

PROYECTO:

**APROVECHAMIENTO DE RECURSOS MINEROS -
ENERGETICOS Y GENERACIÓN DE UN MODELO DE
PLANEACIÓN PARA LA PROSPECCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE
MINERALES ESTRATEGICOS DEL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ**

Propuesta técnico - económica presentada por:

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
UPTC**

**SECRETARIA DE MINAS Y ENERGÍA
GOBERNACION DE BOYACA**

TUNJA, JULIO DE 2013

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ESTADO DEL ARTE	4
2.1. ESTADO DE LOS MINERALES ESTRATÉGICOS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ A ESTUDIAR.....	4
2.1.1. MINERAL DE HIERRO	4
2.1.2. CARBÓN.....	7
2.1.3. CALIZA	9
2.1.4. ROCA FOSFORICA.....	11
2.1.5. DIATOMITA.....	12
2.2. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	13
2.2.1. DEFINICIÓN DE UN SIG	13
2.2.2. ESTRUCTURA DE LOS DATOS EN UN SIG	14
2.2.3. FUNCIONES DE ANÁLISIS EN SIG.....	14
2.2.4. APLICACIONES DE LOS SIG EN LA INDUSTRIA MINERA.....	15
2.3. CARACTERIZACIÓN DE MINERALES	17
2.3.1. DIFRACCIÓN DE RAYOS X – DRX.....	17
2.3.2. FLUORESCENCIA DE RAYOS X.....	18
2.3.3. ANÁLISIS TÉRMICO (TGA-DSC-DTA).....	19
2.3.4. ANÁLISIS PETROGRÁFICO	21
2.3.5. ANÁLISIS PETROGRÁFICO	22
2.3.6. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE TRANSMISIÓN	23
2.3.7. ANÁLISIS QUÍMICO POR ABSORCIÓN ATÓMICA	23
2.3.8. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO Y ESPECTROSCOPIA DE RAYOS X - EDS	25
3. OBJETIVOS	26
3.1 . OBJETIVO GENERAL.....	26
3.2 . OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
4. METODOLOGÍA.....	27
4.1. FUENTES Y ESTANDARIZACIÓN DE INFORMACIÓN	29
4.2. MODELOS DE ANÁLISIS EN SIG	30
5. RESULTADOS Y PRODUCTOS.....	32
6. COSTO TOTAL DE LA PROPUESTA	33
7. TIEMPO DE EJECUCION.....	37
8. GRUPOS DE INVESTIGACIÓN RECONOCIDOS POR COLCIENCIAS	37
ANEXO 1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	38
9. BIBLIOGRAFÍA	47

1. INTRODUCCIÓN

El departamento de Boyacá, es una región que a nivel nacional se constituye como un centro de desarrollo y explotación de la minería. Esta actividad representa para el departamento un soporte económico primordial para su población. Sin embargo, la falta de información, regulación, planificación y control, ha dado lugar a que se lleve a cabo una explotación informal de la mayoría de dichos recursos.

Adicional a lo anterior, la explotación de los recursos mineros en el departamento se realiza sin la previsión económica y social que determine el impacto real sobre la población. La falta de planificación y control excluyen el análisis de los recursos del subsuelo y las amenazas geológicas existentes, generando así, consecuencias posteriores irreversibles que permitan dar continuidad a posteriores explotaciones.

Los recursos mineros-energéticos del departamento deben ser evaluados en todas sus cadenas de valor, tal que permitan establecer planes gubernamentales orientados a mejorar la calidad de vida, la generación de empresas y por ende de empleo a partir de la determinación de usos y aplicaciones de los mismos.

El desarrollo de una herramienta sistémica geo-referenciada de análisis minero-energético del Departamento de Boyacá, basada en tres premisas fundamentales; cualificación de los minerales estratégicos del departamento, caracterización y aplicaciones según la calidad de los mismos (valor agregado) y articulación de su uso con el entorno (medio ambiente, densidades y clases poblacionales) permitirá de una manera articulada entre la **academia** y el sector público Secretaría de Minas (**planeación departamental**) trazar las rutas de desarrollo real y la medición de su impacto en la dinámica minero-energético del Departamento.

El generar una estrategia investigativa desde la academia a través de tesis de maestría y doctorado (formación de recurso humano experto y que dinamice investigaciones futuras desde todas las instituciones del departamento), que conduzca al trazado de políticas de inversión que lleven a generar innovación, es la única solución que permitirá cambiar la forma de trabajo artesanal sin valor agregado que hoy existen en más del 90 % de la explotación de minerales del Departamento.

Ninguno de los mapas mineros que se han desarrollado **para el departamento cualifica** la potencialidad de estos minerales; por ejemplo no determina por región y explotación la calidad de los carbones, el índice de amorficidad de las arenas silíceas, índice de flotabilidad y espumación de los fosfatos, etc., y así para los minerales que se han definido en esta propuesta como estratégicos. Uno de los resultados de este proyecto permitirá identificar el valor agregado de las diferentes explotaciones y su impacto en el desarrollo social de la

población a través de la socialización del valor agregado de estos minerales en la población y en la educación sobre la posibilidad de darle valor agregado al mismo y de la articulación a través de planes reales de inversión al departamento mediante la planificación de su territorio.

Cuando la presente propuesta menciona la primera premisa “cualificación de los minerales”, se asocia de manera directa con el estudio científico de estos materiales. Aquí se conformará un grupo interdisciplinario conformado por expertos de la escuela de Metalúrgica, Civil, de Minas, Geología y Química de la UPTC, en torno al instituto INCITEMA, asociado al gran conocimiento que sobre territorio y explotación poseen los expertos de la gobernación de Boyacá. Cualificar los minerales no solo abordará la caracterización de los mismos por técnicas modernas como DRX, SEM, DSC, etc., sino que en el marco de esta propuesta se abordarán 3 tesis doctorales y 4 de maestría sobre la purificación de los mismos (procesos hidro-metalúrgicos y piro-metalúrgicos) que permitirán evaluar las aplicaciones científicas de estos minerales.

Se buscará determinar la potencialidad, por ejemplo, de las arcillas rojas aplicadas en la industria de las cerámicas de Boyacá, las caolinitas como aplicaciones en la industria del papel, la caliza en su explotación como cal y cemento y los fosfatos en el campo de los fertilizantes. Los minerales de hierro como magnética que pueden por procesos piro-metalúrgicos conducirse hacia hemática que posee otras aplicaciones especiales.

Los minerales estratégicos que se abordarán en este estudio son; carbón, mineral de hierro, roca fosfórica y la familia de calizas, arcillas, diatomitas y arenas silíceas.

Por las propiedades intrínsecas de los minerales, las cuales dependen de la génesis de su formación y que cambian de región a región, tales como las propiedades fundentes, refractarias, abrasivas, aislantes, neutralizantes, etc., se buscará su aplicación, principalmente, en la fabricación de multitud de productos; desde la siderúrgica, farmacéutica, papelería y química hasta la alimenticia. La aplicación de los diferentes minerales estratégicos de la región es lo que hace valioso este proyecto, teniendo en cuenta que es la oportunidad de su cualificación y evaluación de los diferentes productos primarios.

Aplicaciones tan básicas, pero tan ausentes del desarrollo económico del departamento, tales como la identificación de las arcillas absorbentes (attapulgita, sepiolita o bentonita) en la aplicación y empaque, como absorbentes domésticos, son desconocidos, pues a pesar que se han identificado los depósitos de arcillas, faltan estudios para conocer su potencialidad.

Existen hoy día otras aplicaciones, que no son directas del mineral, pero que basados en una caracterización de los mismos, se puede identificar su aplicabilidad secundaria, tal por ejemplo como el “carborundum”, el cual es un carburo de silicio obtenido por fusión de

coque y cuarzo. Este coque y cuarzo deben ser de tales características que permitan obtener este valioso material.

Igualmente, se fomentará el desarrollo sustentable basado en una relación mutua entre el beneficio del capital humano, manteniendo el capital natural (medio ambiente). El primer paso para manejar y mitigar los aspectos ambientales negativos significa investigar el entorno y su cultura para determinar dónde están las responsabilidades. Este proyecto desarrollará una herramienta sistémica geo-referenciada, que usará toda la gama de información de estudios ambientales que posee CORPOBOYCA sobre las zonas que se identifiquen para el estudio de los minerales estratégicos introduciendo además el concepto de valoración de la comunidad local y de la socialización del valor real de los minerales de la región.

La caracterización ambiental-cultural de las regiones de interés en una **herramienta sistémica geo-referenciada** que le permitirá a la Gobernación de Boyacá, de la mano con las alcaldías y entes de regulación, trazar los planes de desarrollo local y planes de inversión para la explotación, pero además para la preservación del hábitat y educación de las potencialidades de sus recursos en las comunidades locales. La herramienta sistémica geo-referenciada consiste de una geo-base de datos que se conformará principalmente; de una base cartográfica y de fotos de las regiones seleccionadas de interés de explotación, aspectos sociales de la población que convive con los recursos minerales y de su caracterización, permitiéndole a las instituciones de planeación del Departamento (Secretaría de Minas y Planeación) formular estrategias que conduzcan hacia el mejoramiento de la región a través de acciones innovadoras en el tratamiento dado a los minerales, respetando y trazando políticas de protección ambiental y de desarrollo de comunidades.

Al ser el resultado del proyecto una herramienta sistémica, que se basa en aspectos metodológicos y de estrategias de correlación, entorno, comunidades y aspectos técnicos y científicos de los minerales, se verán fortalecidos proyectos futuros en la medida que se adopte como herramienta de administración y planeación.

2. ESTADO DEL ARTE

Teniendo en cuenta que el proyecto tiene como finalidad la elaboración de herramienta geo-referenciada para análisis minero-energético de los minerales estratégicos existentes en el Departamento de Boyacá (mineral de hierro, carbón, calizas, roca fosfórica, diatomitas y arcillas), es necesario realizar una base de datos que contenga información actual acerca de los minerales con los que cuenta el Departamento. Para la recopilación de los datos que sustentarán esta investigación, se realizarán visitas a diferentes entidades públicas y privadas que cuentan con la información requerida generada de estudios anteriores. Entre las entidades que puedan aportar información se encuentran: INGEOMINAS, CORPOBOYACA, Secretaria de Minas y Energía de Boyacá, Cámara de Comercio de Boyacá, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – UPTC, POT (Plan de Ordenamiento Territorial) de los diferentes municipios de Boyacá y el apoyo de universidades públicas y privadas de Boyacá.

En la actualidad la Secretaría de Minas y Energía de Boyacá tiene como objetivo incrementar la participación del sector minero en la economía departamental a partir de su industrialización, desarrollo de ventajas competitivas con altos niveles de capital social, propendiendo por la consolidación de un escenario digno y sostenible mediante la formulación de directrices orientadas a fomentar la legalidad, la asociatividad empresarial, la competitividad y el respeto por el medio ambiente.

Existe información relacionada con la presencia y explotación de minerales en Boyacá (Mapas Mineros)¹. Los minerales estratégicos a considerar son: hierro, caliza, roca fosfórica, carbón, diatomitas y arcillas.

2.1. ESTADO DE LOS MINERALES ESTRATÉGICOS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ A ESTUDIAR

2.1.1. MINERAL DE HIERRO

El hierro se encuentra en numerosos minerales y mineraloides, magnetita (Fe_3O_4), hematita (Fe_2O_3), limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), siderita (FeCO_3), pirita (FeS_2), etc. Si bien hay una diversidad de minerales de hierro distribuidos sobre la corteza terrestre (óxidos, carbonatos, sulfuros, sulfatos, silicatos, etc.) son pocos los minerales usados comercialmente como fuente de hierro.

¹ Documento de la Secretaría de Minas y Energía de Boyacá. GUILLERMO FLECHAS FAJARDO. Tunja, Octubre de 2008

La razón radica en la cantidad de metal, o ley, que el mineral contenga. Para ser utilizados en la industria siderúrgica estos materiales deben contener un mínimo de 40% de hierro. Las impurezas (ganga), que siempre acompañan a los minerales, disminuyen el porcentaje de hierro en los mismos.

A continuación se mencionan las características de los principales minerales existentes:

La magnetita: Es un mineral de hierro, es constituido por óxido ferroso-diférrico (Fe_3O_4); usualmente la magnetita puede ser identificada a causa de su gran magnetismo, y por su color oscuro contiene teóricamente 72,3 % de hierro.

La hematita, hematites u oligisto: Es un mineral compuesto de óxido férrico, cuya fórmula es Fe_2O_3 y constituye una importante mena de hierro ya que en estado puro contiene un 70% de este metal. La mayor cantidad de hematita se encuentra en las rocas sedimentarias.

Goethita: Es un óxido de hierro hidratado $FeO(OH)$, contiene teóricamente 62.9% de hierro, sin embargo no se utiliza mucho como fuente de hierro, ya que suele contener impurezas de fósforo.

Limonita: es el resultado de la frecuente asociación hidratada de Goethita y Lepidocrocita e hidróxidos de hierro ($FeO.OH.nH_2O$). Estas son capaces de absorber agua y aparecer bajo una forma aparentemente amorfa e hidratada junto con una serie de impurezas.

Teniendo como referencia la información publicada por la Secretaria de Minas y Energía, en el departamento de Boyacá encontramos prospectos, manifestaciones y/o yacimientos de Hierro en los siguientes municipios:

MUNICIPIOS		
AQUITANIA	GARAGOA	PAZ DEL RIO
BELEN	GUATEQUE	SAN EDUARDO
BUSBANZA	GUAYATA	SATIVANORTE
CHITA	PACHAVITA	TINJACA
CHIVATA	PAIPA	TOCA
FIRAVITOA	PAJARITO	TUTA

Tabla 1. Prospectos, manifestaciones y/o yacimientos de Hierro

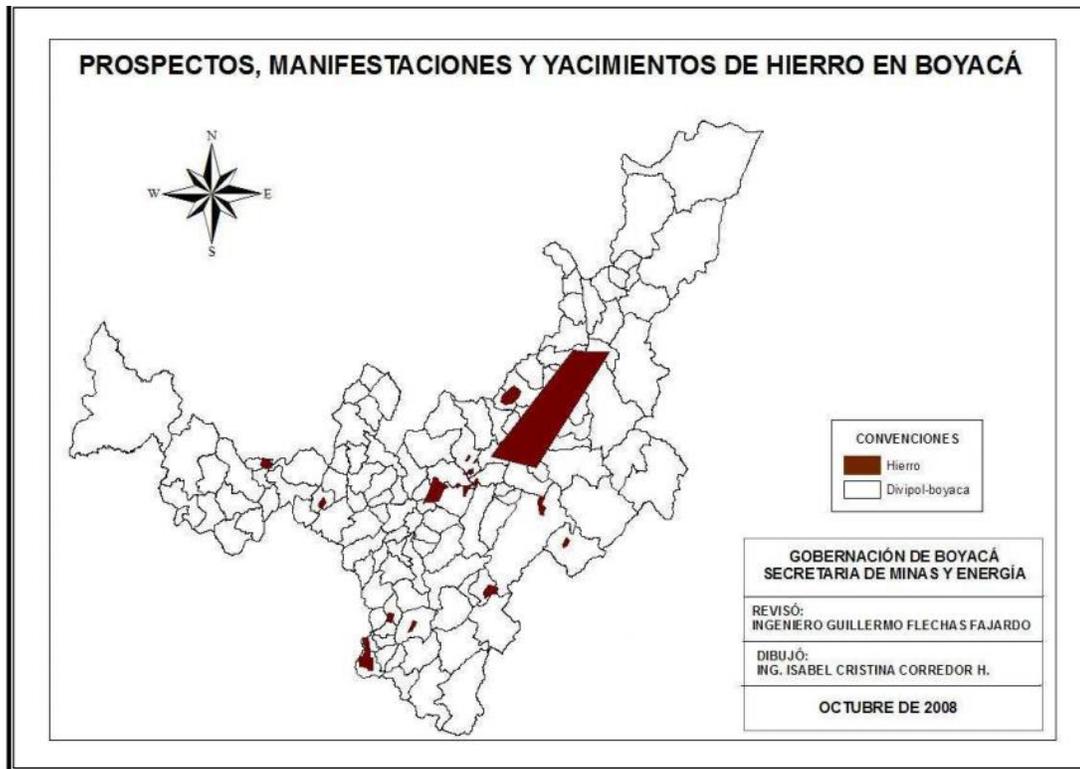


Figura 1. Prospectos, manifestaciones y/o yacimientos de Hierro

2.1.2. CARBÓN

Representa cerca del 70% de las reservas energéticas mundiales de combustibles fósiles conocidas actualmente, y es la más utilizada en la producción de electricidad a nivel mundial.

El carbón es una roca combustible de origen sedimentario y con un gran contenido en carbono, formada a partir de restos de vida vegetal. Los cambios que sufre el carbón a medida que se va formando proporcionan un enriquecimiento de carbono, puesto que éste permanece mientras que el resto de elementos que lo componen (oxígeno e nitrógeno) van desapareciendo. Estos cambios dependen de las condiciones de temperatura y presión, que son proporcionales a la profundidad. Por esta razón son los depósitos más profundos, que corresponden a los más antiguos, los que cuentan con los carbones de mejor calidad.

El Departamento de Boyacá cuenta con variedad de carbones térmicos, coquizables, antracíticos y semiantracíticos.

Carbones térmicos: Se caracterizan por su bajo contenido de carbono y su mayor contenido de humedad comparado con el carbón metalúrgico. Este carbón se utiliza en la producción de calor, básicamente en hornos, generación de vapor, y otros sistemas térmicos.

Se tiene conocimiento de prospectos, manifestaciones y yacimientos en las provincias de Sugamuxi, Tundama, Centro y Márquez.

Carbones coquizables:

El carbón metalúrgico, se utiliza en el área siderúrgica para la producción de coque (combustible sólido obtenido de la destilación de la hulla que se fabrica a partir de carbones coquizables, los cuales tienen ciertas propiedades físicas que permiten su ablandamiento, licuefacción y resolidificación).

A diferencia del carbón térmico, en que importa principalmente el contenido energético, en el carbón metalúrgico se destaca fundamentalmente su propiedad coquizable, interesando en mucho mayor grado sus propiedades físicas y los elementos químicos que lo integran. Los carbones coquizables deben tener bajos contenidos de azufre y fósforo, y al ser relativamente escasos, generalmente son más caros que los carbones térmicos.

Se tiene conocimiento de prospectos, manifestaciones y yacimientos en las provincias de Valderrama, Norte y Centro

Carbones antracíticos y semiantracíticos: Contienen menos impurezas y más contenido en carbono; por tanto, es el de mayor poder calorífico. El contenido en materias volátiles es muy bajo y su combustión es muy limpia. Actualmente se emplea en las centrales termoeléctricas.

Se tiene conocimiento de prospectos, manifestaciones y yacimientos en las provincias de Norte y Occidente.

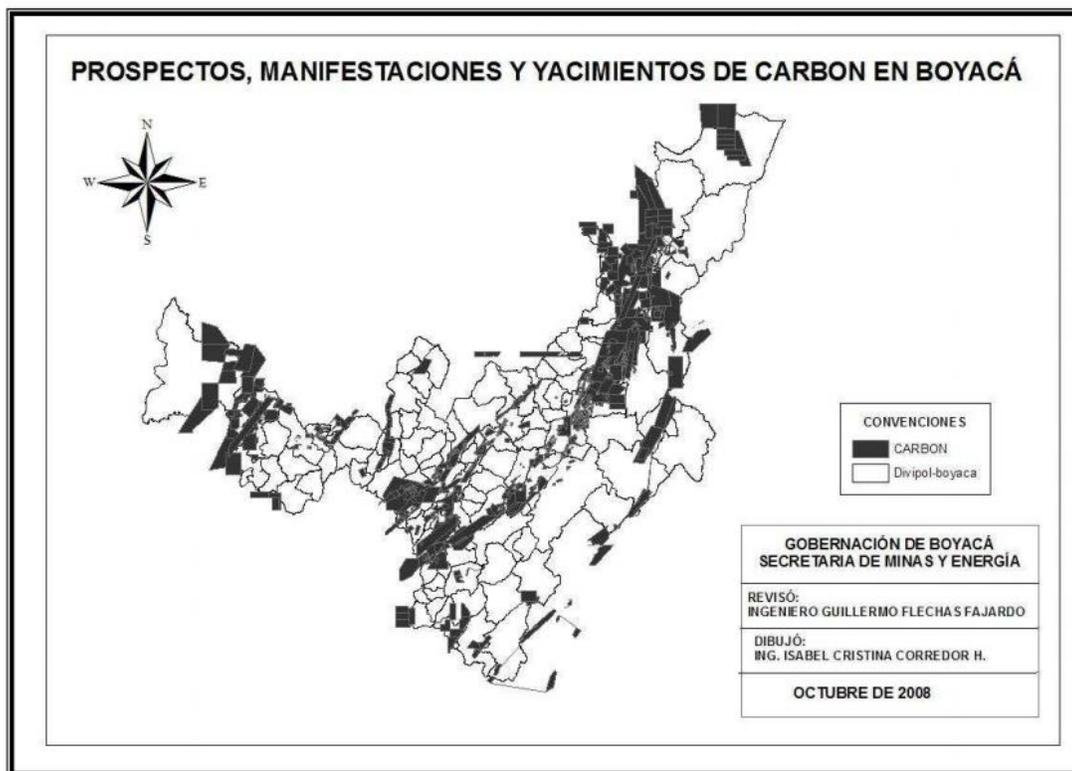


Figura 2. Prospectos, manifestaciones y/o yacimientos de Carbón

2.1.3. CALIZA

La piedra caliza se refiere a rocas sedimentarias que contienen un mínimo de 50% de carbonato de calcio (CaCO₃) en su composición. Los componentes menores incluyen arcilla, hierro, feldespato y cuarzo. La piedra caliza se forma por la deposición de carbonato de calcio suspendido en el agua o por la acumulación de depósitos y otros materiales fosilizados. Los tipos de roca caliza incluyen yeso, coquina, travertino, toba, así como la piedra caliza y litográfica.

Se tiene conocimiento de prospectos, manifestaciones y yacimientos en los siguientes municipios:

MUNICIPIOS			
BELEN	LABRANZAGRANDE	PAZ DE RIO	SOGAMOSO
BUSBANZA	MACANAL	PESCA	SORA
CHITARAQUE	MONGUA	RAQUIRA	TENZA
CORRALES	MONQUIRA	RONDON	TIBASOSA
CUITIVA	NOBSA	SACHICA	TOGUI
FIRAVITIBA	PAEZ	SANTA ROSA DE VITERBO	TURMEQUE
GACHANTIVA	PAJARITO	SANTA SOFIA	TUTAZA
			VILLA DE LEIVA

Tabla 2. Prospectos, manifestaciones y/o yacimientos de Caliza

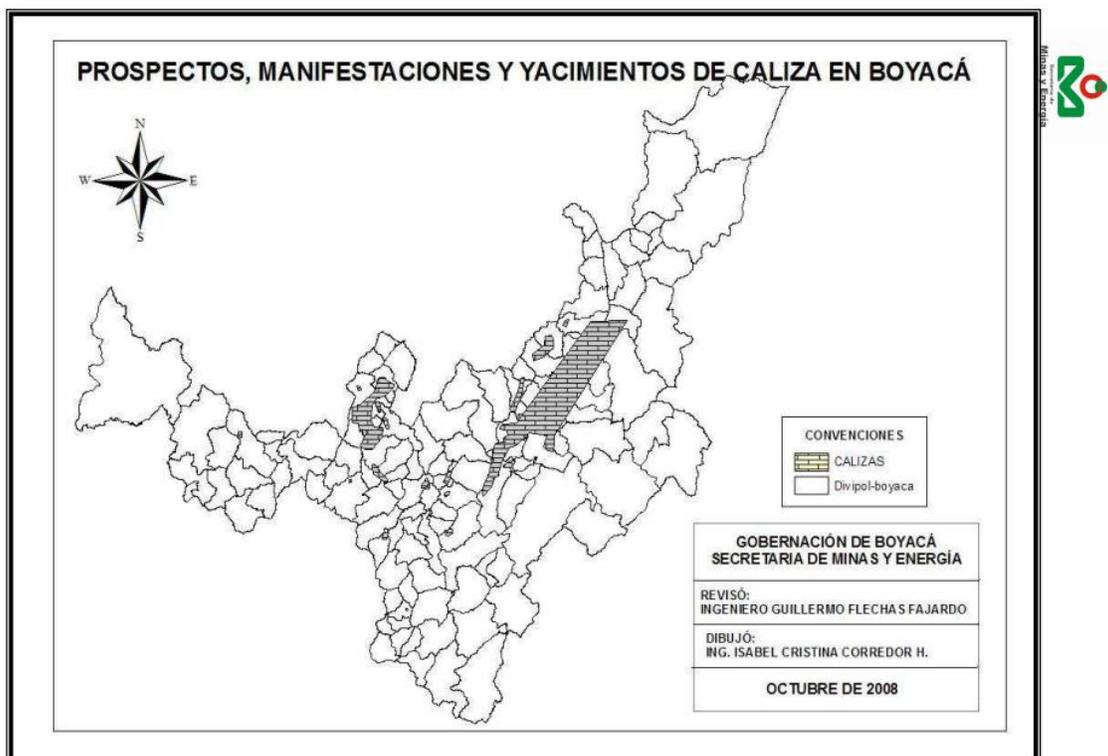


Figura 3. Prospectos, manifestaciones y/o yacimientos de Caliza

2.1.4. ROCA FOSFORICA

Las fosforitas son rocas que contienen al menos un 20% de P₂O₅, en forma de flourapatito criptocristalino ("colofana"), que suelen aparecer como capas de espesor variable, de aspecto semejante al de muchas capas de calizas fosilíferas o pisolíticas, aunque con colores más oscuros.

En el departamento de Boyacá se tiene conocimiento de prospectos, manifestaciones y yacimientos de fosforita en los siguientes municipios:

SOGAMOSO
CUITIVA
IZA
NUEVO COLON
PESCA
TOTA
TURMEQUE

Tabla 3. Prospectos, manifestaciones y/o yacimientos de Fosforita

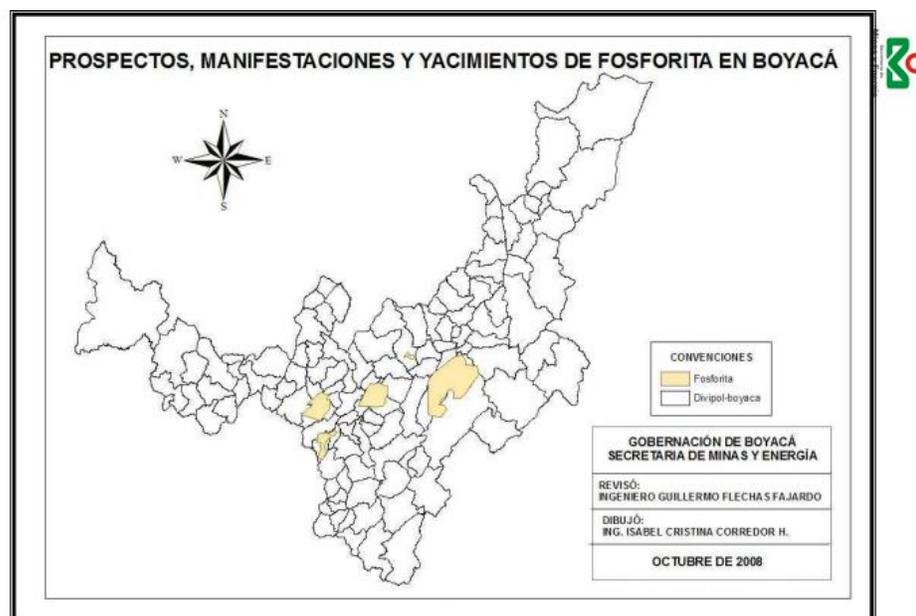


Figura 4. Prospectos, manifestaciones y/o yacimientos de Fosforita

2.1.5. DIATOMITA

La diatomita es una roca sílicea de origen sedimentario, está constituida principalmente por restos fosilizados de diatomeas, es extremadamente porosa, baja conductividad de calor y electricidad, químicamente inerte, capaz de absorber y retener gran cantidad de líquidos con los cuales tiene grandes superficies de contacto, su dureza oscila entre 4 y 6, su densidad in situ varía entre 0.32 y 0.64 ton/m³.

Se tiene información de manifestaciones y yacimientos de este mineral en la provincia de Centro.

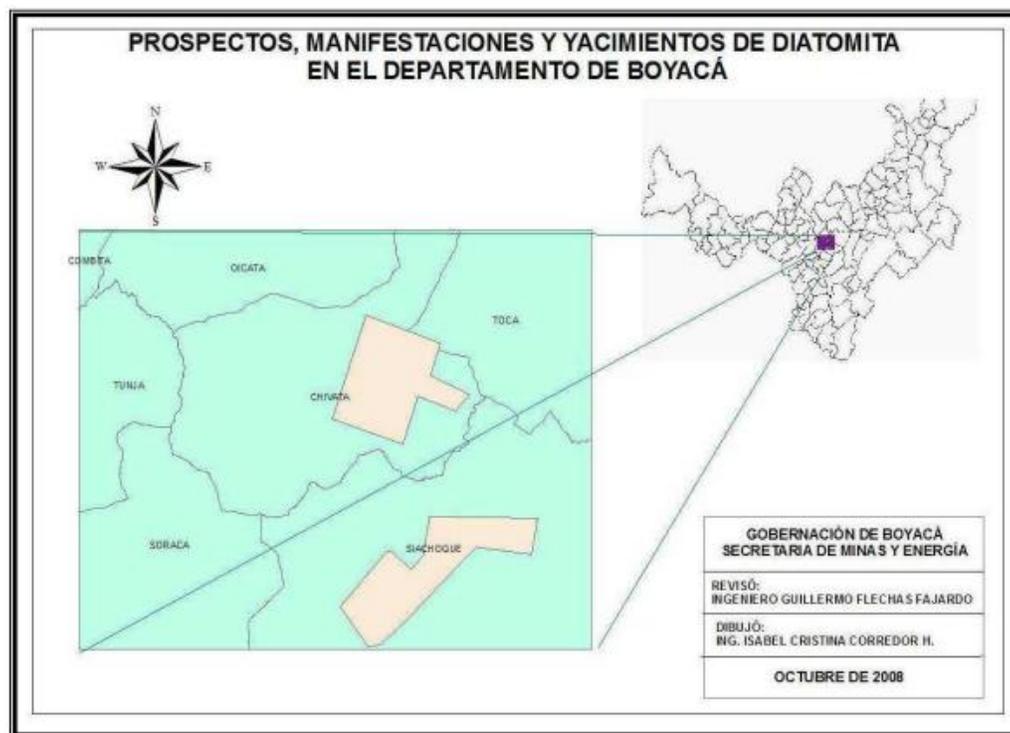


Figura 5. Prospectos, manifestaciones y/o yacimientos de Diatomita

2.2. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

2.2.1. DEFINICIÓN DE UN SIG

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son definidos por ESRI² como una herramienta que integra hardware, software y datos para capturar, administrar, analizar y visualizar todas las formas de información geográficamente referenciada. Asociada con esta definición se tienen como componentes de un SIG:

- **El hardware:** en el cual se encuentran todos aquellos equipos de cómputo que centralizan la información, como otros de escritorio desde los cuales se tiene acceso a dicha información a través de redes. Adicionalmente de equipos como de receptores de GPS, escáneres y plotters.
- **Software:** Los programas de computador de un SIG permiten el almacenamiento la consulta, visualización y análisis de datos espaciales y no espaciales. Se incluyen programas para el manejo de bases de datos, programas para la edición de datos espaciales y no espaciales, y otros para el modelamiento espacial y elaboración de mapas.
- **Datos:** El componente central de un SIG, ya que de la calidad y suficiencia de estos depende los resultados que soportarán la toma de decisiones. Estos datos pueden ser ingresados de diferentes fuentes secundarias o primarias. Como ejemplos se tienen mapas bases y temáticos, imágenes de sensores remotos y datos capturados con receptores GPS.
- **Personas:** Involucra personal técnico y profesional de diferentes disciplinas que se encargan de un adecuado procesamiento de la información del sistema, así como de su mantenimiento y actualización.
- **Métodos:** dentro de este componente se establecen y diseñan todas las estrategias y procedimientos para todas las actividades que involucren la información espacial.

² Environmental System Research Institute. Empresa comercializadora de software para SIG.

2.2.2. ESTRUCTURA DE LOS DATOS EN UN SIG

Las principales formas de representación de datos espaciales dentro de un SIG corresponden a datos en modelo vector y datos en modelo raster.

En el modelo de datos vector los elementos geográficos son representados mediante puntos, líneas y polígonos. Los elementos puntuales son representados espacialmente mediante sus coordenadas x y y, las líneas corresponden a una secuencia de puntos conectados entre sí y los polígonos son igualmente una secuencia de puntos conectados en donde el primer y último punto coinciden en su localización espacial para delimitar un área.

En el modelo de datos raster, a diferencia de los datos vector, se tiene una representación continua del elemento a representar y está estructurado como un arreglo de celdas con un tamaño específico y un dato numérico para cada una de ellas.

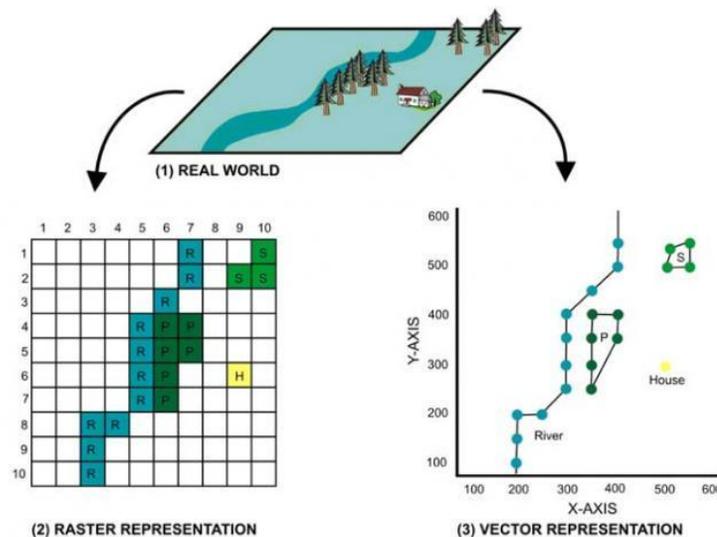


Figura 6. Representación en modelo Raster y Vector.

Fuente: <http://www.cookbook.hlurb.gov.ph/book/export/html/203>

2.2.3. FUNCIONES DE ANÁLISIS EN SIG

Las funciones de análisis en los sistemas de información geográfica se pueden agrupar en las siguientes cuatro categorías (Aronoff, 1993)³ :

³ Aronoff S. Geographic Information System: A Management Perspective. WDL Publications, Ottawa, Canada, 1993.

- Mantenimiento y análisis de datos espaciales: agrupan herramientas para la edición transformación, cambio de precisión de datos espaciales, sin el uso de datos no espaciales.
- Mantenimiento y análisis de atributos (datos no espaciales): involucran la edición, consulta y análisis de los datos no espaciales almacenados en la base de datos del sistema.
- Análisis integrado de datos espaciales y atributos: se encuentran todas aquellas operaciones de análisis que involucran los componentes espacial, no espacial y temporal de los datos.
- Preparación de salida: son las funciones para la presentación de los resultados de un SIG a través de mapas.

2.2.4. APLICACIONES DE LOS SIG EN LA INDUSTRIA MINERA

Considerando que la información relacionada con la industria minera es susceptible de ser especializada, han surgido una gran cantidad de desarrollos relacionados con la aplicación de los SIG en este campo.

En British Columbia (Canadá) se cuenta con un sistema de administración de títulos mineros, el cual fue desarrollado para suministrar un entorno de administración positivo que brinda soporte la creciente exploración y desarrollo de la actividad minera. El sistema implementado en enero de 2005 permite la visualización en línea de información espacial y no espacial relacionada con los títulos mineros actuales, la renovación de títulos mineros, transferencia de títulos mineros, realizar pagos en línea, entre otras funciones (www.mtonline.gov.bc.ca), ver **Figura 7**.

En los últimos años también se han desarrollados aplicativos SIG como soporte de la recuperación de minas abandonadas. Sung-Min et al (2012)⁴, desarrollaron una extensión para SIG que permite la evaluación del riesgo por hundimiento de minas, análisis de flujos de agua superficial desde minas, estimación de erosión en minas e identificación de especies de árboles para la reforestación de áreas mineras. Como información de entrada para los análisis se diseñó una base de datos con información de mapas topográficos, mapas geológicos, pozos y mapas de extracción subterránea.

⁴ Sung-Ming King et al. ArcMine: A GIS extension to support mine reclamation planning. Computers & Geoscience, 2012, 48, 84-95.

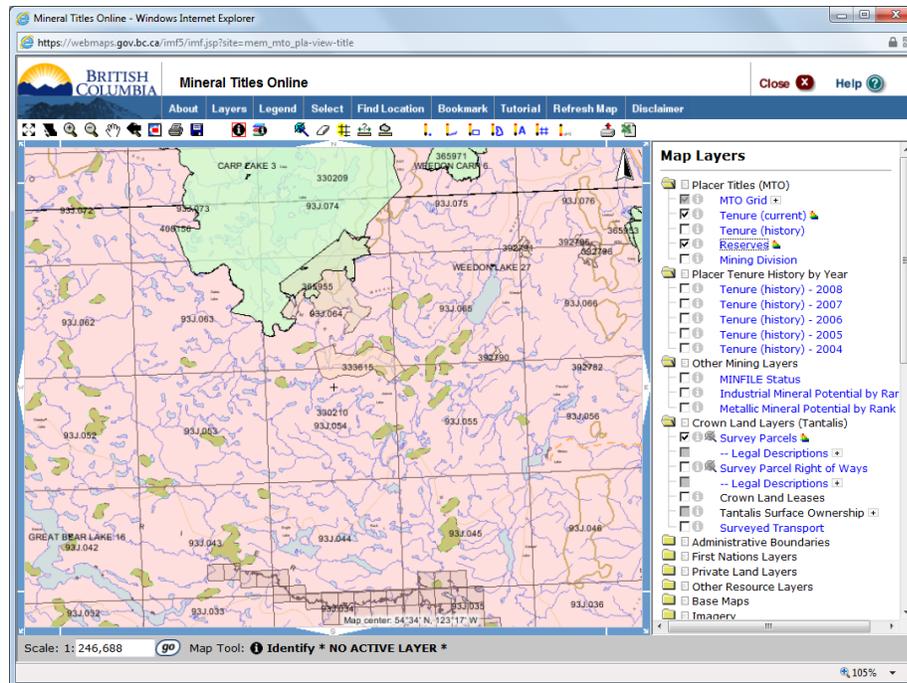


Figura 7. Sistema de administración de títulos mineros - British Columbia

Las aplicaciones de los SIG también se han orientado hacia la gestión ambiental en minas, como lo presenta Maryati et al (2012)⁵ en un estudio realizado en Indonesia. El objetivo de la investigación fue el diseño de una base de datos para el manejo ambiental en la operación minera. El trabajo se realizó mediante la identificación y evaluación de la normatividad propia de la zona de estudio, identificación y evaluación de la normatividad ambiental, organización y agrupamiento de parámetros ambientales y diseño e implementación de base de datos. Como ventajas de este estudio se encontraron la integración de la información, reducción de la duplicidad de datos, reducción del volumen de datos, uniformidad de datos, integración de datos espaciales y no espaciales; todo esto como soporte al análisis espacial para una mejor toma de decisiones.

⁵ Sri Maryati et al. GIS Database Template for Environmental Management of Mining in Indonesia. Journal of Geographic Information System, 2012, 4, 62-70.

2.3. CARACTERIZACIÓN DE MINERALES

La caracterización de materiales se refiere al establecimiento de las características de un material determinado a partir del estudio de sus propiedades físicas, químicas, estructurales, etc. Una vez conocidas dichas características del material puede establecerse la naturaleza del mismo, así como sus posibles aplicaciones.

Para el caso específico de los minerales, existen diferentes técnicas de caracterización, encaminadas a identificar las propiedades de éste tipo de materiales. Para el desarrollo del presente proyecto, el INCITEMA cuenta con una serie de equipos y técnicas de caracterización que se utilizarán para la determinación de las propiedades de los minerales a estudiar.

A continuación se describen las técnicas:

- Difracción de Rayos X - DRX
- Fluorescencia de Rayos X
- Análisis Térmico (DSC-DTA-TGA)
- Análisis Petrográfico
- Microscopía Electrónica de Transmisión - TEM
- Análisis Químico
- Microscopía Electrónica de Barrido y Espectroscopia de Rayos X - EDS

2.3.1. DIFRACCIÓN DE RAYOS X - DRX

La difracción de rayos X, en minerales, permite identificar las fases cristalinas presentes a partir de su difractograma característico, tanto en su aspecto cualitativo como cuantitativo. Además, permite evaluar los estudios de polimorfismo, transiciones de fase, y soluciones sólidas, medida del tamaño de partícula, determinación de diagramas de fase, etc.

Los difractogramas ó patrones de difracción se han obtenido a partir de un difractómetro de rayos-X PW1700 de Philips, equipado con un generador PW1825 y con monocromador de grafito con un ángulo de 26° , utilizando radiación de Cu (Figura 8).



Figura 8. Equipo de Difracción de Rayos X perteneciente al INCITEMA

De acuerdo con la ley de Bragg:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$$

La posición angular, 2θ , de un determinado pico de difracción, es menor cuanto menor es la longitud de onda, λ , con la que se mide, y por tanto, si se realiza un barrido en un rango concreto de valores 2θ , cuanto menor sea la longitud de onda de la radiación utilizada, mayor número de reflexiones aparecerán en el espectro de difracción. Por este motivo se ha empleado radiación de Cu, cuya longitud de onda es $\lambda_{Cu} = 1.5418 \text{ \AA}$.

2.3.2. FLUORESCENCIA DE RAYOS X

La fluorescencia de rayos X, consiste en emisión de rayos X secundarios (o fluorescentes) característicos de un material que ha sido excitado al ser bombardeado con rayos X de alta energía o rayos gama. Esta técnica es muy utilizada para análisis elemental y análisis químico, particularmente en la investigación de metales y minerales.

Los ensayos de fluorescencia de rayos X se llevarán a cabo en un equipo FLUORESCENCIA MINIPAL PW4025 DE PHILIPS (Figura 9), instrumento analítico por energías dispersivas que lee elementos desde el Na hasta el U. Está dotado con un tubo de rayos X de Rhodio que es enfriado por aire. Las especificaciones del tubo de rayos X son:

- Kv mín. 4
- Kv máx: 30
- 1 μ A a 1 mA



Figura 1. Equipo de Fluorescencia de Rayos X perteneciente al INCITEMA

Las muestras pueden ser analizadas en ambiente aire o helio dependiendo de elemento a analizar.

2.3.3. ANÁLISIS TÉRMICO (TGA-DSC-DTA)

El análisis térmico de los minerales, hace referencia a un conjunto de técnicas analíticas que estudian el comportamiento térmico de los materiales tales como: Fusión, Sublimación, Solidificación, Cristalización, Amorfización, Transición y reacciones tales como: oxidación, alteración, descomposición, etc.

Los ensayos de análisis térmico se llevarán a cabo en un equipo TA Instrument, SDT Q600, con una temperatura máxima de 1500 °C y peso de muestras de aproximadamente 50 a 100 mg (Figura 10).



Figura 10. Equipo de Análisis Térmico perteneciente al INCITEMA

Entre las técnicas de Análisis Térmico más comunes se destacan:

TGA: Termogravimetría, que evalúa la pérdida o ganancia de masa de un mineral expuesto a un ciclo de calentamiento.

DTA: Análisis Térmico Diferencial, técnica que mide la diferencia de temperatura de la muestra TM y la temperatura de un material inerte de referencia TR, sometidos a un mismo programa de temperaturas.

La técnica DTA permite la determinación de:

- Cambios de fase: Fusión, Cristalización, Sublimación
- Estudios de reacciones químicas
- Estudios de procesos de desorción de los minerales

DSC: Calorimetría Diferencial de Barrido, técnica que determina la diferencia en el cambio de entalpía que tiene lugar entre la muestra y un material inerte de referencia en función de la temperatura o del tiempo.

La técnica DSC permite la determinación de:

- Calores específicos
- Puntos de ebullición y cristalización
- Pureza de compuestos cristalinos
- Entalpías de reacción

2.3.4. ANÁLISIS PETROGRÁFICO

El análisis petrográfico es una técnica de análisis microscópico, que permite obtener información de la composición mineral del carbón (conteo mineral) y la capacidad reflectiva de estos materiales, principalmente la reflectancia media aleatoria de la vitrinita (R0). El análisis petrográfico también resulta de gran importancia por ser la única técnica que permite obtener información de los componentes individuales de una mezcla de carbón.

El microscopio petrográfico o de polarización se utiliza para identificar y estimar cuantitativamente los componentes minerales de las rocas ígneas y las rocas metamórficas. Cuenta con un prisma de Nicol u otro tipo de dispositivo para polarizar la luz que pasa a través del espécimen examinado. Otro prisma Nicol o analizador que determina la polarización de la luz que ha pasado a través del espécimen. El microscopio tiene un soporte giratorio que indica el cambio de polarización acusado por el espécimen (Figura 11).



Figura 11. Microscopio petrográfico o de polarización perteneciente al INCITEMA

2.3.5. ANÁLISIS PETROGRÁFICO

El análisis petrográfico es una técnica de análisis microscópico, que permite obtener información de la composición mineral del carbón (conteo mineral) y la capacidad reflectiva de estos materiales, principalmente la reflectancia media aleatoria de la vitrinita (R0). El análisis petrográfico también resulta de gran importancia por ser la única técnica que permite obtener información de los componentes individuales de una mezcla de carbón.

El microscopio petrográfico o de polarización se utiliza para identificar y estimar cuantitativamente los componentes minerales de las rocas ígneas y las rocas metamórficas. Cuenta con un prisma de Nicol u otro tipo de dispositivo para polarizar la luz que pasa a través del espécimen examinado. Otro prisma Nicol o analizador que determina la polarización de la luz que ha pasado a través del espécimen. El microscopio tiene un soporte giratorio que indica el cambio de polarización acusado por el espécimen (Figura 12).



Figura 12. Microscopio petrográfico o de polarización perteneciente al INCITEMA

2.3.6. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE TRANSMISIÓN

La microscopía electrónica de transmisión (TEM: Transmission Electron Microscope), es una técnica que nos permite realizar el análisis de películas, microestructura y tamaño de grano de los minerales a nivel atómico gracias a su alta resolución que en algunos casos puede ser de $0,5 \text{ \AA}$ (0,05 nm).

Los ensayos de TEM se llevarán a cabo en un equipo JEOL JEM 2100, (Figura 13). Este microscopio opera con un filamento de LaB6 con un potencial de 200kV, tiene una resolución de 0.23 nm y está equipado con un detector STEM, detector HADF y analizador de dispersión de energía EDS OXFORDINCA 350.



Figura 2. Microscopio TEM JEOL JEM-2100

2.3.7. ANÁLISIS QUÍMICO POR ABSORCIÓN ATÓMICA

La espectroscopia de absorción atómica es un método utilizado para la determinación de elementos en muestras analíticas que está basado en la atomización del analito en matriz líquida y que utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga, en caso de que la transmisión de energía inicial al analito sea por el método "de llama". La niebla atómica es desolvatada y expuesta a una energía a una determinada longitud de onda emitida ya sea por la dicha llama, o una

lámpara de cátodo hueco construida con el mismo analito a determinar o una Lámpara de Descarga de Electrones (EDL).

El INCITEMA cuenta con un equipo de absorción atómica de marca Perkin Elmer, modelo 3110 (Figura 14), con lámparas de cátodo hueco y patrones de:

LAMPARA	PATRON 1000
NIQUEL	SI
MAGNESIO	SI
CROMO	SI
SILICIO	NO
MANGANESO	SI
ARSENICO	NO
COBRE	SI
ZINC	SI
SELENIO	NO
CALCIO	SI
PLATA	SI
HIERRO	SI
ALUMINIO	SI
TITANIO	NO
POTASIO	SI
PLOMO	NO
ORO	SI
SODIO	SI



Figura 3. Equipo de Absorción Atómica perteneciente al INCITEMA

2.3.8. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO Y ESPECTROSCOPIA DE RAYOS X - EDS

La microscopía electrónica de barrido SEM, es una técnica que permite la observación y caracterización superficial de materiales minerales, entregando información morfológica del material analizado. A partir de él se producen distintos tipos de señal que se generan desde la muestra y se utilizan para examinar muchas de sus características. De igual manera, la espectroscopia de rayos X permite cualificar y cuantificar los elementos presentes en las muestras observadas en el SEM. El microscopio electrónico de barrido utiliza un haz de electrones para formar una imagen y el espectroscopio un detector de Rayos X para realizar el análisis químico de las muestras minerales.

En el marco del presente proyecto, se hace la solicitud de presupuesto para la adquisición del microscopio electrónico de barrido como una herramienta fundamental para la completa caracterización de los minerales en estudio.

De igual manera, de cara al correcto desarrollo de las tesis propuestas en el presente proyecto, tanto de maestría como de doctorado, el microscopio electrónico de barrido servirá como un instrumento que de soporte teórico, científico e investigativo para desarrollar tesis de alta calidad. Dichas tesis deberán tener un alto impacto sobre la sociedad que está directamente relacionada e involucrada con la presencia de los minerales estratégicos en sus regiones a lo largo de todo el departamento de Boyacá.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto y cadena de valor de los recursos mineros-energéticos y generar un modelo basado en una herramienta sistémica geo-referenciada que permita planear la prospección y explotación, agregando como factor de innovación la articulación de variables espaciales del entorno e impacto social, tecnológico y científico de los minerales estratégicos del departamento de Boyacá (mineral de hierro, carbón, calizas, roca fosfórica, diatomitas y arcillas).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Muestrear mediante prospección primaria los minerales estratégicos en los sitios donde se encuentren en el departamento de Boyacá.
- Caracterizar a nivel de laboratorio los minerales estratégicos definidos en la prospección primaria.
- Construir una metodología y una herramienta sistémica geo-referenciada soportada en una geo-base de datos que involucre variables y parámetros de desarrollo técnico, social y ambiental para potencializar el uso y la innovación de los minerales estratégicos.
- Determinar las posibles aplicaciones industriales de los minerales estratégicos del departamento.
- Validar la herramienta sistémica geo-referenciada de planeación y su socialización.

4. METODOLOGÍA

Los trabajos se realizarán en fases, de acuerdo con la siguiente estructura:

Fase I. Recopilación y evaluación de la información.

Fase II. Caracterización de los minerales estratégicos a nivel de laboratorio.

Fase III. Construcción de una metodología y herramienta sistémica geo-referenciada en función de aspectos sociales, ambientales y científicos de los minerales para su prospección y explotación.

Fase IV. Definición de las aplicaciones industriales a partir de la información de la herramienta geo-referenciada y su socialización. Ver Anexo 1, Cronograma de Actividades.

FASE I. RECOPIACION Y EVALUACIÓN DE INFORMACION

En la primera fase se realizará la recopilación de la información temática básica existente relacionada y se inicia su análisis sistemático. Como resultado de esta fase se obtendrá una base de datos, que incluirá las referencias de los diferentes informes y estudios regionales disponibles en diferentes centros de documentación. También, ésta primera fase permitirá identificar los aspectos débiles en cuanto a la información que estaba disponible.

La recopilación, análisis y diagnóstico de la información así como el tratamiento que actualmente se le está aplicando, permitirá conocer el estado actual, valor estratégico y calidad de la información para poder cuantificar y dimensionar la magnitud del sistema general a desarrollar.

FASE II. CARACTERIZACIÓN DE LOS MINERALES ESTRATÉGICOS A NIVEL DE LABORATORIO

A partir de las diferentes técnicas de caracterización a nivel de laboratorio, tales como, Análisis petrográfico, análisis químico, Difracción de Rayos X - DRX, Microscopía Electrónica de Transmisión - TEM, Análisis Térmico (TGA, DSC y DTA), entre otros, se caracterizarán las diferentes muestras de minerales recopiladas en campo.

La caracterización tendrá como objetivo determinar la composición, morfología y propiedades de los diferentes minerales de estudio.

FASE III. CONSTRUCCIÓN DE UNA METODOLOGÍA Y HERRAMIENTA SISTÉMICA GEO-REFERENCIADA EN FUNCIÓN DE ASPECTOS SOCIALES, AMBIENTALES Y CIENTÍFICOS DE LOS MINERALES PARA SU PROSPECCIÓN Y EXPLOTACIÓN.

Se desarrollará una metodología sistémica geo-referenciada basada en la definición de variables ambientales, sociales y técnicas, específicas para cada mineral estratégico. En esta fase confluirán aspectos cartográficos, aero fotografías de las regiones que se involucran en el proyecto, estudios ambientales y sociales de las corporaciones autónomas regionales y la cualificación y aplicación de los minerales estratégicos objeto de estudio.

La herramienta contribuirá a la recopilación de la información obtenida, mediante trabajo de campo; se realizará la valoración de los potenciales minero geológicos articulados al medio ambiente y densidades poblacionales, en un marco de investigación participativa con los entes municipales que permitan desarrollar un proceso de planificación del territorio.

El análisis de la actividad minera tiene como finalidad conocer las características y problemática del sector minero en el área de estudio. Este conocimiento de la actividad minera será de especial importancia para un futuro Ordenamiento Minero-Ambiental del departamento.

Así mismo, y a partir de la anterior información se definirán las amenazas asociadas con la prospección y explotación de minerales.

La metodología en sistemas de información geográfica busca centralizar la información ambiental, social y técnica de los procesos relacionados con la explotación y prospección minera. Por otro lado se desarrollaran herramientas de análisis espacial que permiten modelar los efectos de la actividad minera en el departamento sobre diferentes variables de tipo ambiental y social.

Las variables ambientales a tener en cuenta son el suelo (aptitud de suelos, uso de la tierra), la climatología (temperatura media, evaporación, precipitación), la hidrografía (distribución del recurso), la flora, la fauna, los ecosistemas estratégicos, las densidades y concentración de población y las fuentes de agua para consumo humano. Complementariamente se consideran variables relacionadas con la actividad minera como la caracterización de los minerales, la emisión de contaminantes al aire y el vertimiento de líquidos al suelo y a corrientes hídricas.

En la figura 15, se muestran los principales aspectos relacionados con la propuesta metodológica para el desarrollo de la metodología y herramienta de análisis espacial para la minería en el Departamento.

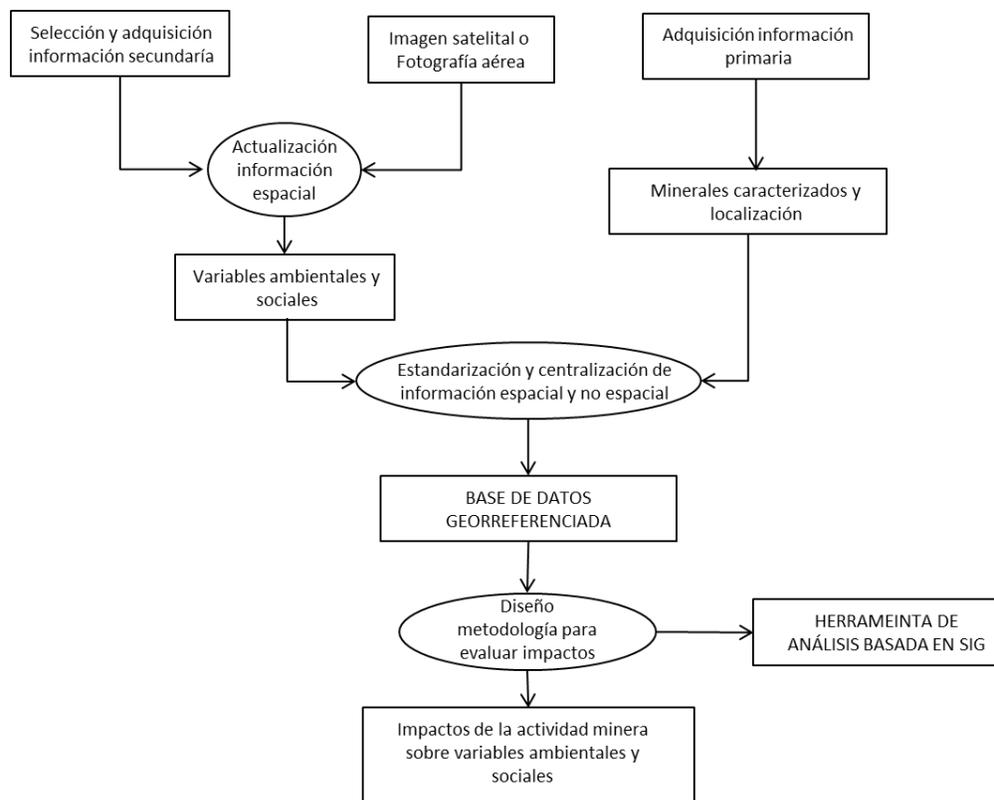


Figura 15. Metodología general para el desarrollo de metodología y herramienta basada en SIG

FUENTES Y ESTANDARIZACIÓN DE INFORMACIÓN

Las principales fuentes de información secundaria espacial y no espacial relacionada con estas variables serán principalmente de instituciones como las alcaldías municipales, la Gobernación de Boyacá, las corporaciones autónomas regionales con jurisdicción en el departamento, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, el Instituto Nacional de Vías, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Tremarctos Colombia, el Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial de Colombia. Complementariamente se requieren imágenes de sensores remotos (fotografía aéreas o imágenes satelitales), éstas deben tener una resolución espacial no menor a 5 metros en multispectral y con resolución espectral de 5 bandas (tres bandas en espectro visible y dos en infrarrojo). La información obtenida de las diferentes instituciones mencionadas sirve como referente para realizar la actualización y mejoramiento de la escala a partir de las imágenes satelitales o fotografías aéreas.

La información técnica relacionada con la actividad minera y la caracterización de los minerales estratégicos será de tipo primaria, geo-referenciada en campo con el uso de receptores de GPS con precisión submétrica. Se busca determinar la presencia de emisiones y/o vertimientos de contaminantes en las minas relacionadas, además de la localización confiable de las fuentes de estos minerales.

Teniendo en cuenta que la información espacial no se encuentra disponible en un mismo formato y tipo de dato, se debe realizar un proceso de estandarización. Los mapas base y temáticos de la zona de estudio se encuentran como dato raster por lo se requieren procesos de geo-referenciación y vectorización para la extracción de las áreas de alta consecuencia. En otros casos la información, a pesar de estar en dato vector, se requiere la transformación de formato para hacerlo compatible con el software a utilizar; algunos ejemplos de formatos para datos vectoriales son DWG de AutoCAD y SHP de ArcGIS. De las imágenes de sensores remotos (fotografías aéreas o imágenes satelitales) se extrae información que permite la actualización de los datos espaciales obtenidos de mapas base y temáticos. El procesamiento digital de las imágenes incluye mejoramiento (espacial y radiométrico), transformación y el análisis de la imagen para la extracción de información. Toda esta información se centralizará en una base de datos espacial, que servirá como fuente única de información para los posteriores análisis espaciales.

MODELOS DE ANÁLISIS EN SIG

Se determinarán la distribución espacial de los impactos producidos por la explotación minera mediante la implementación de modelos espaciales que permitan estimar las áreas afectadas por el transporte de contaminantes desde las minas. Se adaptarán metodologías para la evaluación de riesgos en el transporte de hidrocarburos, metodologías como Procesos de Análisis Jerárquico aplicados en SIG y otras que se recopilen de estudios internacionales relacionados con este tipo de problemáticas.

La modelación del transporte de los contaminantes se realizará para medios aéreos, por transporte superficial y por corrientes hídricas. Para el primer caso se modelará desde la fuente de emisión las direcciones en las que se distribuye en contaminante teniendo en cuenta variables atmosféricas. En el segundo se modelará el transporte por el suelo de posibles vertimientos, en el cual se tendrán en cuenta la infiltración del líquido y si el líquido se vierte a una corriente hídrica su transporte por esta.

Finalmente la metodología propuesta se implementará mediante una herramienta de análisis de información geo-referenciada. Esta herramienta se implementará en el software ArcGIS permitirá el ingreso y actualización de la información tanto espacial y no espacial, facilitando de esta manera la actualización de los resultados con la periodicidad que se considere necesaria.

FASE IV. DEFINICIÓN DE LAS APLICACIONES INDUSTRIALES A PARTIR DE LA INFORMACIÓN DE LA HERRAMIENTA GEO-REFERENCIADA Y SU SOCIALIZACIÓN.

A partir de las propiedades de los minerales obtenidas en la caracterización, se definirá las posibles aplicaciones industriales que tengan los minerales estratégicos de tal manera que pueda tener un impacto en las zonas donde se encuentran y maximizar su utilización.

Al mismo tiempo, la herramienta será socializada a través de talleres de sensibilización y los resultados dados a conocer para su aplicación.

5. RESULTADOS Y PRODUCTOS

Los productos a entregar son:

- Caracterización de los minerales estratégicos, a nivel de laboratorio.
- Metodología y herramienta sistémico geo-referenciada de los minerales estratégicos (mineral de hierro, carbón, calizas, roca fosfórica, diatomitas y arcillas) del departamento de Boyacá en función de aspectos sociales, ambientales y científicos de los minerales para su prospección y explotación.
- Estimativo de recursos de minerales estratégicos y su posible uso industrial.
- Tesis de maestría y doctorado en temas relacionados con los minerales estratégicos.

6. COSTO TOTAL DE LA PROPUESTA

El costo total de la propuesta es de DOS MIL SETESCIENTOS VEINTINUEVE MILLONES DE PESOS M/CTE (\$2.729.000.000), de los cuales, DOS MIL CIENTO SETENTA Y CINCO MILLONES DE PESOS M/CTE (\$2.175.000.000) provienen del Sistema General de Regalías – SGR, SETENTA Y UN MILLONES DE PESOS M/CTE (\$71.000.000) de la Secretaría de Minas y Energía de la Gobernación de Boyacá y CUATROSCIENTOS OCHENTA Y TRES MILLONES DE PESOS M/CTE (\$483.000.000) provienen de la UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA - UPTC. Ver Anexos (formatos en Excel, SGR).

El desglose del presupuesto global y cada uno de los ítems se describe a continuación.



RESUMEN DEL PRESUPUESTO							
RUBROS		CONTRAPARTIDA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA (UPTC)		CONTRAPARTIDA SECRETARÍA DE MINAS Y ENERGÍA GOBERNACIÓN DE BOYACÁ		SGR	TOTAL
		Especie	Efectivo	Especie	Efectivo	Efectivo	
0	1.	Talento humano	\$ 172.000.000,00		\$ 36.000.000,00	\$ 510.000.000,00	\$ 718.000.000,00
0	2.	Equipos y software		\$ 95.000.000,00	\$ 30.000.000,00	\$ 830.927.009,76	\$ 955.927.009,76
0	3.	Capacitación y participación en eventos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 100.000.000,00	\$ 100.000.000,00
0	4.	Servicios tecnológicos y pruebas	\$ 191.000.000,00	\$ -	\$ -	\$ 30.000.000,00	\$ 221.000.000,00
0	5.	Materiales, insumos y documentación		\$ -	\$ -	\$ 235.843.680,00	\$ 235.843.680,00
0	6.	Protección de conocimiento y divulgación	\$ 25.000.000,00	\$ -	\$ 5.000.000,00	\$ 30.000.000,00	\$ 60.000.000,00
0	7.	Gastos de viaje	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 331.740.000,00	\$ 331.740.000,00
0	8.	Infraestructura	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
0	9.	Administrativos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 56.489.310,24	\$ 56.489.310,24
1	0.	Interventoria	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 50.000.000,00	\$ 50.000.000,00
1	1.		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
		TOTAL	\$ 388.000.000,00	\$ 95.000.000,00	\$ 71.000.000,00	\$ 2.175.000.000,00	\$ 2.729.000.000,00
		TOTAL CONTRAPARTIDAS POR INSTITUCIÓN	\$ 483.000.000,00	\$ 71.000.000,00			

Tabla 4: Resumen Presupuesto

SGR Sistema General de Regalías

Regalías para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación

Nombre o Título del Programa o Proyecto: **APROVECHAMIENTO DE RECURSOS MINEROS - ENERGETICOS Y GENERACIÓN DE UN MODELO DE PLANEACIÓN PARA LA PROSPECCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE MINERALES ESTRATEGICOS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ**

Ejecutor: Secretaría de Minas y Energía de Boyacá

Valor: \$2.729.000.000

Duración del Proyecto: Desde MES 1 Hasta MES 24

Periodo de Ejecución: Desde MES 1 Hasta MES 24

Desembolso	Fecha Estimada de solicitud	Periodo de Cobertura		Valor
		Desde	Hasta	Giro Sistema General de Regalías
\$ 1.698.417.872,88	PRIMER MES DE EJECUCIÓN	Mes 1	Mes 12	\$ 1.698.417.872,88
\$ 377.167.242,08	NOVENO MES DE EJECUCIÓN	Mes 13	Mes 20	\$ 377.167.242,08
\$ 99.414.885,04	VIGÉSIMO QUINTO MES DE EJECUCIÓN	Mes 21	Mes 24	\$ 99.414.885,04
\$ 2.175.000.000,00				\$ 2.175.000.000,00

Tabla 5. Programación de desembolsos

DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS TECNOLÓGICOS Y PRUEBAS

SERVICIOS TECNOLÓGICOS Y PRUEBAS	JUSTIFICACIÓN	COSTO	FUENTES			
			CONTRAPARTIDA		SGR	TOTAL
			UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	Especie		
Difracción de Rayos X - DRX	Análisis Cristalográfico requerido en la caracterización de los minerales.	\$ 54.250.000,00	\$ 54.250.000,00	\$ -	\$ -	\$ 54.250.000,00
Fluorescencia de Rayos X	Análisis Composicional, importante para el cumplimiento de los objetivos del proyecto	\$ 46.250.000,00	\$ 46.250.000,00	\$ -	\$ -	\$ 46.250.000,00
Análisis Térmico (DSC-DTA-TGA)	Caracterización Térmica de Minerales requerida para el estudio de la evolución de las propiedades de una muestra o compuesto.	\$ 54.250.000,00	\$ 54.250.000,00	\$ -	\$ -	\$ 54.250.000,00
Análisis Petrográfico	Caracterización Microestructural de las muestras a través de una descripción científica y clasificación sistemática de las rocas.	\$ 20.000.000,00	\$ -	\$ -	\$ 20.000.000,00	\$ 20.000.000,00
Microscopía Electrónica de Transmisión - TEM	Análisis de Películas de Minerales	\$ 10.000.000,00	\$ -	\$ -	\$ 10.000.000,00	\$ 10.000.000,00
Análisis Químico	Análisis Químico de Minerales	\$ 36.250.000,00	\$ 36.250.000,00	\$ -	\$ -	\$ 36.250.000,00
TOTAL		\$ 221.000.000,00	\$ 191.000.000,00	\$ -	\$ 30.000.000,00	\$ 221.000.000,00

Tabla 6. Descripción y cuantificación de los servicios tecnológicos y pruebas

SGR Sistema General de Regalías

Regalías para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación

DESCRIPCIÓN DE MATERIALES, INSUMOS Y DOCUMENTACIÓN

DESCRIPCIÓN DE MATERIALES, INSUMOS Y DOCUMENTACIÓN

MATERIALES, INSUMOS Y DOCUMENTACION	JUSTIFICACIÓN	TOTAL	FUENTES			
			CONTRAPARTIDA		SGR	TOTAL
			UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA			
			Especie	Efectivo	Efectivo	
			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Reactivos Químicos	Reactantes necesarios para los procesos de caracterización química.	36.416.000,00		\$ -	\$ 36.416.000,00	\$ 36.416.000,00
Crisoles de Alúmina	Usado en la realización del análisis Composicional	15.200.000,00		\$ -	\$ 15.200.000,00	\$ 15.200.000,00
Materiales de preparación de muestras: (WAFERING BLADE 4" X0,012"X1/2", Disco Diamante de corte, seguetas, paños de pulido final NANO 2000T, Probetas y frascos de muestras, etc.)	Requeridos en la caracterización de los minerales.	174.227.680,00		\$ -	\$ 174.227.680,00	\$ 174.227.680,00
Varios	Otros análisis	\$ 10.000.000,00		\$ -	\$ 10.000.000,00	\$ 10.000.000,00
		\$ 235.843.680,00	\$ -	\$ -	\$ 235.843.680,00	\$ 235.843.680,00

Tabla 7. Presupuesto Materiales e Insumo

7. TIEMPO DE EJECUCION

El tiempo para la ejecución del proyecto será de veinticuatro (24) meses contados a partir de la firma del contrato y desembolso del dinero.

8. GRUPOS DE INVESTIGACIÓN RECONOCIDOS POR COLCIENCIAS

“Se define grupo de investigación científica o tecnológica como el conjunto de personas que se reúnen para realizar investigación en una temática dada, formulan uno o varios problemas de su interés, trazan un plan estratégico de largo o mediano plazo para trabajar en él y producir unos resultados de conocimiento sobre el tema cuestión. Un grupo existe siempre y cuando demuestre producción de resultados tangibles y verificables, fruto de proyectos y otras actividades de investigación convenientemente expresadas en un plan de acción (proyectos) debidamente formalizado”. Colciencias.

GRUPOS DE INVESTIGACIÓN RECONOCIDOS POR COLCIENCIAS		
Código	00000000001940	GRUPO DE SUPERFICIES ELECTROQUÍMICA Y CORROSIÓN http://201.234.78.173:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000001940
Código	00000000001944	GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES SIDERÚRGICOS http://201.234.78.173:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000001944
Código	00000000004182	INTEGRIDAD Y EVALUACION DE MATERIALES "GIEM" http://201.234.78.173:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000004182



ANEXOS

ANEXO 1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES											
FASES	ACTIVIDADES	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10
I	Fase I. Recopilación y evaluación de la información.										
II	Fase II. Caracterización de los minerales estratégicos a nivel de laboratorio.										
III	Fase III. Construcción de una metodología y herramienta sistémica geo-referenciada en función de aspectos sociales, ambientales y científicos de los minerales para su prospección y explotación.										
IV	Fase V. Definición de las aplicaciones industriales a partir de la información de la herramienta geo-referenciada y su socialización.										

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES											
FASES	ACTIVIDADES	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 15	MES 16	MES 17	MES 18	MES 19	MES 20
I	Recopilación y evaluación de la información.										
II	Fase II. Caracterización de los minerales estratégicos a nivel de laboratorio.					12					
III	Fase III. Construcción de una metodología y herramienta sistémica geo-referenciada en función de aspectos sociales, ambientales y científicos de los minerales para su prospección y explotación.										14
IV	Definición de las aplicaciones industriales a partir de la información del mapa minero del departamento de Boyacá.										14

FASES	ACTIVIDADES	MES 21	MES 22	MES 23	MES 24
IV	Definición de las aplicaciones industriales a partir de la información del mapa minero del departamento de Boyacá.				

ANEXO 2 DESCRIPCIONES

ÍTEMS	DESCRIPCIÓN	JUSTIFICACIÓN	INDICADOR VERIFICABLE
PERSONAL	Personal que acompañará al proyecto según el avance de las actividades presentes en cada una de las fases, en los tiempos de 12, 18 y 24 meses	Requerido para la viabilidad del proyecto, de caracterización de los minerales existentes en el departamento de Boyacá, evaluación de la información, desarrollo del modelo, consolidación y elaboración del mapa minero y administración y definición de las aplicaciones industriales.	Un documento de prospección primaria. Un mapa minero. Un modelo de planeación en función de las consecuencias y el factor de impacto de prospección y explotación. Informes de laboratorio. Socialización del modelo de planeación.
EQUIPOS	Microscopio Electrónico de Barrido - SEM	Instrumento requerido para la observación y caracterización de materiales, obteniendo como resultado información morfológica del material analizado.	1 Microscopio
	GPS Submétricos: Colector de datos con precisión submétrica en tiempo real, características: <ul style="list-style-type: none"> • SBAS integrado1 • Soporte para corrección RTCM en tiempo real • Soporte para los protocolos NMEA y TSIP • Tecnología EVEREST para el rechazo de trayectoria múltiple (útil en ambientes de vegetación densa, cañones, 	Colector de datos de ubicación de alta precisión, necesarios en la elaboración Sistema de Información Geográfica.	3 GPS

	<p>etc.)</p> <p>Computadores con Windows 7 Ultimate, Enterprise, Professional, Home Premium (32 y 64 bits (EM64T)) Aceleración de gráficos en 3D, velocidad de CPU de 2,2 GHz como mínimo o superior; se recomienda Hyper-threading (HHT) o multinúcleo, Procesador Core i3 o superior, Memoria/RAM superior a 2GB, Resolución de pantalla 1024 x 768 o superior, Espacio de intercambio 500 MB mínimo, Espacio en disco en 2.4 GB, Adaptador de video/ gráficos: 256 MB de RAM o más. Se admiten chipsets NVIDIA, ATI e INTEL</p>	<p>Requeridos en la consolidación de la información geo-referenciada - y geo-base de datos para la prospección y explotación de minerales estratégicos del departamento de Boyacá.</p>	<p>3 Computadores</p>
ENSAYOS DE LABORATORIO	<p>A partir de las diferentes técnicas de caracterización a nivel de laboratorio, tales como, Análisis petrográfico, análisis químico, Difracción de Rayos X - DRX, Microscopía Electrónica de Transmisión - TEM, Análisis Térmico (TGA, DSC y DTA), entre otros, se caracterizarán las diferentes muestras de minerales recopiladas en campo.</p>	<p>La caracterización tendrá como objetivo determinar la composición, morfología y propiedades de los diferentes minerales de estudio.</p>	<p>Informes de laboratorio</p>
SOTFWARE	<p>ARGIS: Conjunto de software para visualizar, crear, manipular y gestionar información geográfica.</p>	<p>Construcción de los mapas dinámicos e inteligentes que permiten visualizar los patrones, tendencias y singularidades en los datos.</p>	<p>NÚMERO SE SOFTWARE</p>

MATERIALES E INSUMOS		Reactivos químicos	Reactantes necesarios para los procesos de caracterización química.	Informes de laboratorio
		Crisoles de Alúmina	Crisoles necesarios en la caracterización de las muestras de laboratorio.	
		Materiales de preparación de muestras	Todos aquellos requeridos en la caracterización, como probetas, tubos de ensayo, discos de corte, secadora, lijas, frascos y bolsas ziploc para muestras.	
SALIDAS DE CAMPO		Actividades dirigidas a la recopilación de las muestras que serán objeto de caracterización en laboratorio.	Indispensables para la Caracterización de los minerales estratégicos a nivel de laboratorio.	Un documento de prospección primaria. Un mapa minero. Informes de laboratorio.
PARTICIPACIÓN EN EVENTOS	EVENTOS NACIONALES (2)	Comunicación con la comunidad académica y científica nacional y el sector industrial, cuyo objetivo es socializar y divulgar los procesos y resultados de las actividades del proyecto.	Es importante dar a conocer los resultados obtenidos.	2 Artículos – 1 Libro Técnico
	EVENTOS INTERNACIONALES (2)	Comunicación con la comunidad académica y científica internacional, cuyo objetivo es socializar y divulgar los procesos y resultados de las actividades del proyecto.	Es importante dar a conocer los resultados obtenidos.	2 Artículos

GRUPOS DE INVESTIGACIÓN RECONOCIDOS POR COLCIENCIAS		
Código	00000000001940	GRUPO DE SUPERFICIES ELECTROQUÍMICA Y CORROSIÓN http://201.234.78.173:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000001940
Código	00000000001944	GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES SIDERÚRGICOS http://201.234.78.173:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000001944
Código	00000000004182	INTEGRIDAD Y EVALUACION DE MATERIALES "GIEM" http://201.234.78.173:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000004182

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Secretaría de Minas y Energía Gobernación de Boyacá, Departamento de Boyacá (2010)
- [2] DANE, Informe de Coyuntura Económica Regional. ISSN 1794-3582 (2010)
- [3] Defensoría del Pueblo Colombia, La Minería de hecho en Colombia (2010)
- [4] Ministerio de Minas y Energía, Anuario Estadístico Minero Colombiano (2010)
- [5] G.F. Fajardo, Documento de la Secretaría de Minas y Energía de Boyacá (2008)
- [5] DANE, Informe de Coyuntura Económica Regional (2005)
- [6] Gobernación de Boyacá, División Política y Convenciones Mineras