mv (%)
	Cf (%)
Azufre (%)	
Poder Calorífico	NCV (cal/g)
FSI	

Tabla 7 Fuente Gensa 2017

CODIGO DE LA MUESTRA: Este código es asignado a las muestras de campo.

FECHA: Fecha de toma de muestra

CONTRATO: El número de contrato entre Gensa y el proveedor.

MINA: Nombre de la mina

BOCAMINA: Numero de bocas o entradas a las minas.

MANTO: Clasificación mineralógica de los mantos de carbón existentes en la zona.

COORDENADAS: Ubicación geográfica de las bocaminas.

PROVEEDOR: Nombre del propietario.

MUNICIPIO: Nombre del municipio donde se encuentra la mina

ANALISIS PROXIMO

ADL: Secado del carbón en cabina.

HR: Humedad relativa

Ht: Humedad Total

Cz(%): Porcentaje de ceniza

MV: Material volátil

CF: Carbono fijo

AZUFRE:

PODER CALORIFICO

FSI: Índice de Hinchamiento

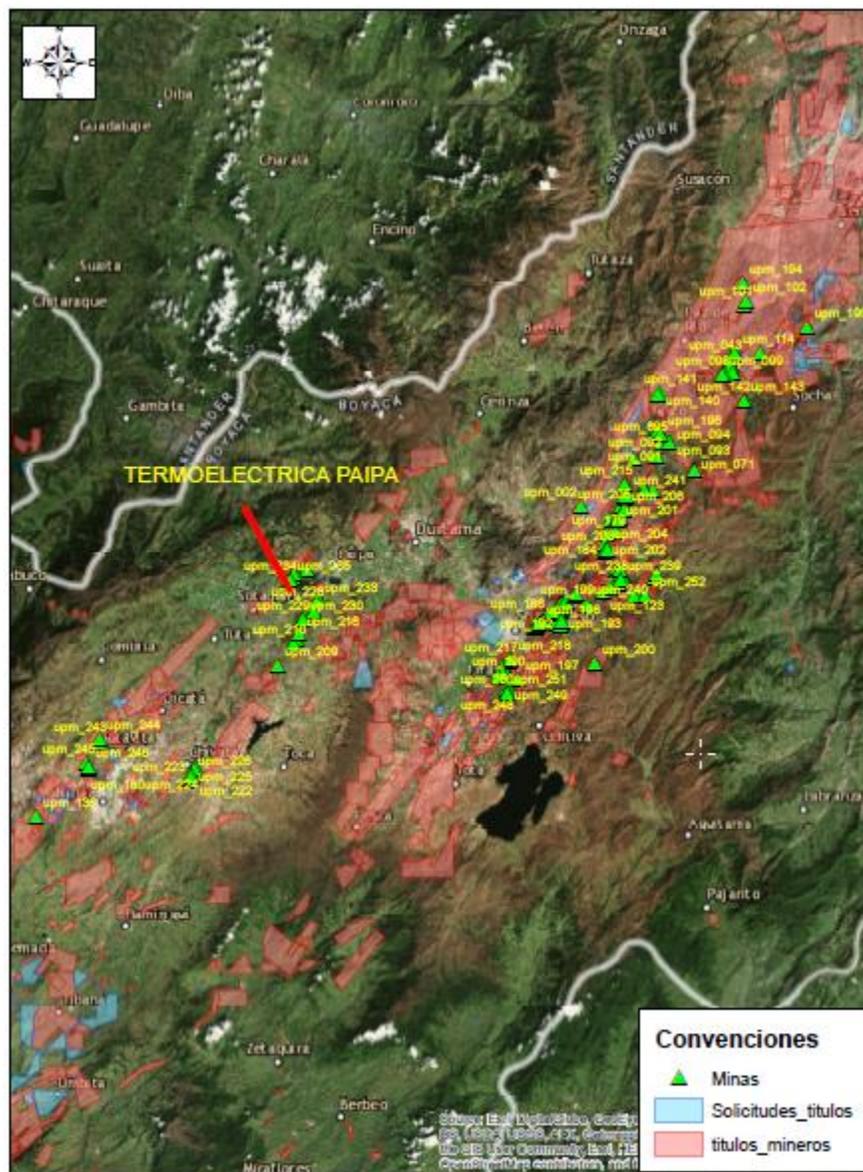


Figura 10 GENSA 2017

Ubicación Espacial De Las Bocaminas, Títulos Mineros Y Solicitudes

7.4 ANALISIS GEOESTADISTICO

Conforme a las variables requeridas para la compra de carbón

Parámetros	Valores
Humedad (Ht)	0-12 %
Cenizas (Cz)	0-22 %
Azufre (St)	1.5%
Materiales Volátiles	30-45 %
Poder Calorífico (Pc)	4800-7600 kcal/kg
Indicie de Hinchamiento	3.5 max

Tabla 8 Parámetros

Procedimos a verificar los modelos estadísticos que se ajusten a la necesidad, cuyo primer modelo arrojó las siguientes estadísticas:

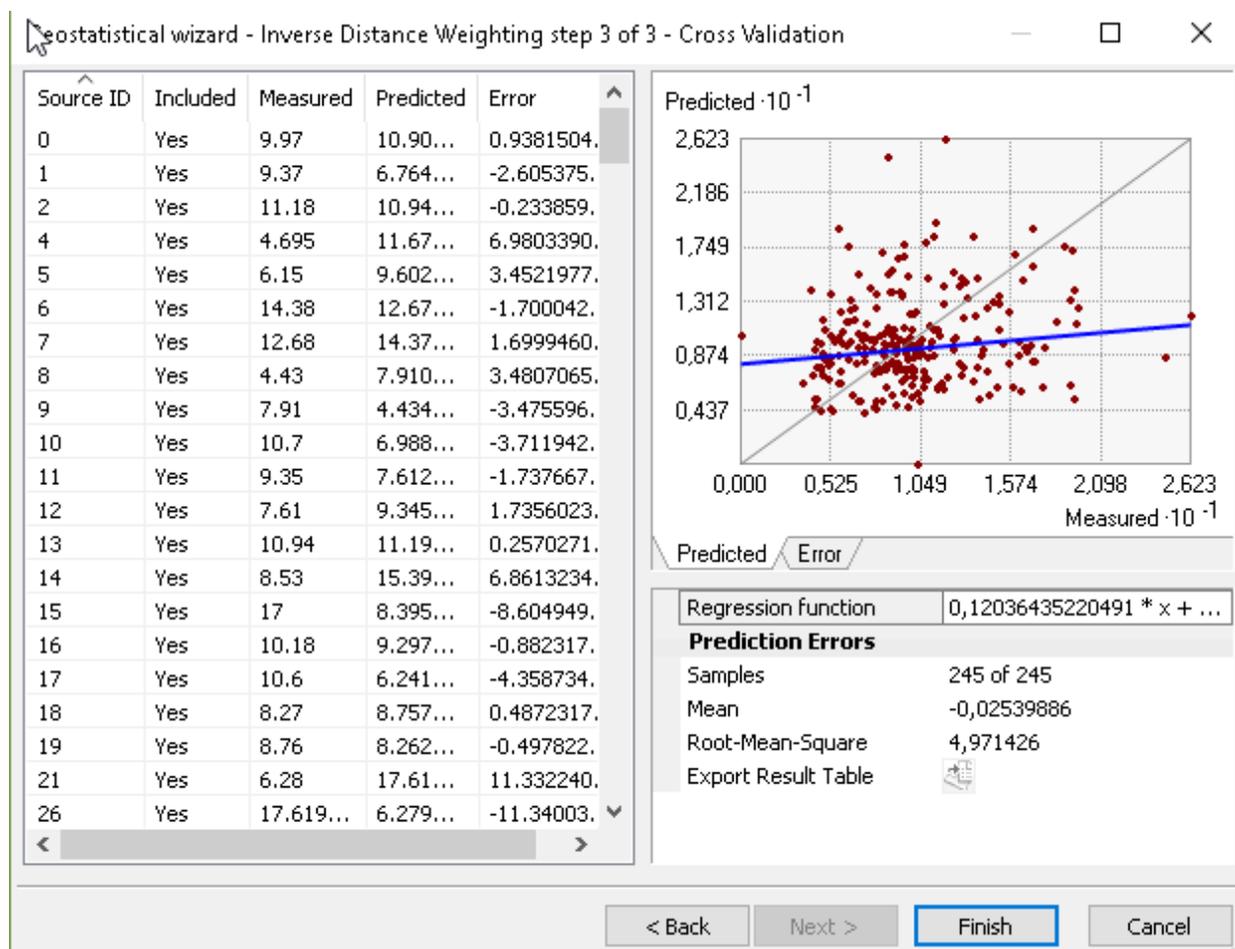


Figura 11 Análisis Geoestadístico IDW, Cenizas

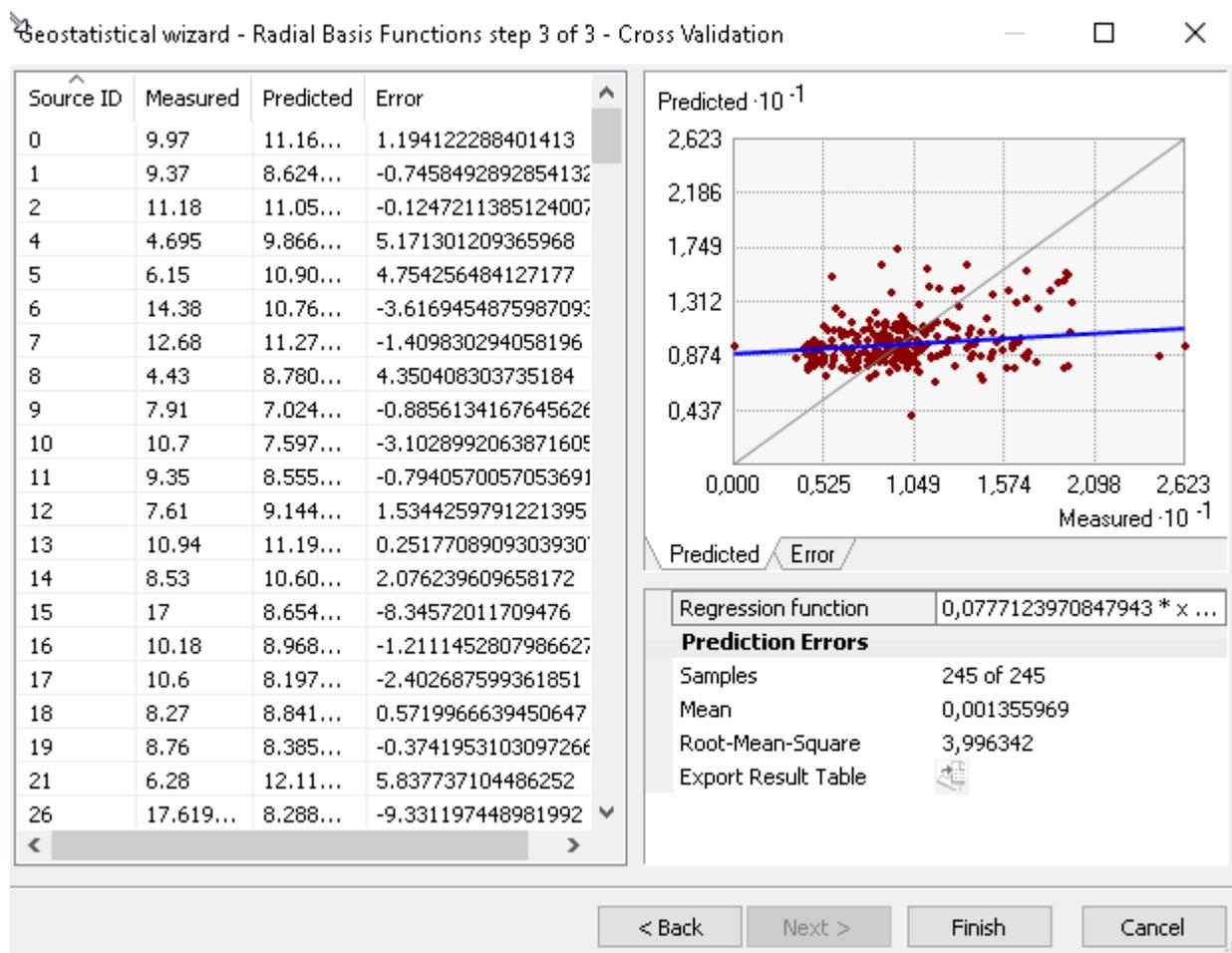


Figura 12 Análisis Modelo Estadístico Radial De Cenizas

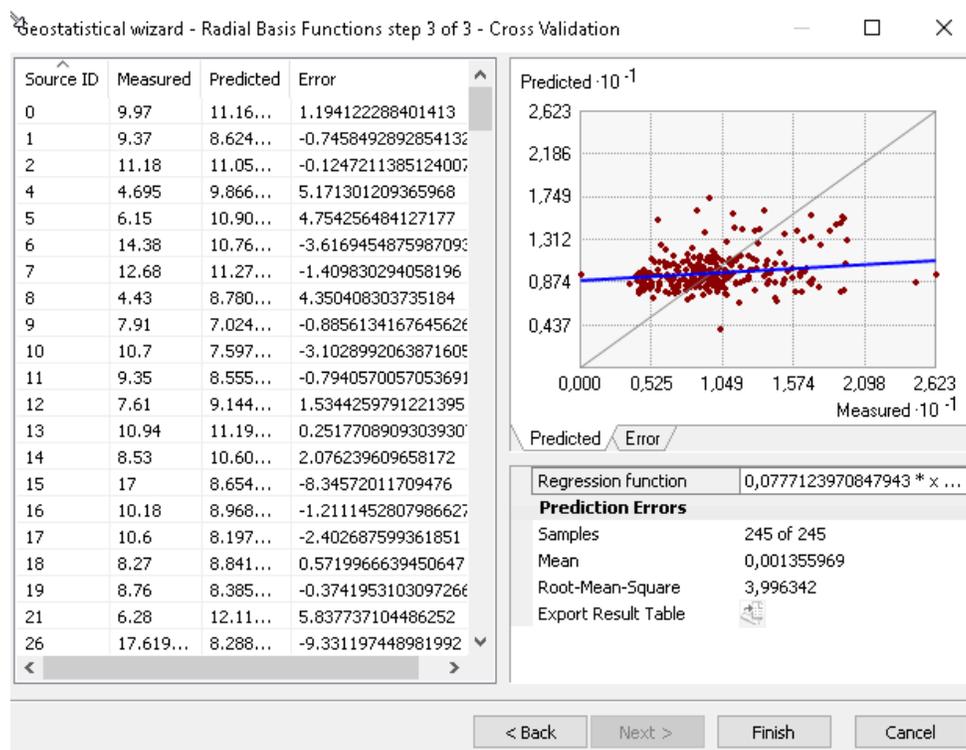


Figura 13 Análisis Modelo Estadístico Radial De Cenizas

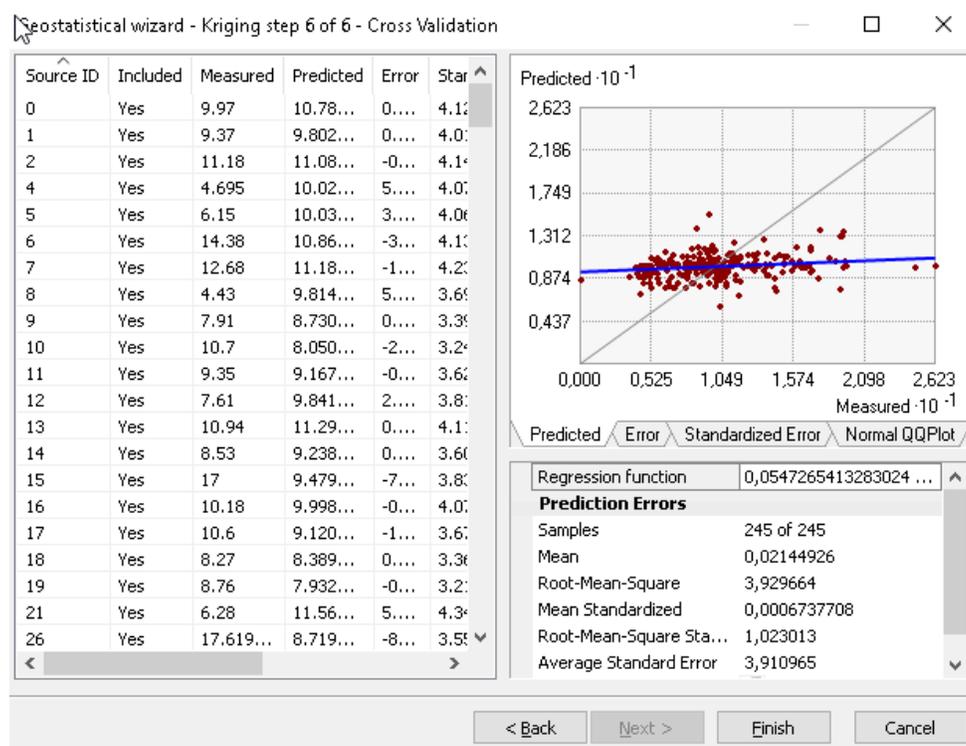


Figura 14 Análisis Estadístico Kriging Simple

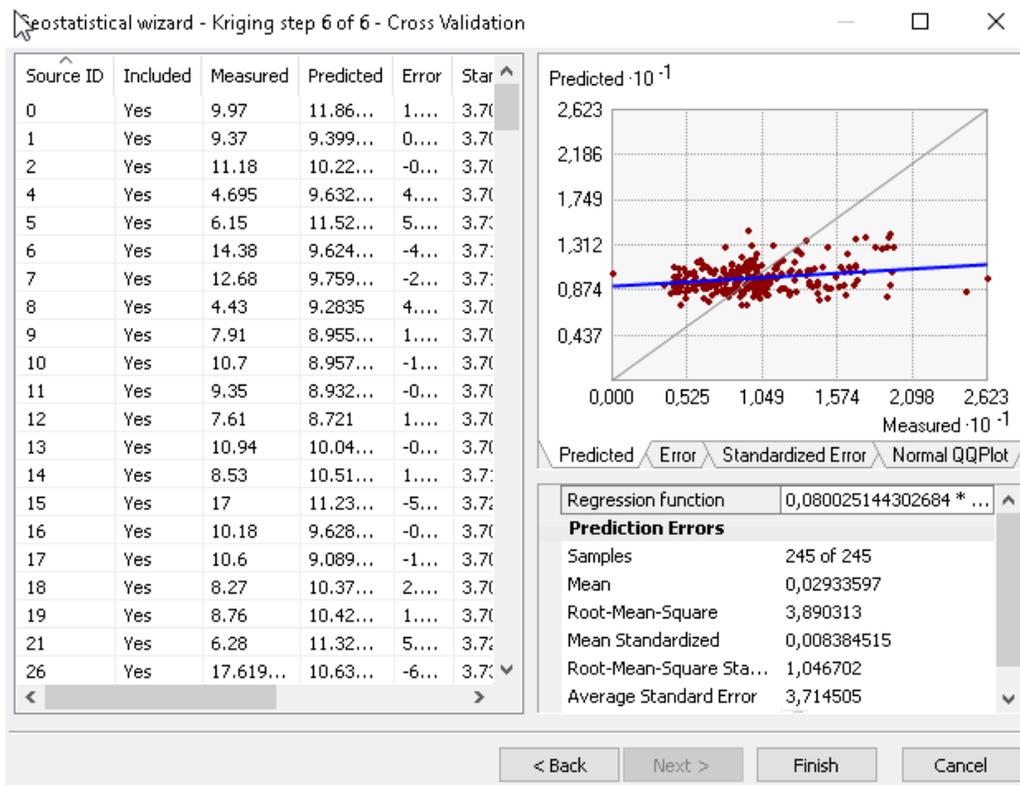


Figura 15 Análisis Geoestadístico Kriging Universal

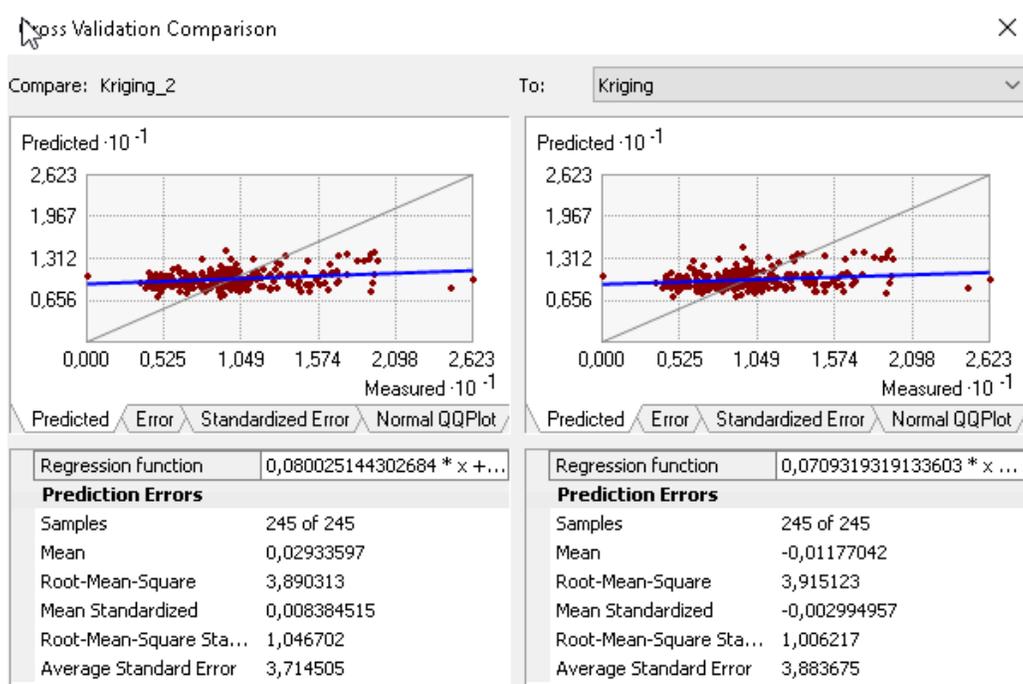


Figura 16 Comparación Geoestadística De Interpolación

Verificando los modelos geoestadísticos, determinamos que el modelo Kriging tipo universal presenta menor error predictivo en la interpolación de los datos.

Procedimos entonces a realizar la interpolación a cada una de las variables mostrando los siguientes resultados:

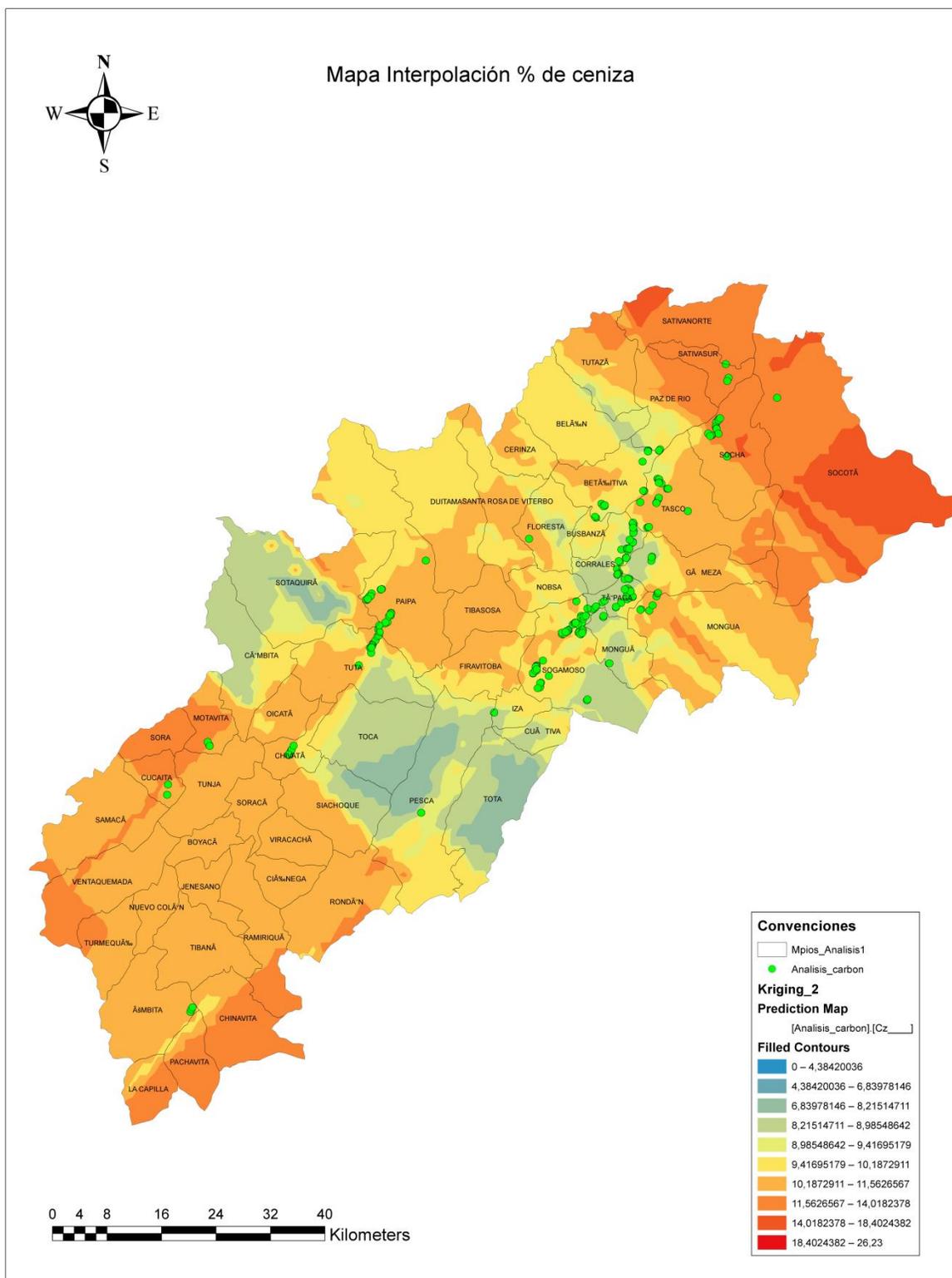


Figura 17 Porcentaje de Ceniza

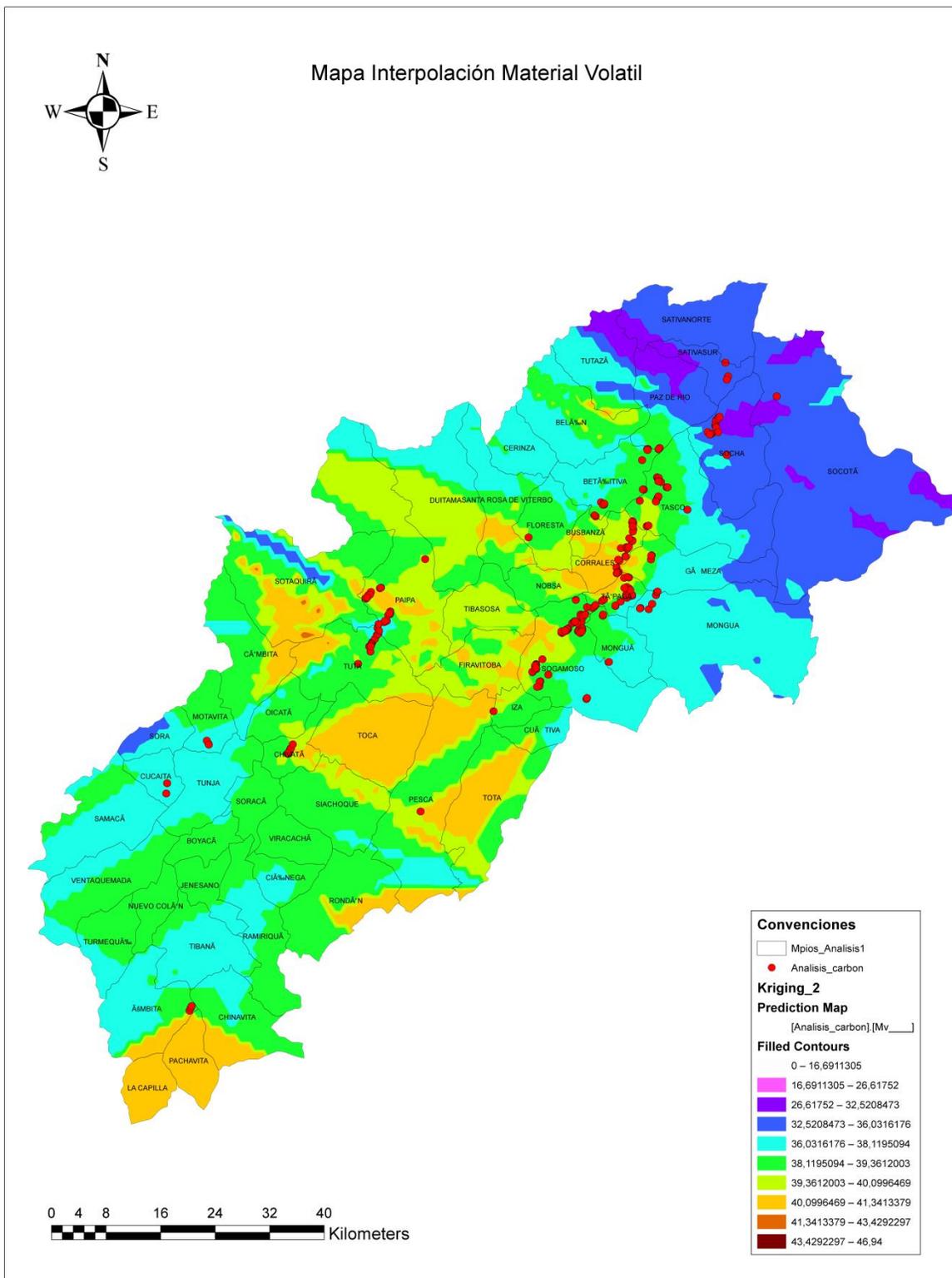


Figura 18 Mapa Interpolación Material Volátil

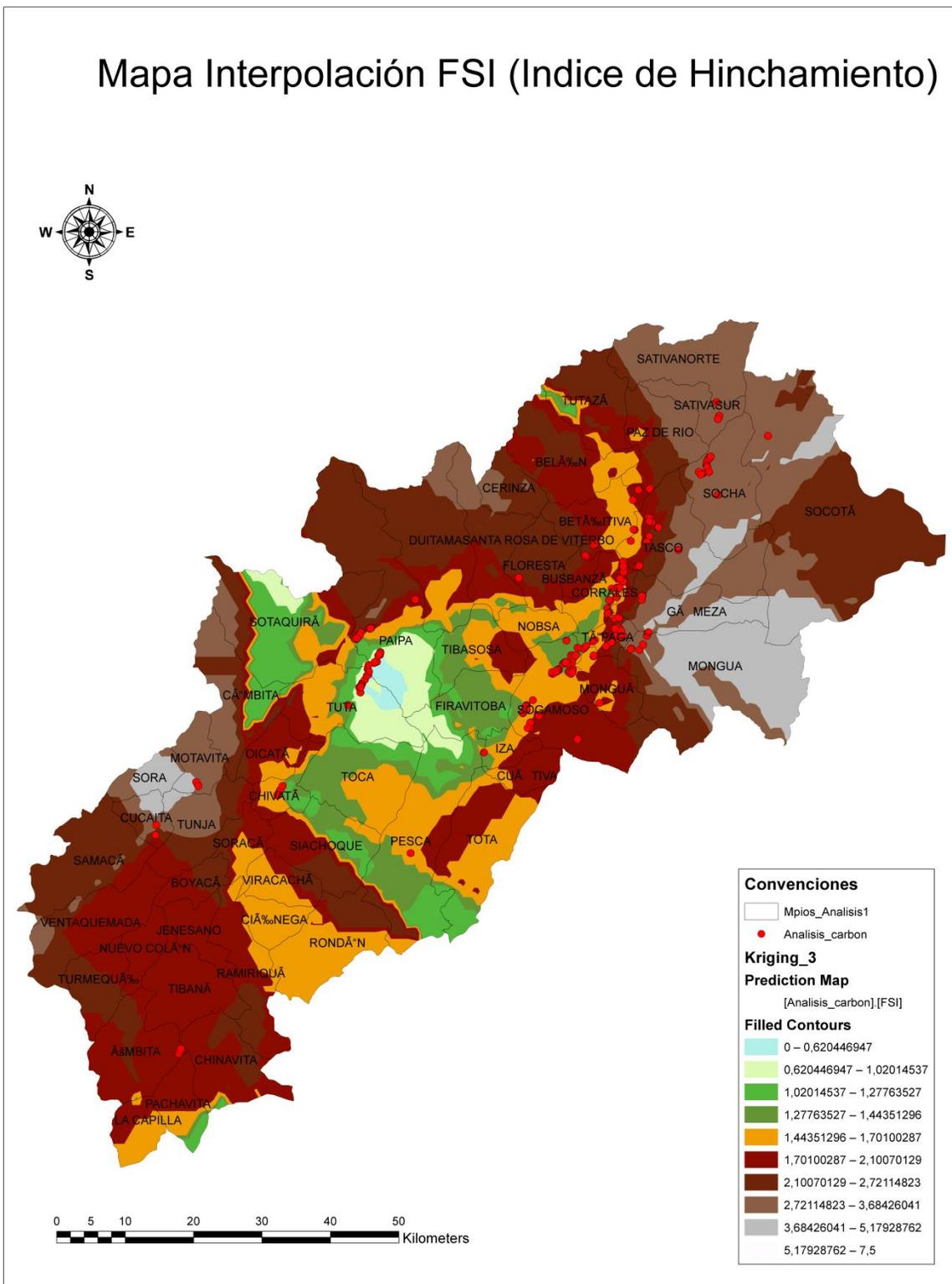


Figura 20 Mapa Interpolación FSI (Índice de Hinchamiento)

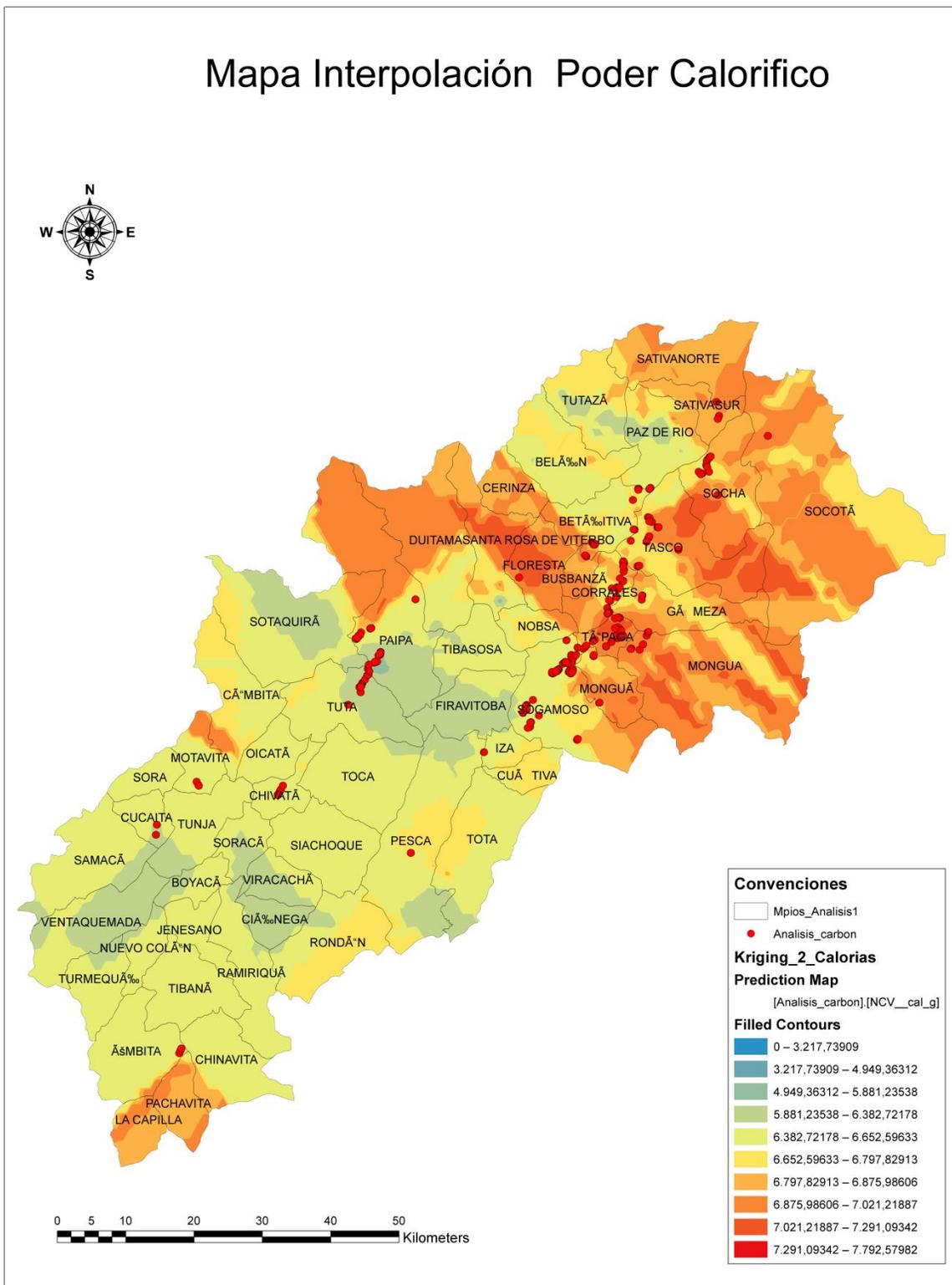


Figura 21 Mapa Interpolación Poder Calorifico

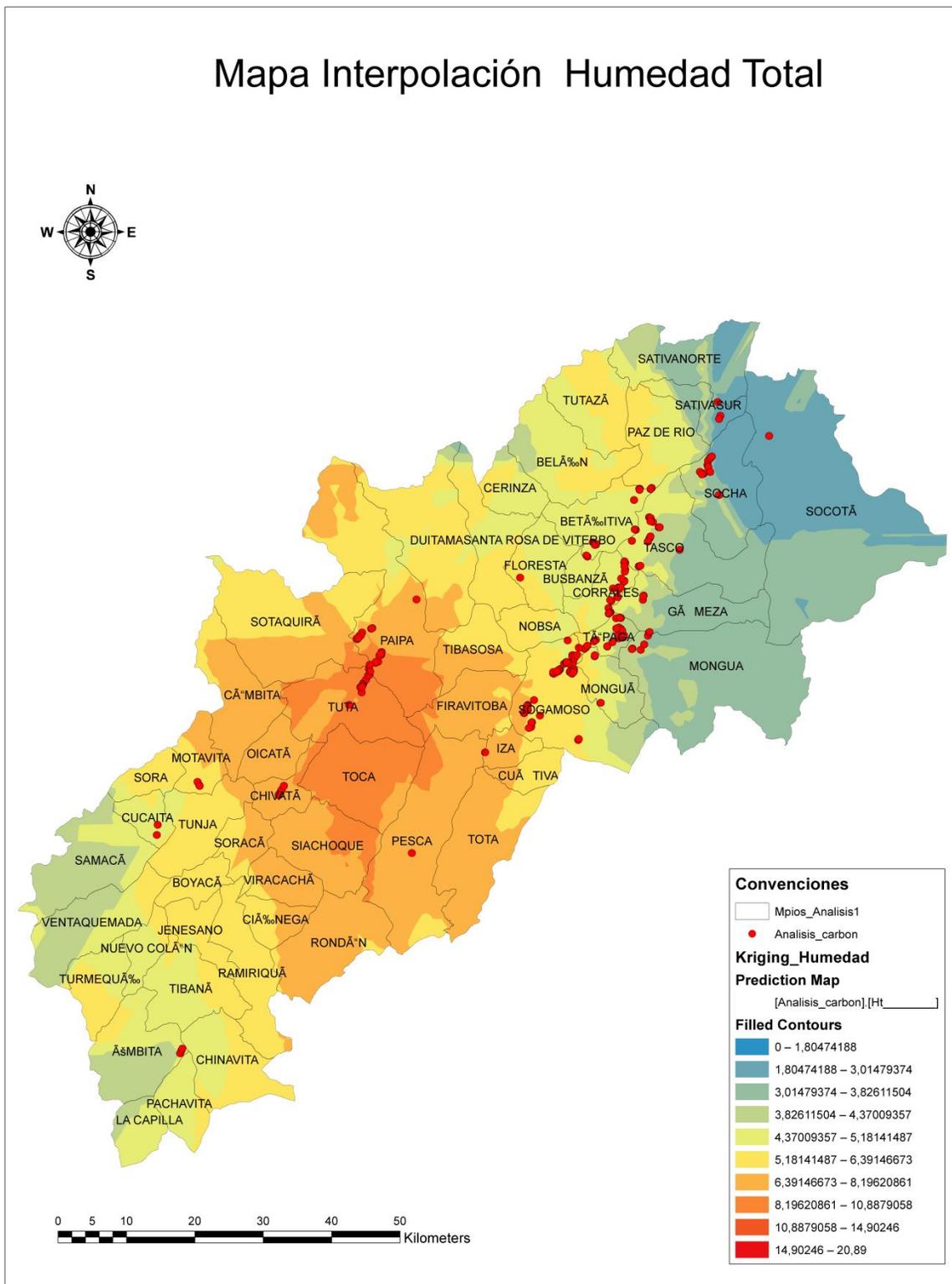


Figura 22 Mapa Interpolación Humedad Total

Una vez obtenidos los modelos de interpolación, analizamos el modelo geoestadístico con las variables de Humedad, Cenizas, Azufre y material volátil por ser unidades de medición en porcentaje, y entre menor sea el valor, mejor será las condiciones favorables para la combustión, mostrando el siguiente resultado:

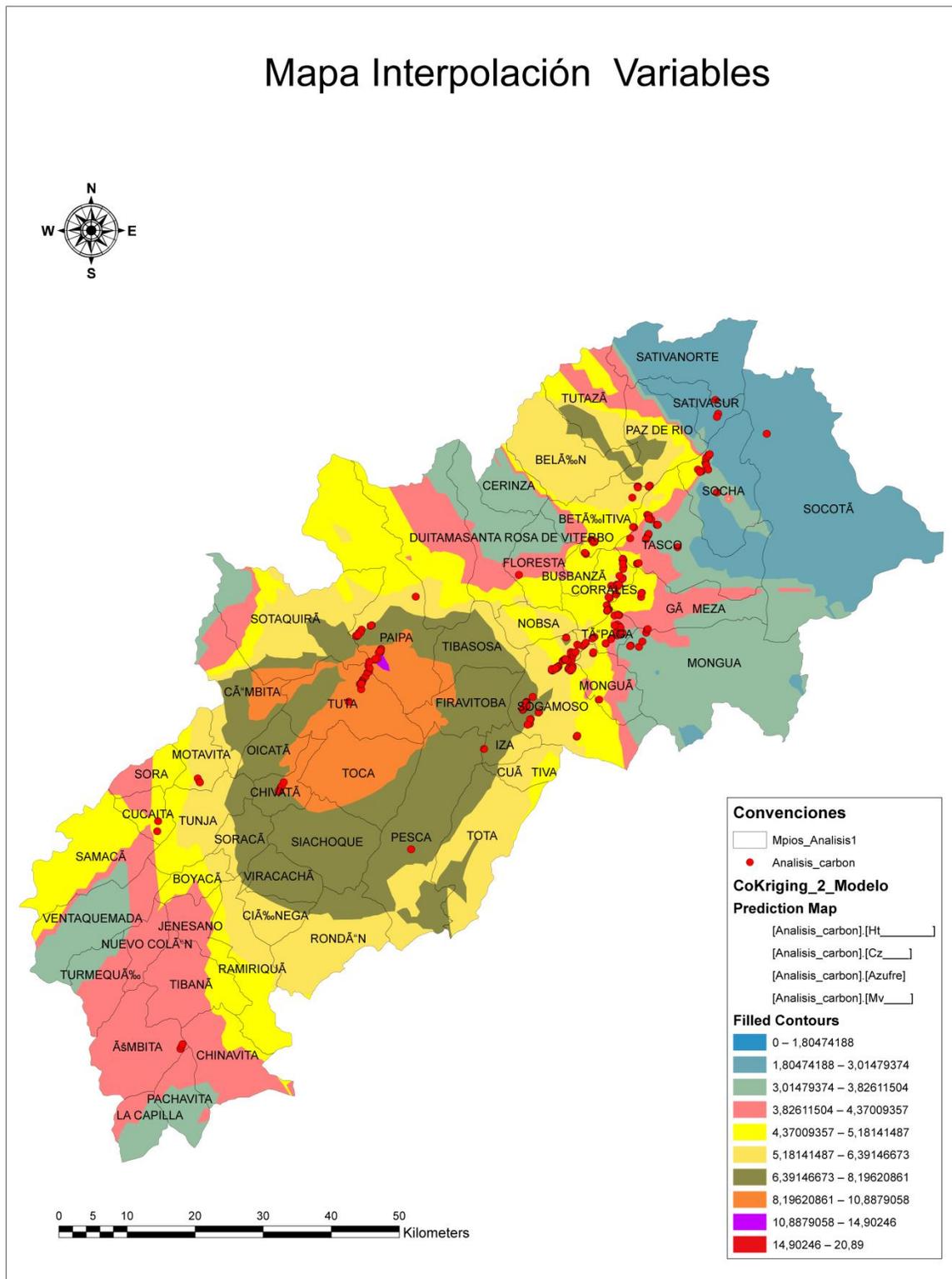


Figura 23 Mapa Interpolación Variables

En los primeros resultados de las interpolaciones muestra que los proveedores que se ubican en la parte nor oriental sobre los municipios de Gameza, Corrales, Tasco; Mongua, Nobsa, son los que tienen las condiciones más favorables para el proceso de generación, y los proveedores menos favorables se localizan en la parte occidental ubicado en toca, tuca, Paipa.

En cuanto a la capacidad calorífica de los carbones se determina que las zonas más optimas con esta propiedad mineralógica, se ubica hacia al occidente de de la zona, especialmente en Paipa y Toca.

7.5 CAMBIO CLIMATICO

Es claro que la industria de la energía contribuye al cambio climático. Sin embargo, también es una industria que el cambio climático afectará seriamente. De acuerdo al más reciente informe del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (AR5), las emisiones ocasionadas por las actividades humanas especialmente aquellas relacionadas con las emisiones de dióxido de carbono son causantes predominantes del cambio climático. Así como de sus efectos, que se manifiestan hoy en todas las regiones geográficas a nivel global (IPCC, 2014).

Hoy se sabe que hay por lo menos tres formas en las que el cambio climático tendrá impactos negativos sobre el sector energético: el aumento de la temperatura, los cambios en los patrones climáticos e hidrológicos regionales y el incremento en frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos que no sólo afectarán los procesos de demanda de energía si no los procesos de producción y trasmisión (IPCC, 2013).

Si bien, las plantas de energía térmica tienen la ventaja de operar bajo diversas condiciones climáticas, de acuerdo al IPCC (2013) se verán afectadas por la menor eficiencia del proceso de conversión térmica como consecuencia del incremento de la temperatura del ambiente. Por otra parte, los volúmenes de agua disponible para refrigeración podrán tener reducciones significativas, afectando las operaciones de energía. De igual forma, los fenómenos climáticos extremos representarían una amenaza alta para las centrales de generación ya que podrían interrumpir el funcionamiento de equipos y de procesos indispensables para la generación de energía y en regiones con aumentos probables en la precipitación podría haber afectaciones en producción de carbón debidas a inundaciones o deslizamientos.

La industria de la energía tiene opciones de adaptarse y entre más oportuno y estratégico sea su accionar, los costos por impactos y por implementación de acciones serán menores. Por ende, mejorar el conocimiento de afectaciones puntuales en el sector energético debido al cambio climático permite a futuro mejorar su resiliencia a través del mejoramiento tecnológico en las plantas, soluciones técnicas y de ingeniería como medidas de prevención y protección, mejoramiento de drenajes y efluentes para almacenamiento de carbón in situ, entre otras, son sólo algunas de las opciones que pueden conseguirse al analizar los efectos e impactos del cambio climático.

Por lo anterior GENSA S.A. E.S.P., específicamente en la Central Termoeléctrica de Paipa ha venido logrando importantes avances en la mejora de su eficiencia energética, que está relacionado directamente con la reducción emisiones, material

particulado y gases de efecto invernadero GEI. En la siguiente Tabla se presenta el resumen de la reducción de las emisiones propuestos desde el año 2017 hasta el 2019.

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI - TERMOPAIPA TOTAL			
	2017	2018	2019
Energía Neta (MWh-Año)	950.432,76	1.304.041,00	1.170.017,00
Emisiones de GEI - Línea Base (Ton CO2/Año)	1.126.988,65	1.540.412,04	1.380.894,10
Factor de Emisión - Línea Base (Ton CO2/MWh)	1,1858	1,1813	1,1802
Emisiones de GEI - Programa de GE (Ton CO2/Año)	1.086.638,32	1.455.357,18	1.300.025,14
Factor de Emisión - Programa de GE (Ton CO2/MWh)	1,1433	1,1160	1,1111
Reducción de Emisiones de GEI (Ton CO2/Año)	40.350,33	85.054,86	80.868,96

Tabla 9 Reducción De Emisiones De Gei - Termopaipa Total

Pero la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero GEI, se logra a partir de un conjunto de acciones como la conversión tecnológica, la mejora de los procesos de generación y correctas decisiones que evidencien tangiblemente dicha reducción.

Este análisis ayudara a contribuir como parte de las acciones inmediatas a la mitigación, que ayudaran a contribuir a las metas propuestas en la reducción de GEI.

A continuación realizamos el cruce de variables del proceso de generación, con los escenarios de cambio climático, para poder determinar cómo se podría afectar la operación y los proveedores frente al cambio climático en los próximos 30 años.

Para ello utilizamos los escenarios de precipitación de acumulado de lluvias y temperatura modelados hasta el año 2040, los cuales mostramos a continuación:

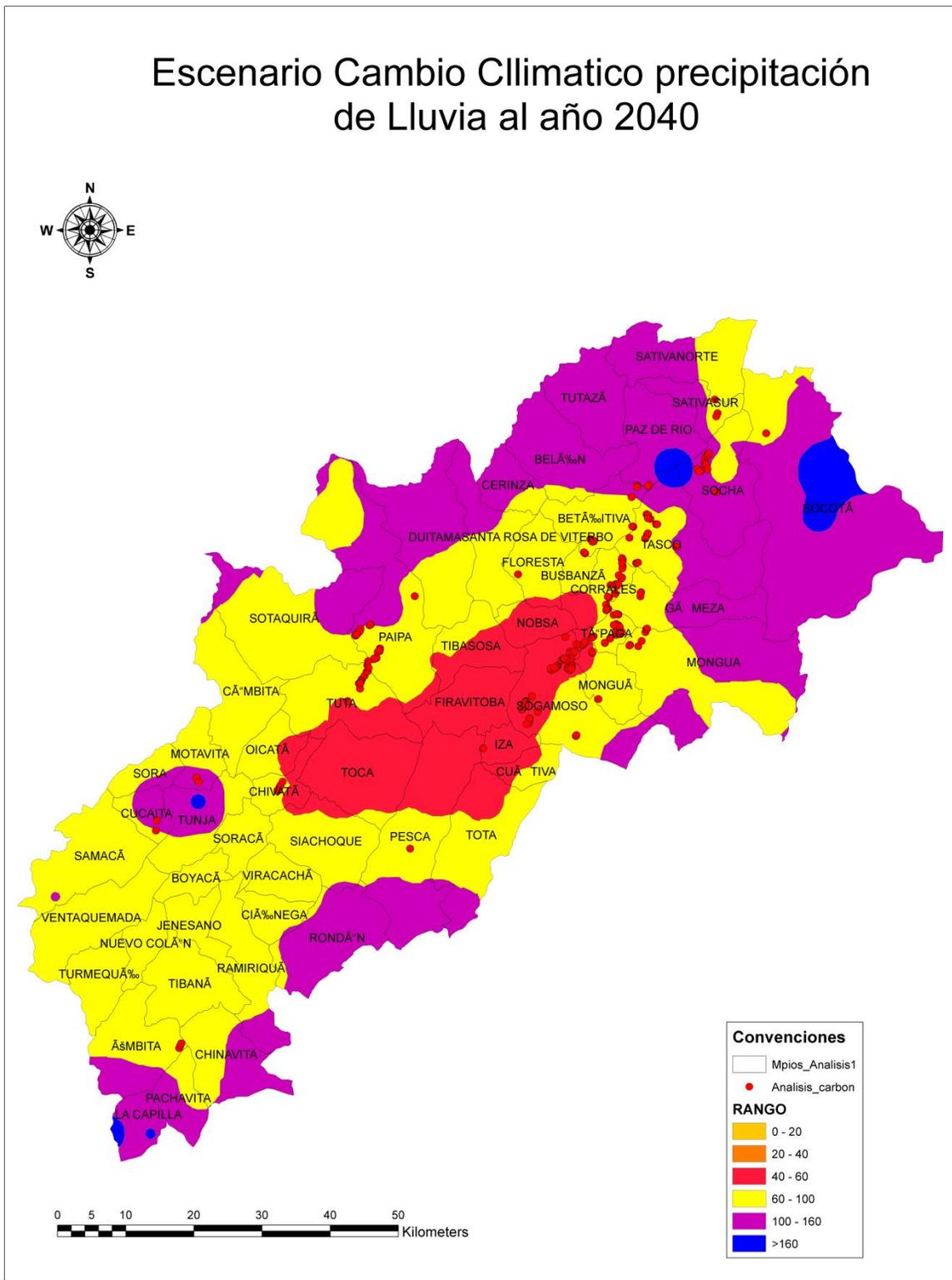


Figura 24 Escenario De Precipitación De Lluvias Al Año 2040

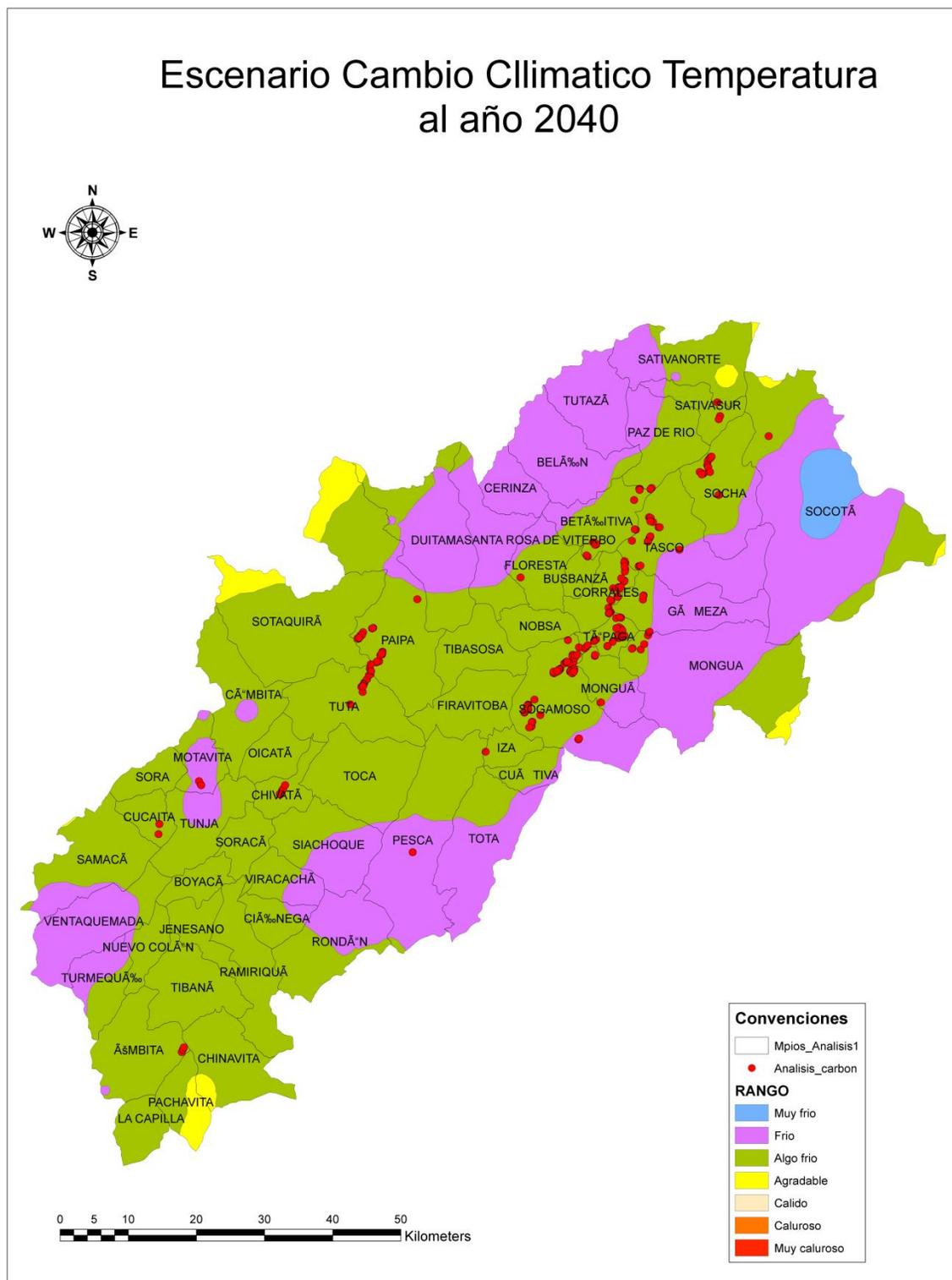


Figura 25 Escenario Cambio Climático Temperatura Al Año 2040

El resultado del cruce del escenario de temperatura, ubicación de las bocaminas y las variables mineralógicas, nos muestra que los proveedores actuales contarán con un clima templado, donde actualmente el clima en dicha zona es frío, pero según el escenario no perjudica la operación de la minería de los proveedores.

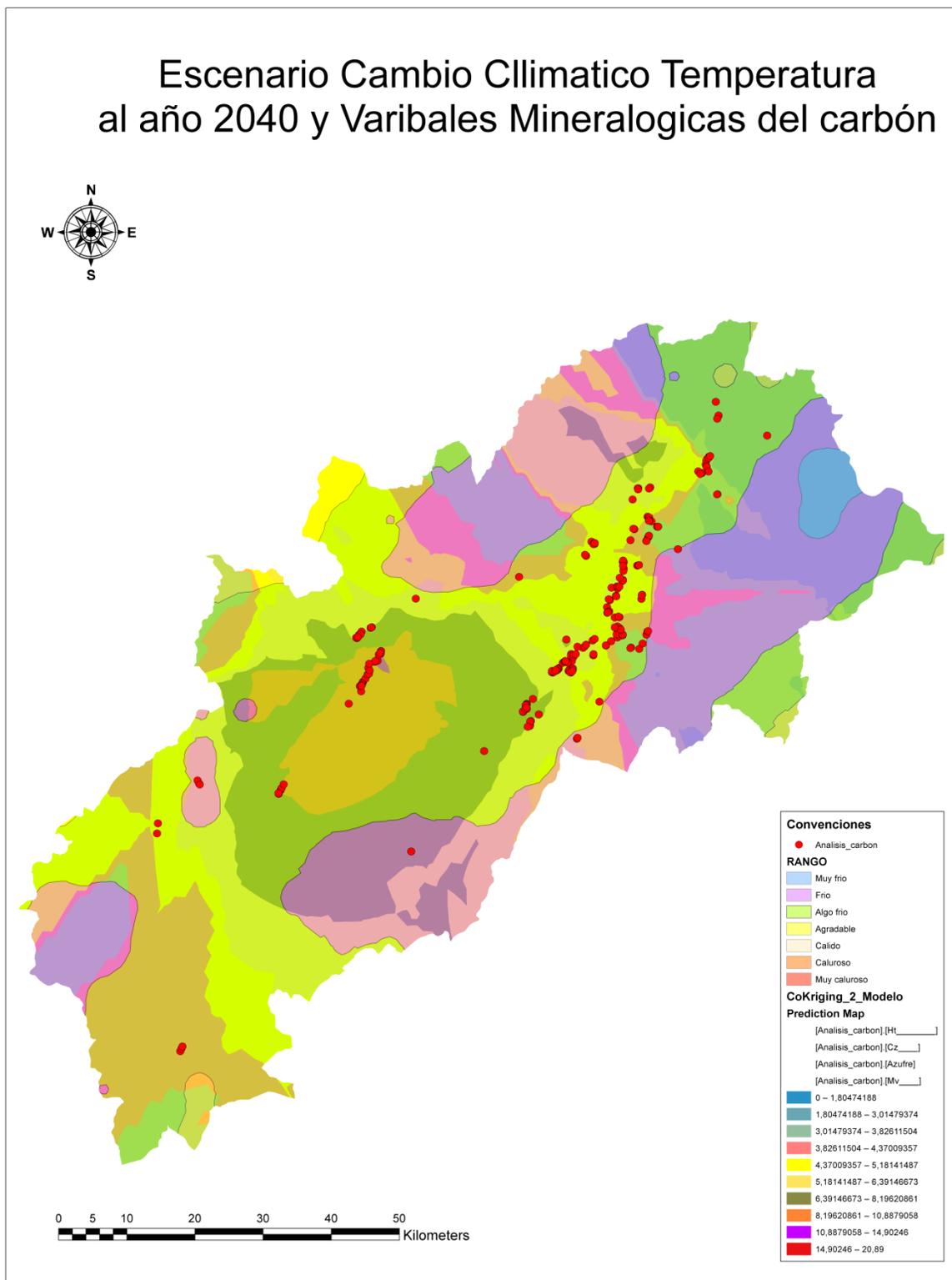


Figura 26 Escenario Cambio Climático Lluvias Al Año 2040 Y Variables Mineralógicas

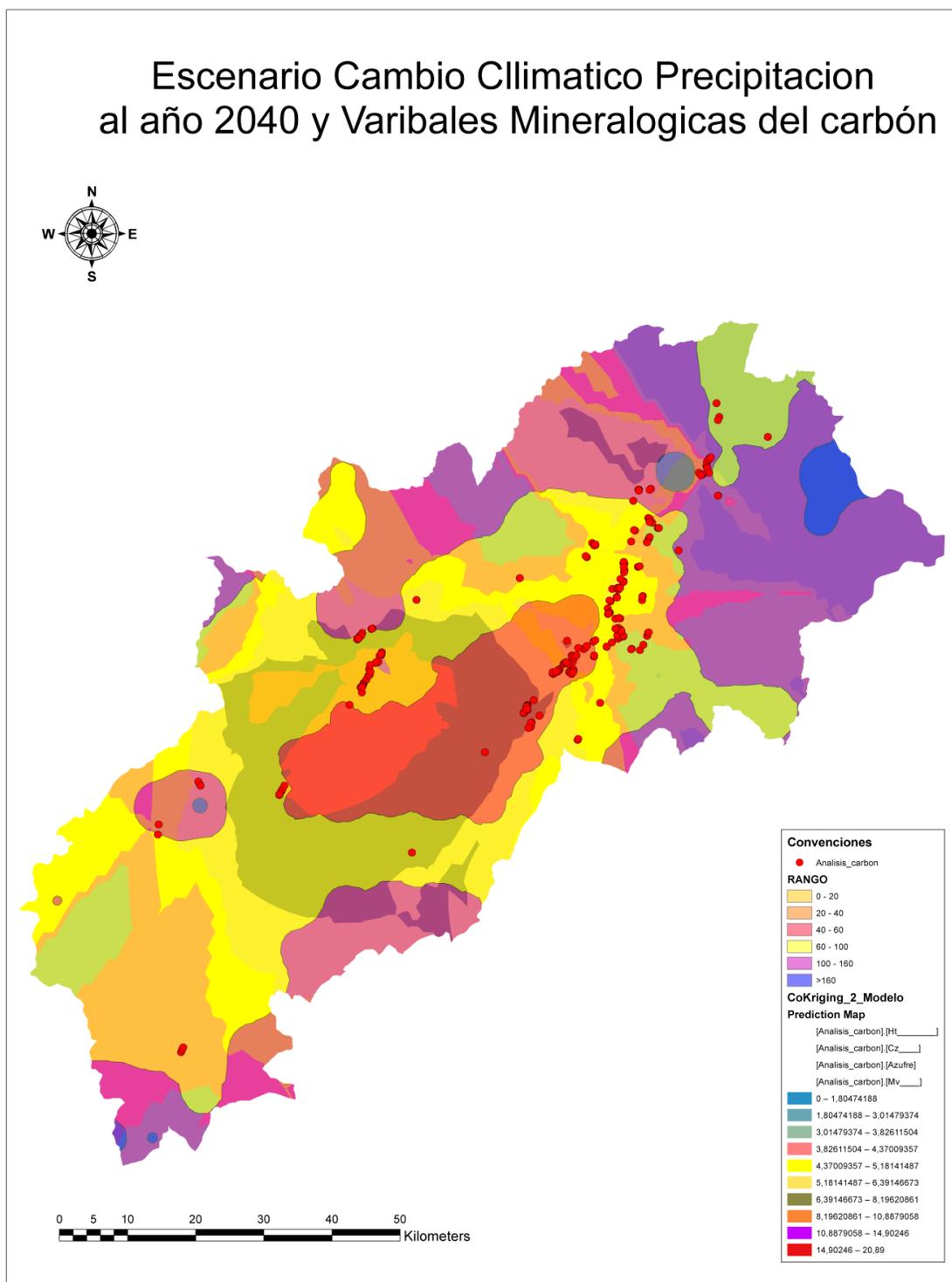


Figura 27 Escenario Cambio Climático Precipitación Lluvias Al Año 2040, Proveedores Y Variables Mineralógicas

7.5.1 CONDICIONES DEL CARBÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

La exposición del carbón a cielo abierto de forma constante hace que las condiciones ambientales y en especial las climáticas puedan jugar un papel clave en su manejo y uso para los procesos de quema requeridos por la central para la producción de energía. La calidad del carbón en el proceso de combustión es clave y ayuda de manera paralela en la reducción de emisiones de gases efecto invernadero, sin embargo, una exposición constante a precipitación puede disminuir su calidad aumentando los tiempos y requerimientos energéticos que se debe invertir en el secado.

De acuerdo a los escenarios de cambio climático la precipitación en la zona podría aumentar entre un 10 y 20% para los próximos años; esto implica mayores retos en el manejo y almacenamiento del carbón para su uso óptimo en el proceso de combustión. Un carbón con mayor humedad representa mayores tiempos de secado y posiblemente interferencias en la combustión completa del carbón, este riesgo al ser exacerbado por variables climáticas podría generar gastos no previstos en el mediano y largo plazo en relación con el mejoramiento de la calidad del carbón.

Por otra parte, un aumento de precipitación reduce la demanda de producción de energía a partir de fuentes de carbón debido a que las hidroeléctricas están a pleno funcionamiento. Esto se traduce en una reducción de generación por parte de la central y por ende una reducción en las necesidades de abastecimiento del mismo.

Referente al recurso hídrico, se ha considerado como uno de los factores de éxito de la empresa pues de su disponibilidad depende la generación. Sin embargo, un exceso del recurso hídrico proveniente de la precipitación y del aumento de caudal resulta ser un

impacto negativo que puede incurrir en la parálisis de la producción de energía de la central ocasionando importantes pérdidas económicas.

Un aumento de precipitación entre el 10 y el 20% del promedio de precipitación para la zona en el mediano y largo plazo puede generar condiciones de aumento en la magnitud y frecuencia de eventos extremos relacionados con inundaciones. Este impacto representa un riesgo en el cual cabe destacar una alta probabilidad de apagado total de la central bajo un escenario de inundación, como sucedió en el año 2.011 con el fenómeno de la niña.

En cuanto a los escenarios de cambio climático de temperatura y precipitación con los proveedores de carbón se presentan algunos impactos diferenciales respecto al clima que podrían incidir en sus procesos de producción y/o transporte de carbón; debido a la incidencia de fenómenos extremos relacionados con el clima. Esta condición es especialmente importante para el tipo de producción minera de la región que es hecha de manera subterránea y por lo general con una baja tecnificación lo que hace que resulten especialmente vulnerables a este tipo de fenómenos.

7.5.2 ESTRATEGIAS Y ACCIONES INMEDIATAS

Se tomará como insumo para la planeación inmediata la selección y priorización de compra de carbón los proveedores de la parte Nororiental, los cuales poseen las mejores condiciones para la generación, como segunda prioridad para la compra de carbón serán los proveedores ubicados en la parte occidental de la zona influencia, siguiendo las políticas de una empresa sostenible en sus componentes social, económico y ambiental.

Para ello se adelantará el proceso de homogenización y mezclas para el carbón de condiciones mineralógicas menos favorables, una vez este almacenado en las instalaciones de la empresa.

El propósito de esta mezcla es la asociación de dos o más carbones diferentes (tipos) para producir un material con un nuevo nivel promedio, lo cual se puede lograr al juntar capas de materiales producto de un conjunto de despachos y en la que se obtiene un producto con composición predecible pero en el que aún se pueden detectar variaciones dentro de regiones diferentes de ella.

La buena planeación para el ingreso del carbón es fundamental para la generación, lo cual nos ayudara a una mejor administración de los recursos operacionales y financieros.

Esta estrategia contribuirá al cumplimiento normativo en la generación de emisiones y apoyara a los proyectos que generan beneficios tributarios por las acciones encaminada a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero GEI.

Se Realizara una aproximación sobre la vulnerabilidad o el riesgo de los títulos mineros actualmente registrados para provisión de carbón a la Central Térmica, incluye todo un componente relacionado con el entorno geográfico y por supuesto los análisis desde conflictos de uso social y ambiental que condicionan las capacidades de adaptación de los productores de vender su producto y por supuesto contribuye a la vulnerabilidad de la central para verse provista de la materia prima y deberá considerar las variables climáticas dentro de su producción.

Adicionalmente, la importancia de la ubicación geográfica de los títulos y su relación con los escenarios de temperatura y precipitación puede ser especialmente importante

a la hora de considerar la proporción de carbón que es obtenida de los lugares en los que se prevén mayores aumentos de precipitación.

8 CONCLUSIONES Y RECONENDACIONES

- De acuerdo a los escenarios de temperatura desarrollados por el IDEAM, la zona donde se encuentra ubicada la Central Termoeléctrica de Paipa-Termopaipa se proyecta pueda estar bajo la influencia de un aumento en la temperatura media entre el 0.8 y 1.6°C.
- De acuerdo a los escenarios de precipitación desarrollados por el IDEAM para todo el País la zona donde se encuentra ubicada la Central Termoeléctrica de Paipa - Termopaipa se proyecta pueda estar bajo la influencia de un aumento en la precipitación media entre el 10 y el 20%.
- Los principales factores de éxito de la Central Termoeléctrica de Paipa frente al cambio climático se consideraron relacionados con las materias primas de generación; carbón y agua.
- Se reconoce como impacto ante el aumento de la temperatura promedio del aire; el recalentamiento de los equipos y los retos en los procesos de refrigeración de los mismos.
- Se recomienda hacer un ejercicio técnico para incorporar los riesgos relacionados con el clima dentro de la matriz de riesgos de la central con el fin de fortalecer su gestión y la inversión de recursos humanos y económicos para la implementación de acciones de adaptación en el corto, mediano y largo plazo.
- Los análisis preliminares de escenarios de cambio climático sobre municipios productores de carbón y proveedores sugieren fortalecer la incorporación de las consideraciones y análisis de cambio climático en el marco del programa minero

sostenible, con el fin de trabajar en la percepción de los productores frente al cambio climático y su caracterización frente al riesgo climático, capacidad de adaptación, vulnerabilidad y medidas de adaptación.

- Es importante determinar a futuro los lugares que concentran la mayor obtención de carbón y su relación con los cambios proyectados en precipitación y temperatura de acuerdo a los escenarios de cambio climático, puesto que estos lugares de aprovisionamiento pueden ser los lugares de mayor vulnerabilidad.
- De los 122 proveedores actuales hay 77 de ellos que presentan las mejores condiciones mineralógicas para la generación de energía termoeléctrica.
- Los 45 proveedores menos favorables por sus condiciones mineralógicas, se les deben generar un proceso de ingreso diferente, con el objeto de contribuir al proceso de homogenización de mezcla de carbón para la generación de energía.
- Las acciones propuestas a partir de esta análisis y propuestas ayudaran y contribuirán a la estrategia de reducción de gases de efecto invernadero GEI, cuya meta para la empresa es total de 80.868,96 toneladas.
- Las acciones propuestas van encaminadas a las estrategias del orden nacional en la reducción de un 20% de gases GEI, para el año 2030 en el país.

9 REFERENCIAS

- Defensoría del Pueblo. (2016). *LA MINERÍA SIN CONTROL: Un enfoque desde la vulneración de los Derechos Humanos*.
- España, C. (2016). *Políticas de mitigación ambiental a la explotación minera en el municipio de condoto en el departamento del chocó. Universidad de Medellín*.
- GENSA. (2016). *ELABORACIÓN DE LA ESTRATÉGIA DE MITIGACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA, MEDIANTE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO*, 57(38).
- GUZMÁN, L. H. F., COSSIO, L. C. G., & HERRERA, A. M. A. (2016). P. D. S. D. L. E. M. E. C. A. A. L. N. N. E. I. C. C. (2015). *Políticas de sostenibilidad de las empresas mineras en Colombia acorde a la normatividad nacional e internacional : Caso Cerrejón Marco teórico. Pensamiento Republicano*, 129–147.
- Ortiz, A. M. (2014). “ *DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA DESARROLLAR UN PLAN DE CHOQUE EN EL SECTOR PRODUCTOR DE CARBÓN AL INTERIOR DEL PAÍS .*”
- Rincón, G. C. (2015). *Inventario de impactos ambiental y propuesta de medidas de mitigación , del área de influencia directa de la mina a cielo abierto “ San José ” localizada en el municipio de Paipa (Boyacá)*.
- Trujillo, H. C., & Chica, Y. V. C. (2016). *MINERÍA RESPONSABLE : MECANISMOS E INCENTIVOS EN EL CASO DEL CARBÓN ...*, 10(2), 125–148.
- JHL, Consultores Mineros 2016.
- blogspot. (15 de 06 de 2014). *mineralesboyaca-cundinamarca*. Obtenido de *mineralesboyaca-cundinamarca*: <http://mineralesboyaca-cundinamarca.blogspot.com.co/2014/06/>
- Colombiano, S. G. (2017). *Servicio Geológico Colombiano*. Obtenido de *Servicio Geológico Colombiano*: <https://geored.sgc.gov.co/index.php/fr/inves/metegnss>
- D.D, R. L. (05 de 06 de 208). *Resolución 909 de 2008 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territoria*. Obtenido de *Resolución 909 de 2008 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territoria*: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31425>

- ESPAÑA, G. D. (s.f.). MINISTERIO DE AGRICULTURAY PESCA, ALIMENTACION Y MEDIO AMBIENTE. Obtenido de MINISTERIO DE AGRICULTURAY PESCA, ALIMENTACION Y MEDIO AMBIENTE: [www.mapama.gob.es/...- /01_Combustión_en_la_producción_y_transformación_de_energía](http://www.mapama.gob.es/...-/01_Combustión_en_la_producción_y_transformación_de_energía) blogspot. (15 de 06 de 2014). mineralesboyaca-cundinamarca. Obtenido de mineralesboyaca-cundinamarca: <http://mineralesboyaca-cundinamarca.blogspot.com.co/2014/06/>
- Colombiano, S. G. (2017). Servicio Geológico Colombiano. Obtenido de Servicio Geológico Colombiano: <https://geored.sgc.gov.co/index.php/fr/inves/metegnss>
- D.D, R. L. (05 de 06 de 208). Resolución 909 de 2008 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territoria. Obtenido de Resolución 909 de 2008 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territoria: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31425>
- ESPAÑA, G. D. (s.f.). MINISTERIO DE AGRICULTURAY PESCA, ALIMENTACION Y MEDIO AMBIENTE. Obtenido de MINISTERIO DE AGRICULTURAY PESCA, ALIMENTACION Y MEDIO AMBIENTE: [www.mapama.gob.es/...- /01_Combustión_en_la_producción_y_transformación_de_energía](http://www.mapama.gob.es/...-/01_Combustión_en_la_producción_y_transformación_de_energía)
- Pabón, J., J. Eslava & R. Gómez. (2001): Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorol. Colomb.* 4:47-59. ISSN 0124-6984. Bogotá, D.C. – Colombia.
- Pabón, J. (2016) *La variabilidad climática y el cambio climático en la política*. Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas Universidad Nacional de Colombia
- CORPOBOYACA. (2009). *Plan de Gestión Ambiental Regional*. ISBN: 978-958-99352-2-4. Colombia. 336p
- Philander, George. (1990). *El Niño, La Niña and Southern Oscillation*. Academic Press.
- IDEAM. 2005. *Atlas Climatológico de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia, 219 páginas.
- IPCC. (2014). *Glosario de términos*. https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf
- DESINVENTAR. <http://www.desinventar.org/es/software>
- IPCC. (2013). *Cambio Climático: Implicaciones para el Sector Energético*. Universidad de Cambridge. 16p
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para*

responsables de políticas. *Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs.

SURA. (2001). *INFORME Emergencia por inundación Análisis y Recomendaciones*. 30p.

Rinaldi, S., Peerenboom, J., & Kelly, T. (2001). *Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies*. *IEEE Control Systems*, 21(6), 11-25.

C40. (2017) *C40 Infrastructure interdependencies + climate risks report*.

Wei, D.; Cameron, E.; Harris, S.; Pratico, E.; Scheerder, G.; and Zhou, J. (2016) *The Paris Agreement: What it Means for Business; We Mean Business*; New York.

World Economic Forum, *The Global Risks Report 2016, 11th Edition*, 2016.

<http://www3.weforum.org/docs/Media/TheGlobalRisksReport2016.pdf>