

INTEGRACIÓN CARTOGRAFICA DE LA GEOLOGÍA DEL SUBSUELO PARA LA  
GENERACIÓN DE SALIDAS GRAFICAS EN EL PORTAFOLIO EXPLORATORIO DE  
PACIFIC EXPLORATION & PRODUCTION



DANIELA RODRIGUEZ FORERO

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFIA  
FUSAGASUGÁ  
2017

INTEGRACIÓN CARTOGRAFICA DE LA GEOLOGÍA DEL SUBSUELO PARA LA  
GENERACIÓN DE SALIDAS GRAFICAS EN EL PORTAFOLIO EXPLORATORIO DE  
PACIFIC EXPLORATION & PRODUCTION

DANIELA RODRIGUEZ FORERO

TRABAJO PASANTIA

Director  
Socrates Cardona Giraldo  
Ing. Topográfico- Esp. Avaluos

Director externo  
Efraín Andres Laverde  
Ep. SIG

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA  
FUSAGASUGÁ  
2017

**Nota de Aceptación**

---

---

**Firma del Director**



A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke, positioned above a horizontal line.

---

**Firma del asesor externo**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**



## DEDICATORIA

*A mis padres que han sido el motor que día a día impulsa mi vida, por su apoyo emocional, afectivo y económico, porque han estado siempre para los buenos y malos momentos de mi vida dándome animo y fortaleza se los agradezco con todo el corazón porque por ustedes es que culmino con este proyecto una etapa que no será la ultima sino el inicio de nuevas metas.*



## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a Pacific Exploration & Production por la oportunidad, apoyo económico y suministro de información, que durante seis meses me permitió obtener experiencia y el desarrollar de este proyecto.*

*Agradezco especialmente al especialista Gis Oscar Castillo, por la oportunidad, por todo lo aprendido y especialmente por este proyecto, sin él no habría sido posible llevarlo a cabo.*

*A los especialistas GIS del área de exploración Efraín Laverde y Jorge Iván Ramírez quienes con su guía, apoyo y colaboración fueron parte fundamental de este proceso.*

*Agradezco a la Universidad de Cundinamarca, en particular a los docentes por la formación profesional y personal que recibí a lo largo de la carrera universitaria ya que ha sido la herramienta fundamental para desempeñarme como profesional integra.*

*Para este proyecto agradezco la dirección del profesor Socrates Cardona Giraldo, quien fue guía académico en el desarrollo de este.*



## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE TABLAS.....	13
GLOSARIO.....	14
RESUMEN.....	19
ABSTRAC.....	20
1. INTRODUCCIÓN.....	21
2. OBJETIVOS.....	22
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	22
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
3. MARCO TEORICO .....	23
3.1. SÍSMICA .....	23
1.1. 23	
2.1. 23	
3.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	23
3.3. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA .....	24
3.4. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN .....	25
3.4.1. Bases de Datos .....	27
3.4.2. Diseño de la Base de Datos.....	27
3.4.3. Geodatabase .....	28
4. METODOLOGÍA .....	29
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	29
4.2. DIAGRAMA DEL DISEÑO METODOLÓGICO .....	31
5. PROCEDIMIENTO .....	32
5.1. DIAGNOSTICO DE LA INFORMACIÓN.....	32
5.2. LICENCIAS Y HERRAMIENTAS .....	33
5.2.1. Licencias .....	33
5.2.2. Herramientas .....	33
5.3. GEO-PROCESOS .....	33
5.4. GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOGRAFICA.....	42



5.5.	GENERACIÓN DE LABEL.....	46
5.6.	GENERACIÓN DE MODEL BUILDER .....	48
5.7.	PUBLICACIÓN EN EL PORTAL ATLAS .....	53
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	61
7.	CONCLUSIONES.....	67
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	68



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo de vida de los sistemas de información. Fuente Los Sistemas de Información en la Empresa, Alberto Gómez y Nicolás de Abajo, Ciclo de vida de los datos, complementado por el área de exploración.....	29
Figura 2. Diseño metodológico .....	31
Figura 3. Generación de contornos a partir de una superficie raster.....	34
Figura 4. Paso para transformar el shp de las fallas de tipo polígono a tipo línea. ....	35
Figura 5. Teniendo los contornos, la envolvente y las fallas como shp de tipo línea se unifican aplicando un "Merge" con el fin de obtener 1 solo shp de tipo línea.....	36
Figura 6. Ejemplo de topología en donde la tabla indica la vecindad del arco #6, el cual tiene a la derecha el polígono C y a la izquierda el polígono B.....	37
Figura 7. Transformación de archivo shapefile a archivo cobertura, lo cual genera atributos topológicos y permite la generación de los polígonos de los contornos. ....	38
Figura 8. Aplicación del geo proceso “Clean”, el cual permite unir vértices dependiendo el factor de tolerancia escogido. Para el caso de los contornos mostrados se usó un valor de 0.0001.....	39
Figura 9: Creación del campo Z, el cual se diligencia con la información del estructural. ....	40
Figura 10. Simbología de contornos por profundidad. Los colores rojos son las zonas más someras y los verdes los más profundos.....	40
Figura 11. Transformación del modelo de curvas Vector a un modelo raster con valores de pixeles suavizados a los contornos.....	41
Figura 12. Creación de los contornos con la herramienta Illuminated, la cual crea una sensación de brillo diferencial entre las líneas de contorno.....	42
Figura 13. Creación de la base de datos geográfica .....	43
Figura 14. Generación de Feature Dataset y asignación de nombre. ....	44
Figura 15. Asignación de coordenadas.....	44





Figura 16. Importación de Feature Class (Múltiple).....	45
Figura 17. Estructura de la geodatabase.....	45
Figura 18. Estándar grafico proporcionado por el área de diseño.....	46
Figura 19. Separación de las curvas principales obtenidas mediante el modelo matemático de Python y selección por atributos.....	47
Figura 20. Activación y configuración de los label.....	47
Figura 21. Conversión de label a Anotación.....	48
Figura 22 Generación de un nuevo Toolbox y asignación del nombre.....	49
Figura 23. Creación de modelo y edición.....	49
Figura 24. Adición del archivo y carga de procesos.....	50
Figura 26 Propiedades del clip.....	50
Figura 26. Model Builder para la generación de los polígonos de label.....	51
Figura 27. Etiquetas generadas por el Model Builder.....	51
Figura 28. Importar simbología de los contornos estructurales.....	52
Figura 29. Resultado de la generación de label.....	52
Figura 30. MXD de la información estructural de los bloques de exploración.....	54
Figura 31. Visualización Portal ATLAS. Fuente. Captura de Geoportal ATLAS.....	55
Figura 32. Selección herramienta para publicación de servicio.....	56
Figura 33. Opción para publicación de servicio.....	56
Figura 34. Selección de conexión y nombre para el servicio.....	57
Figura 35. Selección de folder para la ubicación del servicio.....	58
Figura 36. Análisis del servicio.....	59
Figura 37. Ventana de errores y Advertencias.....	59
Figura 38. Ventana de publicación.....	60
Figura 39. Reporte de portafolio de exploración.....	63
Figura 40. Base de datos de portafolio estructurada en dataset mostrando la geometría de la información geográfica.....	64
Figura 41. Diferencias entre Raster y el estructural.....	65
Figura 42 Sálida grafica.....	66



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Formato de datos e información usada en la creación de los mapas.....	32
Tabla 2. Encabezados de la organización de la información en Excel.....	61



## GLOSARIO

### A

**ATRIBUTO:** Representa las propiedades básicas de las entidades.

### B

**BASE DE DATOS ESPACIAL:** Es una colección de datos referenciados espacialmente, que actúan como un modelo de la realidad, en el sentido de que ella representa una serie o aproximación de fenómenos.

**BLOQUE:** Son áreas en las cuales se considera que existe algún tipo de hidrocarburo almacenado, pueden ser de dos tipos de exploración y de producción y estas áreas son económicamente productivas por métodos técnicos; son aprobadas por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).

### C

**CAMPO:** Es la porción continua del Área Contratada en cuyo subsuelo existen uno o más yacimientos descubiertos.

**CLEAN:** Operación de limpieza de arcos y creación de topología en ArcInfo que intersecta todos los elementos y genera los polígonos resultantes

**COBERTURA:** Es un modelo de datos georrelacionales que almacena datos vectoriales; contiene datos espaciales (ubicación) y de atributos (descriptivos) de entidades geográficas. Las coberturas utilizan un conjunto de clases de entidades para representar entidades geográficas.

**COMPAÑÍA E&P:** Es toda empresa cuya actividad económica está en la exploración y producción de petróleo y gas.

**COMPONENTE ESPACIAL:** Hace referencia a la localización geográfica, las propiedades espaciales de los objetos y las relaciones espaciales que existen entre ellos.

**CONFORMIDAD:** Cumplimiento de todos los requisitos especificados



**CONJUNTO DE DATOS GEOGRAFICOS:** Grupo de datos geográficos relacionados de acuerdo con especificaciones técnicas predeterminadas.

**CONTRATO E&P:** Este modelo aplica para los contratos que se suscriben como resultado de un proceso de asignación directa. En los casos de los procesos competitivos, el contrato que se suscribe es el que se publica y hace parte de los Términos de Referencia. El contratista desarrolla el programa de trabajo, que hace parte de los compromisos del contrato, con autonomía y responsabilidad exclusiva.

## D

**DATO:** Es una colección de hechos considerados de forma aislada.

**DATO ESPACIAL:** Es cualquier objeto y/o elemento ubicable en un sistema coordinado representado en dos o tres dimensiones, por lo cual cuenta con atributos de localización y dimensión.

**ESCALA:** Relación escalar entre la distancia medida sobre un mapa o plano y la distancia correspondiente medida sobre el terreno representado.

**ESTÁNDARES:** Conjunto de normas y acuerdos documentados que contienen especificaciones técnicas y/o criterios necesarios para que sean utilizados consistentemente, como guías o definiciones de características para garantizar que los productos, materiales, procesos y servicios cumplan su objetivo.

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:** Descripción detallada de una serie de datos o conjunto de datos con información adicional que permite crearlos, proveerlos y usarlos.

**ESQUEMA DE APLICACIÓN:** Esquema conceptual de los datos, requerido por una o más aplicaciones.

**ESQUEMA CONCEPTUAL:** Descripción formal de un modelo conceptual.

## F

**FILE:** Fichero de datos

## G

**GEORREFERENCIAR:** Asignación de coordenadas a un elemento, objeto o estructura.



**GRID:** Modelo de datos raster con que por defecto trabajan las aplicaciones de ESRI®. Consiste en la división del espacio en forma de una malla regular y la asignación de un valor numérico a cada celda.

## H

**HIDROCARBUROS:** Son todos los compuestos orgánicos principalmente compuestos por la mezcla natural de carbón e hidrogeno, al igual que aquellas sustancias que los acompañan o derivan de estos.

## I

**IMPORTAR:** Acción de convertir un fichero de datos de un formato externo al formato propio de la aplicación utilizada

**INFORMACIÓN:** Es el conjunto de datos arreglados y ordenados en forma útil.

**INFORMACIÓN GEOGRÁFICA O GEOINFORMACIÓN:** es información que tiene un componente geométrico (espacial), que describe la localización de los objetos en el espacio y las relaciones espaciales entre ellos; un componente temático, que recoge sus características descriptivas (atributos), y un componente temporal (tiempo).

**LABEL:** Etiqueta que suele ubicarse en los centroides de los polígonos y son los elementos gráficos que contienen sus atributos.

**LAYER:** capa temática de datos.

**LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA:** La localización geográfica o posición de los objetos en el espacio se expresa mediante un sistema de coordenadas que debe ser el mismo para las distintas capas o estratos de la información con que se presenta la realidad del área de estudio.

## M

**MARCO DE REFERENCIA:** Conjunto de puntos cuyas coordenadas han sido definidas sobre el sistema de referencia que se materializa.

**MATCH:** Coincidencia, acierto.

**MERGE:** Acción de fundir dos conjuntos de datos geográficos en uno solo.

**METADATO:** Datos acerca del contenido, calidad, información que describe las características de los datos y servicios.



**MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES:** Conjunto de datos geográficos tridimensionales que representan una superficie compleja en 3D.

## O

**OBJETO GEOGRÁFICO:** Representación abstracta de un determinado elementos o fenómeno del mundo real asociado a una localización espacial y temporal, con características específicas.

**OPERACIÓN:** Acción ejecutada por las instancias de un objeto que conlleva la modificación del valor de uno de los atributos del objeto involucrado

## P

**POZO:** Lugar donde se realiza una perforación en un yacimiento (concentración significativa de petróleo) delimitado para el hallazgo de algún tipo de hidrocarburo.

**POZO EXPLORATORIO:** Es un pozo a ser perforado por EL CONTRATISTA en busca de yacimientos de Hidrocarburos, en un área no probada como productora de Hidrocarburos.

**PROCESO:** Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en salidas.

**PRODUCTO GEOGRÁFICO:** Grupo de datos relacionados, que se obtienen o generan de acuerdo con una serie de especificaciones técnicas previamente determinadas.

## R

**RASTER:** Se refiere a una imagen que es una representación gráfica y continua de la realidad, por medio de celdas regulares (generalmente en cuadrícula) en una matriz, cada una de las celdas representan un valor.

**RELACIÓN:** Interacción o vinculación entre miembros de un tipo de objeto o entre varios objetos.

## S

**SÍSMICA 2D:** La sísmica 2D (dos dimensiones) es una tecnología de medición acústica que genera una sección transversal del subsuelo de la tierra y es utilizada frecuentemente en la industria para inicialmente identificar estructuras geológicas asociadas a la acumulación del



hidrocarburo. La energía acústica por lo general se proporciona por la detonación de cargas explosivas o por camiones adaptados para vibrar.

**SÍSMICA 3D:** se hace similar a la sísmica 2D, excepto que los "puntos de disparo" están mucho más cerca entre sí y se disponen en una cuadrícula, en lugar de en línea recta incluyendo una nueva dimensión. Los geófonos que reciben las ondas sonoras reflejadas también están dispuestos en una cuadrícula. Esta tecnología es buena para mostrar trampas estructurales, pero no es ideal para mostrar las trampas estratigráficas.

**SISTEMA:** Es una reunión o conjunto de elementos relacionados que interactúan entre sí para lograr un fin determinado.

**SISTEMA DE INFORMACIÓN:** Es una disposición de personas, actividades, datos, redes y tecnología integrados entre sí con el propósito de apoyar y mejorar las operaciones cotidianas de una empresa, así como satisfacer las necesidades de información para la resolución de problemas y la toma de decisiones por parte de los directivos.



## RESUMEN

La gerencia corporativa de activos y portafolio de exploracion requiere integrar los elementos geológicos de curvas, fallas y prospectos los cuales están en diferentes plataformas petrotécnicas (OpenWorks, Petrel, Seisware, Kingdom, etc.) en informes que se presentan a socios y que generalmente salen como imágenes .TIFF de estas plataformas. Esto limita la resolución de las imágenes al tamaño del pixel, adicionalmente, al estar en formato grid o raster son pesadas y esto dificulta ser consultadas en un portal web.

Por tal motivo se realizó un procedimiento mediante el cual se transforma los datos de formato raster a formato vector integrando curvas, fallas y envolvente, generando contornos que mantienen la misma paleta de colores y aplicando transformaciones vectoriales para conservar también los valores de cotas sin que involucre una programación adicional, utilizando los módulos de programación propios de la plataforma de ArcGIS, ganando el beneficio de la resolución de los datos a nivel vector y no estar atado al tamaño del pixel.

Finalmente se aplicó la herramienta Terrain Tools lo que permitió usar técnicas de visualización como el Illuminated que aumenta el contraste de las capas estructurales y mejora la visualización de los productos finales.

Estos datos fueron proporcionados por Pacific Exploration & Production (Pacific E&P) que es una de las compañías petroleras más importante en Colombia, teniendo actualmente alrededor de 26 áreas con compromisos de exploración en todo el territorio.

**PALABRAS CLAVE: curvas, fallas, prospectos, plataformas petrotécnicas, imágenes, raster, vector, cotas, pixel,illuminated.**





## ABSTRAC

Corporate Asset Management and Exploration Portfolio requires integrating the geological elements of curves, faults and prospects which are on different petrotechnic platforms (OpenWorks, Petrel, Seisware, Kindom, etc.) in reports that are presented to partners and generally come out As .TIFF images of these platforms. This limits the resolution of the images to the size of the pixel, additionally, being in grid or raster format are heavy and this makes it difficult to be consulted in a web portal.

For this reason, a procedure was performed whereby the data from raster format to vector format was integrated integrating curves, faults and envelope, generating contours that maintain the same palette of colors and applying vectorial transformations to preserve also the values of dimensions without involving An additional programming, using the own programming modules of the ArcGIS platform, gaining the benefit of the resolution of the data at vector level and not being tied to the size of the pixel.

Finally, the Terrain Tools tool was applied, which allowed the use of visualization techniques such as Illuminated which increases the contrast of the structural layers and improves the visualization of the final products.

This data was provided by Pacific Exploration & Production (Pacific E & P), which is one of the most important oil companies in Colombia, currently having around 26 areas with exploration commitments throughout the territory.

**KEY WORDS:** curves, faults, leaflets, petrotechnics platforms, images, raster, vector, dimensions, pixel, illuminated.



## 1. INTRODUCCIÓN

Pacific Exploration & Production Corp., es una compañía pública canadiense, líder en exploración, producción de petróleo y gas natural, con operaciones enfocadas en América Latina.

Actualmente cuenta con 26 áreas de compromisos exploratorios en todo el territorio, para la vicepresidencia de exploración es importante enfocar esfuerzos en diferentes áreas que faciliten la toma de decisiones y que integren información no solo del subsuelo sino también de interés en superficie, permitiendo una mejor visualización y por tanto ayudando a tomar acciones de una manera eficaz y rápida.

Por tal motivo se integro la información geológica del subsuelo realizando un diagnostico e inventario de los datos existentes, estos datos son copilados, estructurados y posteriormente almacenados en la geodatabase corporativa manteniendo estándares de información geográfica como archivos shapefiles, permitiendo crear servicios web que pueden ser consultados, editados y consumidos internamente por los expertos que lo necesiten.

Se genero un modelo cartográfico donde se representan los contornos de los estructurales en 3D con la finalidad de mejorar la visualización de los prospectos de hidrocarburo.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.OBJETIVO GENERAL**

Integrar la cartografía asociada al portafolio exploratorio a partir de información obtenida de las plataformas petrotécnicas de la compañía, con el fin de generar un modelo cartográfico que mejore la visualización de los contornos para su posterior publicación.

### **2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el diagnóstico de la información existente correspondiente a la información espacial y no espacial que posee el área de exploración.
- Generar un modelo cartográfico que represente los contornos de los prospectos mediante un patrón de 3D.
- Generar las salidas graficas que visualicen los prospectos, líneas sísmicas y límite de bloques de exploración.
- Publicar un servicio web con la información de los prospectos y de los estructurales para ser consumidas en el portal de Pacific E&P -ATLAS.



### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1.SÍSMICA

Para conocer los cortes geológicos y las formaciones rocosas que se encuentran presentes en el subsuelo y saber si hay probabilidades de encontrar hidrocarburos se utiliza el método sísmico que para Cambefort<sup>1</sup> consiste en provocar una sacudida del suelo, en un punto y tiempo dado, y medir el tiempo transcurrido hasta la aparición del efecto de la sacudida en puntos más o menos lejanos. Esta sacudida es un temblor artificial provocado por explosiones controladas para emitir ondas que con ayuda de los geófonos se captura la información estructural y estratigráfica, mediante procesadores se determina el tiempo que tarda la onda entre la superficie y el corte geológico.

Por su parte, para Rodríguez, A; Antoranz, A<sup>2</sup> El método sísmico y eléctrico (incluido el electromagnético), que estudian las propiedades elásticas y eléctricas de las rocas, necesitan de la introducción de energía en el terreno. Como en estos métodos la energía hay que generarla artificialmente, es posible variar la distancia entre la fuente y el receptor, lo que se traduce en la posibilidad de interpretar las medidas de forma unívoca y más detallada. Esta energía es suministrada por un dispositivo tetraelectrónico en el subsuelo, las ondas producidas se propagan en diferentes velocidades y son reflejadas y refractadas en las interfaces que se dirigen hacia la superficie.

#### 3.2.GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La geología es una ciencia importante para determinar los espacios con posibles oportunidades de hidrocarburos ya que estos se generan con los diferentes procesos geotérmicos del subsuelo para Ch. Lyell, 1990<sup>3</sup> es la ciencia que trata los cambios sucesivos acaecidos en los reinos orgánicos e inorgánicos de la naturaleza: se pregunta acerca de las causas de estos cambios, y de

---

<sup>1</sup> Henri Cambefort libro Geotecnia del Ingeniero, reconocimiento de suelos 1975

<sup>2</sup> Angel Rodríguez; Ana M. Antoranz libro Geofísica marina fundamentos y aplicación a la tectónica global 2006.

<sup>3</sup> Chrles Lyell, 1990. Principios de Geología volumen 1.



su influencia en las modificaciones sufridas por la superficie y estructura externa de nuestro planeta. Determina los compuestos de las rocas, las capas estructurales que determinan la edad geológica de estos, con esto se realiza un análisis de los diferentes procesos que a pasado una extensión de tierra y de las posibilidades de formación de hidrocarburo.

El estudio detallado de las capas del subsuelo se determinan en una rama de la geología que es la geología estructural, como la define Tarbuck; Lutgens<sup>4</sup> se basa en la tectónica de placas que se entiende como el estudio de los procesos que deforman la corteza de la Tierra y las principales características estructurales producidas por esa deformación, como las montañas, los continentes y las cuencas oceánicas. Esta teoría explica el movimiento de la capa externa de la tierra que genera mecanismos de subducción y de expansión del fondo oceánico, que genera la mayoría de los procesos geológicos.

Para Tarbuck;Lutgens<sup>5</sup> el modelo de la tectónica de placas, el manto superior, junto con la corteza supra yacente, se comportan como una capa fuerte y rígida, conocida como la litosfera que está rota en fragmentos, denominados placas que se mueven unas con respecto a las otras y cambian continuamente de tamaño y forma. Estas placas se mueven como unidades coherentes en relación con las demás placas.

Tras miles de años geológicos se ha ido acumulando material orgánico capa por capa debido a esta erosión, hasta dar origen a la estructura geomorfológica que hoy en día se encuentra en el subsuelo siendo la teoría más acertada de la forma en la que se producen los hidrocarburos.

### **3.3.CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA**

Los mapas según Golinski, 1998<sup>6</sup> Significan la traducción de las prácticas de laboratorio al mundo exterior y de las imágenes del mundo en el laboratorio, de este modo, revalidan la visión de la ciencia como un artefacto cultural. Permiten el análisis de un espacio geográfico ya sea a una escala grande o pequeña según el detalle requerido desde un espacio cerrado tal como una oficina o para realizar trabajo en campo.

---

<sup>4</sup> Edward J. Tarbuck; Frederick k. lutgens. Libro las ciencias de la tierra una introducción a la geología física. Cap 1 Introduccion a la Geología.

<sup>5</sup> Edward J. Tarbuck; Frederick k. lutgens. Libro las ciencias de la tierra una introducción a la geología física. Cap 2 Tectonica de placas.El nuevo paradigma

<sup>6</sup>Golinski, 1998. Haciendo Conocimiento Natural : el constructivismo y la Historia de la Ciencia.



En la búsqueda de hidrocarburos es fundamental obtener la información geológica del subsuelo para verificar la viabilidad del proyecto exploratorio, para analizar esta información de manera practica y eficaz es necesario representar estos datos en un mapa debido a que en ellos se sintetiza las formaciones rocosas estructuras y fallas del terreno.

Para Boixereu Vila, 2015<sup>7</sup> Un mapa geológico es la representación plana, proyectada, a una escala definida, de la distribución características y relaciones de los materiales que forman la superficie terrestre. Estos mapas contienen la información estructural de la roca existente en la superficie, su análisis depende del interprete ya que el es quien determina la ubicación de cortes geológicos.

Solé Sabaris, 1983<sup>8</sup> señala que un mapa geológico no es tan solo la expresión grafica de la realidad de la naturaleza, sino que representa una visión personal de la interpretación de su autor y formulada mediante su técnica, cuyos resultados se relevan en la exactitud de los limites de los terrenos geológicos. Los interpretes tienen la funcionalidad de realizar las aproximaciones propias del terreno teniendo en cuenta la escala estratigráfica y la longitud de onda hallada en la sísmica realizada, con ello determina que tipo de estructura se encuentra en el subsuelo, es un trabajo personal debido a que es según la perspectiva de cada autor, estos mapas contienen un esquema de colores contrastes, símbolos y contactos precisos entre las formaciones que determinan los diferentes tipos de roca.

Para Furon, 1973<sup>9</sup>, un mapa geológico es la expresión gráfica del conocimiento de la edad y la naturaleza de las rocas. Colores diversos muestran la extensión de las formaciones. Cada uno de estos contrastes de color visualizan la edad en eras geológicas y los procesos desarrollados a través de estos, que procesos geotérmicos desarrollaron las formaciones.

### 3.4.MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

El término Modelo Digital del Terreno (MDT) fue utilizado por primera vez según Petrie; Kennie, 1990<sup>10</sup> por Miller y La Flamme, dos ingenieros del Instituto Tecnológico de

---

<sup>7</sup> Boixereu Vila Ester, 2015. Evolución historica de la cartografía geológica en España: Desde sus orígenes hasta los mapas de Verneuil y Collomb (1864) y Maestre (1865).

<sup>8</sup> Solé Sabaris L, 1983. Morfología general de la Península Ibérica. In Geología de España, Libro titular pag 589- 613.

<sup>9</sup> Furon R, 1973. "La Geología", en Taton, R. (dir.), Historia General de las Ciencias, Ediciones Destino, Barcelona, vol. III, pp. 417-442

<sup>10</sup> Petrie, G. 1990. Modelling, interpolation and contouring procedures. In Petri, G. and Kennie, T.J.M (Ed.) 1990. Terrain modelling in surveying and civil engineering. Whittles Publishing. pp. 113-127



Massachusetts, a finales de los años 50; Según estos investigadores un modelo digital del terreno es una representación estadística de una superficie continua del terreno mediante un conjunto de puntos cuyos valores en Y, X y Z conocidos se definen en un sistema de coordenadas arbitrario”. Un modelo digital de elevación puede crearse a partir de datos raster o datos vectoriales, que incluyan la ubicación geográfica y la variable a representar que puede ser las construcciones en una ciudad, los niveles de contaminación, la elevación o declinación del terreno etc.

Al hablar de MDE (Modelo Digital de Elevación), elevación, se refiere al concepto de medición de altura con respecto a un datum y la generación por parte del modelo a partir de valores absolutos de altura.

Los datos utilizados para la elaboración de estos MDE pueden ser a partir de puntos aleatorios x, y que son las coordenadas y z que es el valor de elevación, que mediante el método de interpolación genera la superficie en la cual cada punto tiene un valor estimado, produciendo funciones continuas en el rango de los datos conocido que se aproximen a la información, la calidad de este dependerá de la distribución así como la cantidad de puntos además de las características del terreno.

El método utilizado para la generación del modelo digital de elevación de este proyecto es IDW<sup>11</sup> que Interpola una superficie raster a partir de puntos utilizando una técnica de distancia inversa ponderada. Este método asume que los puntos poseen una influencia local que disminuye en función de la distancia ponderando de mayor forma a los puntos cercanos a la celda procesada, generando el valor de salida para una celda que se limita al rango de valores utilizados para la interpolación.

Para obtener resultados de calidad con el método IDW se necesita que la muestra sea lo suficientemente densa respecto de la variación local que intenta simular.

Para las entidades que no tienen valores z, se utiliza una barrera que limita el conjunto seleccionado de puntos de muestra que especifiquen su ubicación, esta separación se determina mediante un análisis de línea de visión entre cada par de puntos. Un ejemplo de estas entidades son las fallas, acantilados y terraplenes.

---

<sup>11</sup> ArcGis



### 3.4.1. Bases de Datos

Para Cobo, 2009<sup>12</sup> es un conjunto de datos almacenados sin redundancias innecesarias en un soporte informático y accesible simultáneamente por distintos usuarios y aplicaciones. Los datos deben de estar estructurados y almacenados de forma totalmente independiente de las aplicaciones que la utilizan, los componentes de estas son los datos, el software y los usuarios.

Para Sarria, 2006<sup>13</sup> un sistema de Gestión de Bases de datos (SGBD) consiste en una colección de programas de aplicación que proporcionan al usuario de la base de datos los medios necesarios para realizar diversas tareas. Es utilizado para la definición de los datos a distintos niveles de abstracción, para la manipulación de los datos en la base de datos, controla la privacidad y seguridad de datos entre otros.

### 3.4.2. Diseño de la Base de Datos

Un modelo de datos como lo define Silverschats,2002<sup>14</sup> “es una colección de herramientas conceptuales que sirven para la descripción de datos, relaciones entre datos, semántica de los datos y restricciones de consistencia”.

Para Sanchez<sup>15</sup> “es un esquema mental (conceptual) en el que se intentan reproducir las características de una realidad específica. En el caso de los modelos de datos, lo que intentan reproducir es una información real que se desea almacenar en un sistema informático”.

El diseño de bases de datos ha pasado a constituir parte de la formación general de los informáticos, en el mismo nivel que la capacidad de construir algoritmos usando un lenguaje de programación convencional.

El diseño de una base de datos es un proceso complejo que abarca decisiones a distintos niveles, la complejidad se basa en descomponer el problema en subproblemas y se resuelve cada uno de estos subproblemas independientemente, utilizando técnicas específicas.

---

<sup>12</sup> COBO, Ángel, Bases de datos componentes . Diseño y programación de bases de datos, Visión libros

<sup>13</sup> Sarria, 2006. Francisco Sarria, Sistemas de gestión de bases de datos y Sig.

<sup>14</sup> Abraham.Silverschats, FUNDAMENTOS DE BASES DE DATOS. MC GRILL HILL,Cuarta Edicion, Es-paña, 2002.pp 18.

<sup>15</sup> Jorge Sanchez, Diseño Conceptual de Bases de Datos guia de aprendizaje, Licencia Creative Commons, USA, pp 15.





### 3.4.3. Geodatabase

Una Geodatabase de ArcGIS permite el almacenamiento estructurado de diferentes formatos que arroja información importante acerca de datos geográficos, se pueden clasificar en Datasets, además permite la edición y administración eficiente de los elementos.

Como lo define ArcGIS<sup>16</sup> es una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común, una base de datos de Microsoft Access o una base de datos relacional multiusuario DBMS.

Las geodatabases tienen diversos tamaños, distinto número de usuarios, pueden ir desde pequeñas bases de datos de un solo usuario generadas en archivos hasta geodatabases de grupos de trabajo más grandes, departamentos o geodatabases corporativas a las que acceden muchos usuarios.

Las características que contiene una geodatabase como lo define el portal ArcGIS<sup>17</sup> son:

- Está diseñada para trabajar con las capacidades de la geodatabase y sacarles provecho.
- Almacenamiento físico de la información geográfica, que principalmente utiliza un sistema de administración de bases de datos (DBMS) o un sistema de archivos.
- Modelo de información integral para representar y administrar información geográfica. Este modelo de información integral se implementa como una serie de tablas que almacenan clases de entidad, datasets ráster y atributos.
- Proporciona lógica de aplicación común que se utiliza en ArcGIS para acceder y trabajar con todos los datos geográficos en una variedad de archivos y formatos. Esto permite trabajar con la geodatabase, e incluye el trabajo con shapefiles, archivos de dibujo asistido por ordenador (CAD), redes irregulares de triángulos (TIN), cuadrículas, datos CAD, imágenes, archivos de lenguaje de marcado geográfico (GML) y numerosas otras fuentes de datos SIG.
- Las geodatabases poseen un modelo de transacción para administrar flujos de trabajo de datos SIG.

<sup>16</sup> ESRI (En línea) <[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lis/negrete\\_1\\_ga/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/negrete_1_ga/capitulo2.pdf)>, 2003. Consultada: 24 de Julio de 2016

<sup>17</sup>ESRI <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/what-is-a-geodatabase.htm>



## 4. METODOLOGÍA

Para el planteamiento y desarrollo metodológico de este proyecto se definio las diferentes etapas teniendo en cuenta la teoría del ciclo de vida de los sistemas de información, adaptado a la información geográfica que se maneja dentro de la compañía. En la siguiente figura se puede ver el ciclo de vida.



Figura 1 Ciclo de vida de los sistemas de información. Fuente Los Sistemas de Información en la Empresa, Alberto Gómez y Nicolás de Abajo, Ciclo de vida de los datos, complementado por el área de exploración.

### 4.1.DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

1. **Diagnóstico de la información existente:** Se verifica la estructura de la información, reconociendo en que tipos de formatos están almacenados; se realiza una revisión de la información tipo Vector y Raster y el contenido de la misma.
2. **Inventario y organización de la información:** Se realiza el inventario de la información existente en un archivo Excel en el cual se identifique la cuenca, bloque exploratorio, formación geológica, datum y la proyección en la que se encuentra ubicada. Se Clasifica la información existente en carpetas siguiendo las normas de entrega de la ANH.
3. **Integración de curvas, fallas y envolvente y generación de illuminated:** al tener organizada la información se procede a integrar los elementos geológicos con la

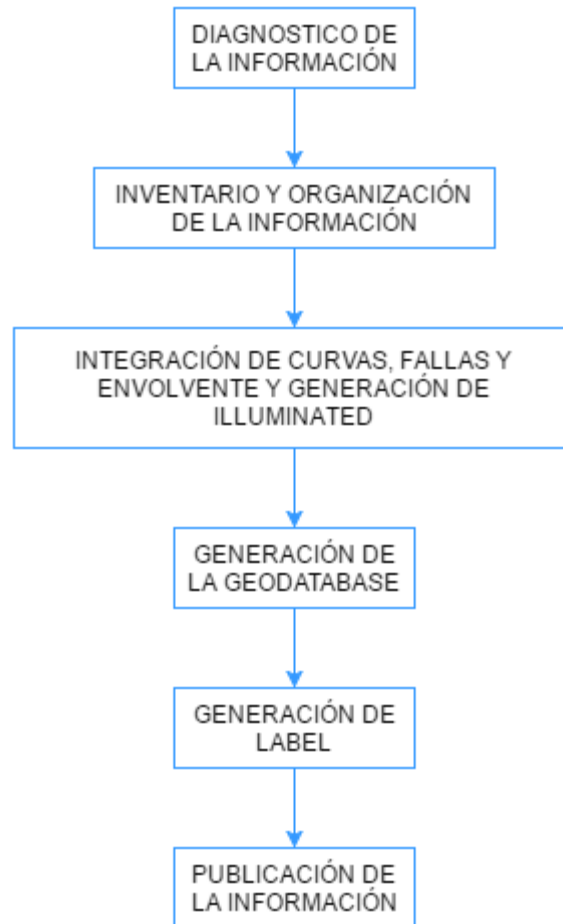


finalidad de crear el estructural y posteriormente el modelo digital de elevación (illuminated).

4. **Generación de la Geodatabase:** Debido a la cantidad de información y para facilitar la publicación de los datos en el portal ATLAS es necesario generar una Geodatabase de archivos con datasets que contengan las mismas características, es decir, que mantengan el mismo origen de coordenadas.
5. **Generación de label:** Para mejorar la visualización de las etiquetas se crea un encasillamiento de los valores y posterior importación de simbología, con la finalidad de mejorar la presentación en los informes de portafolio.
6. **Publicación de la información en el Portal ATLAS:** Luego de la carga, mejora, verificación y control de calidad de la información espacial se procederá a implementar dicha información en el portal ATLAS para que desde allí pueda ser utilizada y consultada por los funcionarios de la empresa.



#### 4.2. DIAGRAMA DEL DISEÑO METODOLÓGICO



*Figura 2. Diseño metodológico*

En la Figura anterior se muestra la metodología utilizada para la realización del proyecto.



## 5. PROCEDIMIENTO

### 5.1. DIAGNOSTICO DE LA INFORMACIÓN

Los datos son adquiridos mediante sísmica y después son procesados e interpretados por el área de Geo ciencias, quienes se encargan de generar mapas estructurales conforme a la información geológica obtenidos de la sísmica y a su vez de otros productos como registros de pozo. Una vez generado los productos como los estructurales, los cuales contienen las curvas o cotas de la superficie mapeada (ya sea en profundidad o en tiempo), fallas (Geometría tipo línea o polígono) y prospectos; También es necesario generar una envolvente con el fin de generar polígonos conforme a cada cota de nivel encontrada en el estructural. Esta envolvente es de tipo línea.

Para iniciar, se hizo el inventario de la información disponible que se usa para el proceso de la generación cartográfica asociada al portafolio exploratorio.

Tabla 1. Formato de datos e información usada en la creación de los mapas.

ITEM	Geometría - Modelo
Curvas	Polyline - (Vector)
Fallas	Polyline o polygon - (Vector)
Grid	Imagen - (Raster)
Envolvente	Polyline - (Vector)

Como punto importante, las curvas de profundidad o el Grid deben contener el valor en profundidad (en tiempo o en mts o ft), permitiendo generar si es necesaria la superficie de nuevo (en el caso de las curvas).



## 5.2.LICENCIAS Y HERRAMIENTAS

Para la realización de este proyecto se utilizaron las siguientes licencias y herramientas.

### 5.2.1. Licencias

- ArcGIS for Desktop Advanced - Requiere 3D Analyst: Contiene herramientas para interpolar alturas a partir de puntos líneas y polígonos; Además para generar curvas de nivel.
- ArcGIS for Desktop Advanced- Spatial Analyst: Necesaria para la realización de un análisis espacial de los datos ya que está compuesta de herramientas de modelado como Terrain Tools.

### 5.2.2. Herramientas

- TerrainTools: Es una Herramienta de ArcToolbox que permite efectos visuales de 3D mediante un sistema de sombreado e iluminación que muestra las capas del contorno.
- ET Geo Wizards: Herramienta que ayuda a realizar el procesamiento de datos.
- Search For Tools: Visor que facilita la búsqueda de las herramientas para el procesamiento de la información

## 5.3.GEO-PROCESOS

Para la generación de contornos estructurales se inicia con la transformación de la superficie GRID (Raster) a una capa lineal (Vector). Para ello se utilizó de la caja de herramientas de ArcToolbox la cual en la clasificación de “*Raster Surface*” tiene el comando de geo-proceso llamado “*Contour*”, el cual transforma una secuencia de contornos de tipo raster a poli líneas, generando las curvas según el intervalo de valor entero que mejor se ajuste a la generación de los contornos como se puede ver en la figura 3.

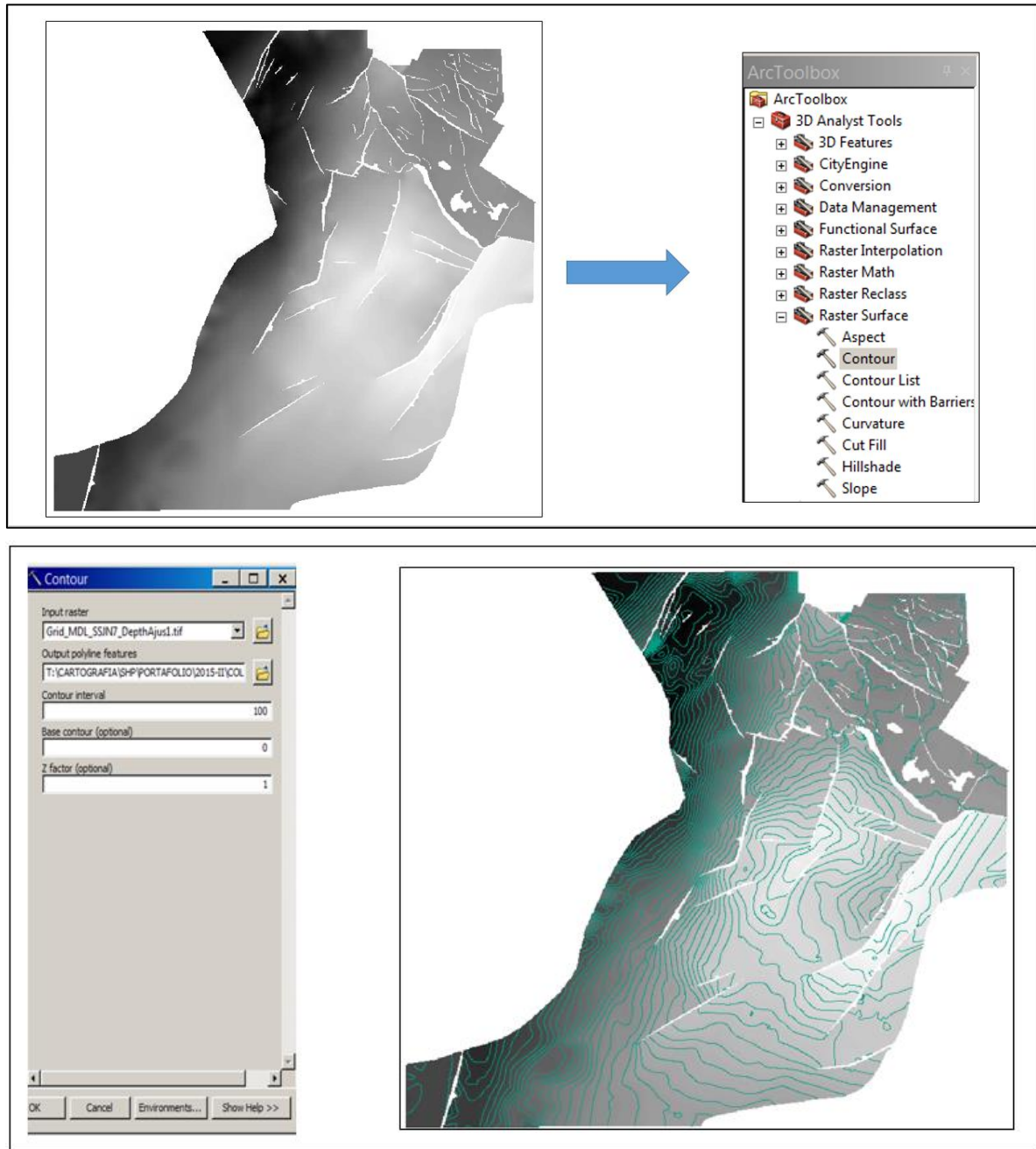


Figura 3. Generación de contornos a partir de una superficie raster.

Una vez se generaron las líneas de los contornos, es necesario crear un límite que permita definir polígonos cerrados para cada valor de contorno específico. Esta envolvente bordea las curvas y para ello se crea con un shapefiles de geometría tipo poli línea, manteniendo como

origen de coordenadas el sistema WGS-84, lo cual garantizará que se pueda publicar el servicio más adelante en el portal web.

Definido los contornos en forma de línea y la envolvente, es necesario garantizar que las fallas también sean de tipo de geometría como tipo poli línea. Si por el contrario, los shapefiles de las fallas son de tipo polígono, es necesario convertirla a poli línea, con el fin de poder unir los archivos de curvas, envolventes y fallas en un solo shp para poder crear el shp de los polígonos estructurales.

En las figura 4y 5 se muestra el proceso para transformar las fallas en poli línea y luego hacer una unión de los objetos usando la herramienta “Merge” que se encuentra en la caja de herramientas de ArcToolbox en la clasificación de “Data Management Tools - General”. Para ello se utilizó la herramienta usada para pasar del shp de curvas y de la envolvente para ello se utilizara la herramienta ETGeo Wizards.

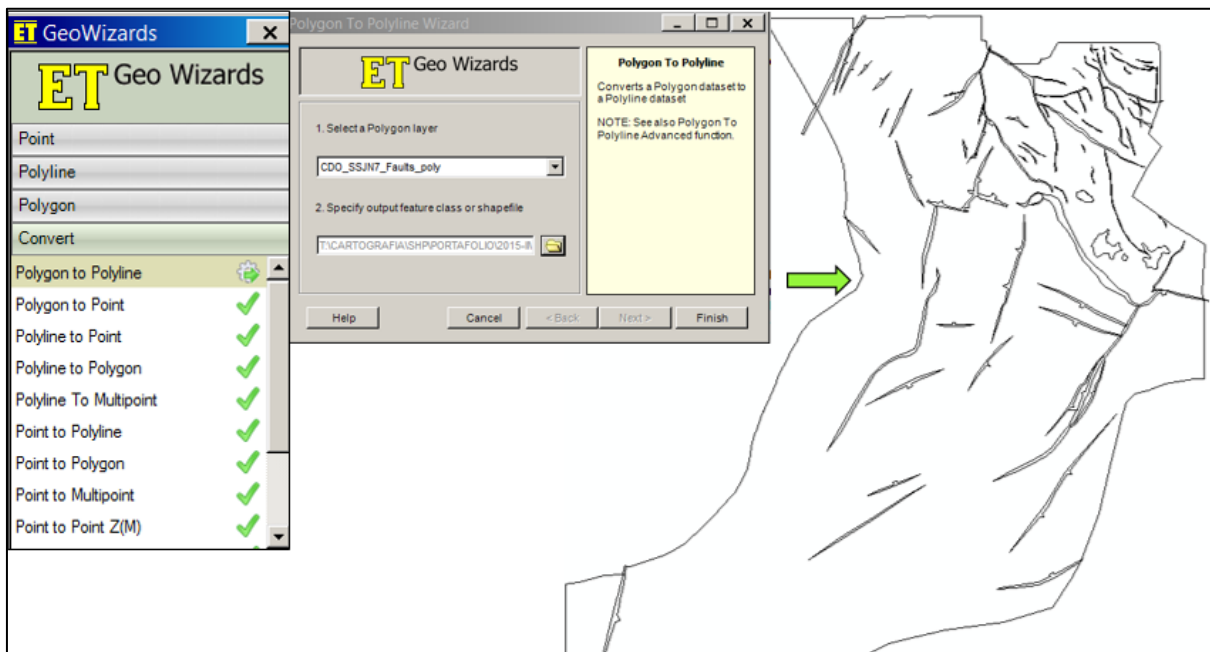


Figura 4. Paso para transformar el shp de las fallas de tipo polígono a tipo línea.



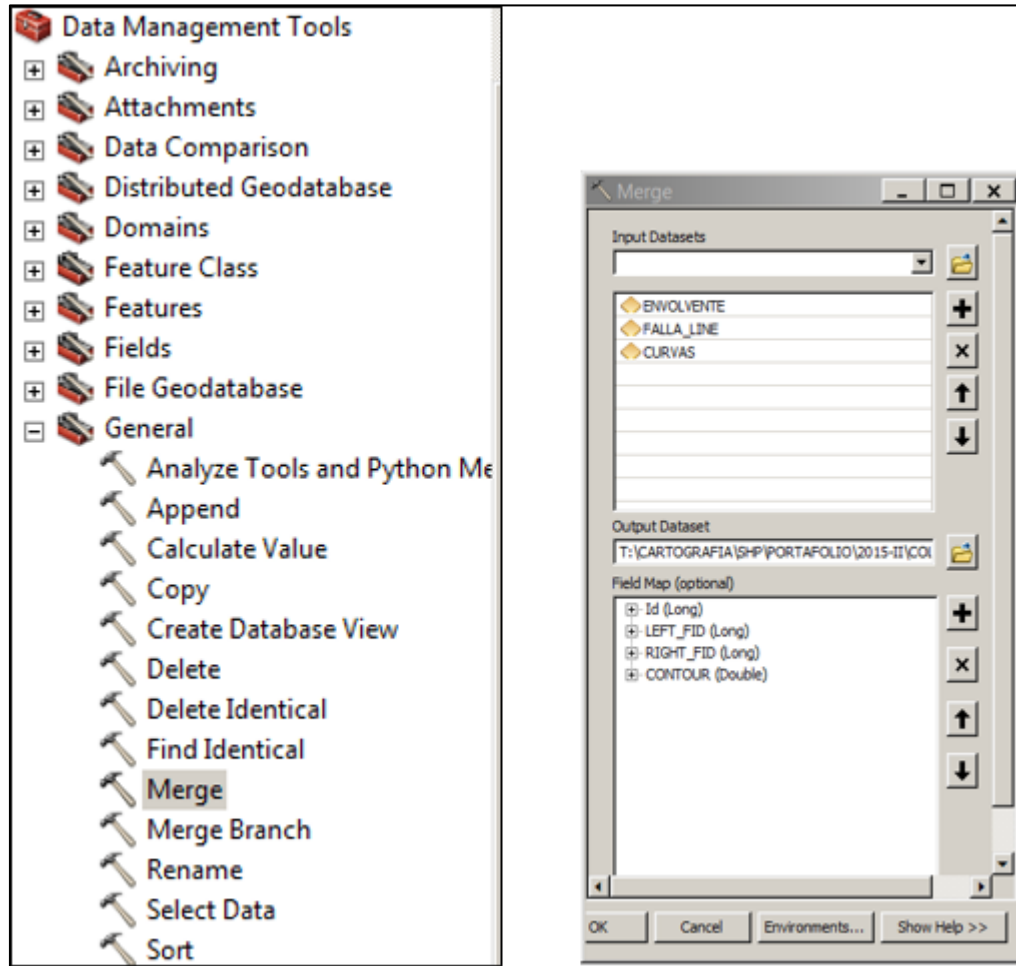


Figura 5. Teniendo los contornos, la envolvente y las fallas como shp de tipo línea se unifican aplicando un "Merge" con el fin de obtener 1 solo shp de tipo línea.

Después de obtener el shp que contiene la información de envolvente, curvas y fallas, se verifica que todas las curvas coincidan con la envolvente o con las fallas, debido que al transformar las líneas en polígonos, una de las restricciones es que no existan polígonos abiertos. Para ello, en el software ArcCatalog se exporta a cobertura.

Una cobertura es un modelo de datos georrelacionales que almacena datos vectoriales; contiene datos espaciales (ubicación) y de atributos (descriptivos) de entidades geográficas.

Las coberturas utilizan un conjunto de clases de entidades para representar entidades geográficas. Cada clase de entidad almacena un conjunto de puntos, líneas (arcs), polígonos o anotaciones (texto).

La ventaja de usar coberturas es que pueden tener una topología, la define explícitamente las relaciones espaciales entre entidades que se conectan o que están adyacentes en los datos geográficos<sup>18</sup>.

La topología permite tener control sobre las características del polígono (como por ejemplo quien es vecino de, esta contenido por, está cerrado por, etc.), y guarda los datos vectoriales, espaciales y de atributos de las entidades geográficas antes mencionadas<sup>19</sup>, como lo muestra la Figura 6.

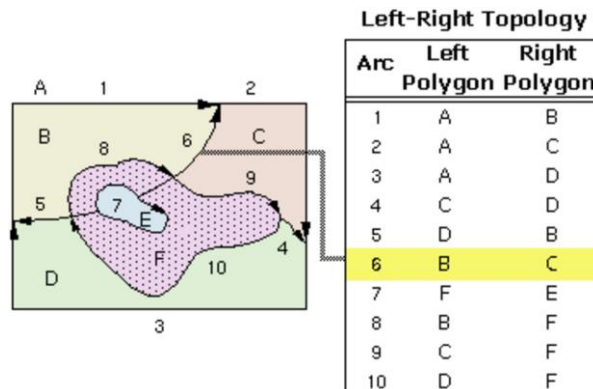


Figura 6. Ejemplo de topología en donde la tabla indica la vecindad del arco #6, el cual tiene a la derecha el polígono C y a la izquierda el polígono B.

La figura 7 muestra la manera de exportar un shapefile y transformarlo en cobertura, lo cual permite obtener automáticamente los polígonos por cada contorno. Para ello se ejecuta el geo proceso “Build”, el cual crea las tablas de atributos y coordenadas de la cobertura.

<sup>18</sup> ESRI, «Getting Started with ArcGIS,» 2001, pp. 50-55.

<sup>19</sup> ESRI, *Arcgis Geodatabase Topology Rules*, 2010.

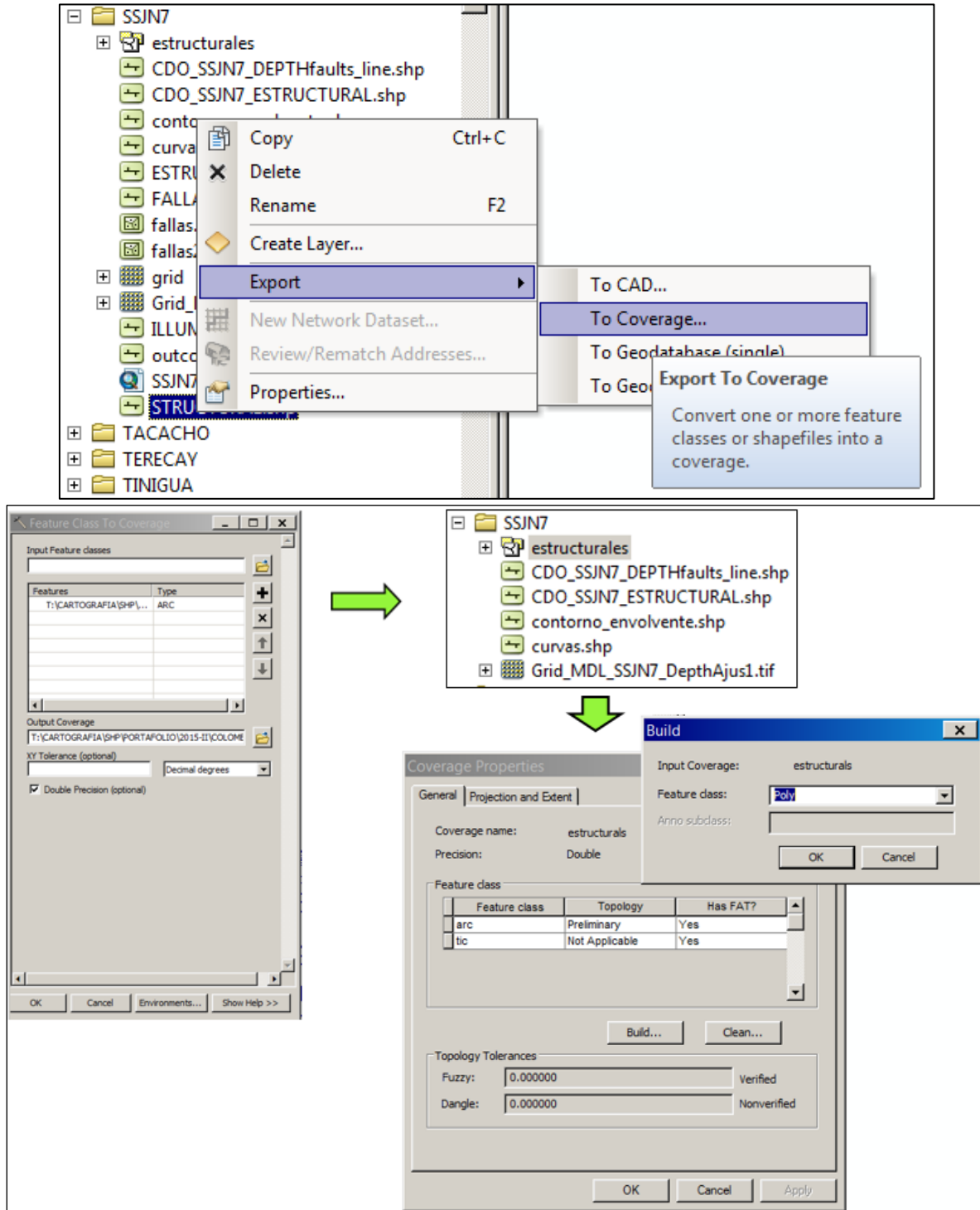


Figura 7. Transformación de archivo shapefile a archivo cobertura, lo cual genera atributos topológicos y permite la generación de los polígonos de los contornos.

Al crear el polígono pueden haber líneas que no fueron tomadas en cuenta por el sistema debido a espacios o entre cortes entre estas, para ello se puede utilizar la opción “Clean” la cual realiza la unión entre líneas cercanas teniendo un valor de tolerancia para la distancia a unir entre vértices. La figura 8 muestra el proceso de aplicar este paso.

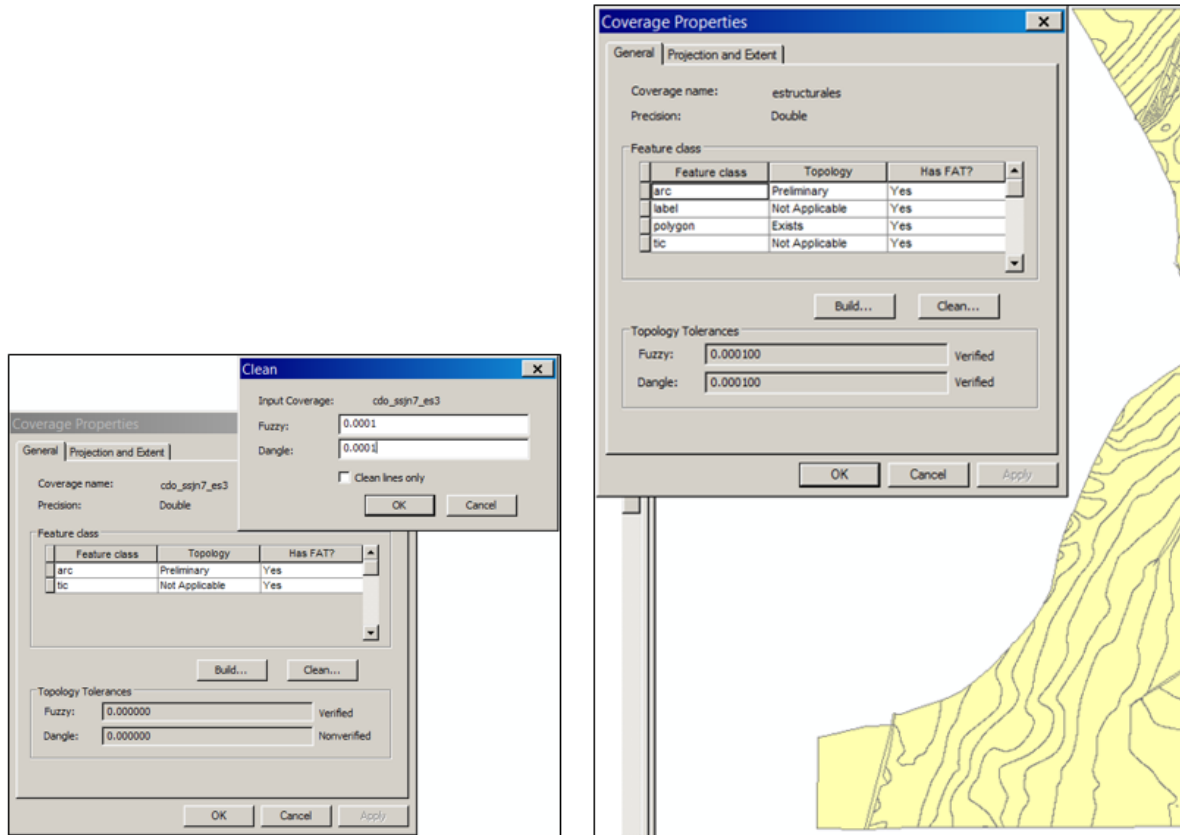


Figura 8. Aplicación del geo proceso “Clean”, el cual permite unir vértices dependiendo el factor de tolerancia escogido. Para el caso de los contornos mostrados se usó un valor de 0.0001.

Una vez ejecutado los geo procesos de “Build” y “Clean”, se generan dos clases de objetos de coberturas que son *Polygon* y *Label*. Obtenida esta información, se procede de nuevo a exportar a shapefile el feature *Polygon* de la cobertura, a este shp se le adiciona un campo de tipo doble llamado “Z” para almacenar el valor de la profundidad (Este valor debe ser negativo), como se ve en la figura 9.

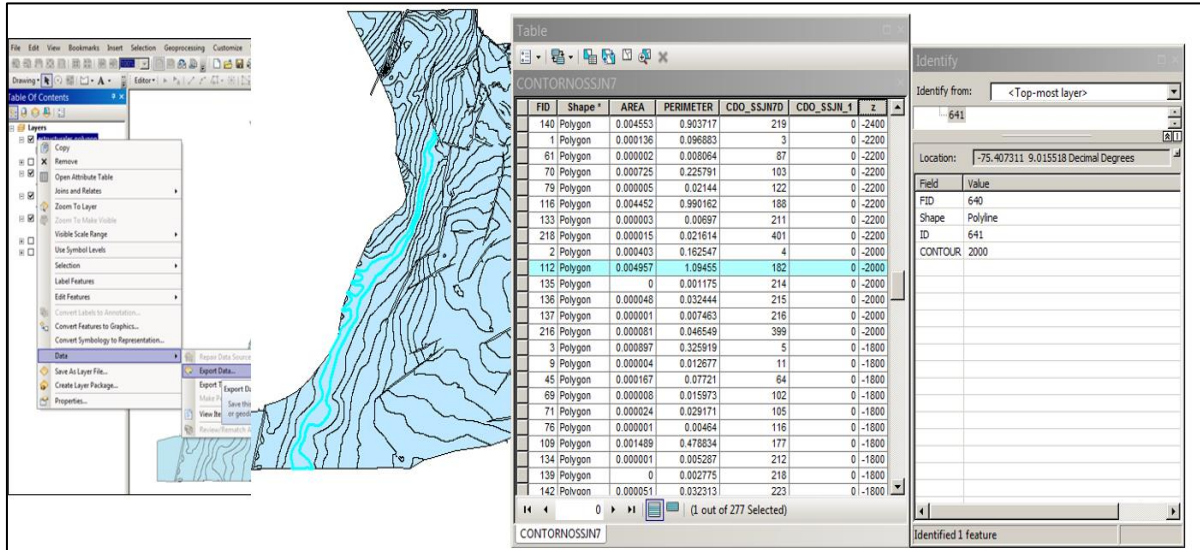


Figura 9: Creación del campo Z, el cual se diligencia con la información del estructural.

Al tener los valores de Z, se adiciona la simbología según la clasificación de los valores como indica la figura 10, en donde los puntos más cercanos a la superficie corresponderán a los colores rojizos y los más profundos a los colores verdes. Las fallas se representan con el color blanco y el borde negro. Es importante resaltar que los colores pueden modificarse a criterio de los intérpretes.

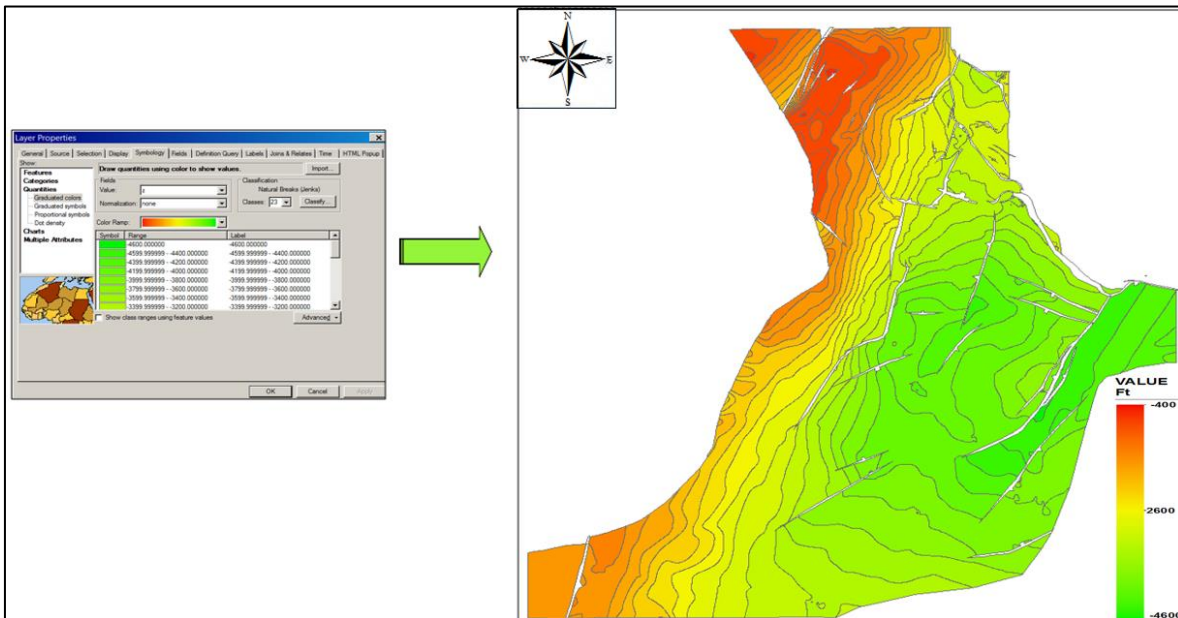


Figura 10. Simbología de contornos por profundidad. Los colores rojos son las zonas más someras y los verdes los más profundos.



Hasta este punto ya se tiene la superficie en formato vector, lo que permite llevarla a un servicio web de una manera rápida y desplegarla con otros datos en conjunto.

Finalmente, el proceso que se llevó a cabo fue crear una iluminación especial que de un efecto de relieve. Para ello se generó el modelado de iluminación, el cual requiere que se utilice el modelo GRID, en este caso, usado el modelo generado de las curvas, pasando de “*Vector a Raster*”.

En la herramienta “*Search*” se busca la aplicación “*Polygon to Raster (Conversión)*” y se generó un nuevo modelo raster el cual es almacenado directamente en la Geodatabase corporativa según muestra la figura 11.

Una vez obtenido este producto (el cual es diferente al mostrado en la figura 1 debido a que mantiene una distribución de los valores de cada pixel conforme al espaciado de las curvas), se utilizó las suite de herramientas de geo proceso “*Terrain Tools Sample v1.1*” descargada de la página de ArcGIS, la cual permite crear efectos de representación sobre modelos digitales como los hillshade, pero bajo niveles de iluminación diferentes y aplicar técnicas de representación con mejor diseño.

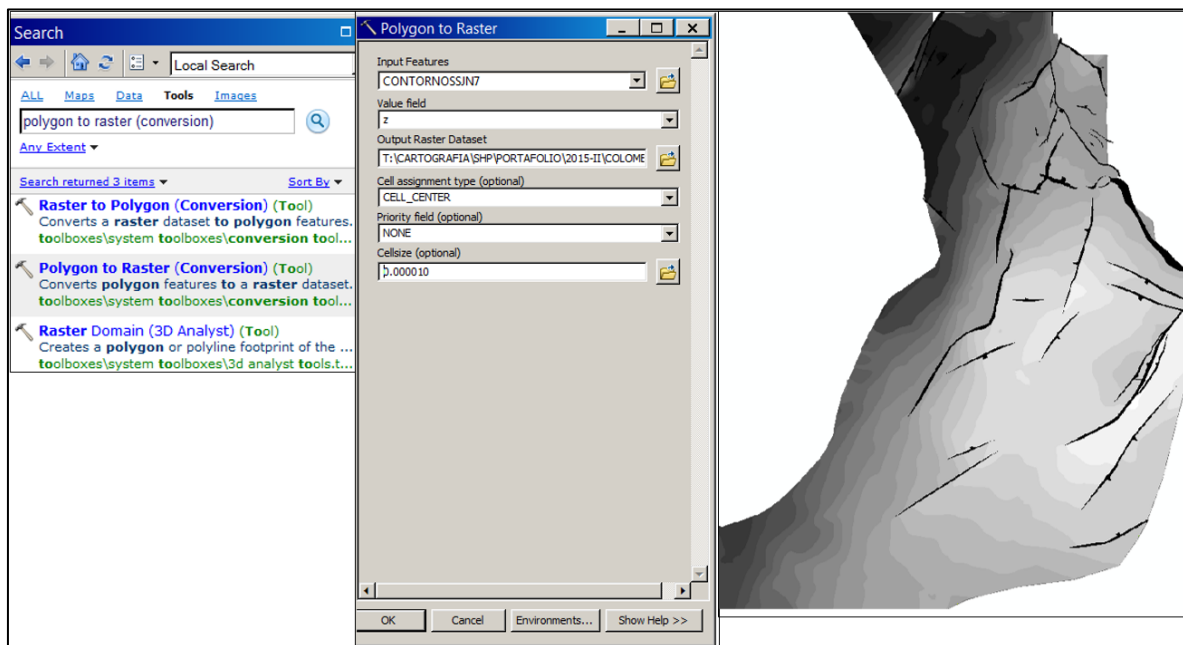


Figura 11. Transformación del modelo de curvas Vector a un modelo raster con valores de pixeles suavizados a los contornos.



En este caso se utilizó el método de “*Illuminated Contours*”, el cual es un método polarizado por el cartógrafo japonés Kitiro Tanaka, en donde emplea una técnica similar al hillshade, con la diferencia que la iluminación está dada sobre los contornos, en donde varía el grosor y el color entre un rango de blanco y negro, en donde el blanco es la máxima iluminación y el negro es las zonas no iluminadas. El espesor de los contornos es un valor que varía entre 1 y -1 como resultado del coseno del ángulo entre la dirección de iluminación (azimut) y la orientación del vector con respecto a su dirección. El resultado de aplicar esta técnica y combinarla con los resultados anteriores se ve en la figura 12.

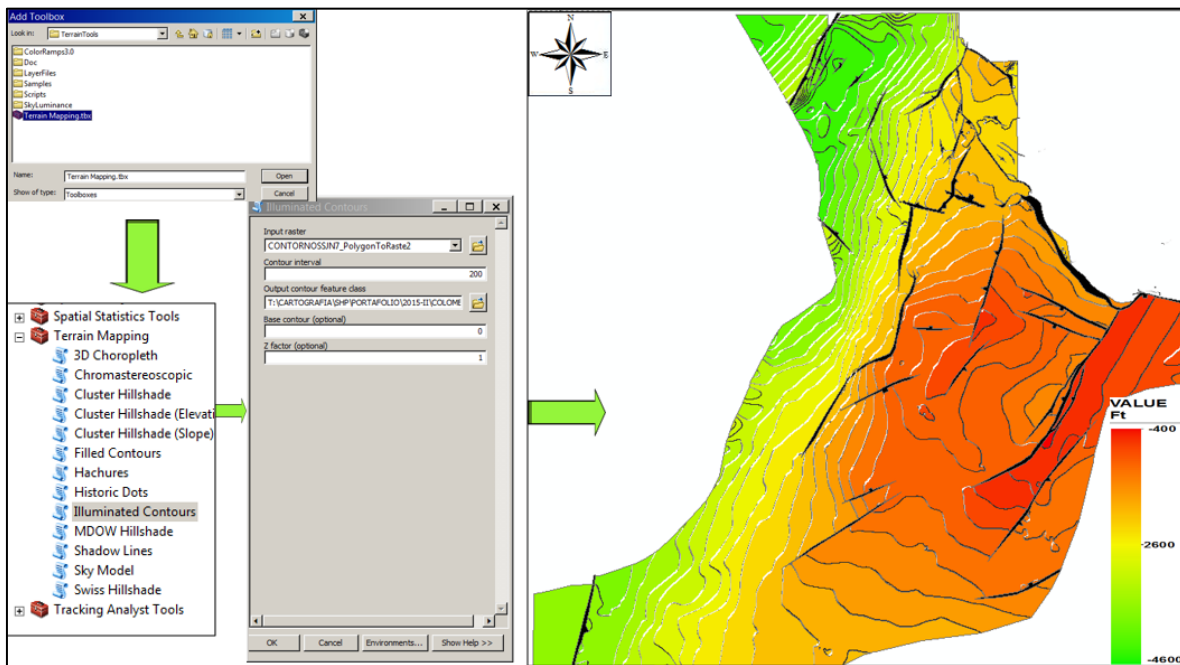


Figura 12. Creación de los contornos con la herramienta *Illuminated*, la cual crea una sensación de brillo diferencial entre las líneas de contorno.

## 5.4.GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOGRAFICA

Para el almacenamiento de la información generada en el paso anterior se implemento una base de datos de tipo File Geodatabase, la cual es definida por el portal de ArcGIS<sup>20</sup> como una colección de archivos que puede almacenar, consultar y administrar datos espaciales. Este formato de base de datos geográfica de ArcGIS permite un mejor manejo, modelado y control de la información debido a que permite almacenar grupos de datos (Dataset).

<sup>20</sup> ArcGis (En line) <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/administer-file-gdbs/file-geodatabases.htm>



En la carpeta de Colombia donde se encuentra la información de cada uno de los bloques de exploración se creó la geodatabase como lo muestra la Figura 13.

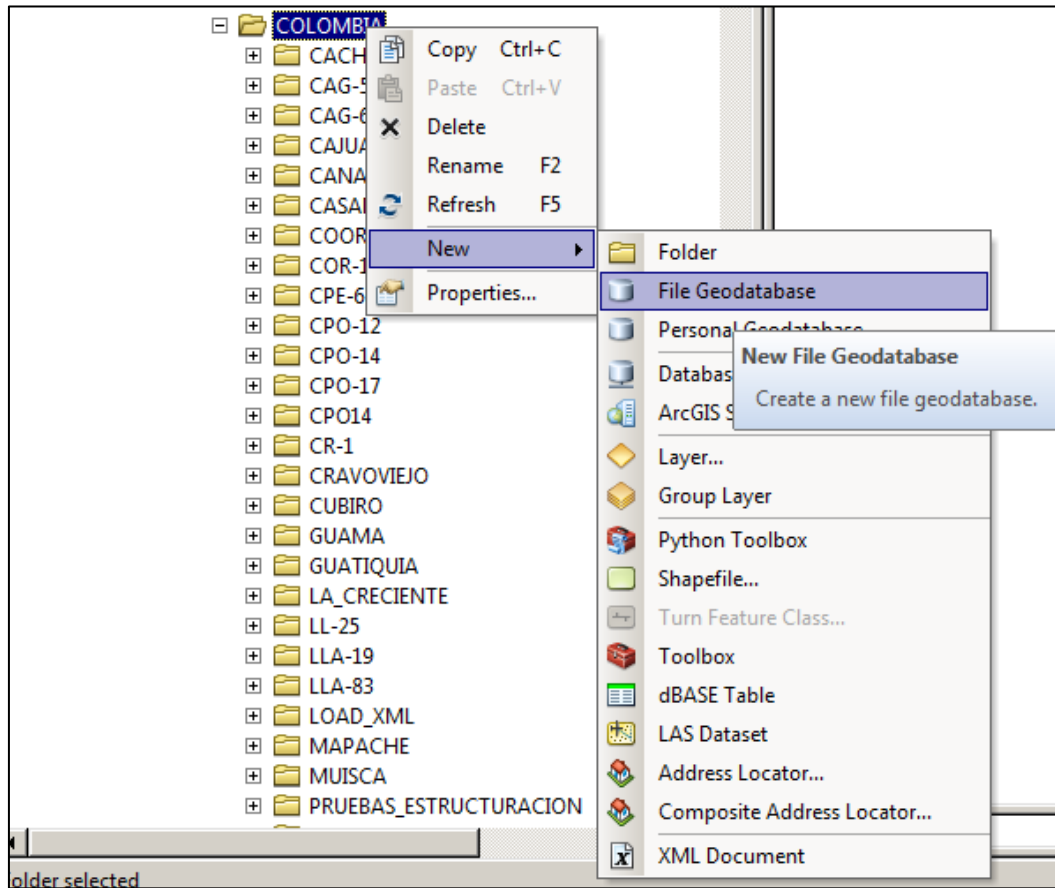


Figura 13. Creación de la base de datos geográfica

Luego de generar la Geodatabase de archivos se crean los Feature dataset que son objetos que permiten agrupar clases de entidades que tienen las mismas características como se muestra en la Figura 14.



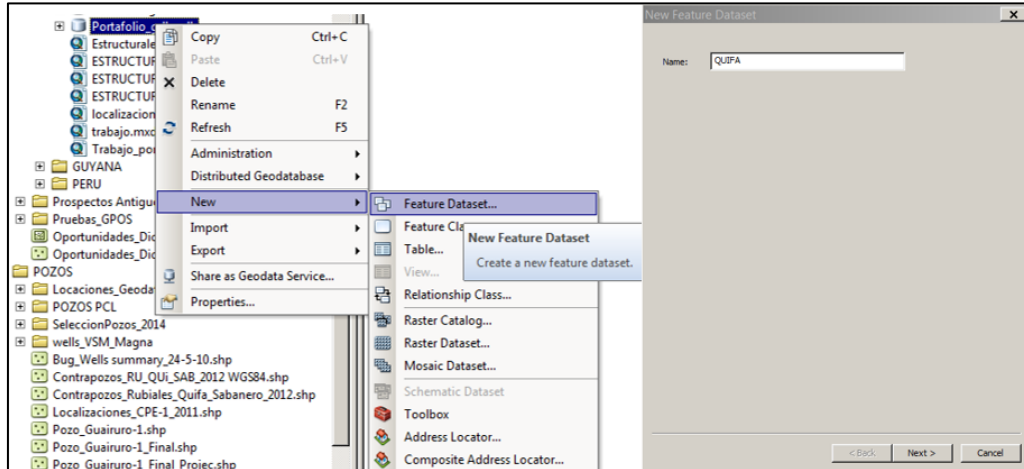


Figura 14. Generación de Feature Dataset y asignación de nombre.

Después de asignar el nombre del Bloque se selecciona next y se realiza la asignación de coordenadas que para el caso es el sistema de coordenadas geográfico WGS84 (Sistema geodésico mundial 1984) que es un sistema de referencia para la forma de la tierra (elipsoide) y un modelo gravitacional tanto en los puntos x, y como en el valor z como se muestra en la Figura 15.

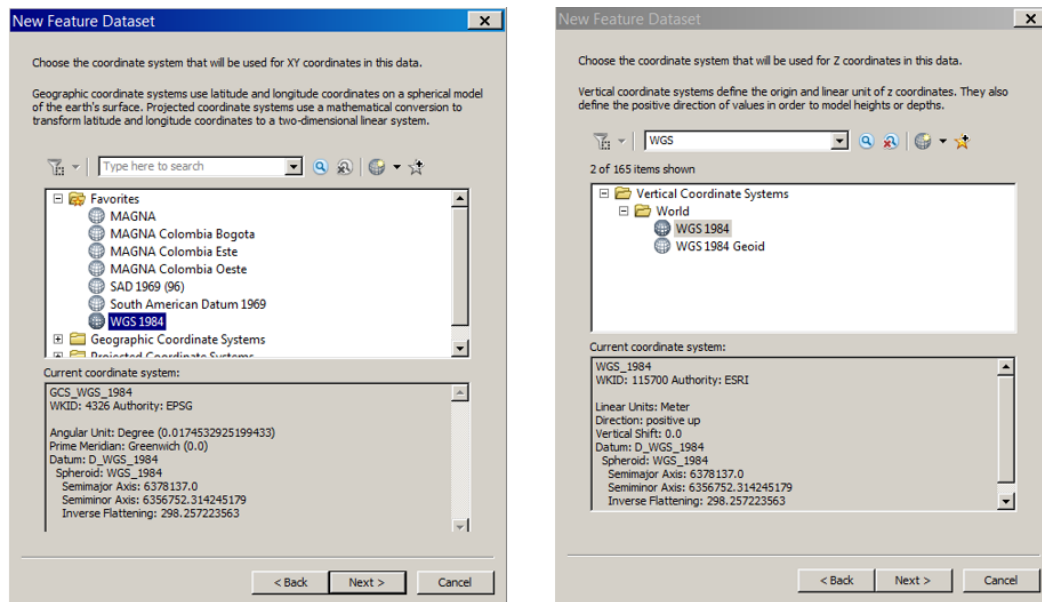


Figura 15. Asignación de coordenadas

Se importa el feature class de tipo múltiple debido a que puede agregar varias clases de entidades añadiendo la ubicación de los shapefiles que serán importados, y luego se asigna la base de datos en la cual se guardara el nuevo Feature class como se muestra en la Figura 16.

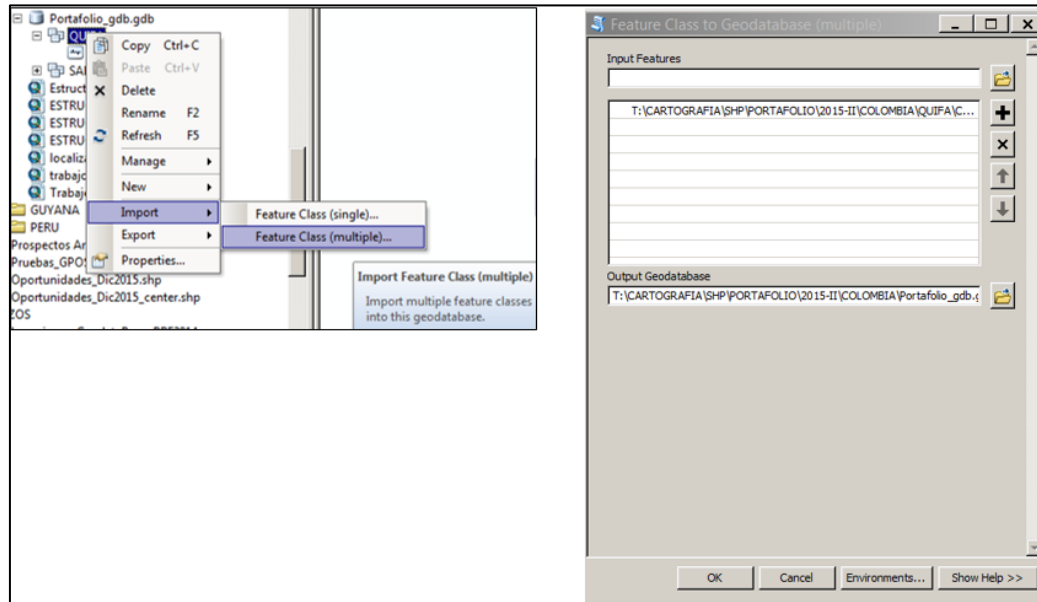


Figura 16. Importación de Feature Class (Múltiple).

Después de importar los Feature class para agilizar el proceso del interprete geológico, en el nombre de cada uno se colocó el tipo de información que brinda, que en este caso es:

ST\_GUADUA\_MS\_15\_II\_FAU

Estructural\_Nombre\_Unidades\_Año\_Periodo\_Tipo de dato

En unidad demedida generalmente es expresada en tiempo (milisegundos) o en distancia (pies); Además del año y del periodo en el cual se generó la información sísmica, el shapefile indica en su nombre que tipo de dato contiene, es decir si es curvas, envolvente, fallas, Illuminated, etc. Como se muestra en la Figura 17, por motivo de seguridad las características no corresponden al bloque antes descrito.

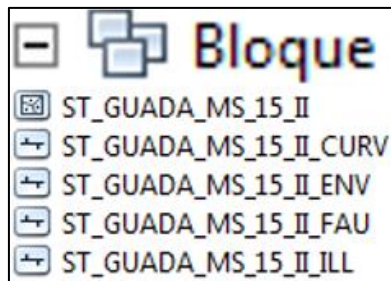


Figura 17. Estructura de la geodatabase



## 5.5.GENERACIÓN DE LABEL

Los parámetros establecidos por el área de artes gráficas para la representación de la información cartográfica se crearon con el fin de unificar los formatos de las salidas cartográficas

Se incluyen las capas de tipo anotación “*Annotation*” en la base de datos geográfica para representar las etiquetas de los contornos estructurales de acuerdo a los estándares de la figura 18.

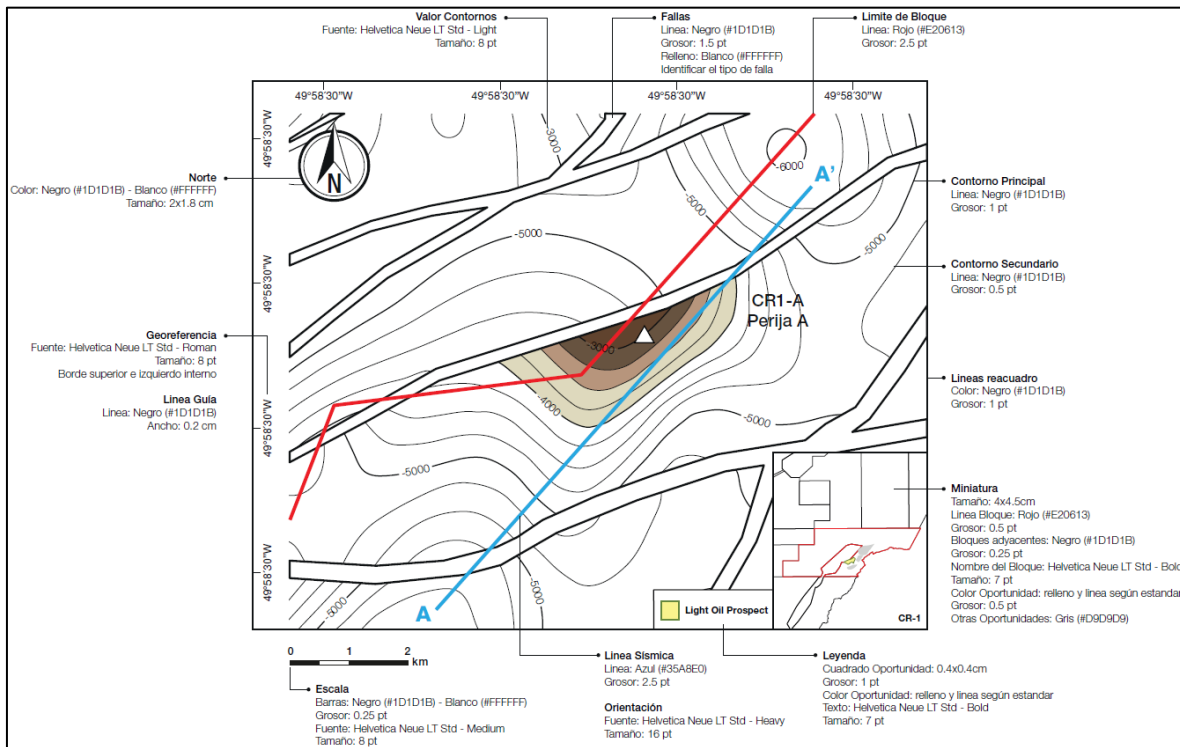


Figura 18. Estándar grafico proporcionado por el área de diseño.

Para la creación de las capas de anotación donde se representan los valores de profundidad de los estructurales se agregó un campo con el nombre índice se utilizó la expresión matemática de Python `math.fmod`. En ella se multiplican los valores de profundidad con un valor  $x$  que dependerá de los intervalos que contengan los contornos. Después se realizó una selección por atributos en la cual se escogen los valores en cero que determinaran las curvas principales como se muestra en la figura 19.

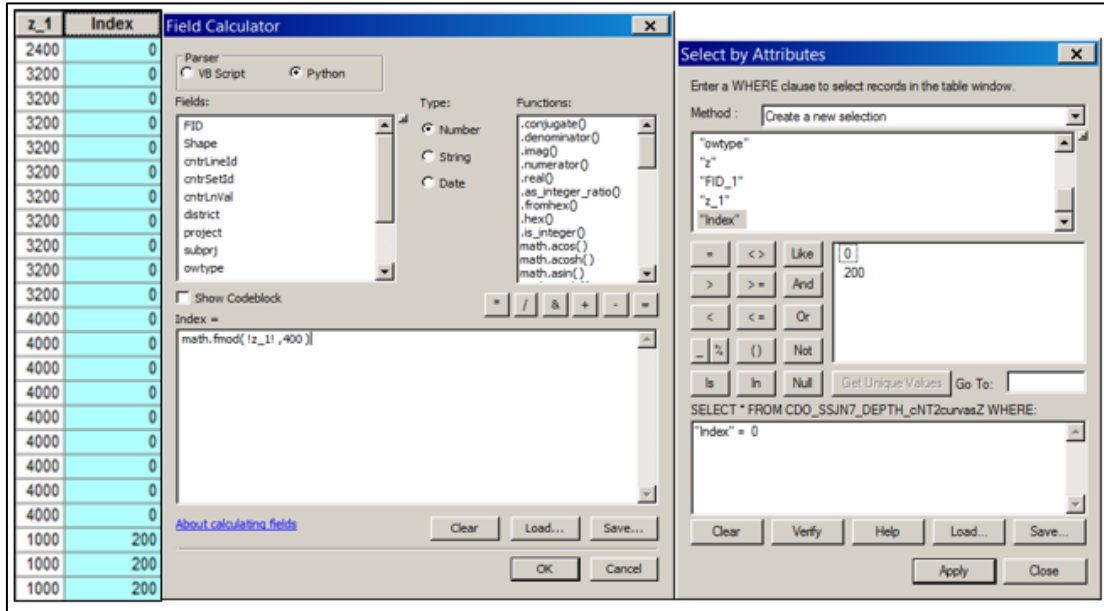


Figura 19. Separación de las curvas principales obtenidas mediante el modelo matemático de Python y selección por atributos.

Una vez realizada la selección, se creó un nuevo layer y se activaron los label, utilizando la aplicación labeling para configurar según el estándar como se muestra en la Figura 20.

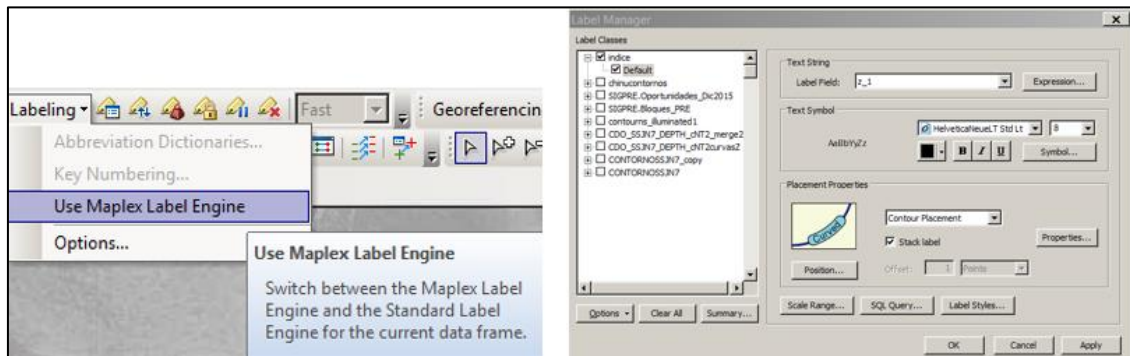


Figura 20. Activación y configuración de los label.

Para mejorar la visualización de los label se convirtieron a geometría tipo anotación y se guardaron en la base de datos geográfica de portafolio como se muestra en la Figura 21. Esta herramienta facilitó la modificación de cada una de las etiquetas.

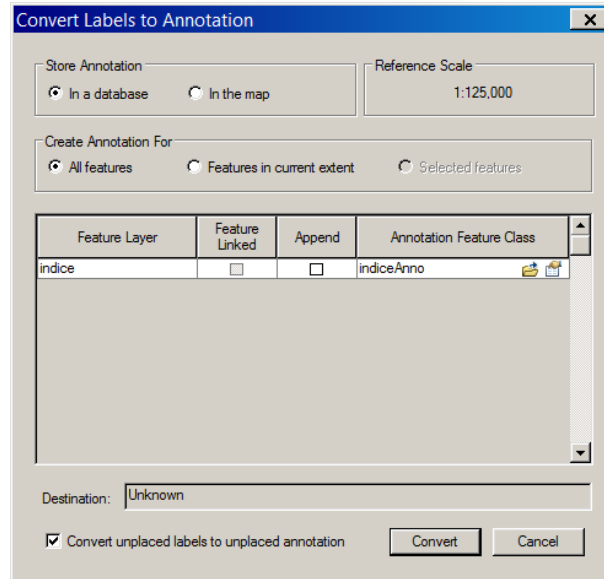


Figura 21. Conversión de label a Anotación

Para que las curvas no generen distorsion en la visualizacion de los label se creo un clip en dónde se encasillan los label, permitiendo mantener los atributos de cada poligono.

Para agilizar los geoprosesos se utilizo un Model Builder que realiza un clip de los contornos de geometria tipo poligono con base a la anotacion generada del label, la generación de este se muestra a continuación:

## 5.6.GENERACIÓN DE MODEL BUILDER

Este lenguaje de programación visual es una herramienta para acelerar procesos como en este caso, debido a la cantidad de información manejada.

Se genera un Toolbox seleccionando la opción Add Toolbox y después con F2 se modifica el nombre como se ve en la Figura 22.

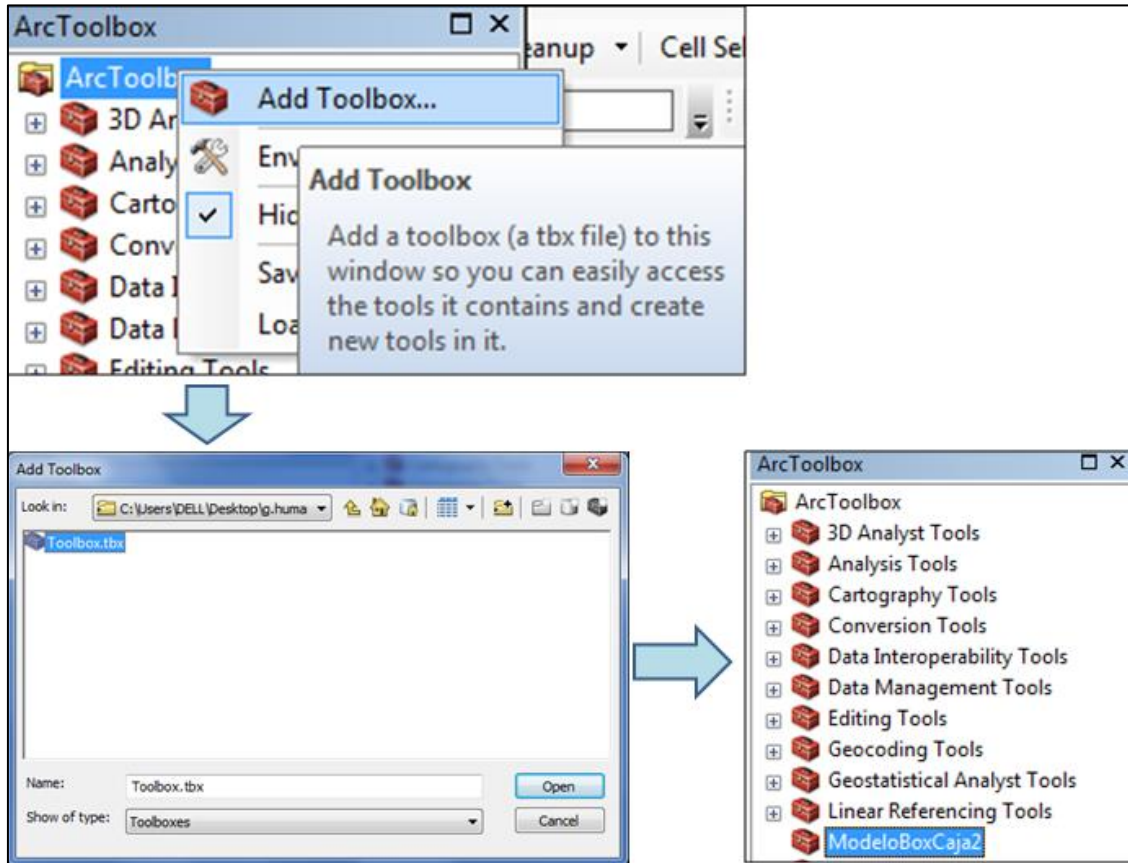


Figura 22 Generación de un nuevo Toolbox y asignación del nombre

Se crea un nuevo modelo seleccionando la opción New<Model y con clic derecho se selecciona la opción editar como lo muestra la Figura 23.

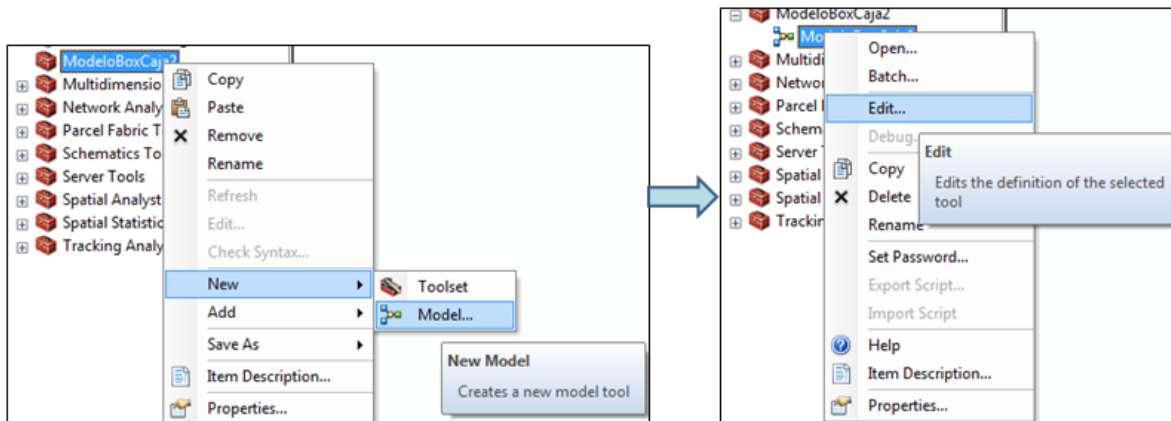


Figura 23. Creación de modelo y edición.

Después de editar los campos del modelo se adiciona el archivo de los polígonos estructurales con la función Add Data y se arrastra el proceso requerido en este caso un Clip. Como se muestra en la Figura 24.



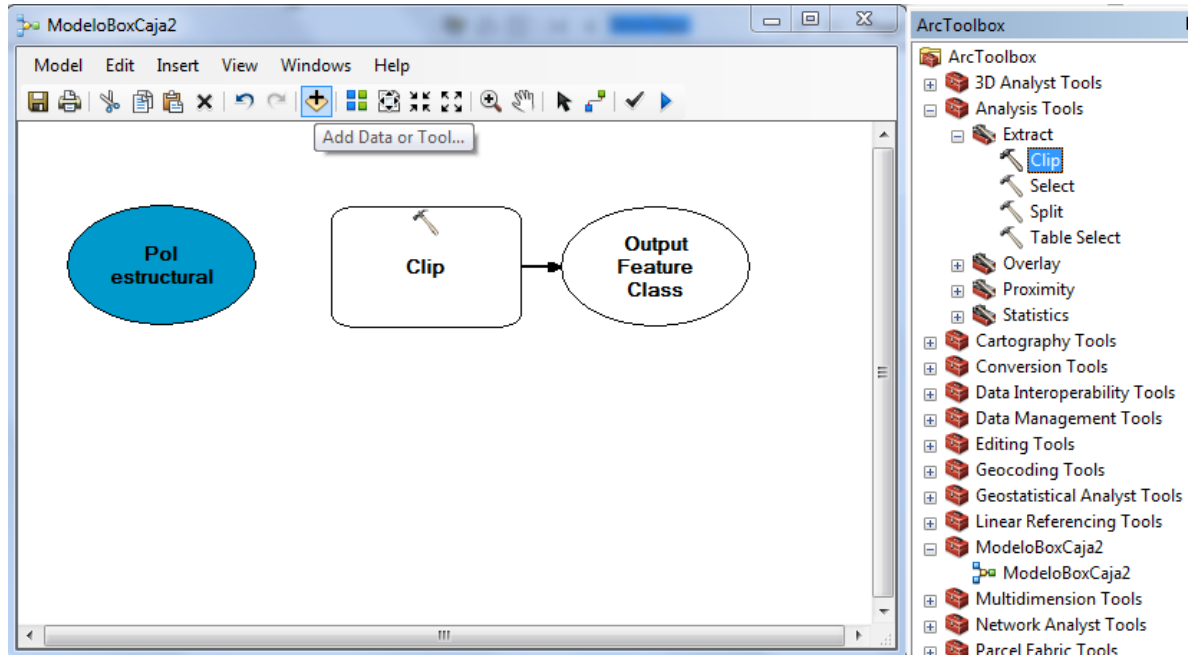


Figura 24. Adición del archivo y carga de procesos

- En el proceso de corte (Clip) se abren las propiedades y se adiciona el elemento al cual se va a extraer las propiedades.

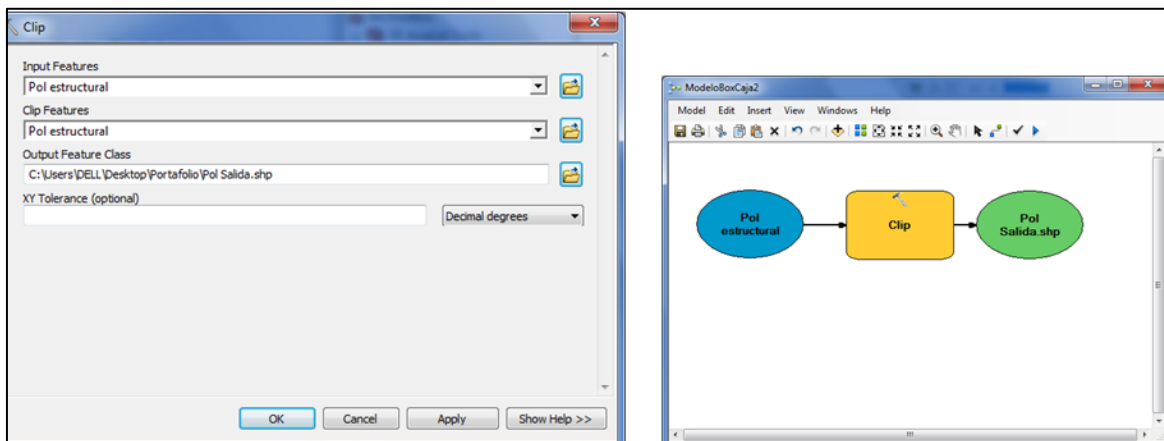


Figura 25 Propiedades del clip

Siguiendo los pasos anteriores se adicionan las anotaciones las cuales marca el tamaño del clip como se muestra en la Figura 25 y finalmente se genera el Modelo como se muestra en la Figura 26.

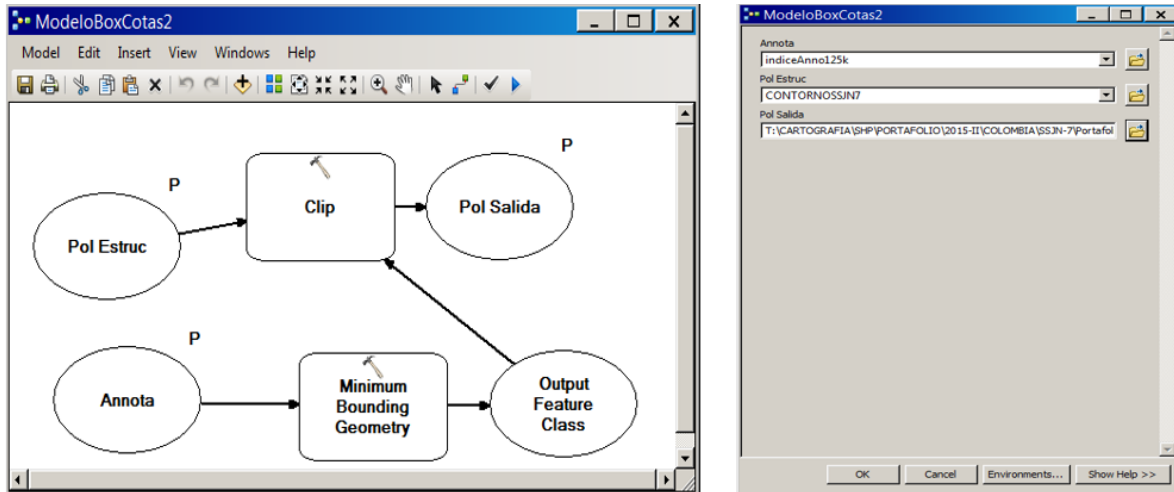


Figura 26. Model Builder para la generación de los polígonos de label.

Este polígono en forma de caja que se generó, aparece de un solo color el cual rodea la etiqueta como se muestra en la Figura 27.

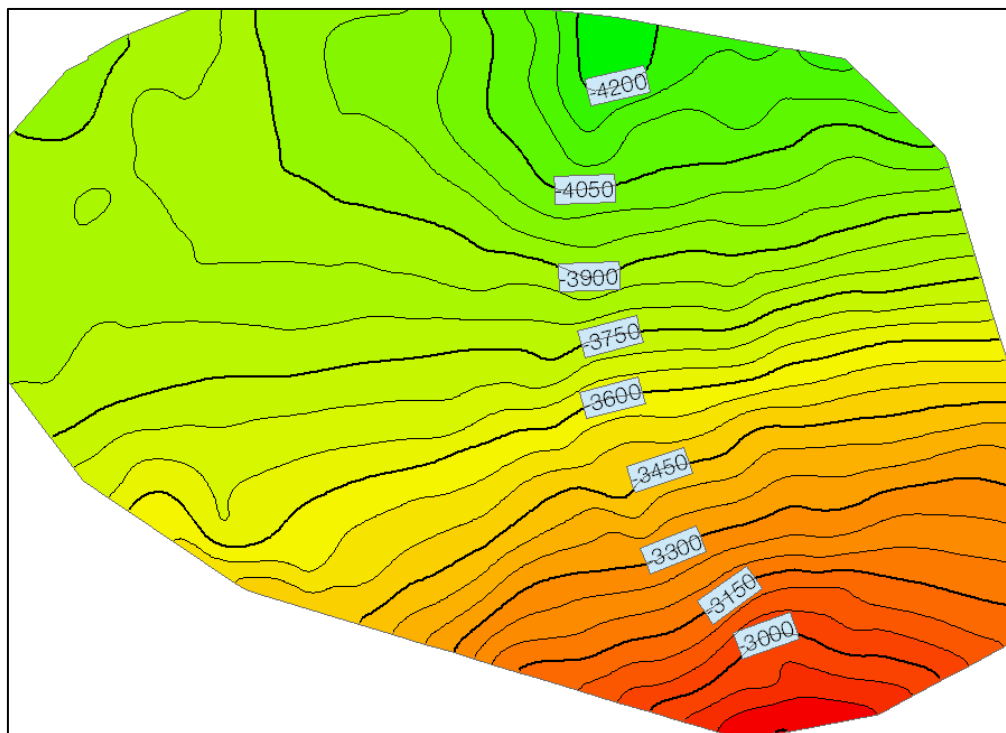


Figura 27. Etiquetas generadas por el Model Builder.

Para que se visualice de una mejor forma se importa la simbología de los contornos como se muestra en la figura 28.



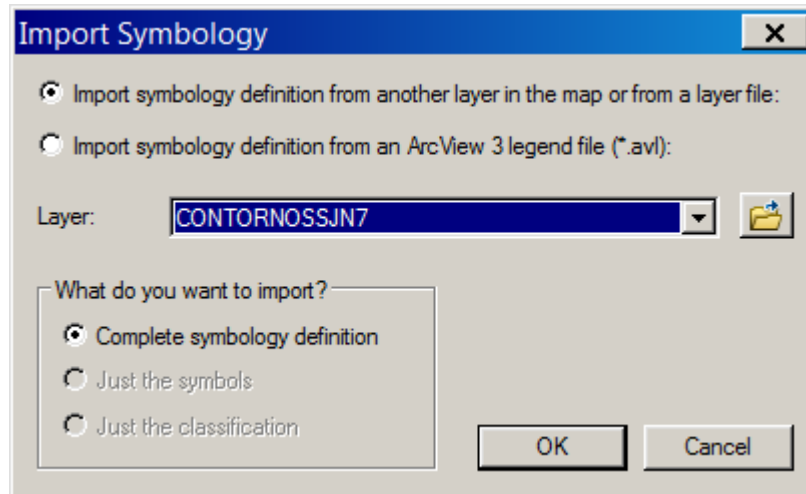


Figura 28. Importar simbología de los contornos estructurales

Las curvas se representan dependiendo del rango de valores que contengan los estructurales, los cuales deben contener números enteros. La presentación final de los Label se puede ver en la Figura 29.

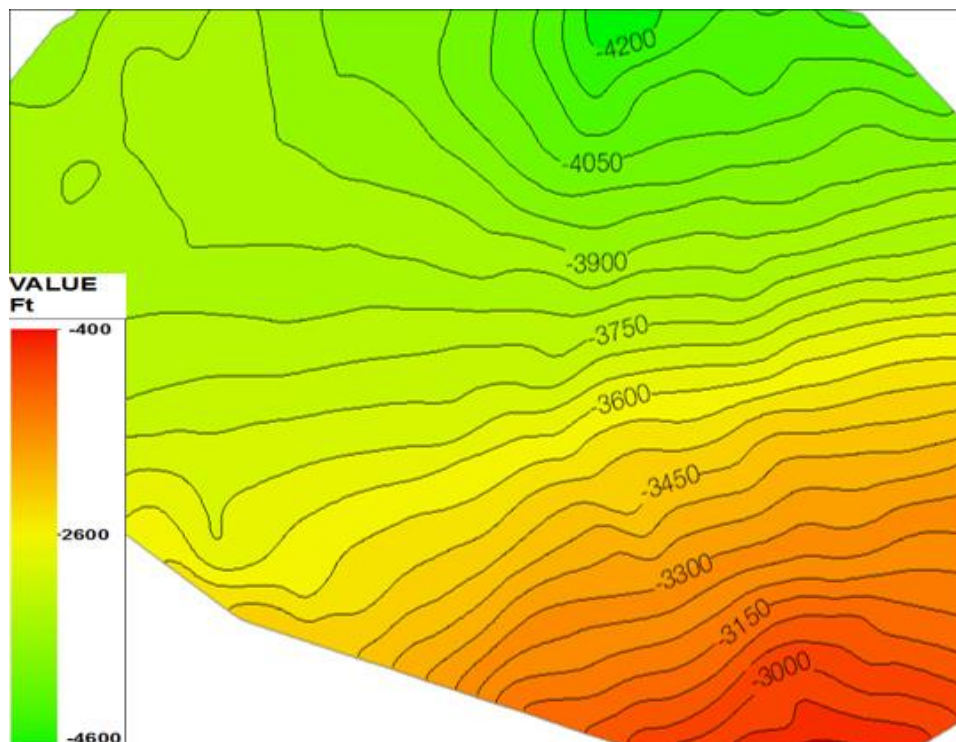


Figura 29. Resultado de la generación de label.



## 5.7.PUBLICACIÓN EN EL PORTAL ATLAS

El Geoportal de Pacific Exploration & Production es conocido como ATLAS, el cual es una aplicación web desarrollado por los especialistas de la compañía, utilizando los recursos de ESRI con ArcGIS Server, en donde se publican los mapas con la información deseada, manteniendo un sistema de referencia WGS84 Web Mercator Auxiliary Sphere, necesario para una eficiente publicación del mapa, definiendo la simbología y forma, tal como se desea mostrar el mapa en la aplicación.

Se crearon los archivos mxd para la información estructural con el Feature Class Contornos y para la temática geológica se decidió inicialmente publicar la información más relevante para cada uno de los bloques de exploración, creando un archivo para cada una de la Feature Class los cuales fueron las temáticas de unidades geológicas (curvas, fallas).

En un mxd se organizaron todos los estructurales catalogándolos por país y cuenca geológica como se muestra en la figura 30.

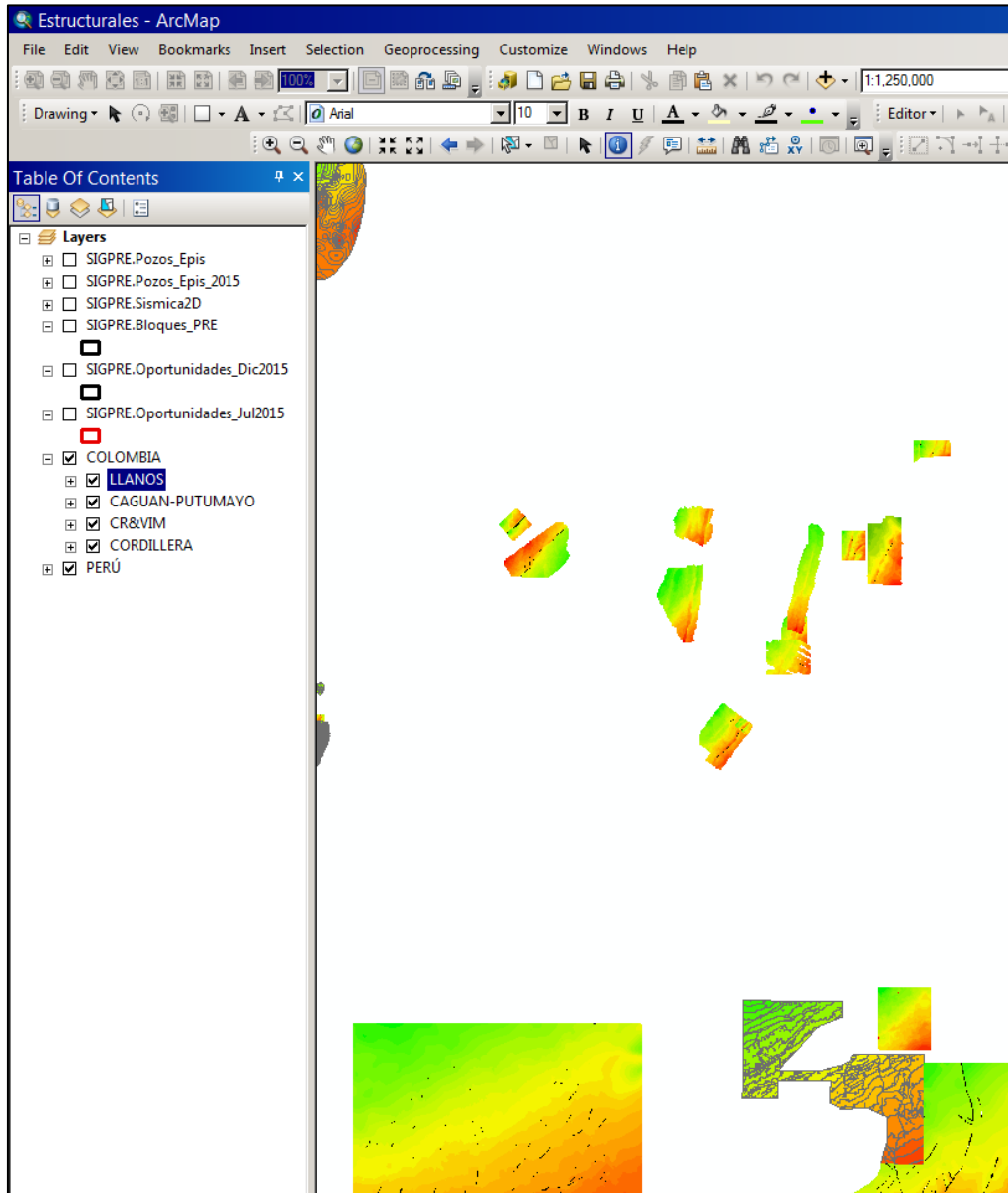


Figura 30. MXD de la información estructural de los bloques de exploración.

Luego de este proceso se publicó este mxd, como un servicio, para ser consultado por los usuarios con acceso al servidor de la compañía quienes pueden consultar la información entrando al geoportal.

En la figura 31 se visualiza el portal ATLAS con la información de los bloques manejados por la compañía en Colombia.

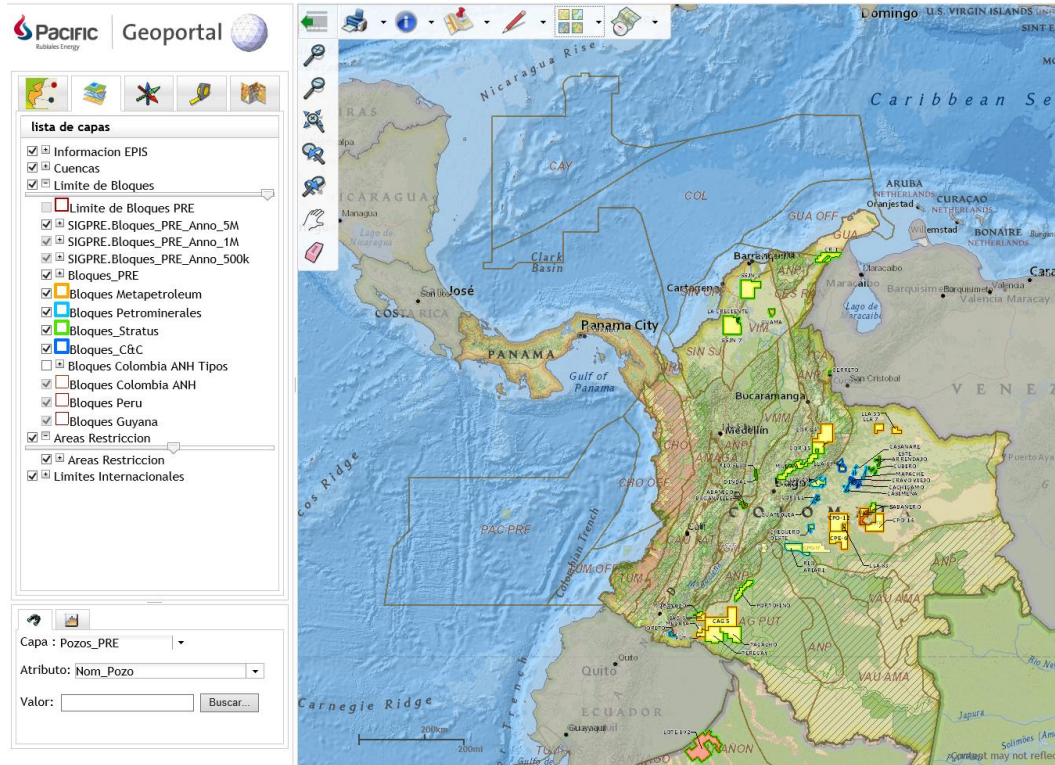


Figura 31. Visualización Portal ATLAS. Fuente. Captura de Geoportal ATLAS

Para la publicación del MXD que contiene los estructurales y los illuminated se llevan a cabo los siguientes pasos:

- Se abre el documento de ArcMap y elije Archivo>Compartir como>Servicio como lo muestra la Figura 32.

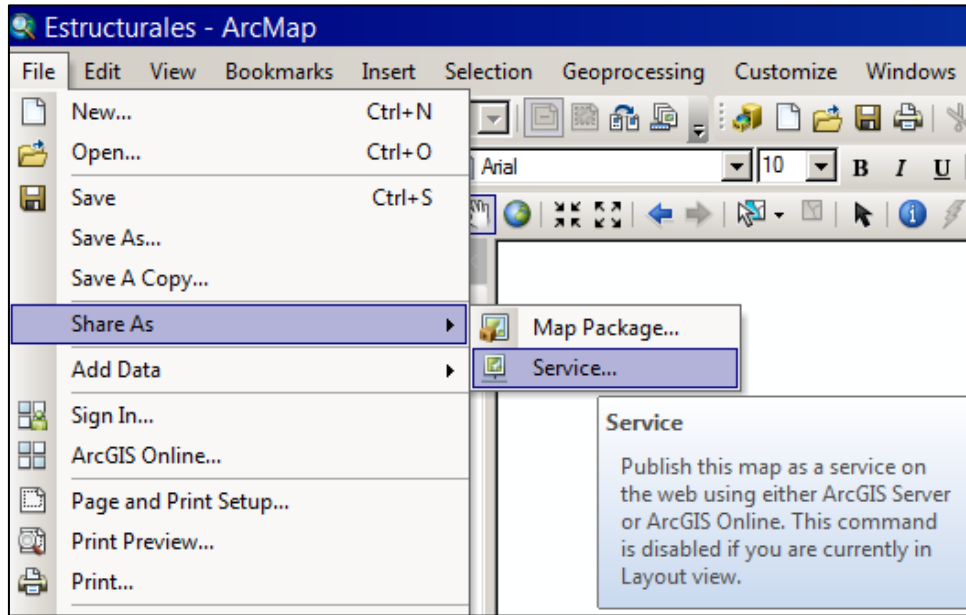


Figura 32. Selección herramienta para publicación de servicio.

- En la ventana compartir como servicio, elija Publicar un servicio y haga clic en siguiente, se muestra en la Figura 33.

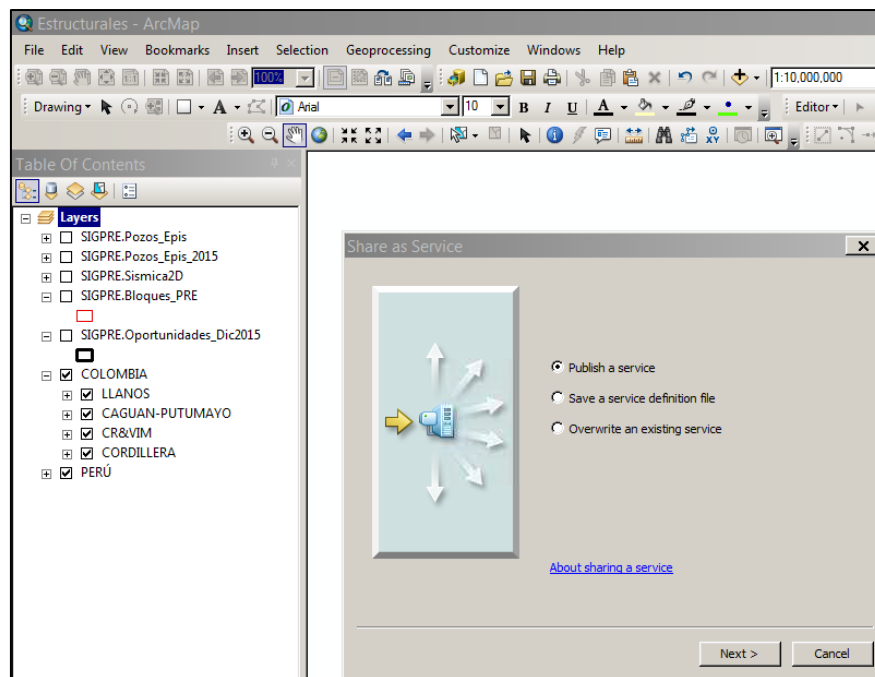


Figura 33. Opción para publicación de servicio.



- El siguiente paso es elegir una conexión, en este caso ya estaba creada y utilizada por los especialistas SIG de la compañía, el nombre del servicio se basa en el recurso SIG como se muestra en la Figura 34.

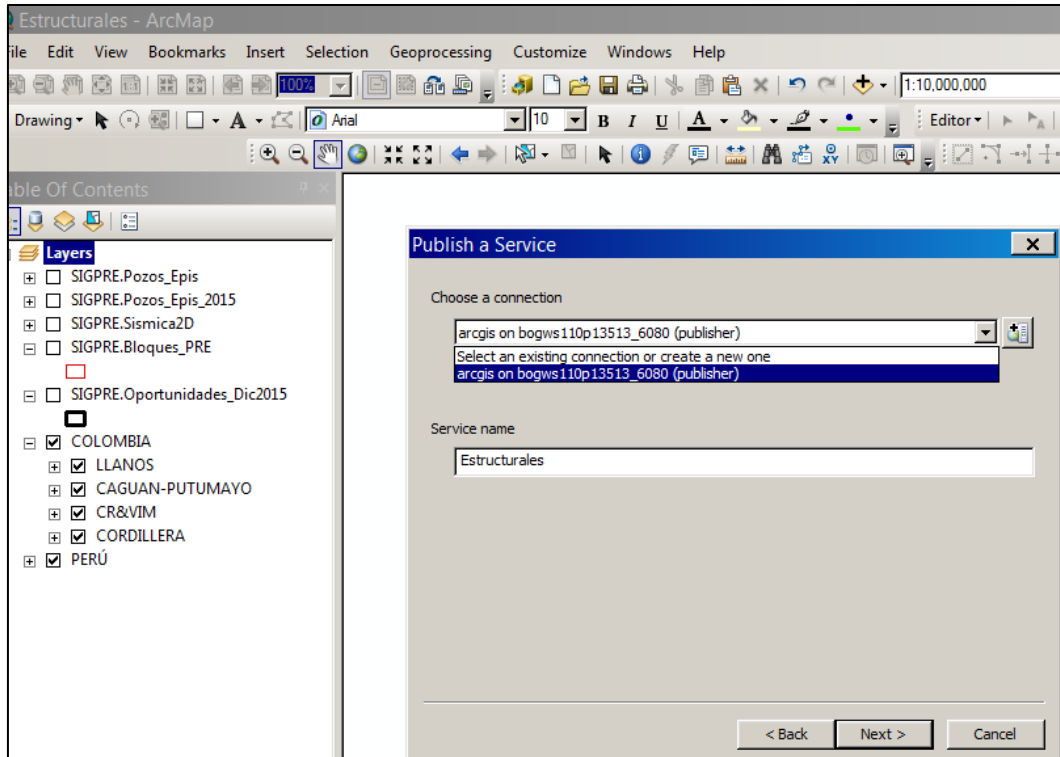


Figura 34. Selección de conexión y nombre para el servicio.

De manera predeterminada, los servicios se publican en la carpeta de ArcGIS 10.3 Advance Server. Los servicios se pueden organizar en subcarpetas dentro de la carpeta raíz. Se Elije la carpeta donde desea publicar el servicio o cree una nueva carpeta que incluya el servicio. Para este proyecto se utilizó la carpeta de Exploracion que ya estaba creada por los especialistas Gis como se muestra en la Figura 35. Haga clic en Continuar.

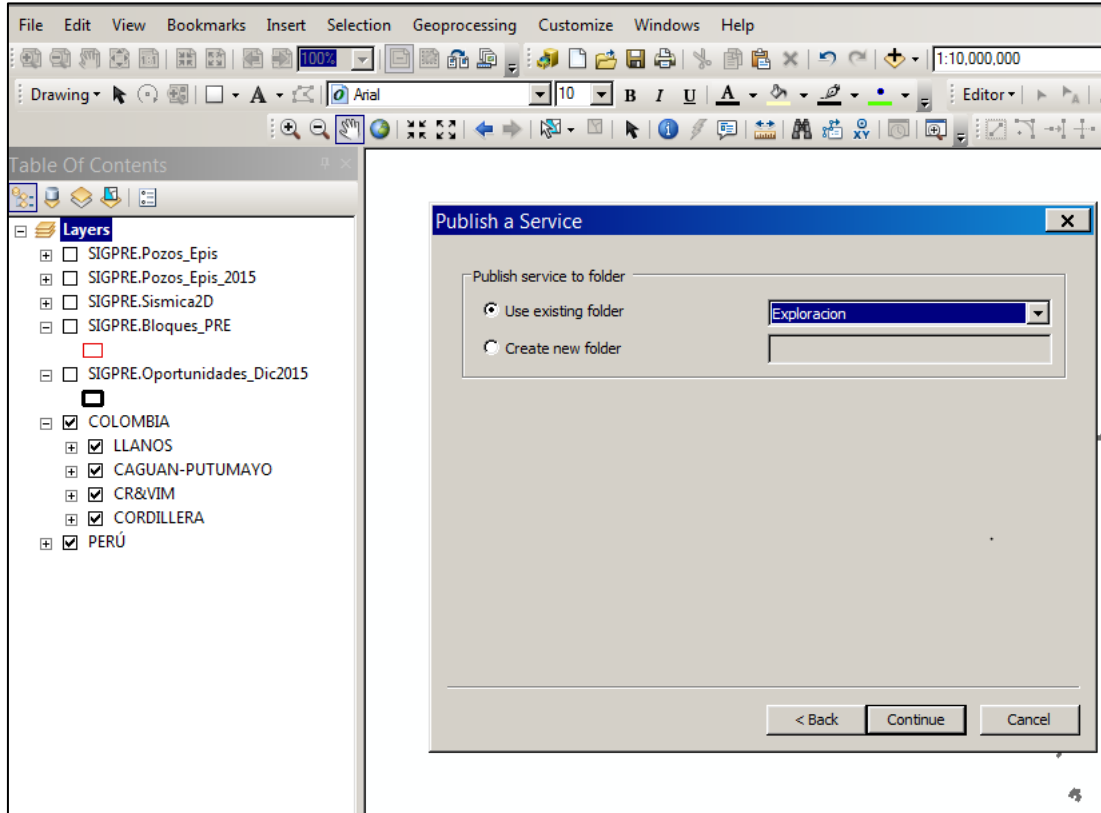


Figura 35. Selección de folder para la ubicación del servicio.

Establezca las propiedades que desea para su servicio. Aquí puede elegir lo que los usuarios pueden hacer con su servicio y tomar el control preciso de la forma en la que el servidor expondrá los datos. Haga clic en Analizar, esto examina el recurso SIG para ver si se puede publicar en el servidor como se muestra en la Figura 36.



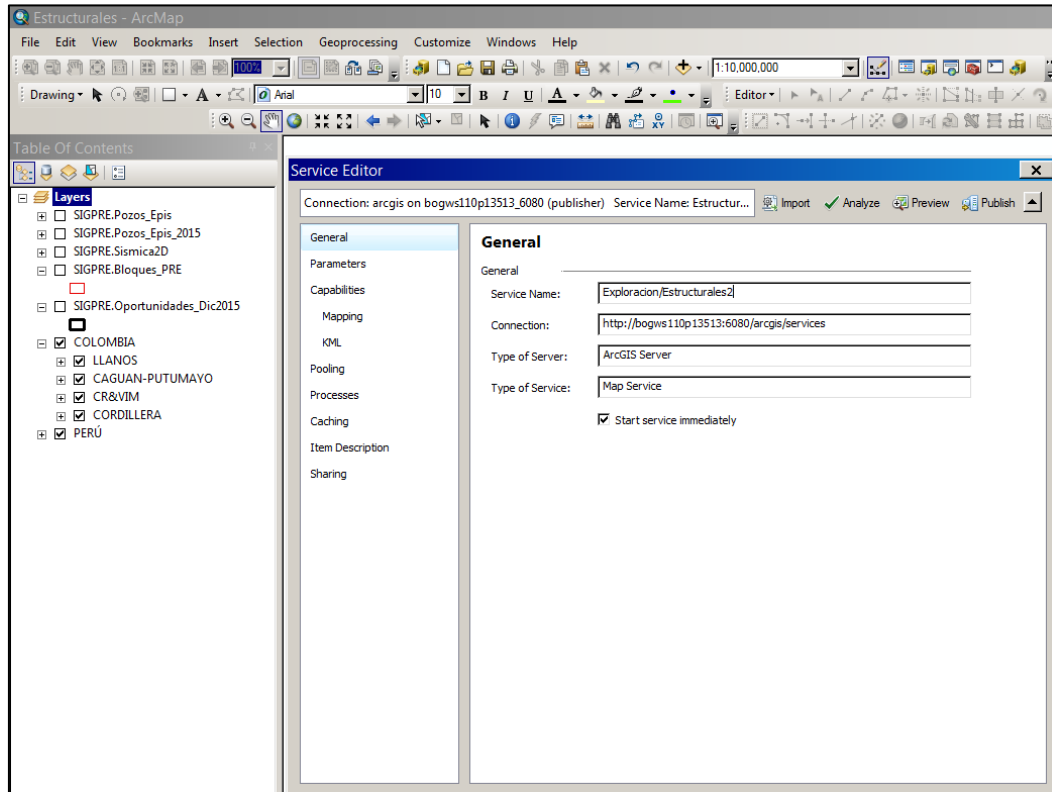


Figura 36. Análisis del servicio.

Hay que verificar y arreglar errores en la ventana Preparar, esto debe hacerse antes de publicar el recurso SIG como un servicio la ventana aparece en la Figura 37.

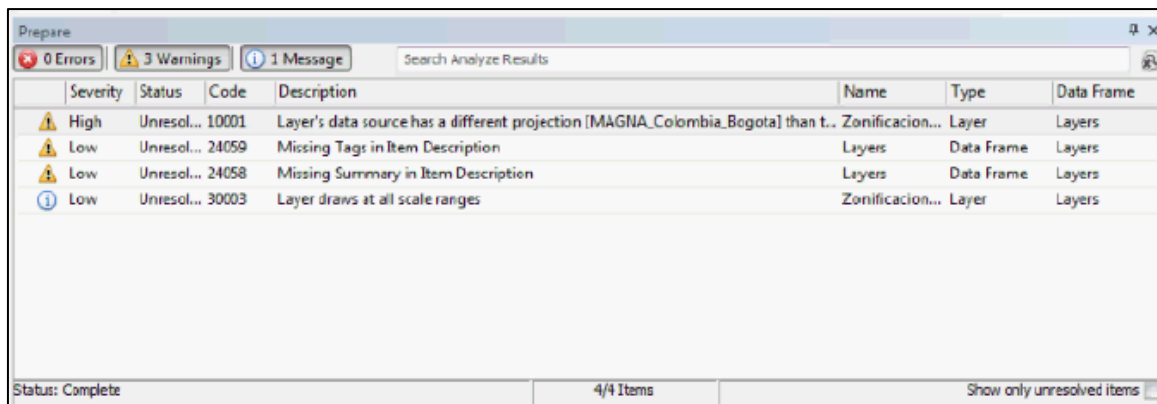


Figura 37. Ventana de errores y Advertencias.

Después de solucionar los errores y, opcionalmente, cualquier advertencia y mensaje, por ultimo hacer clic en “Publicar” como se muestra en la Figura 38. El servicio se ejecuta en ese momento en el servidor y los usuarios y clientes de la red pueden obtener acceso al mismo.





INTEGRACIÓN CARTOGRAFICA DE LA GEOLOGÍA DEL SUBSUELO PARA LA GENERACIÓN DE SALIDAS GRAFICAS EN EL PORTAFOLIO EXPLORATORIO DE PACIFIC EXPLORATION & PRODUCTION

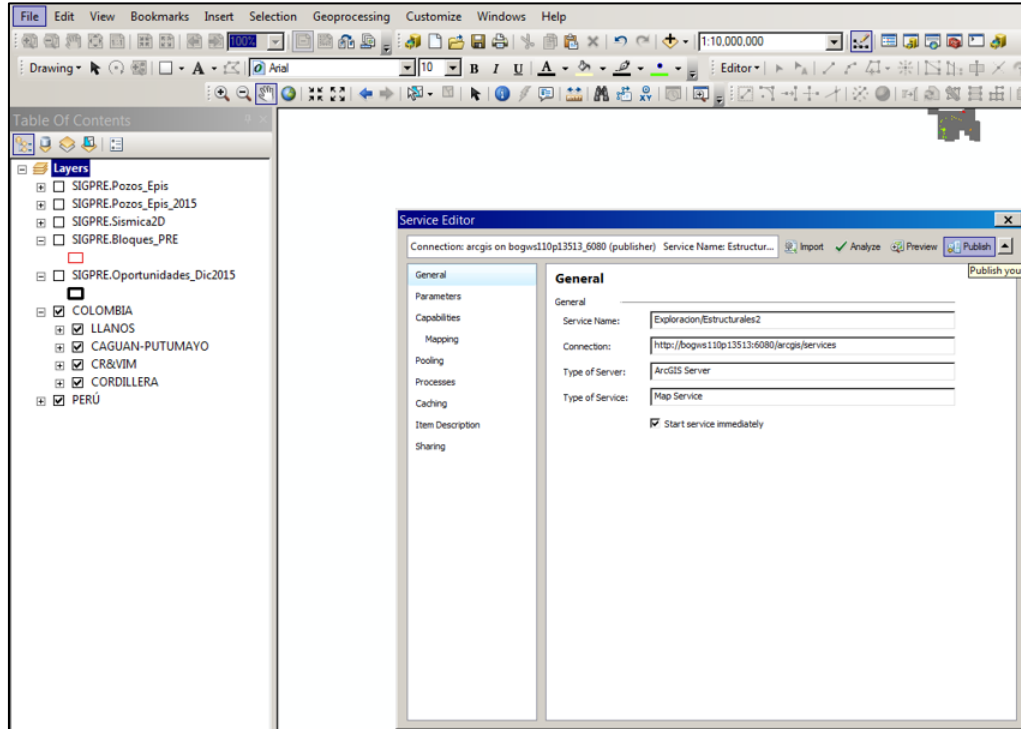


Figura 38. Ventana de publicación



## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

Al realizar el diagnóstico de la información se encontró que esta no cumplía con la estructura y con las normas establecidas por las entidades gubernamentales como la ANH, por lo cual se organizó en un formato Excel, en dónde se estableció que de los 26 bloques de exploración con los cuales cuenta la compañía, 10 tenían información de tipo vector y 16 información de tipo Raster que debía ser digitalizada. Al hacer esto se logró agilizar el proceso de estructuración, además de tener en cuenta con qué tipo de información se trabajó.

El Inventario de la información de los bloques de exploración permitió tener un listado de lo que contenían los datos, a que formaciones correspondían, cuencas geológica a la que pertenecían y adicionalmente identificar la ruta en la cual se encuentra guardada la información geográfica.

Por motivo de seguridad de la información y acuerdo de confidencialidad en este proyecto no se anexa el documento Excel que fue entregado al área de exploración. A continuación en la tabla 2 se muestra el encabezado de los campos que se diligenciaron.

*Tabla 2. Encabezados de la organización de la información en Excel.*

PAIS	CUENCA	BLOQUES	FORMACION	RUTA	DATUM

Se entregó también la información estructurada de los bloques de exploración con sus respectivos label, norte y coordenadas geográficas para el desarrollo del informe del portafolio de la compañía.

En la Figura 39 se muestra la finalidad de este proyecto, el cual es el reporte de portafolio en donde se encuentra el resumen del estado geológico del bloque, tiempo con el que cuentan las reservas, extensión total y fase de producción y exploración del bloque. Este análisis es realizado por el área de geofísica y geología teniendo en cuenta la información suministrada por los intérpretes.

Para la generación del mapa se utilizó como sistema de referencia las coordenadas geográficas WGS84; la línea roja es el límite del bloque exploratorio; en la leyenda se incluyen el tipo de



oportunidad. En el ejemplo de la figura 42 no se muestra la ubicación del bloque por motivos de confidencialidad, aun así, en la parte inferior se encuentra el Data Frame que relaciona el bloque con la cuenca geológica en la cual pertenece.

Nuevamente, son excluidos de la figura 39 los nombres del bloque y de los prospectos.

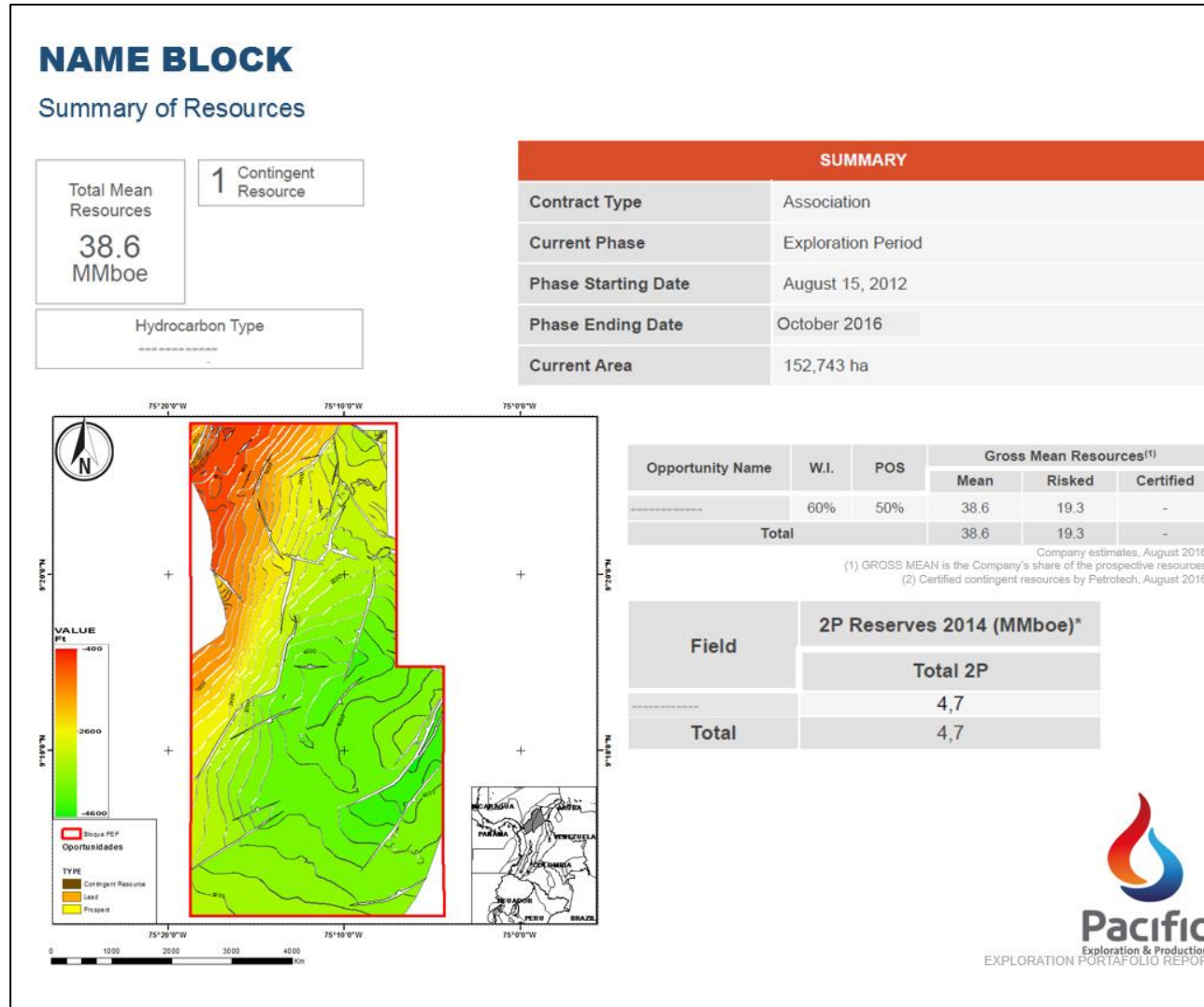


Figura 39. Reporte de portafolio de exploración.



Se entregó la información estructurada en dataset para la base de datos geográfica de portafolio; se evidencio la importancia de transformar los datos de Raster a vector debido a que estos proporcionan una estructura compacta, ocupando menor espacio en memoria lo cual se traduce como una ventaja importante al momento de manejar grandes cantidades de información como es el caso de los mapas estructurales y sus contornos. Además, permite codificar de manera eficaz las relaciones topológicas facilitando el análisis de la información.

La visualización de la información presenta una mejora importante debido a que permite mantener una mejor resolución y además la misma no está sujeta al tamaño de pixel y tiene la capacidad de poder ser consultado polígono a polígono el valor de la profundidad.

En la figura 40 se muestra el estándar utilizado por el área de exploración para organizar la información en los Feature class y la geometría de sus atributos.

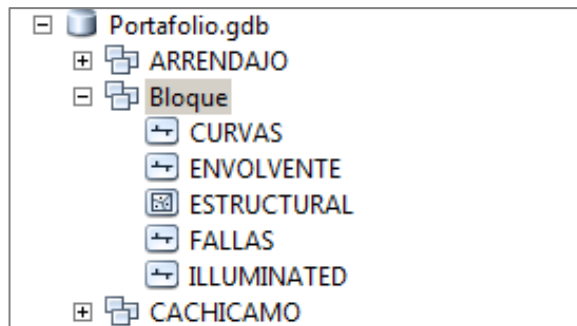


Figura 40. Base de datos de portafolio estructurada en dataset mostrando la geometría de la información geográfica.

Como se observa en la Figura 41, las imágenes con las cuales se manejaba la información estaban sujetas al tamaño del pixel lo cual afectaba visualización, disminuyendo la resolución. Adicionalmente, con el modelo digital de elevación se puede analizar su correlación con la estructura del horizonte mapeado en el subsuelo. La imagen con mejor resolución permite determinar con mejor eficacia el sentido de inclinación y la dirección en la cual buza el horizonte.

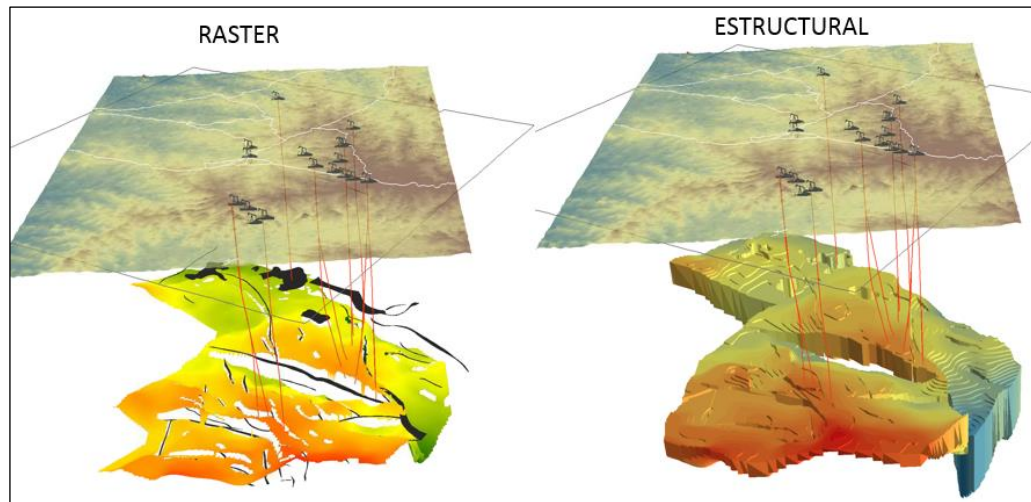


Figura 41. Diferencias entre Raster y el estructural.

Siguiendo el estándar del área de exploración para la realización de salidas graficas se utilizó el sistema de coordenadas geográfico WGS 1984, borde de línea rojo como limite de bloque y polígono negro para la visualización de las fallas, Además de un Data Frame de las cuencas geológicas en las cuales esta ubicado el prospecto, para la presentación de este proyecto por motivo de seguridad no es posible visualizar las coordenadas del bloque en el Data Frame.

En la Figura 42 se puede ver el mapa estructural con el limite de bloque y el illuminated.



INTEGRACIÓN CARTOGRAFICA DE LA GEOLOGÍA DEL SUBSUELO PARA LA GENERACIÓN DE SALIDAS GRAFICAS EN EL PORTAFOLIO EXPLORATORIO DE PACIFIC EXPLORATION & PRODUCTION

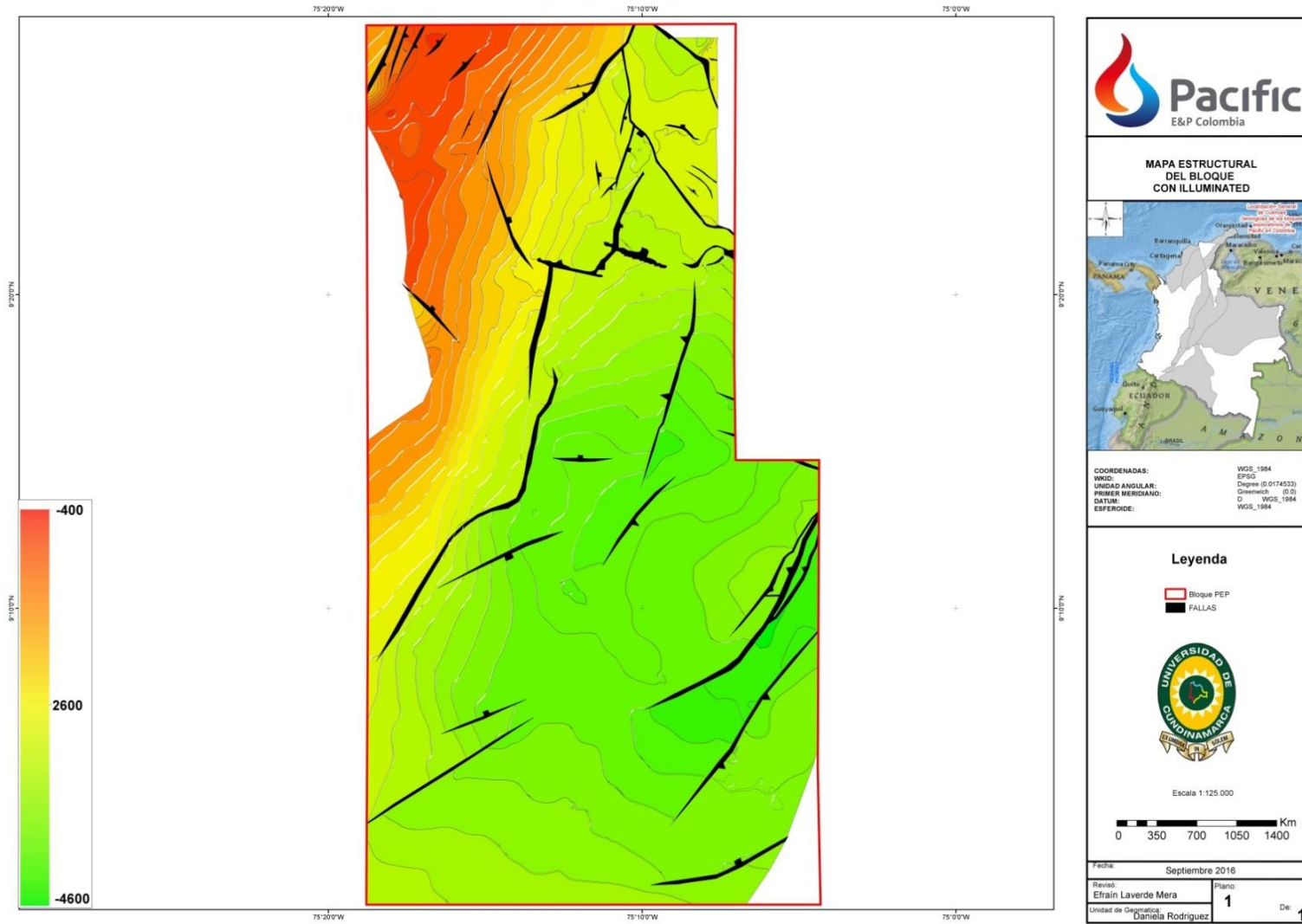


Figura 42 Sálida grafica.



## 7. CONCLUSIONES

- Al realizar el reconocimiento de la información existente mediante el diagnóstico e inventario, se pudo dimensionar la cantidad, calidad, veracidad y tipo de geometría en el cual se encontraban los datos para su posterior procesamiento.
- Al generar una base de datos geográfica que incluye la información necesaria para la publicación del servicio en el portal web de la compañía se facilitó la interacción de varios usuarios que pueden modificar y complementar la información.
- Es importante buscar herramientas que mejoren la visualización de las salidas gráficas y la utilidad de los modelos de características como por ejemplo el ModelBuilder, lo cual permite que agiliza los procesos.
- La carga y visualización de la información en el Geoportal ATLAS mediante un servicio web permitió que los usuarios tengan acceso al resultado de la integración geológica.
- Al representar la información se verifico la importancia de tener datos espaciales modificables que no estén amarrados al tamaño del pixel.
- El desarrollo de este proyecto se realizó desde las áreas de exploración y diseño pero beneficia al área geofísica y geológica de la compañía y se considera que se puede complementar para mejorar y facilitar el proceso de explotación de hidrocarburos si se incluyen otro tipo de información como por ejemplo mapas de gravimetría, magnetometría.





## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Alfred kjemperud. Revista play analysis methodology, 2007
- Angel rodríguez; ana maria antoranz. Libro geofísica marina fundamentos y aplicación a la tectonica de placas.
- boixereu vila ester, 2015. Evolución histórica de la cartografía geológica en españa: desde sus orígenes hasta los mapas deverneuill y collomb (1864) y maestre (1865).
- Chrles lyell, 1990. Principios de geología volumen 1
- Edward j. Tarbuck; frederick k.lutgens. Libro las ciencias de la tierra una introducción a la geología física.
- Esri(enlínea)<[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lis/negrete\\_1\\_ga/ca pitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/negrete_1_ga/ca pitulo2.pdf)>, 2003. Consultada: 24 de julio de 2016
- Francisco sarria. Sistemas de gestión de bases de datos y sig. 2006.
- Golinsking, 1998. Haciendo conocimiento natural : el constructivismo y la historia de la ciencia
- Hans burlg. Revista de la academia colombiana de ciencia-vol. Xi, no 43-editorial de librería voluntad-bogotá. D.c
- Henry cambefort. Libro geotecnia del ingeniero, reconocimiento de suelos 1975
- Javier urrutia. Libro cartografía, orientación y gps.
- Petrie, g.1990. Modelling, interpolation and contouring procedures. In.petrie.g. Kennie.t.j.m (ed.) 1990.terrain modelling in surveying and civil engineering. Whittles publish. Pg 113-127.
- Ruben cañedo andalia. Acimed revista cubana de los profesionales de la información y de la comunicación, 2006
- Solé sabarís 1, 1983. Morfología general de la península ibérica. In geologia de espaaña, libro titular pag 589- 613.
- Torge, w. Geodesy. 3 edicion: de gruyter, berlin, new york, 2001