

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Posgrados

**Diseño de una infraestructura de datos espaciales y su
aplicación a la gestión de proyectos de exploración aurífera en el
departamento de Antioquia - Colombia**

José Julián Ordoñez Zambrano

Richard Resl, Ph.D.(c), Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Magister en Sistemas de Información Geográfica

Quito, enero de 2015

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Posgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Diseño de una Infraestructura de Datos Espaciales y su Aplicación a la Gestión de Proyectos de Exploración Aurífera en el Departamento de Antioquia –Colombia

José Julián Ordoñez Zambrano

Richard Resl, Ph.D.(c)
Director de Tesis

Antón Eitzinger, MSc.
Miembro del Comité de Tesis

Richard Resl, Ph.D.(c)
Director de la Maestría en Sistemas de Información Geográfica

Stella de la Torre, Ph.D.
Decana del Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

Víctor Viteri Breedy, Ph.D.
Decano del Colegio de Posgrados

Quito, enero de 2015

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

José Julián Ordoñez Zambrano

C. I.: 98.397.459 de Pasto, Colombia.

Quito, enero de 2015

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por darme la oportunidad de cursar estos estudios que serán bases para un desarrollo profesional, a mi esposa ALBITA, quien con su ayuda, paciencia y motivación me permitieron culminar exitosamente este esfuerzo.

A mis padres y hermanos, los cuales siempre me han apoyado en este maravilloso mundo del saber de las ciencias de la tierra.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la Institución UNIGIS, por permitirme cursar este postgrado en su entidad, a todos los profesores y área administrativas que aun desde la distancia sentí su apoyo siempre.

RESUMEN

El desarrollo la minería aurífera en Colombia depende en gran medida de encontrar nuevos proyectos exitosos en su fase de Exploración. Si bien es cierto que existe una gran cantidad de información disponible proveniente de entidades oficiales y de la empresa privada, no se tiene un conocimiento de la existencia de modelos sistémicos que permitan realizar una planeación que integre la información geológica y se logre generar una información procesada a la hora de tomar decisiones de acuerdos a unas variables cuantificadas con criterios establecidos previamente.

Este trabajo pretende desarrollar una metodología piloto para identificar áreas favorables en la búsqueda y prospección de nuevos depósitos minerales, mediante el análisis espacial de datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG). La información base utilizada es la cartográfica geológico-minera regional, geoquímica, geofísica y temática especializada generada por entidades estatales y privadas de la zona limítrofe entre los municipios de Segovia, Departamento de Antioquia, Colombia.

La principal característica de esta metodología es la Integración de datos, dado que información no está recopilada y procesada bajo criterios e indicadores que permitan tomar alguna decisión respecto de la misma. La integración consiste en recopilar en un modelo único de planeación, los datos que son representativos de información geológica para su posterior interrelación de acuerdo a variables definidas previamente, que de acuerdo al concepto técnico geológico son relevantes y/o aportan criterios determinantes para tomar una decisión sobre si un área es potencialmente atractiva para iniciar una fase de Exploración aurífera.

Los resultados al desarrollar esta metodología han demostrado la capacidad de generar áreas de interés, a través de este modelo se tiene la posibilidad de consultar información organizada en la cual se podrá visualizar ciertos criterios básicos a la hora de definir una área como factible para un proceso de exploración, ratificando siempre los contenidos en las área objeto de estudio, dado que aun hoy la información digitalizada es escasa. Dicha metodología que puede ser empleada a favor para otras áreas de estudio en Colombia.

ABSTRACT

The development of gold mining in Colombia depends heavily on finding new successful projects in its Exploration phase. While there is a wealth of information available from government agencies and private enterprise, it has no knowledge of the existence of systemic models to make a planning that integrates geological information and is able to generate information processed when making decisions about agreements quantified variables previously established criteria.

This work aims to develop a pilot methodology to identify favorable areas in search and prospecting for new mineral deposits, using the spatial analysis of data in a Geographic Information System (GIS). The base information used is the regional geological mining mapping, geochemistry, geophysics and specialized themes generated by government and private entities of the border between the municipalities of Segovia, Department of Antioquia, Colombia.

The main feature of this methodology is the integration of data, since no information is collected and processed under criteria and indicators to take any decision on it. The integration is to collect in a single model of planning, data that are representative of geological information for later interrelationship according to previously defined variables, which according to the geological technical concept are relevant and / or provide determining criteria to decide whether an area is potentially attractive to start a gold exploration phase.

The results in developing this methodology have demonstrated the ability to generate areas of interest through this model has the ability to query information organized in which you can display certain basic criteria when defining an area as possible for a process exploration, always confirming the contents in the study area, since even today digitized information is scarce. This methodology can be used for other areas of study in Colombia.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 7 |
| ABSTRACT | 8 |
| GLOSARIO..... | 16 |
| INTRODUCCION | 19 |
| 1. OBJETIVOS | 21 |
| 1.1 Objetivo general..... | 21 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 21 |
| 1.3 Preguntas de Investigación..... | 22 |
| 2. HIPÓTESIS | 23 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 24 |
| 4. ALCANCE | 26 |
| 5. ANTECEDENTES | 27 |
| 5.1 Minería en Colombia y su Relación Aurífera en Antioquia..... | 27 |
| 5.1 .1 Conceptos Relacionados con la Minería | 27 |
| 5.1 1.1 Prospección de Minas | 27 |
| 5.2 Órganos de control minero en Colombia | 28 |
| 5.2.1 Ministerio de Minas y Energía | 28 |
| 5.2.2 Servicio Geológico Colombiano - SGC | 28 |
| 5.2.3 Unidad de Planeación Minero Energética UPME..... | 28 |
| 5.3 Riqueza Aurífera de Antioquia | 29 |
| 5.4 Exploración Aurífera en Antioquia | 30 |
| 5.5 Recopilación de los datos fuentes de Información | 31 |
| 6. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 33 |
| 6.1 Modelo de datos..... | 33 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.1.1 | Características de un modelo de datos | 33 |
| 6.2 | Diseño de bases de datos..... | 33 |
| 6.2.1 | Diseño conceptual | 34 |
| 6.2.2 | Diseño lógico | 34 |
| 6.2.3 | Diseño físico | 34 |
| 6.3 | Algunos modelos de datos | 35 |
| 6.3.1 | Modelo relacional..... | 35 |
| 6.3.2 | Modelo de red..... | 36 |
| 6.3.3 | Modelo jerárquico | 36 |
| 6.3.4 | Modelo entidad-relación | 36 |
| 6.3.5 | Modelo objeto-relacional..... | 36 |
| 6.3.6 | Modelo orientado a objetos | 36 |
| 6.4 | Bases de datos geográficas | 37 |
| 6.5 | Modelo de datos en SIG..... | 39 |
| 6.5.1 | Modelo de objetos | 40 |
| 6.5.2 | Modelo de campo | 41 |
| 6.6 | Las tres generaciones de modelos geográficos | 44 |
| 6.6.1 | Modelo CAD | 44 |
| 6.6.2 | Modelo Coverage | 44 |
| 6.6.3 | Modelo Geodatabase | 44 |
| 6.7 | Las tres etapas secuenciales del modelado..... | 45 |
| 6.7.1 | Modelo Conceptual..... | 45 |
| 6.7.2 | Modelo Lógico | 45 |
| 6.7.3 | Modelo Físico | 46 |
| 6.8 | Modelo de datos geodatabase en ArcGIS..... | 46 |

| | | |
|--------|--|----|
| 6.9 | Otros componentes de la Geodatabase en Arcgis | 49 |
| 6.9.1 | Subtipos..... | 49 |
| 6.9.2 | Dominios..... | 49 |
| 6.9.3 | Topología..... | 49 |
| 6.10 | Tres niveles escalables de las geodatabase..... | 50 |
| 6.10.1 | Geodatabase corporativa | 50 |
| 6.10.2 | Geodatabase para grupos de trabajo..... | 50 |
| 6.10.3 | Geodatabase personal | 51 |
| 6.11 | Componentes del SIG en un Sistema de Información Espacial..... | 51 |
| 7. | METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES..... | 52 |
| 7.1 | Selección de estudio de caso | 54 |
| 7.2 | Análisis de Requerimientos para el desarrollo de la Infraestructura de datos . | 54 |
| 7.3 | Diseño de la Infraestructura de datos | 56 |
| 7.4 | Método de integración y adecuación de datos Espaciales | 58 |
| 8. | RESULTADOS | 63 |
| 8.1 | Infraestructura de datos espaciales para la exploración de recursos acuíferos .. | 63 |
| 8.2 | Funcionalidad del Sistema de Información Geográfica..... | 67 |
| 8.3 | Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) dentro del SIG..... | 70 |
| 8.3.1 | Metodología, desarrollo del PAJ..... | 70 |
| 8.3.2 | Desarrollo del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) | 71 |
| 8.3.3 | Generación de procesos del PAJ con el SIG | 75 |
| 11. | CONCLUSIONES..... | 82 |
| 12. | RECOMENDACIONES | 84 |
| 13. | BIBLIOGRAFÍA | 85 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Producción de Oro y Plata en el Departamento de Antioquia al primer trimestre, 2011-2012 | 29 |
| Tabla 2. Concentración de Actividad Minera en Antioquia | 31 |
| Tabla 3. Estructura de Recopilación de Datos | 57 |
| Tabla 4. Principales Capas del Proyecto SIG..... | 62 |
| Tabla 5. Grupo de Objetos de Cartografía | 64 |
| Tabla 6. Grupo de Objetos de Perforación..... | 64 |
| Tabla 7. Grupo de Objetos de Geoquímica..... | 65 |
| Tabla 8. Grupo de Objetos de Geología Regional..... | 65 |
| Tabla 9. Grupo de Objetos de Ambiental | 66 |
| Tabla 10. Grupo de Objetos de Geología Local | 66 |
| Tabla 11. Grupo de Objetos de Minería | 67 |
| Tabla 12. Base de Datos Geológicos de la Zona de Estudio en General..... | 68 |
| Tabla 13. Atributos y Prioridad de las Capas Espaciales en la Zona de Estudio | 72 |
| Tabla 14. Escala de Preferencias para Valorar la Importancia de los Atributos..... | 74 |
| Tabla 15. Resultados de la Matriz Calculada por Comparaciones Pareadas..... | 75 |
| Tabla 16. Definición del Peso de los Atributos | 76 |
| Tabla 17. Rango Establecidos para la Variable Au.. | 81 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 1. Componentes de la Geodatabase..... | 48 |
| Figura 2. Flujo grama de la Metodología Establecida | 53 |
| <i>Figura 3. Localización del Departamento de Antioquia</i> | <i>55</i> |
| Figura 4. Interacción de los Componentes en un SIG, dentro de la Exploración de Datos..... | 59 |
| Figura 5. Superposición de las Capas de Información | 61 |
| Figura 6. Estructura de la Geodatabase..... | 63 |
| Figura 7. Representación Esquemática de los Contactos y su Tabla de Atributos Interrelacionados..... | 69 |
| Figura 8. Diagrama de Flujo del Modelo PAJ para el Mapeo de Áreas Prospectivas | 70 |

LISTA DE MAPAS

| | |
|---|----|
| Mapa 1. Mapa Geológico Elaborado a partir de los Pesos de Importancia en la Zona de Estudio. | 77 |
| Mapa 2. Zonas de Alteración del Área de Estudio | 78 |
| Mapa 3. Mapa de vetas elaborado a partir de los pesos relativos de la zona de estudio | 79 |
| Mapa 4. Mapa de Estructuras del Área de Estudio | 80 |

Anexos

| | | | | | |
|--------------|-----------|-------------------|------------|----------------|-----------------|
| Anexo | 1. | ESTRUCTURA | DEL | INFORME | NI43-101 |
|--------------|-----------|-------------------|------------|----------------|-----------------|

GLOSARIO

1. **Base de datos geográficos:** Es una representación o modelo de la realidad territorial. Colección de datos espaciales y datos descriptivos organizados para un eficiente almacenamiento y recuperación por parte de los usuarios. Contiene datos sobre posición, atributos descriptivos, relaciones espaciales y tiempo de las entidades geográficas, las cuales son representadas mediante el uso de puntos, líneas, polígonos y volúmenes.
2. **Buffer:** Un área de almacenamiento temporal reservada para el uso en las operaciones de entrada-salida dentro de la cual los datos son leídos, o dentro de la cual los datos son escritos.
3. **Capa de información, (Layers):** Conjunto de datos espaciales asociados lógicamente en función de un contenido temático común. Representación geográfica a modo de cobertura (Coverage). Los componentes principales de un layers son: título (title), resolución (resolution), orientación (orientation) y zonas (zones).
4. **Cartografía:** Conjunto de técnicas utilizadas para la construcción de mapas.
5. **Datos base:** Mapas donde se ubica la información.
6. **Estructura de datos:** Organización de datos simples (tipos de datos) representable directamente por un ordenador (en árboles, listas).
7. **Geología Regional:** Geología de un territorio relativamente grande, elaborada desde cualquier punto de vista geológico, aunque principalmente referida a la distribución de las unidades estratigráficas y las estructuras que las afectan.

8. **Geoquímica:** La geoquímica es una especialidad de las ciencias naturales, que sobre la base de la geología y de la química estudia la composición y dinámica de los elementos químicos en la Tierra, determinando la abundancia absoluta y relativa, distribución y migración de los elementos entre las diferentes partes que conforman la Tierra.

9. **Integración de la Data:** En el contexto de la informática, un almacén de datos es una colección de datos orientada a un determinado ámbito (empresa, organización, etc.), integrado, no volátil y variable en el tiempo, que ayuda a la toma de decisiones en la entidad en la que se utiliza.

10. **Los reportes NI-43-101:** son realizados por consultores externos a las compañías mineras y contienen información sobre aspectos relacionados con el espacio de exploración como son los siguientes: la propiedad de la tierra, la tenencia de la tierra, licencias de minerales, regalías y otros gravámenes, información sobre el clima, accesibilidad, recursos locales, infraestructura, fisiografía, datos históricos de perforación y exploración, aspectos geológicos a nivel regional y local, entre otros.

11. **Mapa Base:** Mapa que contiene cierta cantidad de información, generalmente topográfica, utilizable para para hacer referencia a localizaciones de otros elementos.

12. **Modelamiento Geológico:** Consiste en la representación bidimensional o tridimensional de un volumen de rocas este puede representar la litología, mineralización, alteración u otro tipo de característica geológica del macizo rocoso.

13. **Objeto:** En base de datos, fenómeno caracterizado por un conjunto de atributos.

14. **Perforación (Sondeos):** Perforación de pequeño diámetro que se realiza en el suelo del terreno con objeto de localizar yacimientos minerales, de hidrocarburos, niveles freáticos, acuíferos, etc.
15. **Prospección Geológica:** Prospección que tiene como objeto la apreciación de posibilidad de aprovechamiento de materias minerales útiles.
16. **Proyecto Minero:** El proceso de minería involucra diferentes etapas las cuales son llevadas a cabo para desarrollar un proyecto minero, dentro de estas etapas se encuentran; la búsqueda y estimación de recursos, proyecto (pre factibilidad, factibilidad, ingeniería de detalles), obras, desarrollo minero o explotación (arranque y manejo de materiales), procesamiento y comercialización.
17. **Sistema de Información Geográfica:** Sistema de gestión de bases de datos (SGBD) con herramientas específicas para el manejo de información espacial y sus propiedades los tipos de propiedades que un SIG debe poder analizar tanto independiente como conjuntamente son tres: métricas, topológicas y atributivas.
18. **Yacimiento Aurífero:** Los yacimientos minerales auríferos, son cuerpos geológicos mineralizados, de los cuales podemos extraer en forma rentable el oro, el mismo que se encuentra, por lo general, como un metal nativo, formando aleaciones con el cobre, la plata, el osmio, el indio y otros elementos, en diferentes proporciones.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la minería representa una actividad productiva creciente de gran importancia para las finanzas regionales y locales. Colombia ha sido un importante productor de oro desde hace ya varios siglos y es la inversión extranjera la que ha jugado un papel preponderante en el resurgir de esta actividad en el país, precisamente dicha inversión ha traído al país las metodologías de planeación minera más efectivas que se desarrollan en otros lugares con el fin de garantizar que los impactos en todas las fases del desarrollo minero sean mínimos, al igual que garantice los menores riesgos en la inversión.

El desarrollo minero consta de varias etapas cada una de ellas excluyentes en el avance hacia un desarrollo exitoso, ahora preciso se estudiará la fase de Exploración, tarea que tiene como objetivo obtener información sobre el mineral al menor gasto financiero. Con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica se proporcionará información que permita relacionar aspectos tales como las concentraciones y anomalías de mineral a través de la información geológica, perforaciones, densidad de perforaciones y muestreo permitiendo la elaboración de mapas que interrelacionen estas variables, estos mapas se alimentará con una base de datos que se generé y que depende de la información suministrada por las diferentes empresas de exploración que han trabajado en el Departamento de Antioquia; siendo una herramienta ideal para realizar trabajo en equipos multidisciplinarios.

En vista de la favorable coyuntura histórica, los Sistemas de Información Geográfica fusionan variables en donde es necesario tener un plan común de gestión de proyecto, almacenar datos de terreno, depurarlos y obtener datos finales para finalizar con ponencias sobre posibles desarrollos mineros para el caso de estudio auríferos de gran impacto económico.

La mayoría de empresas que trabajan en la realización de proyectos de exploración minera requieren de información alfanumérica y geográfica las cuales gestionan a

través de diversas fuentes o a través de información generada por ellas mismas, desde estas bases se tienen resultados los cuales son articulados al SIG, y que posteriormente con ellos se pueden permitir la toma de decisiones con mayor certeza y por ende realizar un trabajo de exploración más eficaz.

Las fuentes de donde proviene parte de la información geográfica y alfanumérica corresponden a los reportes técnicos de los NI43-101 que realizan las empresas privadas de carácter multinacional, además de entidades estatales o municipales que generen información geográfica que sirvan para el desarrollo de cualquier proyecto.

Considerando que existe información cartográfica básica disponible en un banco de datos digital de origen Estatal o Privado, se genera un interés por lograr vincular un gran volumen de información georreferenciada sobreponiendo las diferentes capas o mapas temáticos geológico-mineros disponibles, con el fin de hacer una interpretación de los datos obtenidos de campo procesados en las zonas que han sido cubiertas por parte de información SIG y de esta manera contextualizar el modelo geológico de una zona de estudio con unidades similares, con el fin de desarrollar un modelo geológico conceptual que resulte de gran utilidad para la interpretación y definición de áreas de interés exploratorio, que se pueda utilizar también en áreas de similares características.

De acuerdo a lo expuesto, este trabajo pretende realizar un análisis de los diferentes parámetros geológicos que las compañías utilizan para realizar la Exploración de recursos minerales en diferentes áreas, Para nuestro caso de estudio serán perforación, geoquímica, geológica local y regional, y muestreos.

La Infraestructura de datos espaciales que se construye permite organizar la información geológica de la región antioqueña con el fin de identificar zonas con un potencial aurífero relevante a través de un análisis multivariable desarrollando mapas geológicos que muestren la interrelación de las mismas, que permitan visualizar a los interesados posibles inversiones y justificación de proyectos de Exploración Aurífera en la región objeto de estudio.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Diseñar e implementar una Infraestructura de Datos Espaciales que permita la gestión de la información espacial e identificar áreas de interés para proyectos de Exploración Aurífera en el Departamento de Antioquia, en el cual se integre la información geoquímica, geológica, estructural y perforaciones las cuales son analizadas a través de los Sistema de Información Geográfica, sobreponiendo capas de información para su interpretación.

1.2 Objetivos específicos

1. Desarrollar una Infraestructura de Datos Espaciales que permita generar mapas que muestren áreas con un potencial aurífero atractivo, definido geográficamente a través de unas variables que den indicios para tomar la decisión de realizar una planeación para una fase de exploración y quizás la posible explotación de recursos minerales.
2. Definir variables geológicas, establecer su intervalo de valores en los cuales dichas variables influyen directamente en la decisión de considerar o descartar áreas además de mostrar su interrelación y su influencia en la toma de decisiones
3. Consolidar una información existente en varias fuentes en una base de datos Geodatabase, estableciendo los criterios de construcción para la información de datos espaciales.

1.3 Preguntas de Investigación

Utilizar las herramientas de las tecnologías de la información geográfica y aplicarlas a la etapa de la exploración, tendrá un impacto en la decisión de continuar o descartar posibles áreas de interés exploratorio. ?

Permitirá las tecnologías de la información geográfica a las empresas de exploración disminuir los costos de eventuales campañas exploratorias con la información adquirida a través de estos sistemas de información. ?

Un Sistema de Información de Geográfica puede definir con mayor facilidad áreas específicas de interés exploratorio y priorizarlas. ?

Con la existencia de una IDE, ayudaría en el manejo y nueva generación de información espacial necesaria para las diferentes etapas de interés exploratorio?

2. HIPÓTESIS

¿Utilizar las herramientas de tecnologías de la información geográfica y aplicarlas a la Geología que define la Exploración Aurífera puede impactar positivamente la toma de decisión en función de definir si existen áreas con potencial aurífero atractivo para un inversionista donde los costos se minimicen?

Si se emplea una herramienta que nos sirva para la gestión, manipulación y análisis de grandes volúmenes de datos estadísticos, espaciales o no espaciales con la cual se pueda generar nueva información flexible, versátil que pueda mapearse y luego crear informes con el fin de tomar mejores decisiones, se contribuirá al desarrollo de diversos proyectos auríferos de exploración.

3. JUSTIFICACIÓN

Con el presente trabajo se pretende que empresas y compañías nacionales e internacionales, con capital estatal o privado, presentes en el territorio colombiano o que deseen invertir en exploración de los recursos del subsuelo, consulten el Modelo de Gestión. Este les brindará una cantidad de información espacial y no espacial.

Se busca que la información que se produzca pueda consolidarse como un patrimonio que contribuya al desarrollo de las zonas con potencial minero de Colombia, por medio de información estructurada que permita contribuir al desarrollo social, ambiental, económico y político de las regiones.

Una buena forma de presentar la información del modelo es mediante el apoyo de mapas bajo soporte digital que contengan información geológica – minera en un compendio de informaciones alfanuméricas y cartográficas de diversa procedencia, enormemente dependiente de su posición en el terreno.

Aunque la geología tiene difícil encuadre en una fórmula matemática, los medios y herramientas actuales permiten la toma de decisiones en planificación y gestión alejándolos de la improvisación y teniendo en cuenta muchas de las variables que afectan a cada metro cuadrado el territorio objeto de estudio.

Es imprescindible para la planificación y gestión, que toda esta información relativa a proyectos de exploración o zonas donde se tenga información geológica-minera, esté disponible para hacer estudios y comparaciones con los diversos indicadores potenciales de zonas donde exista evidencias de recursos minerales con las zonas que se tengan eventualidad de ellas: tipo de roca, mineralogía, análisis de roca,

muestreo, alteración. Esto con el fin de ordenar y sistematizar zonas equivalentes donde posiblemente pueda realizarse zonas homogéneas.

Con algunas excepciones, las organizaciones e instituciones que manejan información geológico – minera con el fin de explorar en Colombia han gestionado sus datos e información aplicando sus propios procesos, atendiendo a sus particularidades y no se han aplicado procesos unificados y coherentes que consideren la gestión de manera integral y con visiones de largo plazo. Esta ausencia puede llevar a un desorden que se hace aún más caótico con el uso de las herramientas tecnológicas, las cuales le dan a las organizaciones empresariales e instituciones una gran capacidad de transformación de los datos y de mecanismos de acceso.

Por lo mencionado se espera que la ANM (Agencia Nacional de Minería) realice acciones institucionales que ayuden a ordenar la planeación, captura, producción, administración, difusión, promoción, acceso y uso de la información geológico – minera.

4. ALCANCE

El alcance de este trabajo es permitir realizar un análisis de información y hacer una mayor integración de una serie de datos geocientíficos como son los geológicos, geoquímicos, estructurales y de perforaciones que de acuerdo a sus características permiten determinar si un área geográfica puede o no tener la posibilidad de albergar una mineralización aurífera, dicha integración permite usar de forma estratégica más datos con menores recursos y así respaldar decisiones comerciales.

Dicho estudio pretende llegar al sector de empresas exploradoras jóvenes donde su interés de focalizar ahorros de fondos ha conducido a una aplicación de la tecnología más inteligente, la cual permite generar interpretaciones integradas en un solo lugar (Geología, y Geoquímica), para centrar los proyectos, mejorar la efectividad y minimizar el riesgo antes de tomar decisiones de avanzar en el desarrollo de todas las fases de Exploración.

5. ANTECEDENTES

5.1 Minería en Colombia y su Relación Aurífera en Antioquia

5.1 .1 Conceptos Relacionados con la Minería

5.1 1.1 Prospección de Minas

Es un proceso para investigar la existencia de minerales delimitando zonas que pueden ofrecer alguna posibilidad minera. Algunos métodos utilizados son por ejemplo la identificación de afloramientos, la cartografía geológica, los estudios geofísicos y geoquímicos y la investigación superficial, en áreas no sujetas a derecho exclusivo. Los métodos del subsuelo se excluyen del proceso de prospección (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

5.1.1 2 Yacimiento Descubierta

Un yacimiento es técnicamente descubierta cuando se ha establecido la existencia de una formación o depósito que contiene reservas probadas de uno o varios minerales de interés económico por medio de la aplicación de principios, reglas y métodos propios de la geología y la ingeniería de minas (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

5.1.1. 3 Contrato de Concesión

Se puede explorar y explotar minas de propiedad estatal por medio de un contrato de concesión minera. Estos contratos son inscritos en el Registro Minero Nacional. Los contratos se celebran entre el Estado y un particular para efectuar, por cuenta y riesgo del particular, los estudios, trabajos y obras de exploración de minerales de propiedad estatal que puedan encontrarse dentro de una zona determinada y para explotarlos en los términos y condiciones establecidos en el Código de Minas. (Ministerio de Minas y Energía, 2013).

5.2 Órganos de control minero en Colombia

5.2.1 Ministerio de Minas y Energía

Es la autoridad minera. Su función principal es formular políticas para el sector minero, expedir actos administrativos, reglamentar el Código de Minas, promover la actividad minera como sector productivo de la economía nacional, hacer la gestión del conocimiento minero, evaluar la efectividad de la política y administrar el recurso minero; ésta última la realiza mediante delegación de funciones en INGEOMINAS y algunas gobernaciones (Congreso de la República, 2010).

5.2.2 Servicio Geológico Colombiano - SGC

La anteriormente llamada Ingeominas, tiene la función de prestar el servicio geológico del país. Además, cumple funciones delegadas para la administración del recurso minero en el servicio minero. Algunas de esas funciones incluyen contratación y fiscalización en áreas diferentes a las que tienen las gobernaciones delegadas. Funciona en todo el territorio nacional. Otras funciones están relacionadas con el recaudo y distribución de regalías, administración del Catastro y Registro Minero Nacional, la implementación de los auditores mineros externos, entre otras (Congreso de la República, 2010).

5.2.3 Unidad de Planeación Minero Energética UPME

La Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, entidad adscrita al Ministerio de Minas y Energía, tiene como objetivo la planeación de los sectores minas y energía en forma integral, indicativa y permanente. Formula planes para el aprovechamiento de los recursos mineros y de esta manera poder garantizar el abastecimiento óptimo y oportuno de los recursos energéticos. Tiene funciones delegadas de administración del Sistema de Información Minero Colombiano, SIMCO y la fijación del precio base para liquidación de regalías.

5.3 Riqueza Aurífera de Antioquia

Antioquia siempre ha contado con ricos yacimientos de metales preciosos, motivo por lo cual la población de diferentes zonas se dedicó a la búsqueda de oro. Se puede calcular que las dos terceras partes del oro de Antioquia, provienen de los depósitos de aluvión y de las arenas de numerosos ríos y arroyos. La otra tercera parte es el producto de los filones y venillas que se encuentran en el granito, la sienita, la diorita, los pórfidos sienítico y feldespático y las pizarras micácea (en Anorí), talcosa (en Abejorral) y arcillosa. El oro de Antioquia se halla aleado con la plata, pero en proporciones tan variadas como no hay ejemplo en ningún otro país del mundo.

En la tabla 1, de acuerdo al Sistema de Información Minero colombiano (SIMCO), se puede observar que la producción consolidada de minerales preciosos en el departamento de Antioquia al finalizar el primer trimestre del año 2012, ascendió a 7.914 kilogramos, 26,9% superior al mismo periodo de 2011. La producción de oro alcanzó 5.453 kilogramos, lo que representó el 68,9% del total, indicando un incremento anual del 33,3%; en tanto, la producción de plata se incrementó en un 14,7% (Banco de la República, 2012). En su mayoría, el mineral (oro) provino de los municipios de: Tarazá, El Bagre, Cañasgordas, Nechí, Remedios, Zaragoza, Segovia, Caucasia y Angostura.

Tabla 1. Producción de Oro y Plata en el Departamento de Antioquia al primer trimestre, 2011-2012

| Metal | 2011(Kg) | 2012(Kg) | Var. (%) |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Oro | 4.090 | 5.453 | 33.3 |
| Plata | 2.145 | 2.461 | 14.7 |
| Total | 6.235 | 7.914 | 26.9 |

Fuente: Banco de la Republica, 2012

5.4 Exploración Aurífera en Antioquia

La exploración se realiza después de la prospección, y tiene un costo económico bastante alto. La metodología a utilizar resulta bastante más compleja. Esta es también una etapa sistemática, y se fundamenta en la información recolectada por la prospección. La exploración se encarga de verificar las hipótesis planteadas en la etapa de prospección (Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2013). Es necesario tener en cuenta que la información de exploración incluye datos de geología, geofísica, geoquímica, muestreo, perforaciones, trincheras, pruebas analíticas, ensayos, mineralogía y otra información similar relacionada a un depósito que han sido resultado de las actividades desarrolladas para localizar, investigar, definir o delinear un prospecto o un depósito mineral (Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2013).

Desde hace dos o tres años se viene evidenciando en el país un notable incremento en la actividad exploratoria, el cual es el resultado de varios factores exógenos que, sumados a la motivación que genera el nuevo código de minas, han llevado a los inversionistas mineros a poner sus ojos en Colombia. Los blancos de estas labores de exploración son principalmente oro, carbón, calizas, polimetálicos y materiales para la industria de la construcción (BIRD, 2008).

En Antioquia hay 1.664 hectáreas de manera informal y 1.530 con títulos. El 80 por ciento del territorio de Antioquia está en solicitud. Esto se hace de manera desproporcionada porque, aquí hay títulos de 40.000 hectáreas, sabiendo que en el mundo, la mina más grande de oro ocupa 165 hectáreas. De 1.500 solicitudes se puede materializar una.

Los proyectos mineros fueron sectorizados por ubicación geográfica y mayor cantidad de títulos mineros vigentes inscritos en el Registro Minero Nacional en el año 2010. En la tabla 2, se pueden observar los municipios con mayor concentración de actividad minera en el Departamento de Antioquia.

Tabla 2. Concentración de Actividad Minera en Antioquia

| Subregión | Municipio | Cantidad de Títulos |
|-----------------|-----------|---------------------|
| Nordeste | Remedios | 122 |
| | Segovia | 73 |
| | Zaragoza | 72 |
| | Amalfi | 33 |
| Bajo Cauca | El Bagre | 63 |
| | Nechí | 39 |
| Valle de Aburra | Bello | 38 |
| | Medellín | 34 |
| Oriente | Sonson | 37 |
| Suroeste | Amaga | 37 |
| | Titiribí | 37 |
| Otros | | 728 |
| Total | | 1313 |

Fuente. Ministerio de Minas y Energía.

5.5 Recopilación de los datos fuentes de Información

Para la industria minera en su totalidad le resulta muy difícil levantar capital en un mercado que trata de no tropezarse dos veces con la misma piedra. Dada a veces la precaria naturaleza de la exploración minera, los resultados de todo trabajo de exploración deben ser presentados a través de un mecanismo regulador diseñado para eliminar las malas interpretaciones y diseños de proyectos de exploración para lo cual la industria minera canadiense creó un informe estándar denominado NI43-101 (Instrumento Nacional Internacional; Norma de Información para compañías mineras).

Los estándares NI43-101 alcanzan o superan las regulaciones equivalentes en cualquier jurisdicción en el mundo y muchos analistas en inversión en los mercados europeos y americanos tienen una tendencia a no prestar atención a cualquier información que no haya sido armada bajo estos estándares. En resumen, el NI43-101 es un estándar global, por tal razón el contenido de estos informes que la

empresas deben presentar, será la base fuente de información para desarrollar este caso de estudio.

6. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1 Modelo de datos

La gestión de los datos implica la definición de estructuras para almacenar la información y la provisión de mecanismos para manipular la información. La importancia de la información en la mayoría de las organizaciones ha conducido al desarrollo de una gran cantidad de conceptos y técnicas para la gestión eficiente de los datos (Radilla, 2008). Un modelo de datos es una colección de herramientas conceptuales para describir los datos, las relaciones de los datos, la semántica de los datos y las relaciones de consistencia (Silberschatz, 1998).

6.1.1 Características de un modelo de datos

- Objetos. Son entidades que existen y se manipulan;
- Atributos. Son las características de los objetos;
- Relaciones. Forma en que se vinculan entre sí los distintos objetos. Los objetivos de un modelo de datos son:
 - Formalización. Consiste en definir las estructuras permitidas y las restricciones a fin de presentar los datos en un sistema de información;
 - Diseño. El modelo resultante es un elemento básico para el desarrollo de la metodología de diseño de la base de datos. (Silberschatz, 1998).

6.2 Diseño de bases de datos

Un aspecto fundamental del modelado es definir la forma lógica de la relación entre los datos procesados por el sistema. Por lo tanto, es necesario describir la estructura de una base de datos para definir su modelo de datos; esto implica integrar un grupo de herramientas conceptuales para describir los datos, sus relaciones, su semántica

y sus limitantes. De esta manera, el diseño de una base de datos se descompone en diseño conceptual, diseño lógico y diseño físico:

6.2.1 Diseño conceptual

Un esquema conceptual es una descripción de alto nivel de la estructura de la base de datos, independiente del DBMS (Data Base Management System) que se vaya a emplear para manipularla. Un modelo conceptual es un lenguaje que se utiliza para describir esquemas conceptuales. El objetivo del diseño conceptual es describir el contenido de la información de la base de datos y no las estructuras de almacenamiento que se necesitarán para manejar esta información. El diseño se realiza con base en las especificaciones de requerimientos de usuario.

6.2.2 Diseño lógico

Un esquema lógico es una descripción de la estructura de la base de datos, independientemente del DBMS que se vaya utilizar para manejarla. Un modelo lógico es el lenguaje usado para especificar esquemas lógicos (modelo relacional, modelo de red y modelo jerárquico). El diseño lógico depende del tipo de DBMS que se vaya a utilizar, y no del tipo de base de datos a diseñar. Este diseño proviene del esquema conceptual y da como resultado un esquema lógico el cual es una descripción de la estructura de la base de datos en términos de las estructuras de datos que puede procesar un tipo de DBMS.

6.2.3 Diseño físico

Es parte del esquema lógico y da como resultado un esquema físico. Un esquema físico es una descripción de la implementación de una base de datos en memoria secundaria: las estructuras de almacenamiento y los métodos utilizados para tener un acceso eficiente a los datos (Radilla, 2008). Los modelos conceptuales deben ser

buenas herramientas para representar la realidad, por lo que deben poseer las siguientes cualidades:

- **Expresividad:** deben tener suficientes conceptos para expresar perfectamente la realidad
- **Simplicidad:** deben ser simples para que los esquemas sean fáciles de entender.
- **Minimalidad:** cada concepto debe tener un significado distinto
- **Formalidad:** todos los conceptos deben tener una interpretación única, precisa y bien definida. (Radilla, 2008)

6.3 Algunos modelos de datos

Los modelos de datos más utilizados son el modelo relacional, el modelo de red y el modelo jerárquico, ya que han sido capaces de satisfacer con éxito las necesidades (en cuanto al diseño de bases de datos se refiere) de las aplicaciones de administración tradicionales.

6.3.1 Modelo relacional

Este modelo fue propuesto por el Dr. Edgar Frank Codd quien consideraba que los sistemas de base de datos deberían presentarse con los datos organizados en estructuras llamadas relaciones. Una relación es una tabla bidimensional integrada por filas (tupías) y columnas (atributos). Este modelo alcanza un alto grado de independencia de datos, pero puede perder cierta información semántica sobre el mundo real. (Quiroz, 2003)

6.3.2 Modelo de red

Representa datos y sus relaciones a través de diagramas que contienen registros y vínculos que constituyen las relaciones. Un registro contiene campos que se utilizan para guardar valores individuales que representan la información de la entidad del mundo real (Silberschatz, 1998).

6.3.3 Modelo jerárquico

Es un modelo similar al modelo de red ya que los datos y sus relaciones se representan por medio de registros y vínculos, respectivamente. La diferencia radica en que los registros están organizados como un conjunto de árboles (Silberschatz, 1998).

6.3.4 Modelo entidad-relación

En 1976, Peter Chen propuso el modelo entidad-relación, el cual adoptó una representación más natural del mundo real que contenía entidades, atributos de las entidades y las relaciones entre las entidades, incorporando la semántica de los datos en el modelo de datos (Mamfred, 2002).

6.3.5 Modelo objeto-relacional

A finales de la década de 1990, surgió el modelo “objeto-relacional” como una extensión del modelo entidad-relación. Considera los principios de herencia, abstracción, encapsulación, modularidad y constituye la base para la creación de bases de datos objeto-relacional (Grissa-Touzi, 2005).

6.3.6 Modelo orientado a objetos

El modelo de datos orientado a objetos es una extensión del paradigma de programación orientado a objetos. Los objetos de un programa orientado a objetos

son análogos a las entidades que se utilizan en las bases de datos orientadas a objetos con la diferencia de que los objetos desaparecen cuando el programa termina su ejecución, mientras que los objetos de la base de datos permanecen. A esto se le denomina persistencia (Marques, 2002).

6.4 Bases de datos geográficas

La construcción de una base de datos geográfica implica un proceso de abstracción para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada que pueda ser interpretada por las computadoras actuales. Este proceso de abstracción tiene diversos niveles y generalmente comienza con la concepción de la estructura de la base de datos, generalmente en capas temáticas: en esta fase y dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a procesar, se seleccionan las capas temáticas a incluir.

Al separar la información en diferentes capas temáticas, ésta es almacenada independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al programador la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos. Las bases de datos geográficas consisten de un conjunto de datos que se agrupan en capas, de manera que cada capa representa un tipo de información geográfica. Los SIG obtienen y procesan esta información obtenida de la base de datos para combinar esas capas en una sola imagen mostrando que las capas están relacionadas entre sí. Una base de datos geográfica puede incluir un gran número de capas. También, se pueden generar imágenes de un área en dos o tres dimensiones, representando elementos naturales (colinas o ríos) junto a elementos artificiales (carreteras, tendidos eléctricos, núcleos urbanos). En bases de datos geográfica la relación entre un objeto geográfico (topología) a un elemento de la realidad (ríos, carreteras, montañas) se reduce a cuestiones más sencillas como el saber cuáles líneas forman una determinada carretera (Bauzer, 1994).

Convertir los productos de información geográfica (cartas, reportes, estudios) de forma analógica a forma digital, implica la necesidad de considerar que los mecanismos de percepción y análisis de información digital difieren de los tradicionales. Los productos convertidos serán procesados por computadoras y aunque pueden ser visualizados en monitores, su análisis se realiza fundamentalmente por la combinación de métodos de análisis geométrico, métodos estadísticos y consultas de bases de datos (Bauzer, 1994)

Los datos que integran esta información se clasifican, de acuerdo con su naturaleza, en tres tipos: vectorial, raster y alfanuméricos. El tipo vectorial contiene los datos provenientes de las cartas que en diferentes escalas y temas se han producido; el tipo raster contiene la información de tipo imagen (imágenes tomadas por satélites y modelos digitales de elevación). El tipo alfanumérico comprende los datos tabulares y textuales (reportes de campo) (Bauzer, 1994).

Los datos geográficos tienen cuatro características principales:

- Posición geográfica (coordenadas)
- Atributos (valores de los datos)
- Relaciones topológicas
- Componentes de tiempo (Bauzer, 1994).

Una vez almacenadas en un SIG, estos datos se pueden clasificar en tres categorías principales:

- Datos convencionales: atributos alfanuméricos tradicionales, manipulados por DBMS convencionales.
- Datos espaciales: atributos que describen la geometría de fenómenos geográficos;
- Datos gráficos: atributos que almacenan imágenes (fotos) (Bauzer, 1994).

El rápido crecimiento de los SIG se ha traducido en un gran número de sistemas, cada uno de los cuales tiene su propio manejo de datos y almacenamiento de características. La mayoría de los SIG siguen basados en manipuladores de datos espaciales e imágenes usando un gestor de archivos, sin ningún tipo de servicio de bases de datos (Bauzer, 1994).

El acoplamiento del DBMS a los requerimientos del procesamiento de datos en un SIG se ha hecho en función de tres arquitecturas:

- **Sistemas propietarios.** Una base de datos de propósito especial está estrechamente unida a los módulos de procesamiento de datos espaciales. Los usuarios no pueden acceder a la base de datos directamente y los datos no pueden ser migrados a otro DBMS:
- **Sistemas de capas.** Un DBMS común se utiliza como base para las funciones de acceso de datos espaciales. Los usuarios pueden acceder a la base de datos directamente y pueden ser portados a otros sistemas;
- **Sistemas extensibles.** Usan las facilidades proporcionadas por el DBMS relaciona) extendido u orientado a objetos introduciendo la dimensión espacial en el sistema.

6.5 Modelo de datos en SIG

En el contexto de un SIG, un modelo de datos es la abstracción y la representación de los fenómenos del mundo real de acuerdo a un esquema conceptual formalizado que utiliza un conjunto de datos y objetos que pueden ser desplegados como un mapa, permite hacer consultas, ediciones y análisis de la información sobre el territorio (líneas, puntos y polígonos) (Zeiler, 1999; ESRI, 2001).

Las bases de datos geográficas consideran dos clases principales de datos: espaciales (localización o gráficos) y nominales (atributos no gráficos). La

componente espacial de un SIG se describe con frecuencia como una serie de capas o coberturas, donde cada una contiene una serie de rasgos que son relacionados funcionalmente con un tema (Zeiler, 1999; ESRI, 2001).

Para poder describir la fisionomía espacial geográfica, la realidad debe ser concebida mediante un modelo espacial de datos, el cual puede ser descrito en dos niveles: modelo de objetos y modelo de campo. (Zeiler, 1999; ESRI, 2001).

6.5.1 Modelo de objetos

Representa fenómenos geográficos que pueden ser individualizados (poseen una identidad y características que pueden ser descritas a través de un conjunto de atributos) y está constituido por:

- Punto. Un objeto cero-dimensional que especifica la localización geométrica por medio de un conjunto de coordenadas;
- Línea. Un objeto un-dimensional que es un segmento de línea determinado entre dos puntos;
- Área. Un objeto bi-dimensional que es continuo, acotado y puede incluir su frontera;
- Celda. Es un objeto bidimensional que representa un simple elemento en un espacio discreto referenciado a una superficie continua;
- Pixel. Es un objeto gráfico bidimensional que se define como el elemento más pequeño indivisible de una imagen;
- Símbolo. Elemento gráfico que representa alguna característica de los puntos sobre un mapa. (Tryfona, 2001; Grissa-Touzi, 2005).

6.5.2 Modelo de campo

Representa la variación espacial de una variable mediante una colección de objetos discretos. Un campo puede ser asociado con una variable medida sobre una escala continua o discreta. Una base de datos geográfica puede comprender varios tipos de modelos de campos de los cuales seis son comúnmente manejados en un SIG.

- Muestreo irregular de puntos. La base de datos contiene un conjunto de tripletas (x, y, z) que representan valores de puntos de una variable en un conjunto finito de localizaciones irregularmente distribuidas.
- Muestreo regular de puntos. El muestreo de puntos es un arreglo que se mapea sobre un enrejado regular. Este campo tiene similitud con el anterior excepto por el espaciamiento regular en donde se tienen localizadas las mediciones.
- Contornos. La base de datos contiene un conjunto de líneas, cada una representada por un conjunto de parejas ordenadas (x, y) que están asociadas a un valor z. Los puntos en cada conjunto están linealmente conectados como en las líneas de contorno cartográficas de una misma elevación.
- Polígonos. El área es dividida en un conjunto de elementos poligonales, de tal forma que cualquier localización que cae dentro de un polígono tiene asociado un valor y las fronteras son definidas por un conjunto de parejas ordenadas (x, y) de puntos (uso de suelo, área básica de simulación).
- Enrejado de celdas. El área es dividida en un enrejado regular de celdas. Cada celda tiene un valor y una variable que se supone tiene un valor para todas las localizaciones dentro de la celda.
- Red triangular. En este caso el área es dividida en triángulos. El valor de la variable es especificado en cada vértice del triángulo y se considera que varía linealmente sobre el triángulo (el modelo de elevación TIN, Triangular Irregular Network. (Tryfona, 2001).

Los aspectos que deben considerarse en relación a los objetos geográficos en los modelos de datos geográficos son:

- Localización y extensión. Es la ubicación y alcance de las coordenadas (x, y, z) en el sistema de referencia específico. Estos aspectos están representados por cualquiera de los puntos, líneas y polígonos.
- Medida temporal. Es necesario mantener registro de la existencia y cambio de un objeto a lo largo del tiempo.
- Medida espacial compleja. Debe ser posible asociar medidas espaciales complejas con objetos. De esta manera medidas de cero, uno, dos y tres dimensiones consiste de puntos (y multi-puntos), líneas (y multi-líneas), polígonos (y multi-polígonos) y raster deben ser posibles de realizarse.
- Valores temáticos. Un objeto tiene varios atributos que definen sus valores.
- Objetos difusos. La representación de un objeto difuso está relacionada con su ubicación y valores temáticos. En apoyo a los objetos geográficos, debería ser posible modelar objetos que tengan una extensión y medida, las cuales son características que hasta cierto punto pueden ser referidas por medio de coordenadas (x, y, z). Los objetos pueden poseer valores temáticos asociados o no con una determinada clase como sucede en los siguientes casos:
 - I. Entidades. Datos de campo. El mundo real puede representarse por entidades totalmente definibles (carreteras y edificios). En el enfoque basado en campo, el mundo real consiste de atributos los cuales se supone que varían en el espacio como una función continua.
 - II. Generalización. Se refiere a aspectos de un objeto como la escala y el propósito. Un sólo objeto puede derivarse de varios objetos en una escala mayor y la información sobre todos los objetos que se agregan o no deben ser accesibles.
 - III. Restricciones. Un objeto puede estar definido por atributos cuyos valores requieran de restricciones en cierto intervalo.

- IV. Funciones. La función de un objeto está estrechamente relacionada con su representación. Un objeto geográfico puede ser definido de manera diferente dependiendo de la aplicación.
- V. Identificación del objeto. Un identificador de objeto único es necesario para el intercambio de datos (Tryfona, 2001).

Los elementos a considerar en las relaciones entre los objetos que definen los modelos geográficos son:

- I. Relaciones topológicas. Se refieren a las relaciones y conexiones entre los objetos. Algunos ejemplos de relaciones topológicas binarias son: contiene, superposición.
- II. Relaciones métricas. Implica la distancia y depende de la posición absoluta de los objetos en relación con un determinado sistema de referencia.
- III. Relaciones semánticas. Son relaciones entre los objetos, pertinentes en el plano conceptual, que no son ni topológicas ni métricas.
- IV. Relaciones parte de. Indica que un objeto puede constar de otros objetos.
- V. Restricciones de la relación. Son muy importantes y dependen en gran medida del tipo de relación entre los objetos.

Dos aspectos importantes afectan a los objetos:

- 1. Visualización. La visualización de objetos es fundamental, de tal manera que estos se puedan visualizar en diferentes escalas.
- 2. Cambio. Define la manera en la que un objeto puede cambiar. La información indica las circunstancias externas que pueden producir un cambio importante.

6.6 Las tres generaciones de modelos geográficos

En un SIG, la forma en que se decida desplegar y analizar la información depende del modelo geográfico que se emplea para representar el mundo real. Se conocen tres generaciones de modelos geográficos: Modelo CAD, Modelo Coverage y Modelo Geodatabase.

6.6.1 Modelo CAD

En los años sesentas y setentas los mapas eran creados con el software CAD (Computer Aid Design). El modelo geográfico CAD almacenaba los datos geográficos en archivos de formato binario con representaciones de puntos, líneas y áreas. La información de los atributos era guardada en archivos CAD. (Negrete y Rodríguez, 2004).

6.6.2 Modelo Coverage

En 1981, ESRI introdujo el primer software SIG comercial, ArcInfo, el cual implementó una segunda generación de modelado de datos geográficos: el Modelo de Datos Coverage, también conocido como Modelo de Datos Geo-Relacional. Este modelo presenta dos facetas claves: los datos espaciales son combinados con atributos y las relaciones topológicas entre componentes vectoriales pueden ser almacenadas. (Negrete y Rodríguez, 2004).

6.6.3 Modelo Geodatabase

ArcInfo creó un nuevo modelo de datos orientado a objetos llamados Geodatabase Data Model. Este modelo provee un modelo físico de los datos más cercano al modelo de datos lógico. Permite implementar la mayoría de los comportamientos normales de los componentes, sin tener que escribir un código. La mayoría de estos comportamientos, están implementados a través de dominios, reglas de validación y otro tipo de funciones provistas por ArcInfo. (Negrete y Rodríguez, 2004).

6.7 Las tres etapas secuenciales del modelado

Convencionalmente, el diseño de los modelos de datos comprende tres etapas secuenciales de modelado: conceptual, lógico y físico. Cuando el proceso de modelado de datos se lleva a cabo en estas tres etapas, las bases de datos llegan a ser más rigurosamente definidas, resultando en una serie de descripciones y especificaciones formalizadas progresivamente. Estas descripciones y especificaciones son conocidas como: esquemas conceptual, lógico y físico. Bajo el concepto de entidad-relación (E-R), los modelos pueden definirse así:

6.7.1 Modelo Conceptual

El propósito de este modelo es definir en términos amplios y genéricos el ámbito y los requerimientos de la base de datos identificando entidades relevantes en las funciones del negocio, atributos que caracterizan la entidad, relación entre entidades y realizando el diagrama que representa los conceptos básicos del modelo.

El modelo conceptual es independiente del hardware y software que serán usados para implementar la base de datos. Representa el nivel más alto en el modelado de datos, ya que se enfoca más en la descripción del contenido que en la estructura de almacenamiento de la base de datos. Usa expresiones y diagramas conocidos como esquemas conceptuales cuyo proceso de comprensión y transformación de los requerimientos de los usuarios es demasiado complicado para ser realizado en forma apropiada por un software (Lo, 2007).

6.7.2 Modelo Lógico

Consolida, refina y convierte el esquema conceptual en un sistema específico de modelado definido como esquema lógico. Para el caso de bases de datos geoespaciales es necesario realizar el diseño de capas o coberturas de acuerdo con la estructura del software seleccionado para implementar el SIG.

El esquema lógico no representa aún la implementación completa del modelo de datos, debido a que solo es expresado en términos de las características de la base de datos sin tener en la cuenta los requerimientos del hardware tales como estructuras de almacenamiento y volúmenes de datos.

El propósito de este esquema es representar la base de datos en su totalidad e identificar los problemas potenciales que podrían existir en el modelo conceptual como: datos irrelevantes, omisiones o pérdida de datos falta de integración entre varias partes de la base de datos (Lo, 2007).

6.7.3 Modelo Físico

Representa el nivel más bajo en el modelado de datos. Define la estructura específica de almacenamiento y las rutas de acceso a las bases de datos. Especifica como los datos serán almacenados y como fluirán dentro del proceso. Por lo tanto, este modelo es dependiente del software y del hardware que serán utilizados. El modelo físico puede tener muchas alternativas de diseño, por lo que puede ser muy complejo en el desarrollo de una base de datos a gran escala (Lo, 2007).

6.8 Modelo de datos geodatabase en ArcGIS

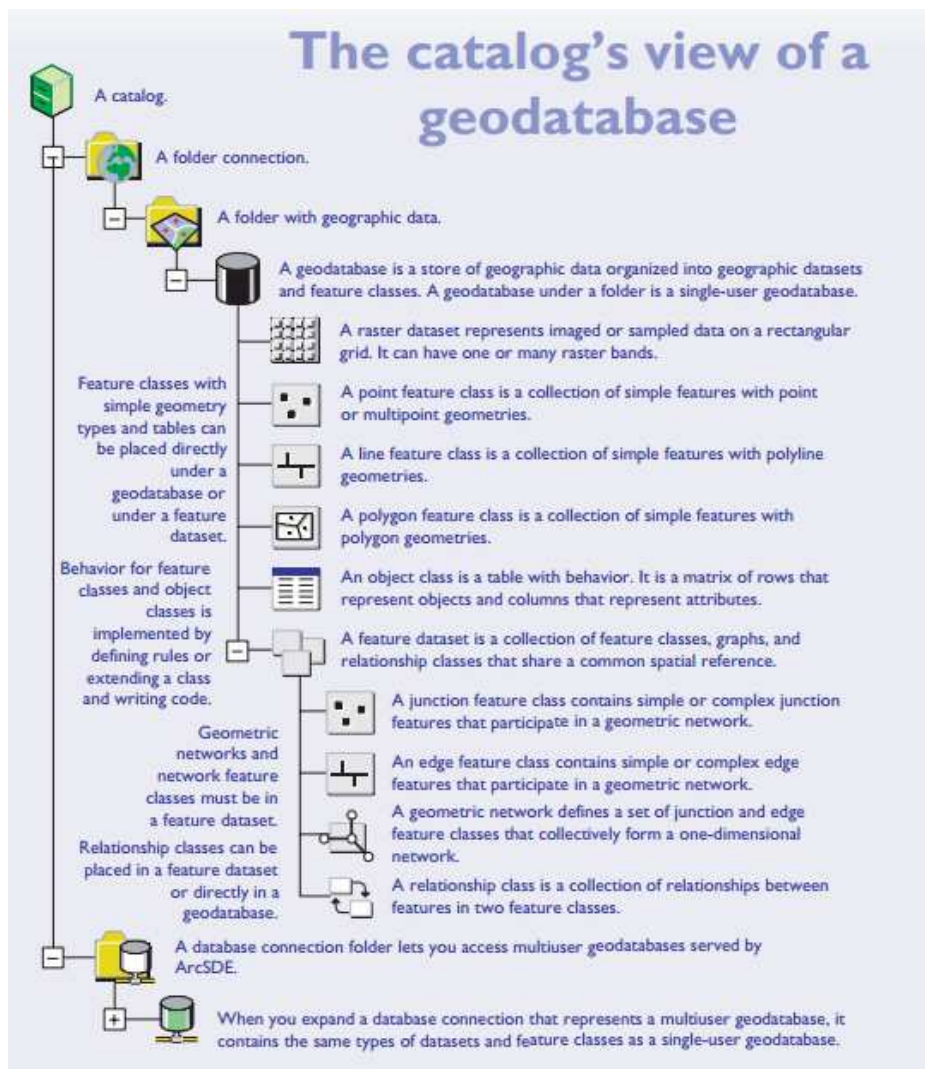
La geodatabase, es la estructura nativa de almacenamiento de datos para Arcgis que se almacena en un sistema de archivos de carpeta, una base de datos Microsoft Access o una base de datos de sistema de gestión relacional multiusuario (DBMS) como IBM DB2, Microsoft SQL Server, Oracle (Law, 2007).

Los componentes de la geodatabase son: datasets, feature classes, object classes, relationship classes, definidos de la siguiente forma (Zeiler, 1999):

- Feature class: es una colección de características con el mismo tipo de geometría: punto, línea o polígono

- Feature dataset: es una colección de feature classes que comparten un sistema de coordenadas común
- Raster dataset: pueden ser dataset simples o compuestos con múltiples bandas para distintos espectros o valores categóricos.
- TIN dataset: contiene un conjunto de triángulos que abarcan exactamente un área con un valor z para cada nodo que representa algún tipo de superficie.
- Object class: es una tabla que tiene un comportamiento. Las filas de la matriz representan objetos y las columnas atributos. Tiene información descriptiva acerca de los objetos que se relacionan con características geográficas pero que están en el mapa.
- Relationship class: es una tabla que almacena relaciones entre características u objetos en dos feature class o tablas.

Figura 1. Componentes de la Geodatabase



Fuente: Zeiler, M. (1999). Modeling Our World. The ESRI Guide to Geodatabase Design. Redlands - ESRI Press

6.9 Otros componentes de la Geodatabase en Arcgis

6.9.1 Subtipos

Forma de clasificación interna a nivel de un feature class. Los subtipos pueden tener un comportamiento diferente en s interior. En ellos los elementos se agrupan en clases, las cuales son un conjunto homogéneo de elementos básicamente del mismo tipo pero pueden contener variaciones considerables. Por ejemplo: los edificios pueden clasificarse en residenciales, comerciales o industriales (Zeiler, 1999).

6.9.2 Dominios

Forma de limitar las entradas (datos) de un campo. Deben cumplir unas reglas. Pueden ser un rango de valores o lista de valores. A través de los dominios, un atributo puede tomar un valor de un conjunto de valores predefinidos, con lo que se evita el ingreso de datos erróneos en la base de datos, se asegura una mayor compatibilidad y corrección en los datos y se permite un valor por defecto, inclusive para cada subtipo (Zeiler, 1999).

6.9.3 Topología

En la geodatabase administra las relaciones y asegura la integridad espacial del conjunto de datos. Se abstrae la realidad y se deben conservar las relaciones de existencia y ubicación espacial. Existen relaciones espaciales de adyacencia, proximidad y conectividad entre características geográficas (Zeiler, 1999; Law, 2007).

La geodatabase ha evolucionado como el resultado de años de investigación y desarrollo espacial en el almacenamiento de datos de ESRI. Cambian las ventajas de los anteriores formatos de datos ESRI, tales como coberturas y shapefiles, junto con otras funcionalidades de gestión de datos. La geodatabase no solamente define como se almacenan los datos, el acceso y la administración, sino también permite a

los usuarios mantener una coherente y precisa base de datos geoespaciales y la aplicación de una lógica compleja del negocio. (Zeiler, 1999; Law, 2007).

6.10 Tres niveles escalables de las geodatabase

La geodatabase ofrece tres niveles escalables: corporativa, para grupos de trabajo y personales. El tamaño de la capacidad y el número de usuarios simultáneos varían en función de cada nivel y proporcionan a los usuarios un amplio y extensible marco de trabajo para la construcción de un sistema SIG. La selección del tipo más adecuado de geodatabase depende de las necesidades específicas de los sistemas de información geográfica del proyecto y/o aplicación (Zeiler, 1999; Law, 2007).

6.10.1 Geodatabase corporativa

Aprovecha la funcionalidad de uno de estos cuatro productos: DBMS de IBM DB2, IBM Informix, Oracle y Microsoft SQL Server y suele ser administrado y gestionado por un administrador de base de datos. La geodatabase se puede ampliar a cualquier tamaño, soporta cualquier número de usuarios, y se ejecutan en las computadoras de cualquier tamaño y configuración. Diseñado para escenarios de sistemas corporativos de grandes escalas. (Zeiler, 1999; Law, 2007).

6.10.2 Geodatabase para grupos de trabajo

Apoya a pequeños y medianos departamentos de escenarios de aplicación con un límite de tamaño máximo de 4 GB y hasta 10 usuarios simultáneos (todos los usuarios pueden ser editores). Se utiliza ArcCatalog para crear y gestionar el grupo de trabajo. La edición de la geodatabase, está disponible con Arcgis Server Workgroup y viene con Microsoft SQL Server 2005 Express para el almacenamiento y el acceso de datos. (Zeiler, 1999; Law, 2007).

6.10.3 Geodatabase personal

Provee un completo soporte a los usuarios de geodatabase de ArcEditor y ArcInfo. Es ideal para desconectar la aplicación de la edición de escenarios. Al igual que con la edición de la geodatabase para grupos de trabajo, se utiliza ArcCatalog para crear y gestionar la geodatabase y tiene un límite de tamaño máximo de 4 GB. La edición en la geodatabase personal soporta hasta tres usuarios simultáneos (uno como editor y dos de espectadores), está disponible con ArcEditor y ArcInfo, y viene con Microsoft SQL Server 2005 Express para el almacenamiento de datos y el acceso (Law, 2007).

6.11 Componentes del SIG en un Sistema de Información Espacial.

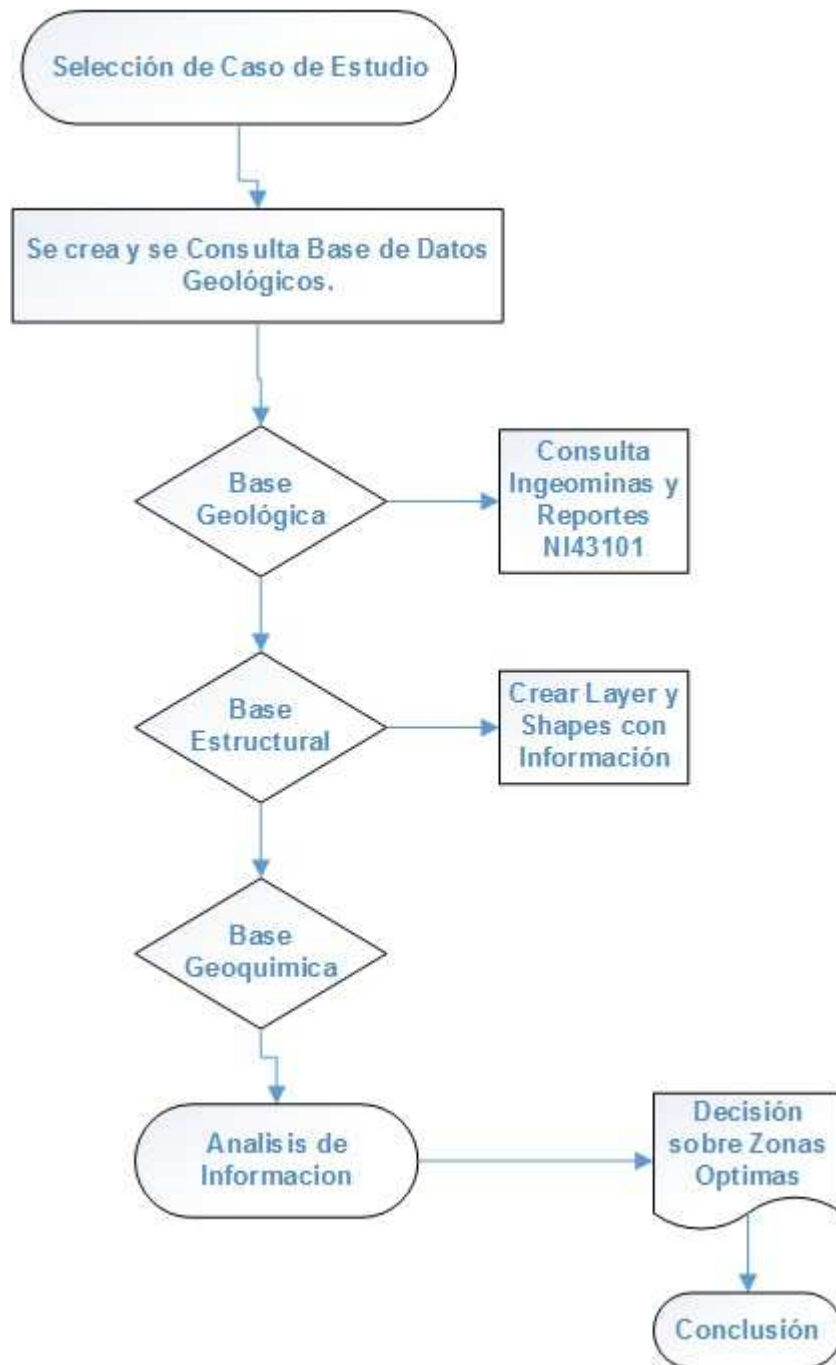
Los SIG's poseen los mismos componentes de un sistema de información, tales como datos y base de datos, hardware (procesadores, periféricos), y software (manejadores de base de datos). Las funciones típicas de un SIG son: adquisición de datos, administración de los datos mediante una base de datos, consulta y recuperación de datos, análisis de datos, modelada de datos, desplegada de datos. Los SIG's poseen identificadores de localidad características que conforman a los ambientes naturales y geográficos.

Como cualquier Sistema de Información, un SIG no se trata sólo de un programa informático sino que debe conjugar otros elementos que hacen posible su funcionamiento.

7. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES

Este capítulo hace referencia a la metodología empleada para diseñar la infraestructura de datos espaciales para la exploración aurífera en Colombia. Consta de cuatro fases: i. Definición de la organización que desea realizar una exploración minera como estudio de caso. ii. Elaboración del análisis de requerimientos de la Infraestructura. iii. Diseño de la Infraestructura de datos. iv Método de integración Que se muestra en la siguiente Figura. 2

Figura 2. Flujo grama de la Metodología Establecida



Fuente: Elaboración Propia

7.1 Selección de estudio de caso

Se tuvo en cuenta que las empresas que involucran su capital en la consecución de nuevos recursos, metodologías, técnicas, tecnologías, para aplicar a la exploración y explotación minera son consideradas de carácter confidencial. Como propuesta metodológica para comenzar a orientar un camino en la búsqueda de opciones que permitan apoyar la gestión para la realización de un proyecto de exploración y desarrollo de las regiones por medio de las organizaciones que tengan como objetivo la minería.

La falta de información de acceso generalizado es muy escasa. Se tiene algún conocimiento de los trabajos, intervenciones y logros que ha realizado anteriormente el Ingeominas, hoy conocida como ANM (Agencia Nacional de Minería), en temas relacionados con recursos minerales, geología regional y local, exploración y explotación en algunas zonas del territorio Nacional. Por lo general, estos trabajos son realizados de manera local, ya que solo se concentran en áreas donde que presentan de anomalías geoquímicas.

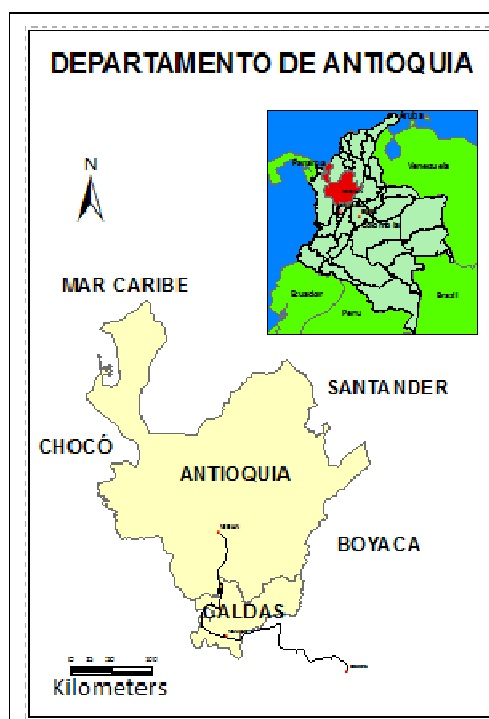
Otro elemento que debe tenerse en la cuenta es que las empresas que involucran su capital en la consecución de nuevos recursos, metodologías, técnicas, tecnologías, para aplicar a la exploración y explotación minera son consideradas de carácter confidencial. Como propuesta metodológica para comenzar a orientar un camino en la búsqueda de opciones que permitan apoyar la gestión para la realización de un proyecto de exploración y desarrollo de las regiones por medio de las organizaciones que tengan como objetivo la minería.

7.2 Análisis de Requerimientos para el desarrollo de la Infraestructura de datos

Se selecciona el Departamento de Antioquia, el cual está situado al noreste del territorio colombiano, se muestra en la Figura 3, cubre una superficie de 63612 Km²

lo que representa el 5.6% del territorio nacional y se localiza entre las coordenadas 05° 26'20" - 08° 52'23" Latitud Norte y 73° 53' 11"- 77° 07'16" de Longitud Oeste. Limita por el Norte con el mar Caribe y los departamentos de Córdoba y Bolívar; por el Este con Bolívar, Santander y Boyacá; por el Sur con Caldas y Risaralda y por el Oeste con el departamento del Chocó.

Figura 3. Localización del Departamento de Antioquia



Fuente: Elaboración Propia

Por tanto se escoge el Departamento de Antioquia como caso de estudio para diseñar una infraestructura de datos espaciales que permita estructurar la información fuente y producto de los procesos y trabajos que se han desarrollado en el campo de la exploración por diversas empresas. Esta Infraestructura de datos permitirá y facilitará la toma de decisiones, también podrá replicarse en cualquier otro departamento del territorio Nacional.

Para la selección del Departamento de Antioquia como estudio de caso, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: Se recopiló información geográfica obtenida con herramientas tecnológicas las cuales se utilizan en algunos proyectos de exploración de diversas empresas que han trabajado o están trabajado en Antioquia, sin embargo hay que tener en cuenta que dicha información suministrada habrá que consolidarla y unificarla.

7.3 Diseño de la Infraestructura de datos

Inicialmente las capas seleccionadas para conformar la infraestructura de datos, se agruparon en seis paquetes que fueron definidos según los temas de mayor importancia para cualquiera entidad que esté interesado en la información geológica minera. En estos paquetes se identificaron cada una de las clases y su correspondiente geometría, dando como resultado una aproximación al modelo conceptual. Se procede a elaborar una ficha la cual capturará los datos del modelo. Para la elaboración de la ficha se eligieron los ítems para la clase y los atributos:

Ítems para la clase:

- Grupo de Objetos: identifica el nombre del paquete en el que se clasificó la clase.
- Nombre del objeto: Corresponde al nombre de la clase
- Escala: sugiere la escala a utilizar para la clase.
- Fuente: indica de dónde proviene la información de la clase.
- Tipo: indica la geometría (punto, línea, polígono).
- Representación gráfica: imagen con el tipo de geometría de la clase.
- Definición: descripción detallada de la clase.

Ítems para los atributos:

- Atributos: campos de información asociadas a la clase.

- Tipo: indica el formato del campo bajo el que se almacenará el atributo.
- Longitud: describe el tamaño del campo.
- Comportamiento: indica en el caso de un dominio si es de tipo lista o rango de valores.
- Descripción detallada del atributo.

La representación de cada una de las clases se realizó utilizando la ficha que se muestra a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Estructura de Recopilación de Datos

| | | | | |
|--------------------|---------|----------|-------------------------|-------------|
| Grupo de Objetos: | | | | |
| Nombre del objeto: | Escala: | | Tipo: | |
| | Fuente | | Representación gráfica: | |
| Definición: | | | | |
| ATRIBUTOS | TIPO | LONGITUD | COMPORTAMIENTO | DESCRIPCIÓN |
| | | | | |
| Subtipo | | | | |
| Dominio | | | | |
| Observación | | | | |

Fuente: Elaboración Propia

Con base en esta ficha se procedió a elaborar el esquema del modelo lógico a través de la construcción de una geodatabase personal, para lo cual se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Extraer de la información Ni43-101, que para el caso de la geodatabase se denominan dataset, los elementos no geográficos (tablas).
- Asignar una única representación a las clases, que para el caso de la geodatabase se denomina feature class.
- Identificar dentro de los feature class los subtipos y dominios para garantizar la integridad de la geodatabase.

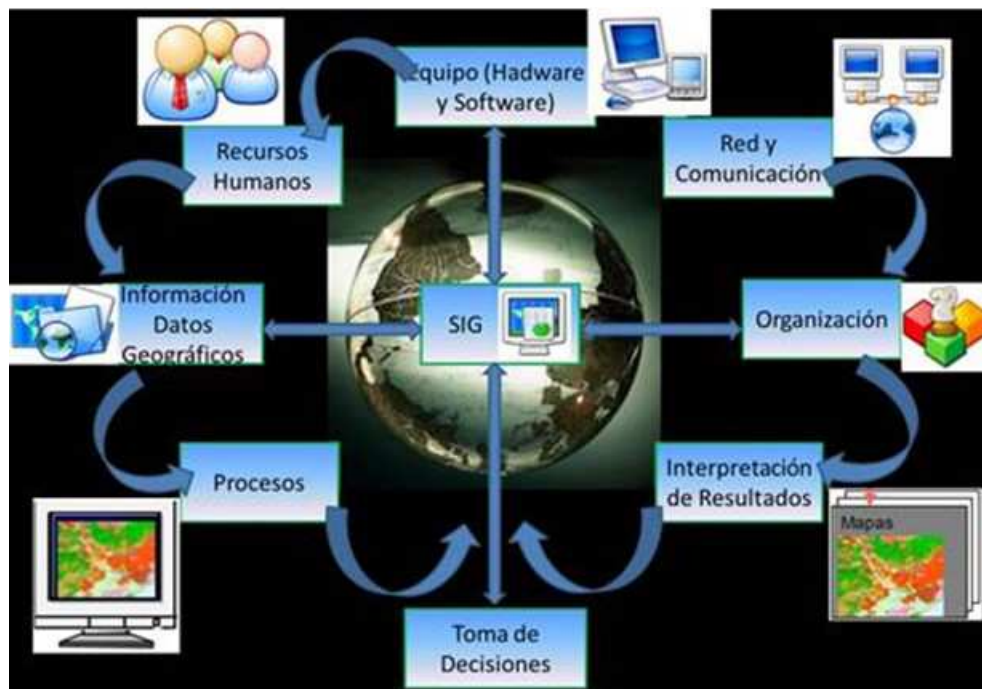
- No incluir campos que denotan ubicación geográfica.
- Identificar los campos que pueden utilizarse como claves foráneas
- Creación de las relaciones entre los elementos de la geodatabase.

7.4 Método de integración y adecuación de datos Espaciales

Los modelos de integración de datos espaciales mediante SIG son categorizados en distintos grupos en función de la metodología empleada o el objetivo perseguido. En términos generales, un modelo SIG puede ser considerado como el proceso de combinación de un conjunto de mapas o capas de entrada para producir un mapa de salida (Burrough, 1986; Aronoff, 1989; Berry, 1993), como se muestra en la expresión siguiente:

Mapa salida=f (Mapa1, Mapa2, Mapa3,..., Mapan)

Figura 4. Interacción de los Componentes en un SIG, dentro de la Exploración de Datos.



Fuente: Elaboración Propia

Donde la función f presenta formas diferentes y puede ser categorizada en tres tipos dependiendo de la naturaleza de la relación expresada (Bonham-Carter, 1994): (a) basada en teorías y principios de la física y la química, (b) empírica, basada en observaciones de los datos (estadística o heurística), o (c) algún tipo de mezcla entre teoría y empirismo, lo que da origen a otra clasificación de los modelos en teóricos, empíricos e híbridos, respectivamente.

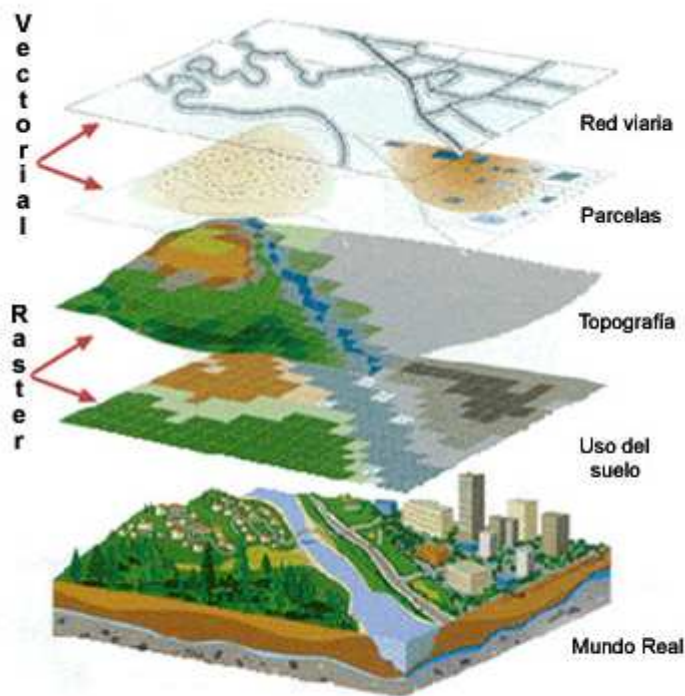
Las capas clasificadas, o funciones de favorabilidad, son combinadas siguiendo reglas que pueden ser lógicas, aritméticas, probabilísticas, etc., donde las capas o vectores son primordiales en el momento de combinar los datos para la determinación o toma de decisiones en un prospecto minero o de cualquier otra aplicación.

Las funciones de favorabilidad (favorables) son deducibles mediante la aplicación de métodos diversos de análisis espacial, que pueden ir desde una

simple reclasificación de las clases temáticas de un mapa hasta métodos estadísticos. Para realizar este estudio se dispuso de un volumen de datos geológicos, geoquímicos, y estructurales, los cuales fueron descritos en el capítulo 7 del presente estudio donde se indican los conjuntos de datos primarios utilizados en la integración de los datos espaciales de estas coberturas, y a partir de éstos se han obtenido un gran número de conjuntos de datos secundarios mediante distintas operaciones de análisis espacial, con la finalidad de facilitar el proceso de integración de datos.

Para este proyecto el método de integración y adecuación de las capas o layer fue idealizado para su interpretación y consultas espaciales en forma interactiva con información vectorial generada por las empresas o corporaciones que han realizado prospecciones en la región de estudio, con variables de interés como Geología, Estructuras, Geoquímica, Zonas de Alteración, Vetas e Infraestructura, usando un sistema de información geográfica con el software ArcGis 9.3, superponiendo y en combinación con otros procesos definir áreas de influencia de interés prospectivo. En la Fig.5 , se ilustra un ejemplo de superposición de las capas en un orden representativo ubicándolas de acuerdo sus características (raster o vectoriales), para un mejor manejo de la información, dentro de un SIG. Esta adecuación nos permitirá aplicar y ubicar los datos obtenidos en el análisis elaborado en combinación con la información geológica minera.

Figura 5. Superposición de las Capas de Información



Ejemplo de capas temáticas de un SIG

Fuente: www.concurso.cnice.mec.es/cnice2006

La adecuación del proyecto, fue generado con el software ArcGis 9.3, de tal manera que las capas de información estuvieran estructuradas de una forma ordenada e interactiva como se ve en Tabla 4, de acuerdo a los temas de su desarrollo por cada capa principal. Se adicionaron varios layers en combinación a su propósito e interés en el desarrollo del proyecto.

Las capas del SIG adecuadas e interactivas en este desarrollo, se pueden manejar de manera sencilla por parte de los usuarios, con la base de datos se generan los layers los cuales se producen a través del análisis, consulta y cruce de información, que permita delimitar cualquier zona de interés y la toma de decisiones.

Para cada uno de los layers adicionados se tomó en cuenta sus parámetros geográficos para su mejor ubicación dentro del plano espacial, revisando sus formatos, proyección, gráficos y base de datos que son básicos para la formación de la información generada.

Tabla 4. Principales Capas del Proyecto SIG

| GEOLOGIA | | | |
|-----------------|--------------------|------------------------------------|--|
| ZONA ESTUDIO | ESTRUCTURAS | | |
| ANOTACIONES | ZONA ESTUDIO | GEOQUIMICA | |
| VETAS | ANOTACIONES | ZONA ESTUDIO | ANALISIS ESPACIAL |
| ESTRUCTURAS | VETAS | ANOTACIONES | ZONA ESTUDIO |
| ALTERACIONES | ESTRUCTURAS | HIDROGRAFIA | ANOTACIONES |
| ZONA URBANA | ZONA URBANA | GEOQUIMICA (Au, Ag, Pb, Cu, Zn) | COMBINACION E INTERSECCION (Au, Ag, Pb, Cu, Zn) |
| GEOLOGIA | RELIEVE | ZONA URBANA | INTERPRETACION (Au, Ag, Pb, Cu, Zn) |
| RELIEVE | | RELIEVE | RELIEVE |

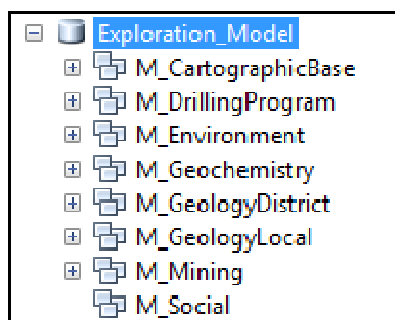
Fuente: Elaboración Propia

8. RESULTADOS

8.1 Infraestructura de datos espaciales para la exploración de recursos acuíferos

La infraestructura de datos espaciales surge como el resultado del análisis previo que se realizó para la realización de los proyectos de exploración minera lo que mostró una clara tendencia hacia la construcción de una Geodatabase que agrupe la información de forma estratégica, teniendo en cuentas los reportes Ni43-101 y las características propias de la información, es ocho dataset, 81 feature class.


Figura 6. Estructura de la Geodatabase



Fuente: Elaboración Propia


A continuación presentamos un ejemplo de feature class por dataset, teniendo como base la ficha de la Tabla 3 de la recopilación de datos. De la Tabla 5 a la Tabla 12 se muestra una ficha modelo de cada grupo de objeto.

Tabla 5. Grupo de Objetos de Cartografía

| | | | | |
|--|---------|-----------|-------------------------|---|
| Grupo de Objetos: M_CartographicBase | | | | |
| Nombre del objeto:Administrative_Division_Antioquia | Escala: | 1:500.000 | Tipo: | Polígono |
| | Fuente | IGAG | Representación gráfica: |  |
| Definición: Identifica los límites de las áreas de los municipios de Antioquia. | | | | |
| ATRIBUTOS | TIPO | LONGITUD | COMPORTAMIENTO | DESCRIPCIÓN |
| Municipios de Antioquia | String | 1 | Lista | Nombre del departamento de Antioquia |
| Dominio Departamento de Antioquia: 1: Nordeste; 2: Suroeste; 3: Noroeste; 4: Sureste. | | | | |
| Observación: Clasificación por regiones para la determinación de las mejores zonas en el Departamento para la explotación de recursos minerales. | | | | |


Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6. Grupo de Objetos de Perforación

| | | | | |
|--|---------|--------------------|-------------------------|---|
| Grupo de Objetos: M_Drillingprogram | | | | |
| Nombre del objeto:DHCollar | Escala: | 1:2500 | Tipo: | Polígono |
| | Fuente | Reportes Ni-43-101 | Representación gráfica: |  |
| Definición: Ubica geográficamente las perforaciones planeadas por las empresas de exploración en una región determinada. | | | | |
| ATRIBUTOS | TIPO | LONGITUD | COMPORTAMIENTO | DESCRIPCIÓN |
| Perforaciones desarrolladas en los municipios de Antioquia | String | 1 | Lista | Nombre o código de las perforaciones |
| Dominio: Perforaciones realizadas: 1: Azimuth; 2: Inclinación; 3: Longitud; 4: Locación de perforación | | | | |
| Observación: | | | | |


Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7. Grupo de Objetos de Geoquímica

| Grupo de Objetos: M_Geochemistry | | | | |
|---|---------|----------|-------------------------|---|
| | Escala: | 1:1.000 | Tipo: | Polígono |
| Nombre del objeto: Contour_Rx_Ag | Fuente | NI43-101 | Representación gráfica: |  |
| Definición: Zonificación de áreas con buenos indicios para la exploración y explotación de Plata | | | | |
| ATRIBUTOS | TIPO | LONGITUD | COMPORTAMIENTO | DESCRIPCIÓN |
| Zonas de enriquecimiento de Ag. | String | 1 | Lista | Zonificación para prospecciones geológicas de interés |
| Dominio Departamento de Antioquia: 1: Nordeste; 2: Suroeste; 3: Noroeste; 4: Sureste. | | | | |
| Observación: Se determina las mejores zonas para la exploración y explotación de Mineral de Ag en el Departamento de Antioquia. | | | | |


Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. Grupo de Objetos de Geología Regional

| Grupo de Objetos: M_Geology_District | | | | |
|--|---------|------------|-------------------------|---|
| | Escala: | 1:100.000 | Tipo: | Polígono |
| Nombre del objeto: Alteration | Fuente | INGEOMINAS | Representación gráfica: |  |
| Definición: Clasificación de zonas dependiendo el tipo de alteración de las rocas. | | | | |
| ATRIBUTOS | TIPO | LONGITUD | COMPORTAMIENTO | DESCRIPCIÓN |
| Alteración Propilítica | String | 1 | Lista | La roca granodiorita y andesita, minerales de alteración clorita, epidota, (PRP) |
| Dominio Departamento de Antioquia: 1: Fuerte. 2. Moderada. 3. Baja | | | | |
| Observación: Las rocas se alteran por procesos físico químicos, las alteraciones nos pueden indicar enriquecimiento o no de zonas con anomalías mineralógicas. | | | | |


Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9. Grupo de Objetos de Ambiental

| | | | | |
|--|---------|-----------|-------------------------|---|
| Grupo de Objetos: M_Envrionment | | | | |
| Nombre del objeto:ClimaticStation | Escala: | 1:100.000 | Tipo: | Polígono |
| | Fuente | IGAG | Representación gráfica: |  |
| Definición: Identifica las diferentes estaciones climáticas presentes en el departamento | | | | |
| ATRIBUTOS | TIPO | LONGITUD | COMPORTAMIENTO | DESCRIPCIÓN |
| Estaciones climáticas | String | 1 | Lista | Nombre y ubicación de las estaciones |
| Dominio Departamento de Antioquia: 1. Estaciones climáticas, 2. Fecha de instalación. | | | | |
| Observación: Ubicación de las diferentes estaciones climáticas del departamento. | | | | |


Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10. Grupo de Objetos de Geología Local

| | | | | |
|---|---------|----------|-------------------------|---|
| Grupo de Objetos: M_Geology_Local | | | | |
| Nombre del objeto:Anomaly | Escala: | 1:5.000 | Tipo: | Polígono |
| | Fuente | Ni43-101 | Representación gráfica: |  |
| Definición: delimitar zonas con presencia de anomalías geoquímicas. | | | | |
| ATRIBUTOS | TIPO | LONGITUD | COMPORTAMIENTO | DESCRIPCIÓN |
| Tipo de Anomalía | String | 1 | Lista | Limitar anomalías geoquímicas |
| Dominio Departamento de Antioquia: | | | | |
| Observación: | | | | |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11. Grupo de Objetos de Minería

| | | | | |
|---|---------|----------|-------------------------|---|
| Grupo de Objetos: M_Mining | | | | |
| Nombre del objeto: All_Minas_Bocaminas | Escala: | 1:5.000 | Tipo: | Polígono |
| | Fuente | Ni43-101 | Representación gráfica: |  |
| Definición: Identificar todas las bocaminas que existen en el Departamento | | | | |
| ATRIBUTOS | TIPO | LONGITUD | COMPORTAMIENTO | DESCRIPCIÓN |
| Nombre de la mina y tipo de mineral a explotar | String | 1 | Lista | Ubicación geográfica de las bocaminas |
| Dominio Departamento de Antioquia: 1: Nordeste; 2: Suroeste; 3: Noroeste; 4: Sureste. | | | | |
| Observación: | | | | |

Fuente: Elaboración Propia

8.2 Funcionalidad del Sistema de Información Geográfica

La característica fundamental de un Sistema de Información Geográfica (SIG) lo constituye la Base de Datos, sistema que almacena, gestiona y analiza datos para producir información útil en forma de mapas o de informes.

Tabla 12. Base de Datos Geológicos de la Zona de Estudio en General

| lab | jobno | certificated | dhid | from | to | length | sampno | lithology | au_ppm | ag_ppm |
|-----|-----------|--------------|-----------|--------|--------|--------|---------|-----------|--------|--------|
| SGS | MC1000930 | Valid | DRILL_001 | 15 | 16 | 1 | 251251 | SAP | 0.003 | 0.37 |
| SGS | MC1000930 | Valid | DRILL_001 | 16 | 17 | 1 | 251252 | SAP | 0.003 | 0.28 |
| SGS | MC1000930 | Valid | DRILL_001 | 120.65 | 121.1 | 0.45 | 251253 | IGD | 0.179 | 0.65 |
| SGS | MC1000930 | Valid | DRILL_001 | 121.1 | 121.25 | 0.15 | 251254 | BXH | 2.474 | 3.38 |
| SGS | MC1000930 | Valid | DRILL_001 | 121.25 | 121.7 | 0.45 | 251256 | BXH | 71.55 | 10.001 |
| SGS | GQ1200115 | Valid | DRILL_002 | 89 | 89.65 | 0.65 | D214517 | IGD | 0.006 | 0.1 |
| SGS | GQ1200115 | Valid | DRILL_002 | 90.4 | 90.6 | 0.2 | D214518 | IGD | 0.008 | 0.1 |
| SGS | GQ1200115 | Valid | DRILL_002 | 91.6 | 93 | 1.4 | D214519 | IGD | 0.003 | 0.1 |
| SGS | MC1000930 | Valid | DRILL_003 | 56.1 | 56.25 | 0.15 | 251289 | IGD | 0.003 | 0.58 |
| SGS | MC1000930 | Valid | DRILL_003 | 75.55 | 76.15 | 0.6 | 251304 | VNA | 0.692 | 0.71 |
| SGS | GQ1200115 | Valid | DRILL_003 | 80.75 | 81.25 | 0.5 | D214532 | IGD | 0.003 | 0.6 |
| SGS | GQ1200115 | Valid | DRILL_004 | 51.85 | 52.85 | 1 | D214536 | IGD | 0.003 | 0.2 |
| SGS | GQ1200115 | Valid | DRILL_004 | 52.85 | 53.4 | 0.55 | D214537 | IGD | 0.003 | 0.1 |
| SGS | MC1001072 | Valid | DRILL_005 | 99.6 | 99.9 | 0.3 | 251352 | | 0.007 | 0.06 |
| SGS | MC1001072 | Valid | DRILL_005 | 103.5 | 103.7 | 0.2 | 251353 | | 0.003 | 0.01 |
| SGS | MC1001072 | Valid | DRILL_006 | 95.77 | 96.42 | 0.65 | 251354 | IGD | 0.003 | 0.01 |
| SGS | MC1001072 | Valid | DRILL_006 | 100.5 | 100.7 | 0.2 | 251355 | IGD | 0.003 | 0.01 |
| SGS | MC1001072 | Valid | DRILL_006 | 112.65 | 113.55 | 0.9 | 251356 | IGD | 0.003 | 0.01 |
| SGS | MC1001072 | Valid | DRILL_006 | 210.85 | 211.29 | 0.44 | 251363 | | 0.003 | 0.01 |
| SGS | MC1001072 | Valid | DRILL_006 | 212.3 | 213 | 0.7 | 251364 | IGD | 0.003 | 0.01 |
| SGS | MC1001072 | Valid | DRILL_006 | 213 | 213.7 | 0.7 | 251365 | IGD | 0.003 | 0.01 |
| SGS | MC1001072 | Valid | DRILL_006 | 244.5 | 244.8 | 0.3 | 251366 | IGD | 0.003 | 0.12 |
| SGS | MC1001072 | Valid | DRILL_006 | 244.8 | 244.9 | 0.1 | 251368 | VEN | 0.003 | 0.01 |
| SGS | MC1001072 | Valid | DRILL_006 | 244.9 | 245.35 | 0.45 | 251371 | BX | 0.027 | 0.01 |

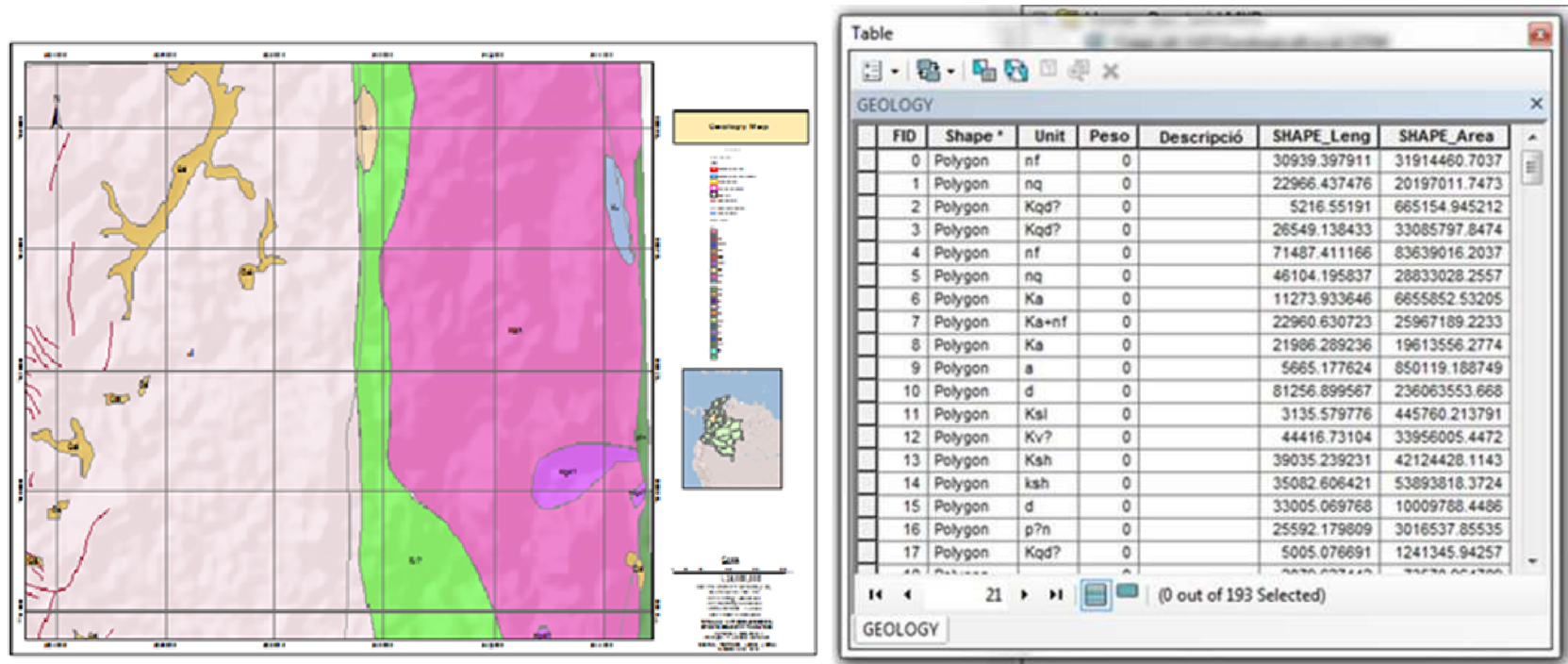
Fuente: Elaboración Propia

Las funciones principales que componen el SIG. están relacionadas con las coberturas que se utilizaron en la generación del mismo. En la Tabla 12 se muestran las características de las capas de información (geología), así como su base de datos correlacionadas espacialmente dentro del proyecto en general que se utilizaron en el transcurso de este desarrollo.

En este sentido, la base de datos para cada una de las capas se encuentra interrelacionadas y estructuradas con datos alfanuméricos capturados de los informes geológicos mineros de la cartografía para su consulta y funcionalidad dentro y fuera del SIG, como se muestra en la Tabla 12, en caso para el tema de los datos geológicos.

Estos datos son indispensables en la consulta y análisis de información para la interpretación y toma de decisiones en un área de estudio determinada, como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Representación Esquemática de los Contactos y su Tabla de Atributos Interrelacionados.



Para cada uno de los layers adicionados se tomó en cuenta sus parámetros geográficos para su mejor ubicación dentro del plano espacial, revisando sus formatos, proyección, gráficos y base de datos que son básicos para la formación de la información generada, tomando como base esta información de cada uno de las capas se generara una aptitud o rango de influencia para las áreas prospectiva

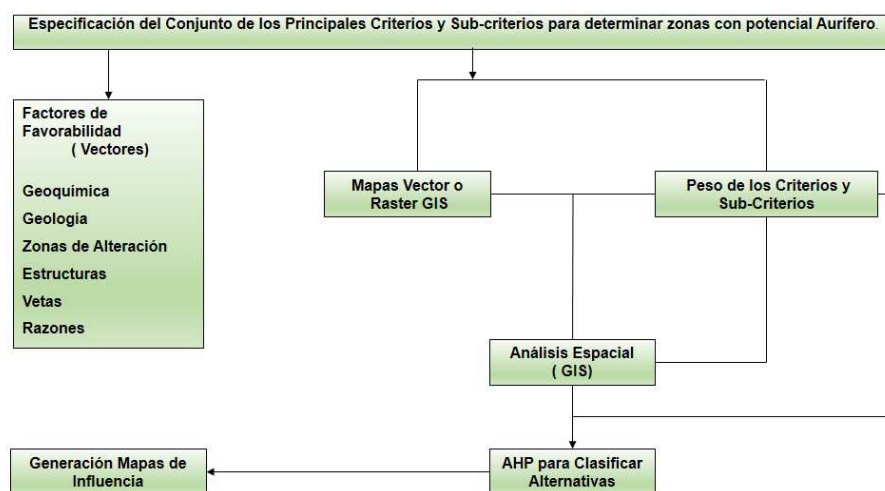
8.3 Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) dentro del SIG

8.3.1 Metodología, desarrollo del PAJ

El organigrama de la metodología se muestra en Fig. 8 Los procedimientos del proceso de esta metodología son los siguientes:

- Determinación de los criterios de exploración para la zona prospectiva.
- Preparación de las capas para los mapas en un ambiente GIS como salida de capas vectoriales o raster.
- Aplicación Del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) para definir las alternativas de los atributos de las capas.
- Utilización del método por comparaciones pareadas para obtener los pesos relativos de las capas.

Figura 8. Diagrama de Flujo del Modelo PAJ para el Mapeo de Áreas Prospectivas



Fuente: Elaboración Propia.

El Diagrama mostrado presenta un diagrama de flujo de un modelo PAJ para llegar a la predicción de áreas prospectivas, en base a los datos de procesamiento.

Una vez creada la base de datos geoespaciales geológico-minera, cada conjunto de datos sobre geología, geoquímica, estructural, vetas, etc., se procesaron de forma semi-independiente de acuerdo con los objetivos planteados; es decir, para deducir la información de interés relacionada con las zonas favorables o predictivas de presencia de depósitos minerales (capas predictivas).

Estas clases de capas predictivas SIG fueron posteriormente reclasificadas en función del interés prospectivo que presentan, para generar áreas de favorabilidad, usando el PAJ. Los valores resultantes que permiten establecer clases de favorabilidad, se definieron siguiendo distintos procedimientos estadísticos y espaciales.

Para la fase de integración se utilizaron modelos basados en el conocimiento del PAJ (por pares ordenados) desarrollados usando el lenguaje interno del software ArcGIS y programas externos de análisis estadístico. La metodología desarrollada en este trabajo se ha orientado a detectar las zonas de interés minero, conocidas o no mediante métodos tradicionales. La calidad y robustez del SIG de exploración serán parcialmente evaluadas mediante comparación de la realidad minera, expresada en términos de ocurrencias o indicios mineros conocidos y los resultados proporcionados por el sistema.

8.3.2 Desarrollo del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ)

Como se mencionó en la presentación de los datos, el PAJ (Proceso de Análisis Jerárquico) proporciona la posibilidad de incluir datos cuantitativos relativos a las alternativas de decisión basándose en una comparación por pares con la importancia de diferentes criterios y subcriterios (Saaty 1980), para la toma de decisiones en la combinación con un SIG.

EL PAJ, presenta métodos de participación pública que permiten identificar y ponderar atributos de decisión en la etapa de caracterización de los estudios técnicos de cualquier índole. En el desarrollo de este análisis se integran algunas características de importancia para mayor claridad, como se mencionan a continuación:

1) Identificación de atributos

Esta fase consiste en identificar los atributos que deban emplearse para establecer las zonas prospectivas de la zona de estudio. El producto de esta etapa es una lista de atributos con su definición y su escala de medición. Para este caso la identificación de los atributos se tomaron en cuenta por su importancia geológico-minera y su grado de aparición en la zona de estudio.

La identificación de los atributos principales fueron: Geoquímica, Geología, Zonas de alteración, Estructuras, Vetas, Razones (Ratios) por Óxidos y Arcilla.

2) Establecimiento de la jerarquía de atributos

Después de identificar los atributos, se estableció la prioridad de acuerdo al orden de importancia o preferencia, usando los primeros pasos del Proceso Analítico Jerárquico por comparaciones pareadas.

El producto de esta etapa es una lista con los atributos escritos en orden de preferencia, para el caso de la zona de estudio los atributos jerárquicos que se tomarán en consideración se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Atributos y Prioridad de las Capas Espaciales en la Zona de Estudio

| Atributo | Prioridad |
|-------------------------------|------------------|
| Geoquímica | 1 |
| Geología | 2 |
| Zonas de Alteración | 3 |
| Estructuras | 4 |
| Vetas | 5 |
| Razones (Óxidos, Arcillas) | 6 |

Fuente: Elaboración Propia

3) Ponderación de atributos

Los problemas multicriterio típicamente involucran atributos de diferente importancia para los grupos de interés. Por lo tanto, es necesario tener información sobre la importancia relativa de cada atributo. Esto generalmente se logra asignando un peso a cada uno de ellos. El peso es el valor asignado a un atributo de evaluación que indica su importancia relativa con respecto a los otros atributos. En general, mientras mayor sea el peso de un atributo, mayor es su importancia

4) Identificación y ponderación de los atributos

Existen diferentes procedimientos para ponderar atributos con base en las preferencias de las capas a utilizar. Para este desarrollo, se usará el de comparaciones pareadas dentro del proceso analítico jerárquico, que está caracterizado por los siguientes pasos: a) Definir la jerarquía y b) Realizar comparaciones pareadas de los elementos.

a) Definición de Jerarquías

Este paso consiste en establecer la jerarquía de los elementos más importantes de la zona de estudio como se muestra en la Tabla 13 mostrada en la descripción de los datos del PAJ.

b) Comparaciones pareadas de los elementos

Las comparaciones pareadas son bases fundamentales de PAJ. El PAJ utiliza una escala subyacente con valores de 1 a 9 (Tabla 14), para calificar las preferencias relativas de dos elementos. Así se reduce la complejidad de la toma de decisiones ya que sólo se consideran dos componentes a la vez. Para realizar estas comparaciones por pares se tienen que generar los siguientes pasos:

Tabla 14. Escala de Preferencias para Valorar la Importancia de los Atributos

| Intensidad de importancia | Definición |
|---------------------------|--|
| 1 | Igual importancia |
| 2 | Importancia igual a moderada |
| 3 | Importancia moderada |
| 4 | Importancia moderada a fuerte |
| 5 | Importancia fuerte |
| 6 | Importancia fuerte a muy fuerte |
| 7 | Importancia muy fuerte |
| 8 | Importancia fuerte a extremadamente fuerte |
| 9 | Importancia extrema |

Fuente: Elaboración Propia

Generación de la matriz de comparaciones pareadas

Para elaborar la matriz de comparaciones pareadas, se basó en el rango de valores entre una escala de 1 a 9 (Tabla 14), para evaluar la preferencia entre cada par de atributos de acuerdo al orden mostrado en la Tabla 13.

Durante el llenado de la matriz, los datos calculados se consideran recíprocos como se muestra en la Tabla 15. Esto implica que si el criterio de Geología es de jerarquía fuerte sobre los demás, entonces los rangos de valores para los restantes deben ser calculados de acuerdo a su importancia con el criterio principal.

Cálculo del peso de los atributos

Consecuentemente los pesos de los valores fueron determinados de manera precisa con observaciones y criterios de expertos en cada una de las capas. Para este cálculo fue necesario tener armada la matriz con los valores determinados como se muestra en la Tabla 15 y generar los siguientes procesos

Tabla 15. Resultados de la Matriz Calculada por Comparaciones Pareadas

| Matriz de comparaciones pareadas (Prospección Minera) | | | | | |
|--|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------|--------------|
| Criterio | GEOQUÍMICA | GEOLOGIA | ALTERACIONES | ESTRUCTURAS | VETAS |
| GEOQUÍMICA | 1 | 3 | 4 | 5 | 7 |
| GEOLOGIA | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 8 |
| ALTERACIONES | 1/4 | 1/3 | 1 | 4 | 7 |
| ESTRUCTURAS | 1/5 | 1/5 | 1/4 | 1 | 4 |
| VETAS | 1/7 | 1/8 | 1/7 | 1/4 | 1 |
| | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia

- a) Suma de valores de cada uno de los criterios de la matriz de comparaciones pareadas.
- b) División de cada elemento de la matriz.

8.3.3 Generación de procesos del PAJ con el SIG

Una vez establecido el conjunto de atributos, cada uno de ellos se representó en un mapa con una base de datos en un sistema de información Geográfica (SIG), en combinación con los pesos de los atributos para generar un mapa raster con valores numéricos graficados con el software ArcGis.

El proceso para generar los mapas se basa en funciones de SIG que incluyen la entrada, almacenamiento, manipulación, análisis y elaboración de reportes de datos geográficos. Estos se generaron a partir de bases de datos que incluyen distribución geográfica de los diferentes valores que adopta el atributo.

Los datos de entrada y los resultados del proceso, se describirán de acuerdo al orden en que fueron determinados los pesos de los atributos como se observa en el Tabla 13. Para obtener el peso de cada uno de ellos fue necesario clasificar cada

atributo con sus criterios correspondientes dándoles un valor en orden jerárquico y determinar su importancia para ser procesados mediante el proceso analítico, que se muestran en el (Tabla 16).

Tabla 16. Definición del Peso de los Atributos

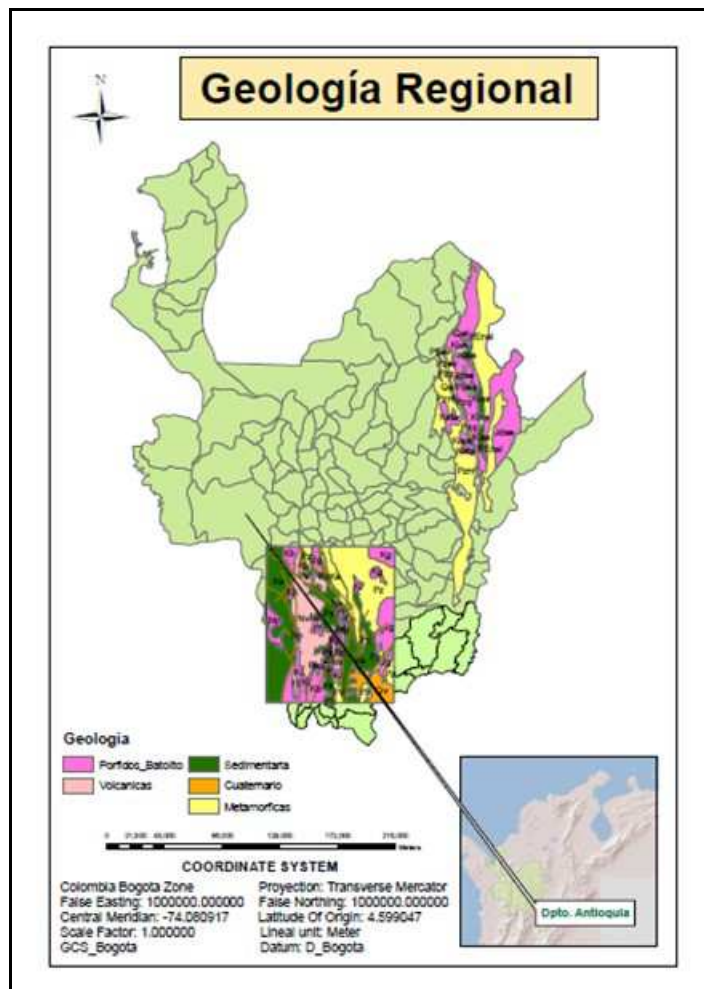
| ATRIBUTO | DEFINICIÓN | ESCALA DE MEDICIÓN | PESO |
|---------------------|----------------------------|--------------------|------|
| GEOQUÍMICA | Au (Oro) | ppb | 1 |
| | Ag(Plata) | ppm | 2 |
| | Pb(Plomo) | ppm | 3 |
| | Cu (Cobre) | ppm | 4 |
| | Zn (Zinc) | ppm | 5 |
| GEOLOGIA | Pórfidos, Batolito | Proporción | 1 |
| | Rocas Volcánicas | Proporción | 2 |
| | Rocas Sedimentaria | Proporción | 3 |
| | Depósitos Cuaternarios | Proporción | 4 |
| ZONAS DE ALTERACIÓN | Argilica avanzada o fuerte | Proporción | 1 |
| | Argilica moderada | Proporción | 2 |
| | propilitica | Proporción | 3 |
| ESTRUCTURAS | Fallas | Buffer | 1 |
| | Dique | Buffer | 2 |
| | Fracturas | Buffer | 3 |
| | Sinclinal - Anticlinal | Buffer | 4 |
| VETAS | Mayor a 2.0 metros | Buffer | 1 |
| | Entre 1.99 a 1.0 metro | Buffer | 2 |
| | Entre 0.99 a 0.50 metros | Buffer | 3 |
| | Menores a 0.50m | Buffer | 4 |

Fuente: Elaboración Propia

Una vez obtenido los datos generados, se procedió a realizar los mapas con los pesos determinados, usando el método del Analysis Spatial (ArcGis 9.3), para convertir los datos numéricos a una imagen raster y obtener como resultado áreas de influencia para cada uno de ellos Como se muestran a continuación:

Geología. En el Mapa 1, se observa el mapa geológico generado a partir de los pesos obtenidos, donde se observan resultados de acuerdo a su importancia litológica, determinando cuatro categorías: Rocas intrusivas (Pórfidos Riolíticos), Rocas Volcánicas, Rocas Calcáreas y Rocas Cuaternarias.

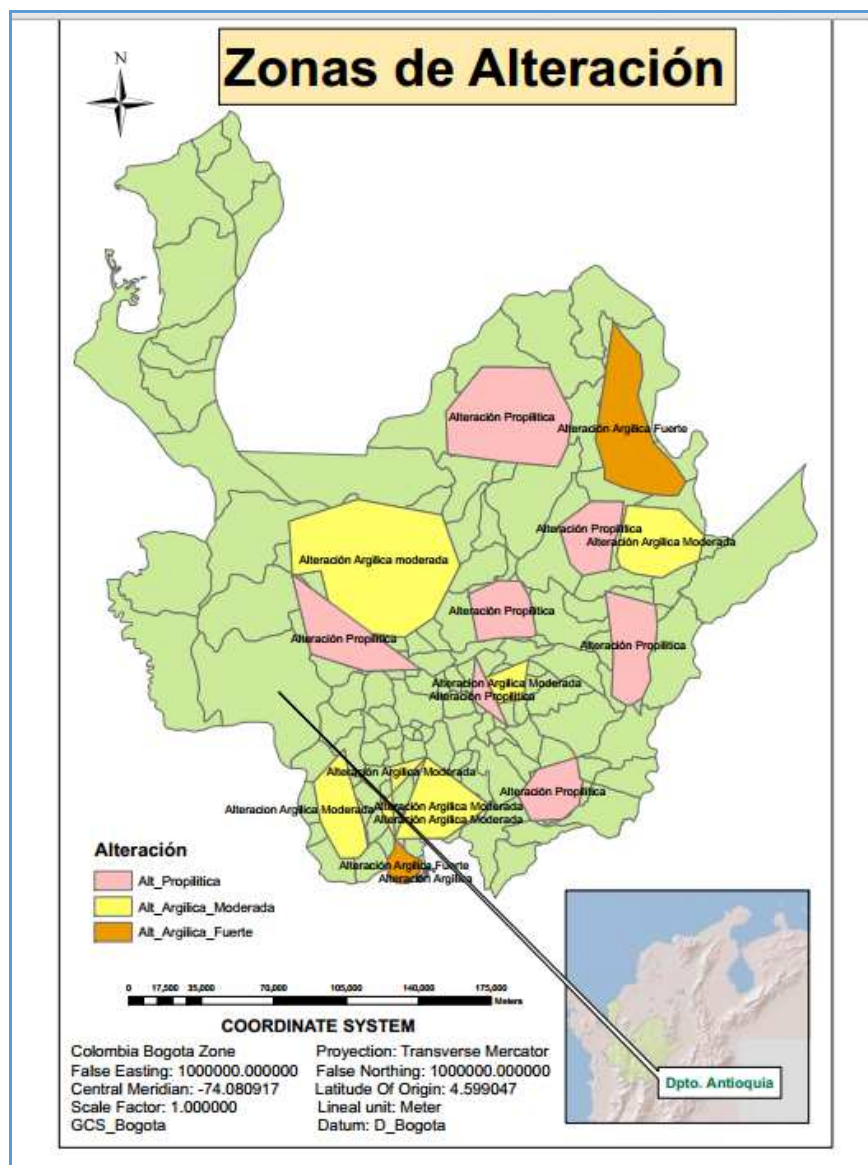
Mapa 1. Mapa Geológico Elaborado a partir de los Pesos de Importancia en la Zona de Estudio.



Fuente: Elaboracion Propia

Zonas de alteración. Determinados los pesos por la metodología descrita anteriormente se dio importancia al tipo de alteración hidrotermal que se presenta en la zona, definiendo su valor jerárquico y su peso correspondiente, que se muestran en el mapa 2, definiendo un rango de influencia de acuerdo a las características mineralógicas de cada uno de estas alteraciones, que servirán para la combinación con los demás factores.

Mapa 2. Zonas de Alteración del Área de Estudio

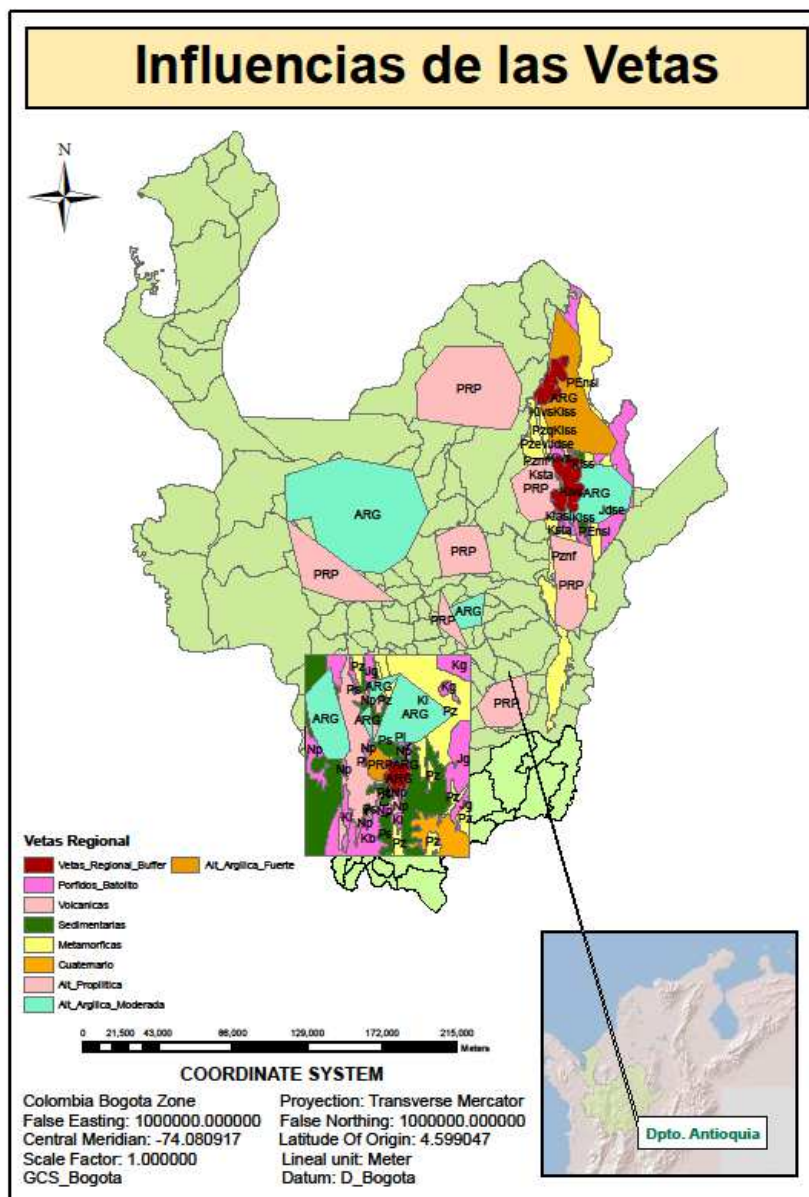


Fuente: Elaboración Propia

Vetas. El procedimiento para determinar los pesos fue similar a los demás factores, usando como parámetro la longitud de las vetas principales con sus espesores correspondientes, de acuerdo a la tabla 16.

Una vez calculado sus pesos, se procedió a generar el mapa vector a partir de estos datos dentro del SIG, usando la herramienta Spatial Analysis del ArcGis, generando un buffer a partir de las distancias determinadas que nos permitiera ver un radio de influencia de las variables expuestas para su combinación con los demás layers.

Mapa 3. Mapa de vetas elaborado a partir de los pesos relativos de la zona de estudio

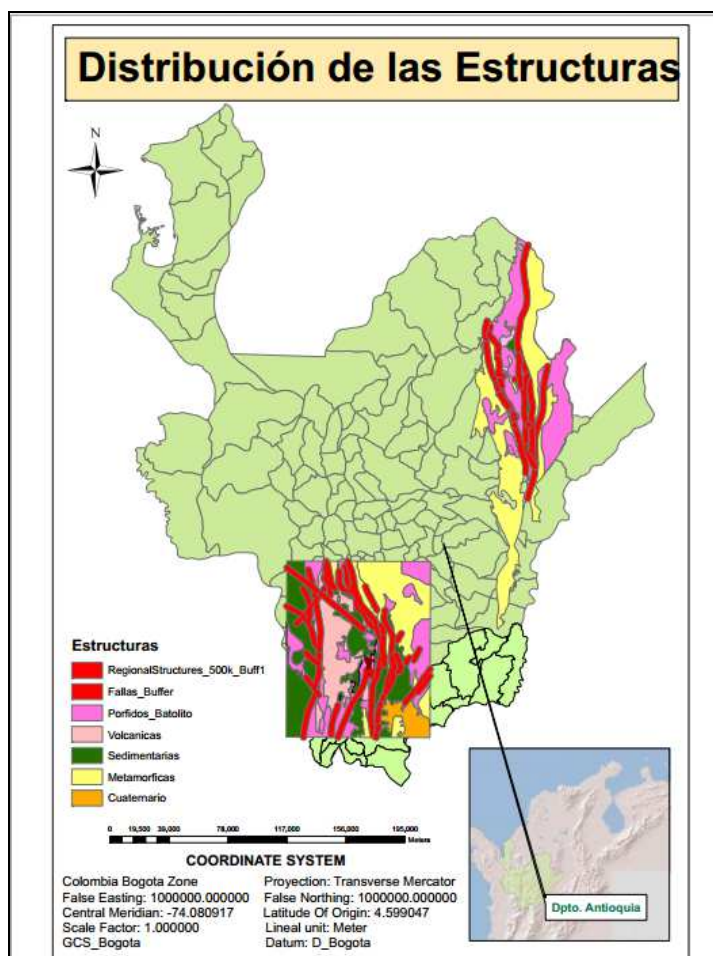


Fuente: Elaboracion Propia

Estructuras: Para el caso de este factor, los criterios usados para determinar su importancia fueron basados por el tipo de estructura presente en la zona y por su relación minera, por lo que el valor jerárquico fue calculado en base a las características descritas en la tabla 16.

El proceso analítico fue realizado por comparaciones pareadas obteniendo sus pesos relativos para su combinación. El resultado de este proceso, fue un archivo en formato vector con rangos asignados por el peso de cada una de las estructuras. Con estos datos se generó un buffer por una distancia (2Km) de acuerdo a su relación minera para determinar el rango de influencia de las principales estructuras.

Mapa 4. Mapa de Estructuras del Área de Estudio



Fuente: Elaboración Propia

Geoquímica. Para el análisis de esta variable fue necesario unir las dos áreas en una sola zona para realizar el cálculo de sus pesos relativos, mediante comparaciones pareadas del análisis jerárquico, con el objetivo de visualizar y combinar el comportamiento de las demás variables. La clasificación de las variables (Au,) fueron determinados en rangos de 4 valores como se muestra en el tabla 17 que se relaciona a continuación.

Tabla 17. Rango Establecido para la Variable Au.

| RANGO COLOR | TENOR de Au (gr/ton) |
|-------------|----------------------|
| Gris | <1.0 |
| Cyan | [1, 3] |
| Verde | (3, 6] |
| Amarillo | (6,12] |
| Rojo | (12,20] |
| Magenta | >20 |

Fuente: Elaboración Propia

11. CONCLUSIONES

El sistema de información geográfica permite mostrar áreas anómalas a partir de un análisis estadístico y analítico por una combinación e intersección de las diferentes capas de información, las respuestas mostradas en cada una de las combinaciones siempre dependerá del manejo de las variables y de los pesos relativos de cada uno de los elementos, para obtener resultados que puedan ser validados y verificados en campo para su mejor confiabilidad.

La identificación de áreas prospectivas puede estar condicionada por diferentes patrones de búsqueda, a partir de cada uno de los atributos, ya sea estructurales, mineralógicos, origen, densidad, etc, para la obtención de nuevas áreas prospectivas o continuación de las mismas a partir de los datos ya existentes de una zona conocida, donde los criterios geológicos son determinantes para llevar a cabo este proceso analítico.

Se desarrolló una metodología a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) combinando una serie de variables geológicas-mineras a las que se asignaron pesos relativos por un proceso de análisis Jerárquico (AHP) y criterios geológicos de exploración. Las variables utilizadas se determinaron por criterios geológicos, apuntando una prioridad de primer orden aquellas variables con ocurrencias de mineralización para la prospección de minerales metálicos.

Si bien los Modelos de Datos Geográficos son una herramienta para la estructuración de la información, la realidad de Colombia en relación a la información espacial, hace que en la práctica la implementación de estos Modelos esté limitada a la información existente y disponible, que en la mayoría de los casos carece de protocolos para su utilización. El ideal de la cartografía básica nacional es que sea pública, de libre acceso y administrada por una sola entidad. De acuerdo con lo encontrado en este trabajo esta cartografía es

manipulada por diversas instituciones públicas y privadas generando diversas fuentes de la misma información.

12. RECOMENDACIONES

Esta metodología, busca la forma de aplicarse a proyectos a futuro dentro de organizaciones públicas o privadas, principalmente en áreas de exploración minera con base en información geológica-minera existente, apoyado y validado siempre con verificación de terreno.

Hoy en día la prioridad dentro de la empresa es la búsqueda de nuevos prospectos de exploración minera en zonas donde las condiciones geológica-mineras sean propicias y libres de denuncia, por lo que es recomendable buscar nuevas áreas implementando herramientas de prospección y combinar los datos con este proceso. Cabe señalar que este método ayuda en primera instancia a delimitar áreas potencialmente prospectivas con datos existentes de una zona en estudio para proponer y priorizar sus resultados a las áreas especializadas para su continuidad y verificación preliminar en el terreno.

Se menciona como dificultad principal y que es de relevancia para la realización de un proyecto de esta magnitud, la falta de información digitalizada de uso público, cabe resaltar que dicha información puede existir pero de uso exclusivo de las compañías que la generan, lo que dificultó la labor para la realización y generación de los mapas con la correlación de variables establecidas.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, H.; Santamaría G. (2007). Cartografía social, el mapa como instrumento y metodología de la planeación participativa. Fundación La Minga.
- AngloGold Ashanti (2008). AngloGold Ashanti announces significant exploration results at 100% owned La Colosa project in Colombia. Colombia. Autor
- Bauzer, C. y Pires, Fátima (1994). *Databases for gis*. ACM Press, Vol 23, No. 1, pp. 107–115.
- Center for Research in Water Resources. (2001) *Hydro Data Model*. The University of Texas. Accedido el 1 de diciembre de 2013 en <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&mid=15>
- City of Loveland & Environmental Systems Research Institute - ESRI (2008). *Local Government Data Model*. Accedido el 3 de diciembre de 2013 en <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&mid=33>
- Congreso de la República de Colombia (2001). *Ley 685 de 2001. Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones*. Colombia. Autor
- Congreso de la República de Colombia (2010). *Memorias del Congreso de la República, 2009-2010*. Colombia. Autor
- Crandall, M. y Hoogewes, G. (2003). Agriculture Data Model. Accedido el 5 de diciembre de 2013 en <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&mid=35>
- Demmers, M. (1999). *Fundamentals of geographic information systems*. 2a edición. Wiley. Environmental Systems Research Institute. ESRI. (2001). Environmental Regulated Facilities Data Model. Accedido el 3 de diciembre de 2013 en <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&mid=10>
- Environmental Systems Research Institute. Esri. (2005). *Forestry Data Model*. Accedido el 6 de diciembre de 2013 en <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&mid=10>

- Environmental Systems Research Institute. ESRI. (2008). *Support Data Models Introduction*. Accedido el 9 de diciembre de 2013 en <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.intro>
- FEDESARROLLO (2008). *La minería en Colombia: Impacto socioeconómico y fiscal*. Colombia. Autor.
- González, C. (2011). La renta minera y el Plan de Desarrollo 2010- 2014. Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz (INDEPAZ). Bogotá. INDEPAZ Ediciones.
- Grissa-Touzi, A. y Sassi, M. (2007). New approach for the modeling and the implementation of the object-relational database. *World Academy of Sciences, Engineering and Technology*, No. 11. Accedido en el 15 de diciembre de 2013 en <http://www.waset.org/journals/waset/v11/v11-97.pdf>
- Jaramillo, J. (1987). La economía del virreinato (1740-1810) en *Historia Económica de Colombia*. Siglo XXI .Bogota Editores-FEDESARROLLO.
- Law, D. (2007). Many choices many geodatabase types available with ArcGIS 9.2., *The Magazine for ESRI Software USERS*. ESRI Product Management, Vol. 10, No. 1.
- Chor, L. & Yeun, A. (2006). *Concepts and techniques of geographic information systems*. 2a. New Jersey: Prentice Hall.
- Manfred, E. (2002). *Software Pioneers*, Berlin. Alemania .Springer.
- Marqués, M. (2002). Diseño de sistemas de bases de datos. Accedido el 2 de diciembre de 2013 en <http://es.scribd.com/doc/109739116/Base-de-Datos>
- Ministerio de Minas y Energía (2008). Estimación de la producción minera colombiana por distritos, basada en proyecciones de PIB minero latinoamericano 2008-2019. Bogotá. Colombia. Autor
- Ministerio de Minas y Energía (2013). Los trabajos de exploración (LTE) y programa de trabajos y obras (PTO) para materiales y minerales distintos del espacio y fondo marino. Bogotá. Colombia. Autor.
- Negrete, G. y Rodríguez, B. (2004). Arquitectura híbrida de acceso y visualización de datos, Tesis Licenciatura. Ingeniería en Sistemas Computacionales. Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas, Puebla (México). Accedido en 10 de diciembre de 2013 en http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/negrete_l_ga/capitulo2.pdf
- Quiroz, J. (2003). El modelo Relacional de la Base de Datos. En *Boletín de Política Informática* No 6(96). México: INEGI.

- Radilla, F. (2008). Modelado de datos para base de datos espaciales. Caso de estudio: Sistemas de Información Geográfica. Tesis Maestro en Ciencias, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Computación, México D.F.
- Restrepo, V. (1952). Estudio sobre las minas de oro y plata de Colombia. Bogotá. Colombia. Banco de la Republica
- Silberschatz, A.; Sudarshan, S. y Korth, H. Fundamentos de bases de datos. Madrid. España. McGraw Hill.
- Texas Natural Resources Information System. TNRIS. (2006). Basemap Data Model. Accedido el 3 de diciembre de 2013 en <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&mid=3>
- Tryfona, N. y Friis-Christensen, A. (2001). Requirements and research issues in geographic data modeling. ACM Press.
- Von Meyer, N. (2004). *Land Parcels Data Model*. Accedido el 7 de diciembre de 2013 en <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&mid=11>
- Zeiler, M. (1999). *Modeling Our World. The ESRI Guide to Geodatabase Design*. Redlands. New York .ESRI Press.

ANEXOS

Anexo 1. ESTRUCTURA DEL INFORME NI43-101

Este estándar contiene 10 capítulos o secciones que se relacionan a continuación:

PARTE 1 DEFINICIONES E INTERPRETACIÓN

1.1 Definiciones

1.2 Recursos Minerales

1.3 Reservas Minerales

1.4 Estudios Mineros

1.5 Independencia

PARTE 2 REQUISITOS APLICABLES A TODA DIVULGACIÓN

2.1 Requisitos Aplicables para la Divulgación

2.2 Divulgación de Recursos y Reservas Mineras

2.3 Divulgación restringida

2.4 La divulgación de las estimaciones históricas

PARTE 3 REQUISITOS ADICIONALES PARA DIVULGACIÓN ESCRITO

3.1 Revelación escrita de incluir el nombre de la Persona Calificada

3.2 Divulgación Escrito para incluir los datos de verificación

3.3 Requisitos aplicables a la divulgación de información por escrito Exploración

3.4 Requisitos aplicables a la divulgación escrita de Recursos Minerales y Reservas

3.5 Excepción para divulgación escrita ya presentada

PARTE 4 OBLIGACIÓN DE PRESENTAR INFORME TÉCNICO

4.1 Obligación de presentar un Informe Técnico al convertirse en un reporte del Emisor

4.2 Obligación de presentar un reporte Técnico en relación con temas sobre proyectos del Mineral

4.3 Formulario requerido del Informe Técnico

PARTE 5 AUTOR DEL INFORME TÉCNICO

5.1 Preparado por una persona calificada

5.2 Ejecución de Informes Técnicos

5.3 Informe Técnico Independiente

PARTE 6 PREPARACIÓN DEL INFORME TÉCNICO

6.1 El Informe Técnico

6.2 actual Inspección Personal

6.3 Mantenimiento de Registros

6.4 Limitación de Renuncias

PARTE 7 USO DEL CÓDIGO DE EXTRANJEROS

7.1 Uso del Código de Relaciones Exteriores

PARTE 8 CERTIFICADOS Y CONSENTIMIENTO DE LAS PERSONAS CALIFICADAS PARA INFORMES TÉCNICOS

8.1 Certificados de Personas Calificadas

8.2 Dirigido a Emisor

8.3 Consentimiento de Personas Calificadas

PARTE 9 EXCEPCIONES

9.1 Autoridad para conceder exenciones

9.2 Exenciones para derechos o intereses similares

9.3 Exención para ciertos tipos de Registros

PARTE 10 FECHA DE VIGENCIA Y DEROGACIÓN

10.1 Fecha de vigencia

10.2 Derogación

