RESPUESTA SÍSMICA GENERADA POR MEDIO DE SEISMIC UNIX DEL POZO LINDA-1 DE LA CUENCA CAGUÁN-PUTUMAYO

OSCAR FABIÁN JAIME TÁMARA
MARIA ANGELICA PADILLA MARTINEZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
BOGOTÁ
2023

RESPUESTA SÍSMICA GENERADA POR MEDIO DE SEISMIC UNIX DEL POZO LINDA-1 DE LA CUENCA CAGUÁN-PUTUMAYO

OSCAR FABIÁN JAIME TÁMARA
MARIA ANGELICA PADILLA MARTINEZ

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Topográfico

Director
ROBINSON QUINTANA PUENTES
ING. CATASTRAL, DOCTOR EN GEOCIENCIAS

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
BOGOTÁ
2023

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios que me dio la oportunidad de vivir y transcurrir el camino de la formación universitaria y profesional.

A mi esposo, amigo y confidente Dionicio que ha estado a mi lado cada día dándome su apoyo incondicional y que quien siempre me motivo y no permitió que desfalleciera en este arduo proceso de formación profesional.

A mis padres Hipólito y Consuelo, y hermanos que desde la distancia siempre estuvieron pendientes y dispuestos a colaborar en lo que estuviese a su alcance.

A mis amigos que de una u otra forma estuvieron a mi lado en cada uno de los pasos transitados durante el tiempo de permanencia en la institución académica.

María Angélica

A mis padres Andres y Marina, y hermanos que, con su apoyo, ánimo y confianza desde el inicio de mi proceso de formación profesional, que me apoyaron en mis actividades y nunca me permitieron rendirme.

Oscar Fabián

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 1
RESUMEN 4
ABSTRACT 5
INTRODUCCIÓN 6
OBJETIVOS 7
OBJETIVO GENERAL 7
OBJETIVOS ESPECIFICOS 7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 8
JUSTIFICACIÓN 9
MARCO TEÓRICO 10
SEISMIC UNIX 10
LINUX UBUNTU 10
TRAZADO DE RAYO 11
TIEMPO DE VIAJE 11
AREA DE ESTUDIO 12
EVIDENCIA DE HIDROCARBUROS 13
ROCA GENERADORA 15
GENERACIÓN Y MIGRACIÓN 16
ROCA RESERVORIO 16
ROCA SELLO 17
POZO DE EXTRACCIÓN LINDA 1 17
DESARROLLO DEL PROYECTO 20
SOFTWARE REQUERIDO 20
PREPARACIÓN DE DATOS 21
SEISMIC UNIX 24
CONCLUSIONES 26
RECOMENDACIONES 28
BIBLIOGRAFÍA 29

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cuenca Caguán-Putumayo. Tomado de ANH 2010..... 13

Ilustración 2. Sección Cronoestratigráfica al norte y al sur de la Cuenca Caguán-Putumayo donde se señalan los elementos del sistema petrolífero. Tomado de ANH 2005 y ANH 2007. 14

Ilustración 3.Diagramas de Van Krevelen para las rocas de los sectores Caguán (Izq.) y Putumayo (Der.) 15

Ilustración 4. Localización pozo de extracción LINDA-1. Tomado del Geoportal del Servicio Geológico Colombiano. 18

Ilustración 5. Línea Sísmica 3D LINDA TOROYACO 3D-95. Tomado del Geoportal del Servicio Geológico Colombiano. 19

Ilustración 6. Líneas Sísmicas 2D B-1987-14 (Izq.) y 2D B-1987-16 (Der.). Tomado del Geoportal del Servicio Geológico Colombiano. 19

Ilustración 7. Especificaciones Oracle VM VirtualBox. Fuente. Propia 20

Ilustración 8. Interfaz Seismic Unix en Ubuntu 23.10. Fuente. Propia 20

Ilustración 9. Mapa estratigráfico Pozo LINDA-1. Fuente: VOLUMEN_4_CAGUAN-PUTUMAYO_BASINS..... 21

Ilustración 10. Pozo LINDA-1 digitalizado en ArcMap 10.8. Fuente: Propia..... 22

Ilustración 11. Contorno de mapa estratigráfico y grilla. Fuente: Propia 22

Ilustración 12. Archivo de velocidades. Fuente: Propia 23

Ilustración 13. Respuesta sísmica Pozo LINDA-1. Fuente: Propia..... 24

Ilustración 14. Respuesta sísmica Pozo LINDA-1 sin aplicación de modelo Marmousi. Fuente: Propia 25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de entrada comando Rayt2d. Fuente: Propia 21

Tabla 2. Datos de LINDA-1 para Rayt2d. Fuente: Propia 23

RESUMEN

La cuenca del Putumayo es una porción de una gran provincia geológica formada por el Cuenca Marañón en Perú, Cuenca Oriente en Ecuador y Cuenca Putumayo en Colombia (Higley, 2001), siendo este último el más septentrional de la provincia.

La cuenca del Putumayo tiene forma triangular y sus límites se forman por la Cordillera Oriental al este, el macizo de Garzón al noroeste, el arco de Florencia al este. Al sur se encuentra la cuenca de Oriente, sin cualquier límite geológico identificado entre ambos. (Montenegro & Barragan, 2011)

La cuenca del Caguán se encuentra inmediatamente al norte de la cuenca del Putumayo y sus límites están definidos por el Macizo Garzón al norte, la sierra de la Macarena al norte y noreste, el alto de Florencia al sur. Hacia el este su extensión puede estar limitada por un alto, identificado en el campo magnetométrico mapa como el Yari alto (ICP, 1998) o por sus sedimentos pellizcando contra el Escudo de Guayana rocas cristalinas.

En 1987, Jack K. Cohen y Shuki Ronen del Centro de Fenómenos de Ondas (CWP) de la Escuela de Minas de Colorado (CSM) concibió un plan audaz. Este plan era crear una zona sísmica. entorno de procesamiento para sistemas basados en Unix, escrito en lenguaje C, que ampliaría el sistema operativo Unix a tareas de investigación y procesamiento sísmico. Además, pretendían que el paquete esté disponible gratuitamente como código fuente completo para cualquiera que lo desee. (USGS, 2023)

ABSTRACT

The Putumayo basin is a portion of a large geological province formed by the Marañón Basin in Peru, the Oriente Basin in Ecuador and the Putumayo Basin in Colombia (Higley, 2001), the latter being the northernmost in the province.

The Putumayo basin has a triangular shape and its limits are formed by the Eastern Cordillera to the east, the Garzón massif to the northwest, and the Florencia arc to the east. To the south is the Oriente basin, without any geological boundary identified between the two. (Montenegro & Barragan, 2011)

The Caguán basin is located immediately north of the Putumayo basin and its limits are defined by the Garzón Massif to the north, the Macarena mountain range to the north and northeast, and the Florencia highlands to the south. Towards the east its extension may be limited by a high, identified on the magnetometric field map as the Yari high (ICP, 1998) or by its sediments pinching against the Guiana Shield crystalline rocks.

In 1987, Jack K. Cohen and Shuki Ronen of the Center for Wave Phenomena (CWP) at the Colorado School of Mines (CSM) conceived a bold plan. This plan was to create a seismic zone. processing environment for Unix-based systems, written in C language, which would extend the Unix operating system to seismic research and processing tasks. Additionally, they intended to make the package freely available as full source code to anyone who wants it. (USGS, 2023)

INTRODUCCIÓN

Este trabajo realizara la respuesta sísmica del Pozo LINDA-1 ubicado en el departamento del Putumayo, cuya exploración sísmica fue realizada en el año de 1987 e inicio de operación en el año de 1989, cuyo proceso estará centrado en el comando de trazado de rayo ***Rayt2d***.

El pozo de extracción sometido a este estudio presenta adquisición sísmica conocidas como “Línea Sísmica 2D B-1987-14” y “LINDA TOROYACO 3D-95” el cual es operado por la empresa Argosy Energy Internacional.

Dado que la información sísmica no es de uso público, es necesaria la digitalización del mapa estratigráfico de LINDA-1 por medio de software convencional como el uso de ArcMap 10.8 y realizar una interpolación de velocidades de onda que varia con el tipo de material presente y predetermiando.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar la respuesta sísmica de un modelo del subsuelo de la cuenta Caguán-Putumayo (CPB)

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar una zona activa de explotación de la cuenca Caguán-Putumayo por medio del Servicio Geológico Colombiano.
- Obtener un modelo de estratificación de un pozo de extracción de hidrocarburos.
- Generar un archivo de interpretación para Seismic Unix.
- Generar un modelo de velocidades por medio de Seismic Unix.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En 1920 se utilizó por primera vez un terremoto artificial para retratar la geología del subsuelo. Durante la Primera Guerra Mundial, se utilizó la sísmica para avisar a los pobladores de París que pronto estarían bajo ataque. Los alemanes tenían un cañón muy grande de largo alcance llamado “Big Bertha”, el cual generaba una fuente de energía fuerte cada vez que disparaba su artillería. Dado que el sonido se propaga más rápido a través del subsuelo que a través del aire, la población de Paris contaba con cierto tiempo para protegerse.

Mintrop desarrolló más la técnica sísmica después de la guerra, y en 1923 fue invitado por la compañía Gulf Oil a ir a Estados Unidos a realizar sus experimentos, los cuales produjeron la identificación del domo de sal “Orchard” en Texas y su subsecuente producción. Esta técnica tuvo mucha acogida y rápidamente se esparció por Estados Unidos y Canadá. La primera brigada sísmica llegó a Lethbridge, Canadá en el verano de 1926.

Dada la historia en la exploración sísmica, el Centro de Fenómenos de Onda (Center for Wave Phenomena) de la Colorado School of Mines en Golden, Colorado ha creado un software libre conocido como ***Seismic Unix,*** el cual ofrece ciertos comandos para la interpretación de datos.

Teniendo en cuenta la información adquirida ¿Cuál es la respuesta sísmica a un modelo del subsuelo de la Cuenca Caguán - Putumayo?

JUSTIFICACIÓN

Debido a la importancia de la exploración sísmica del país, es necesario como ingenieros topográficos adquirir, interpretar y analizar la información sísmica necesaria para la búsqueda de nuevos bloque s de exploración petrolera.

Es por eso, que se debe entender las velocidades de onda que pueden experimentar las mediciones en campo, es por esto por lo que ***Seismic Unix*** ofrece ciertas herramientas, y en donde además es posible obtener un resultado rápido y fácilmente visible.

La utilidad del trazado de rayo ofrecido por este software se ve reflejada en el comportamiento real que se presenta en el subsuelo al momento de la adquisición sísmica, además, sirve como comparativo para aquellos datos adquiridos análogamente en los antes posteriores al nacimiento de ***Seismic Unix.***

MARCO TEÓRICO

SEISMIC UNIX

Seismic Unix (SU) es un paquete de software de procesamiento sísmico de dominio público escrito y mantenido por el Centro de Fenómenos de Ondas de la Escuela de Minas de Colorado, en Golden Colorado. El sitio web actual de SU es *http://www.cwp.mines.edu/cwpcodes*. SU puede ejecutarse en numerosos sistemas operativos Unix y también en Linux. Los scripts SU proporcionados en este disco y enumerados a continuación fueron modificados a partir de scripts escritos por USGS Seafloor Mapping Group en Woods Hole, MA y se ejecutaron en una estación de trabajo Sun Solaris 7.0. Estos scripts SU y otros archivos y software necesarios se encuentran en el archivo tar de Unix llamado boom.tar dentro de la subcarpeta SEISUNIX en la carpeta SOFTWARE en el nivel superior de este CD-ROM. (USGS, 2023)

LINUX UBUNTU

Linux es un sistema operativo gratuito elaborado por una comunidad de desarrolladores de software de código abierto, se basa en el anterior sistema Unix, que utilizaba el diseño modular como principio. En este tipo de sistema, los sistemas operativos ofrecen herramientas sencillas, al tiempo que se combinan los scripts de shell y el lenguaje de comandos para lograr flujos de trabajo complejos. (Lenovo, 2023)

A partir del año 2004, nace Ubuntu, cuyo objetivo era ofrecer una interfaz de escritorio del sistema Linux en donde el usuario tendría mas facilidad para operar y comprender dicho sistema operativo. El proyecto nació por iniciativa de algunos programadores de los proyectos Debian, Gnome porque se encontraban decepcionados con la manera de operar del proyecto Debian, la distribución Linux sin ánimo de lucro más popular del mundo. (Zone, s.f.)

TRAZADO DE RAYO

Es una técnica de predicción o determinación de los tiempos de arribo de las ondas en los detectores, utilizando los trayectos sísmicos. El trazado de rayos requiere un modelo de velocidad y la suposición de que los rayos se comportan de acuerdo con la ley de Snell. El trazado de rayos provee los tiempos de viaje que se requieren para la migración de Kirchhoff. (Schlumberger, 2023)

TIEMPO DE VIAJE

El tiempo de viaje representa el tiempo que toma la energía sísmica en propagarse, desde la fuente al objetivo dado por un punto (x, y). El tiempo de viaje tiene magnitud, pero no dirección, y este puede estar representado por una función escalar t (x, y). El tiempo de viaje en la superficie se puede graficar contra x, y. la función del tiempo de viaje puede estar representada por una superficie horizontal con coordenadas x y coordenada y (profundidad). (Peña, 2013)

SÍSMICA

La sísmica es una técnica geofísica esencial en la exploración de hidrocarburos, ya que permite identificar posibles trampas de hidrocarburos en el subsuelo, es decir, localizar estructuras geológicas donde se puedan haber producido acumulaciones de hidrocarburos.

Tiene como objeto obtener una imagen virtual de la geometría y configuración de las rocas y estratos en el subsuelo. Para ello, se emiten ondas acústicas desde la superficie bien mediante unidades móviles que generan vibraciones o mediante pequeñas cargas explosivas. Estas ondas acústicas viajan por el subsuelo, atravesando rocas y estratos, y en parte son reflejadas hacia la superficie. Cuando estas ondas llegan reflejadas a la superficie son detectadas por unos sensores

denominados geófonos, lo que permite medir el tiempo transcurrido entre la emisión de las ondas y su llegada de nuevo a la superficie. (Sector Electricidad, 2014)

AREA DE ESTUDIO

La exploración de hidrocarburos es el conjunto de actividades que buscan identificar, evaluar y localizar los yacimientos y/o acumulaciones de hidrocarburos en el sub suelo, el área de estudio se encuentra localizado en la Republica de Colombia la cual está conformada por 32 departamentos, agrupados en según sus características como relieve, clima, condiciones del suelo en 6 regiones territoriales (Amazonia, Andina, Caribe, Insular, Orinoquia y Pacifico) a su vez el país se encuentra dividido en 5 grandes cuencas hidrográficas (Orinoco, Amazonas, Magdalena-Cauca, Atlántico (Caribe) y Pacífico).

En este caso nos centraremos en la región y cuenca hidrográfica del Amazonas que conforma cerca del 40% del territorio colombiano, limita por el norte con las regiones de la Orinoquia y la región Andina, por el sur-occidente con la Republica del Ecuador, al sur con la Republica del Perú y al sur-oriente con la República Federativa de Brasil. En cuanto a la cuenca hidrográfica está limitada por el norte con las cuencas del Orinoco y la del Magdalena-Cauca, por el sur-occidente la del Pacifico, al sur-oriente se extiende hasta la con la Republicas del Ecuador, Perú, Bolivia, República Federativa de Brasil y República Bolivariana de Venezuela.

Dentro de la cuenca hidrográfica del Amazonas se encuentra contenida la subcuenca Caguán-Putumayo (Ilustración 1) que cuenta con un área de 2’345.608 Ha (al norte, Caguán y al sur, Putumayo), en el suroeste de Colombia. Limita al occidente con la Cordillera Oriental y al oriente con el Escudo de Guyana; al norte con la Serranía de la Macarena y al sur con el límite internacional con Ecuador. Esta cuenca comparte su historia geológica con la Cuenca de Oriente en Ecuador, como parte de una cuenca tipo antepaís (foreland).

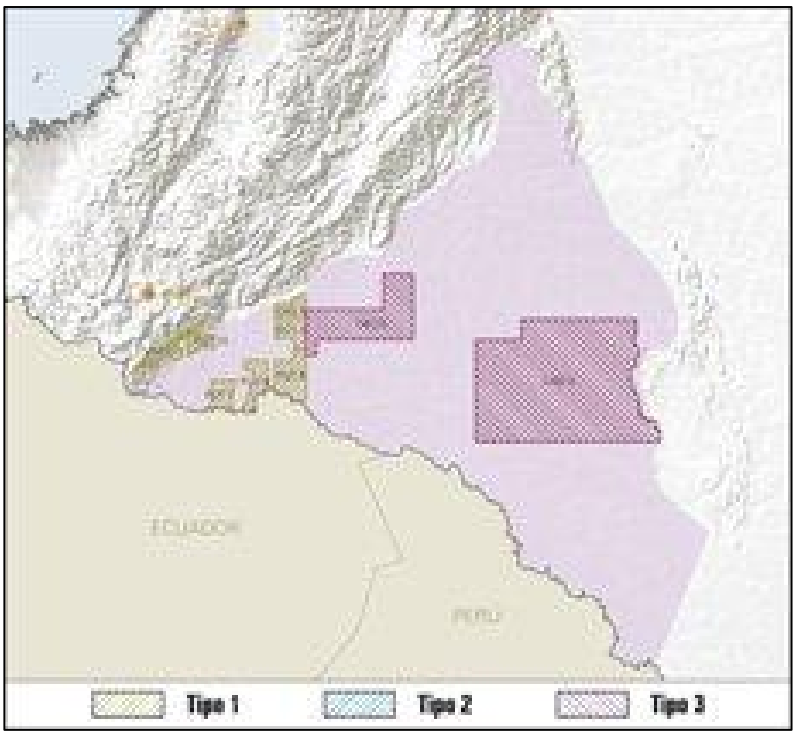


Ilustración 1. Cuenca Caguán-Putumayo. Tomado de ANH 2010

EVIDENCIA DE HIDROCARBUROS

En esta cuenca se han reportado rezumaderos, descubrimientos de petróleo (365 MBP) y gas (305 GPCS), además de 30 campos petroleros, elementos que confirman la existencia de por lo menos un sistema petrolífero activo (Ilustración 2).

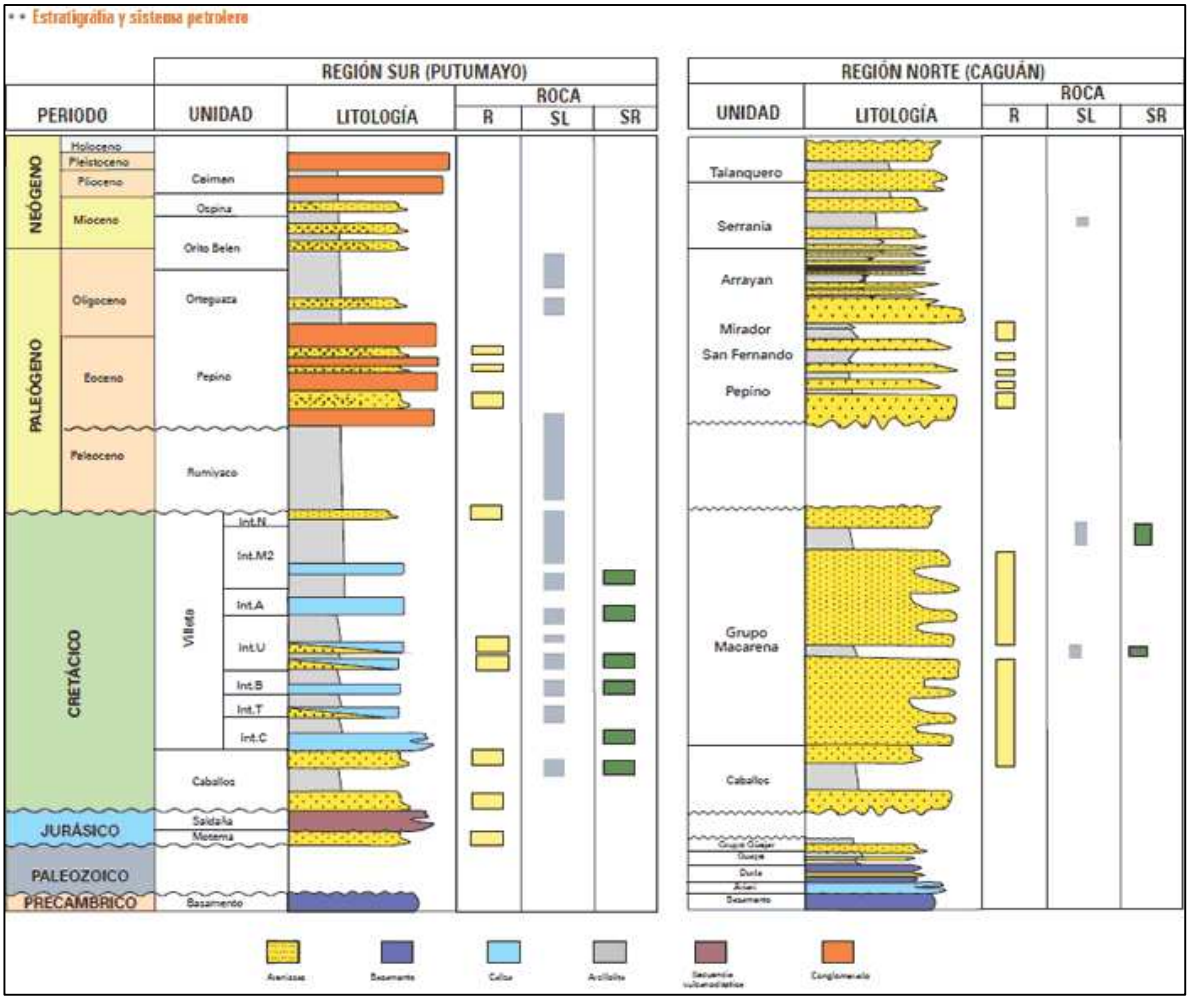


Ilustración 2. Sección Cronoestratigráfica al norte y al sur de la Cuenca Caguán-Putumayo donde se señalan los elementos del sistema petrolífero. Tomado de ANH 2005 y ANH 2007.

Se proponen como sistemas petrolíferos en la zona sur Caballos-Caballos, Caballos-Pepino, Villeta-Caballos, Villeta-Villeta y Villeta-Pepino, mientras que en la zona norte se proponen Macarena-Macarena y Macarena-Pepino. Aunque los análisis geoquímicos aún no son concluyentes al mostrar una correlación aceite-roca, a partir de ellos se postulan dos pulsos diferentes de migración: i) Oligoceno-Mioceno, que llenaría trampas pre-Oligoceno en el piedemonte, en el área de antepaís y, ii) ioceno tardío-Plioceno cuyo llenado es restringido a estructuras más recientes en el piedemonte.

ROCA GENERADORA

Las rocas en la zona norte, con buenas características de generación de hidrocarburos, corresponden a los intervalos superior y medio del Grupo Macarena, de acuerdo con los datos recopilados en el pozo Uribe-1. En el sur, son de muy buenas características como generadora las formaciones Villeta y Caballos según los análisis realizados. Las rocas del Cretácico, del sector de Florencia poseen también buenas cualidades para generar hidrocarburos.

En el sur, las características de generación son mejores hacia la franja donde se localiza el Campo Orito. Los diagramas de Van Krevelen muestran las características geoquímicas para las rocas fuente del Caguán y Putumayo (Ilustración 3).

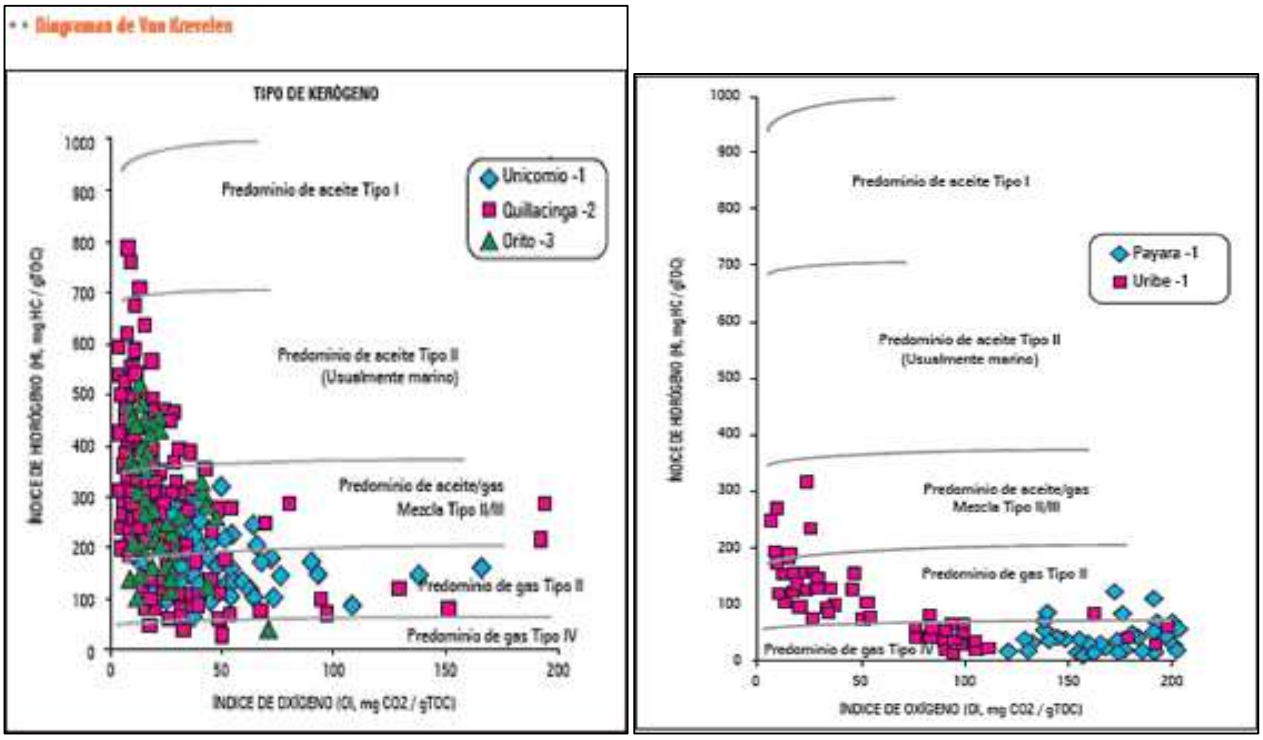


Ilustración 3.Diagramas de Van Krevelen para las rocas de los sectores Caguán (Izq.) y Putumayo (Der.)

GENERACIÓN Y MIGRACIÓN

El modelo de generación y migración plantea altas posibilidades de entrampamiento de hidrocarburos, así:

- **Sector Caguán:**

Las direcciones predominantes de migración de crudos en la zona del Caguán son:

1. Desde el oeste (donde actualmente se encuentra la Cordillera Oriental) hacia la Serranía de la Macarena.
2. Desde la Cuenca del Valle Superior del Magdalena hacia el piedemonte y zona de antepaís. Ruta de migración que actuó antes del levantamiento de la Cordillera Oriental.
3. Zonas de generación importantes están localizadas al este de la Serranía de la Macarena.

- **Sector Putumayo:**

La evaluación geoquímica del aceite encontrado en las rocas generadoras ofrece poca evidencia para inferir una migración vertical, las trazas de aceite no son exactamente iguales que los extractos obtenidos de la roca generadora; por lo tanto, el crudo puede venir del oeste o de áreas profundas aun no perforadas.

De acuerdo con los modelos geoquímicos, el hidrocarburo migró lateralmente desde zonas por fuera del límite actual de la cuenca, en la Cordillera Oriental. Esta hipótesis sugeriría un importante proceso de expulsión desde las formaciones Caballos y Villeta durante el Mioceno-Plioceno temprano en el sur de la cuenca.

ROCA RESERVORIO

Las areniscas cretácicas de la Formación Caballos son el principal reservorio en la cuenca, especialmente cuando se desarrollan fallas de un desplazamiento mayor de 200 pies. Las porosidades van desde 10% a 16% y permeabilidades promedio

de 50 md. Reservorios secundarios son encontrados en las areniscas de la Formación Villeta y los conglomerados del Pepino.

ROCA SELLO

Shales y niveles calcáreos cretácicos de la Formación Villeta son excelentes unidades de sello lateral y al tope. Hacia el piedemonte, es posible que fallas de cabalgamiento puedan actuar como sellos efectivos al poner en contacto las areniscas de la Formación Caballos con sedimentos más finos o rocas ígneo-metamórficas; sin desconocer el riesgo de estas últimas al actuar como sello. Los shales de Rumiyaco y Orteguaza también son sellos potenciales

TRAMPAS

En la zona del Putumayo, las principales trampas son: fallas inversas de alto ángulo con pliegues asociados, anticlinales anticlinales relacionados con fallamientos tipo thick skinned y anticlinales relacionados con fallas inversas y back thrusts. Para la Zona del Caguán, las estructuras de entrampamiento se relacionan con pliegues formados por inversión de fallas normales, así como a pliegues de arrastre tipo fold propagation fault.

En el área de antepaís, para la Cuenca Caguán-Putumayo, acuñamientos del Cenozoico contra el basamento corresponden a las trampas estratigráficas.

POZO DE EXTRACCIÓN LINDA 1

Específicamente el estudio se realiza en el departamento de Putumayo ubicado al suroeste del país con código de identificación DANE 86 cuyos límites geográficos son los departamentos de:

Al oriente y al norte con el Caquetá, al nor-occidente con el Cauca, al occidente con Nariño, al sur con la Republica del Ecuador y al sur-oriente con el departamento del Amazonas y la Republica Perú. Su capital en el municipio de Mocoa con código de identificación DANE 86-001, donde se encuentra el pozo de extracción **LINDA-1**

perteneciente a la cuenca hidrográfica Caguán-Putumayo y con **coordenadas geográficas 00°59’23.73” Norte y 76°28’34.08” Oeste**, es un pozo de tipo Direccional, en el cual se inició extracción en noviembre 22 de 1989 y se encuentra operativo a la fecha por la compañía Gran Tierra Energy Colombia, LLC Sucursal, se encuentra bajo el contrato de Línea Sísmica 3D Santana, el cual cuenta con un área de 43.344692 km^2 denominada LINDA TOROYACO 3D-95, hacia su costado occidental se encuentra la Línea Sísmica 2D denominada B-1987-14 operada por la compañía Argosy Energy Internacional con una longitud de 14.439474 km y un poco mas alejada hacia el oriente la Línea Sísmica 2D denominada B-1987-16 operada por la compañía Argosy Energy Internacional con una longitud de 14.665291 km.

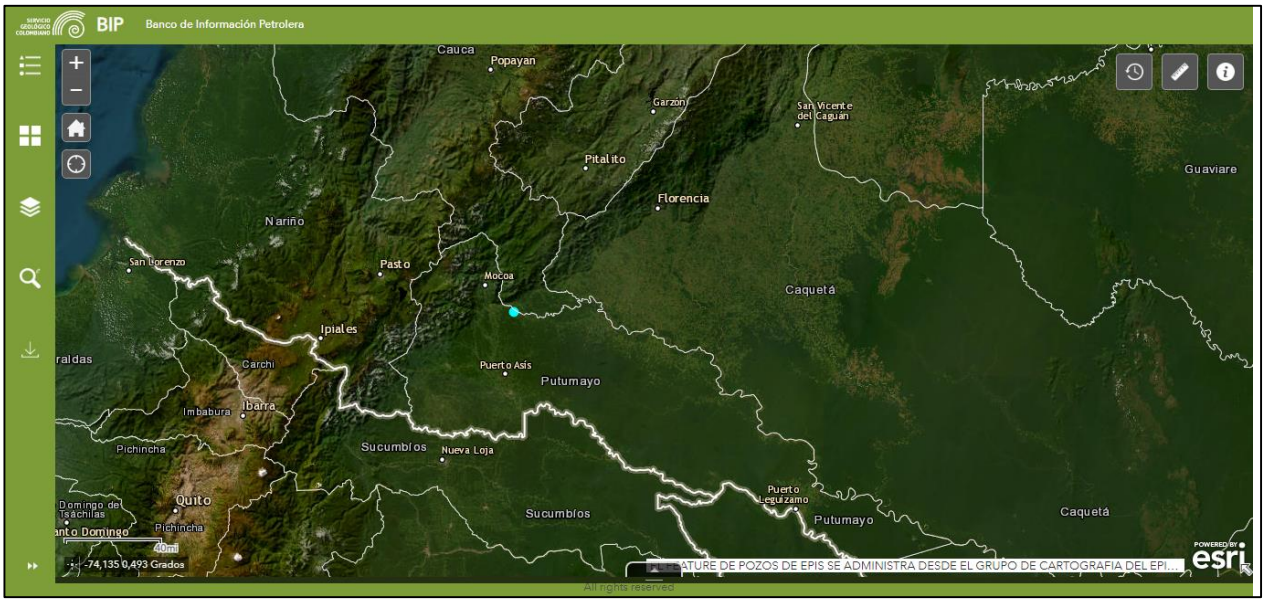


Ilustración 4. Localización pozo de extracción LINDA-1. Tomado del Geoportal del Servicio Geológico Colombiano.



Ilustración 5. Línea Sísmica 3D LINDA TOROYACO 3D-95. Tomado del Geoportal del Servicio Geológico Colombiano.



Ilustración 6. Líneas Sísmicas 2D B-1987-14 (Izq.) y 2D B-1987-16 (Der.). Tomado del Geoportal del Servicio Geológico Colombiano.

DESARROLLO DEL PROYECTO

SOFTWARE REQUERIDO

Para la adquisición de la respuesta sísmica del Pozo LINDA-1, Seismic Unix debe ser instalado en el sistema operativo Linux Ubuntu versión 23.10, este sistema operativo debe estar soportado en una "máquina virtual" *Oracle VM Virtual Box* (Ilustración 7).

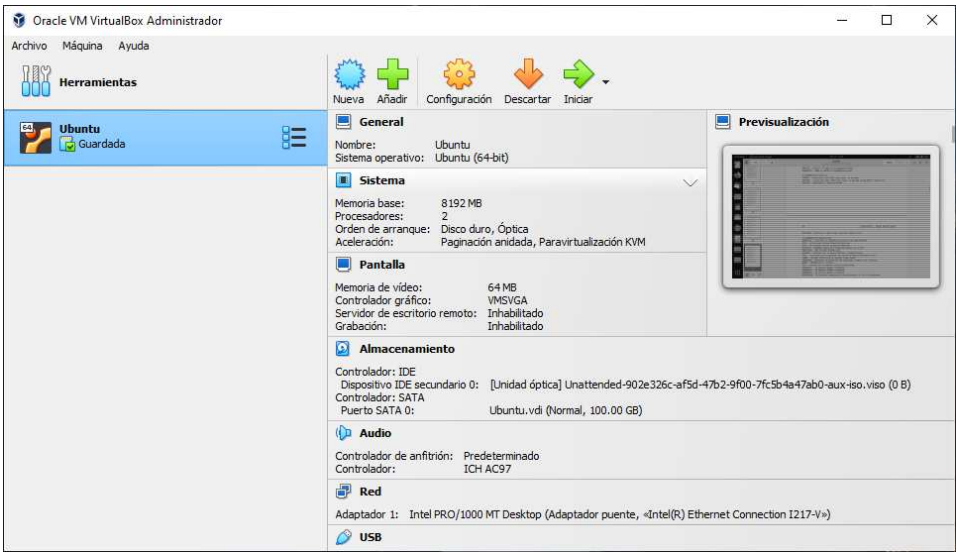


Ilustración 7. Especificaciones Oracle VM VirtualBox. Fuente. Propia

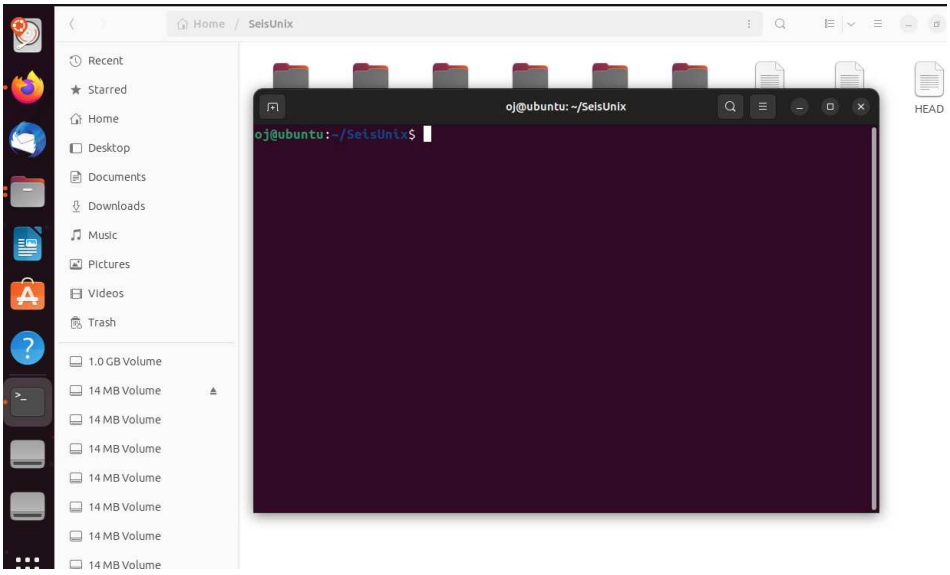


Ilustración 8. Interfaz Seismic Unix en Ubuntu 23.10. Fuente. Propia

Terminada la configuración de software, es necesario el comando ***Rayt2d*** el cual requiere (Tabla 1):

Dato	Definición
dt	intervalo de muestra de tiempo en el trazado de rayos
nt	número de muestras de tiempo en el trazado de rayos
fz	primera muestra de profundidad en velocidad
nz	número de muestras de profundidad en velocidad
dz	intervalo de profundidad en velocidad
fx	primera muestra lateral en velocidad
nx	número de muestras laterales en velocidad
dx	intervalo lateral en velocidad

Tabla 1. Datos de entrada comando Rayt2d. Fuente: Propia

PREPARACIÓN DE DATOS

Definido el comando a utilizar, se procede a adquirir las velocidades de onda necesarios para la ejecución de ***Rayt2d,*** para esto, se tomará el mapa estratigráfico, se digitalizarán las capas presentes en ArcMap 10.8 y se realizara una grilla de 125 líneas horizontales y 386 líneas verticales.

Esta grilla tiene como finalidad simular los datos adquiridos en campo y ser interpretados en Seismic Unix.

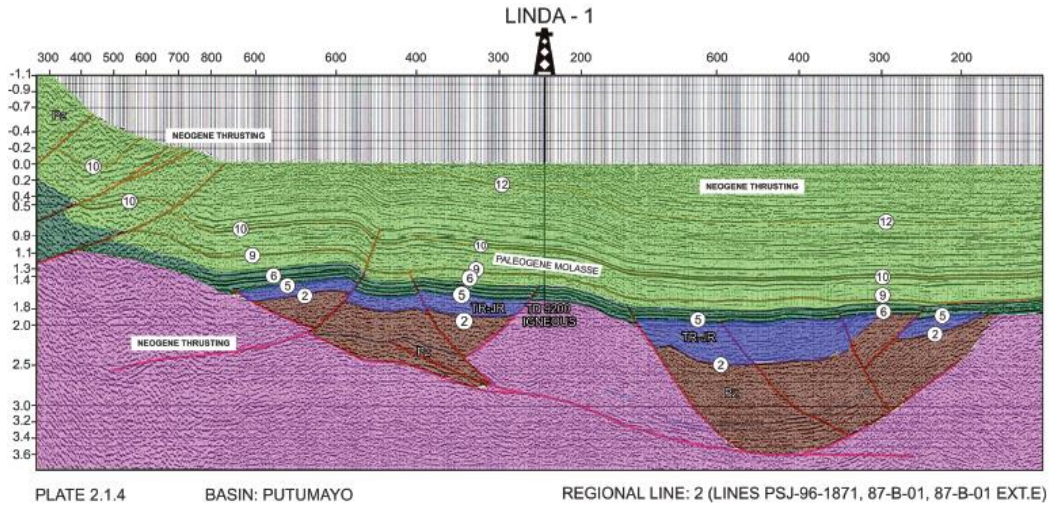


Ilustración 9. Mapa estratigráfico Pozo LINDA-1. Fuente: VOLUMEN_4_CAGUAN-PUTUMAYO_BASINS

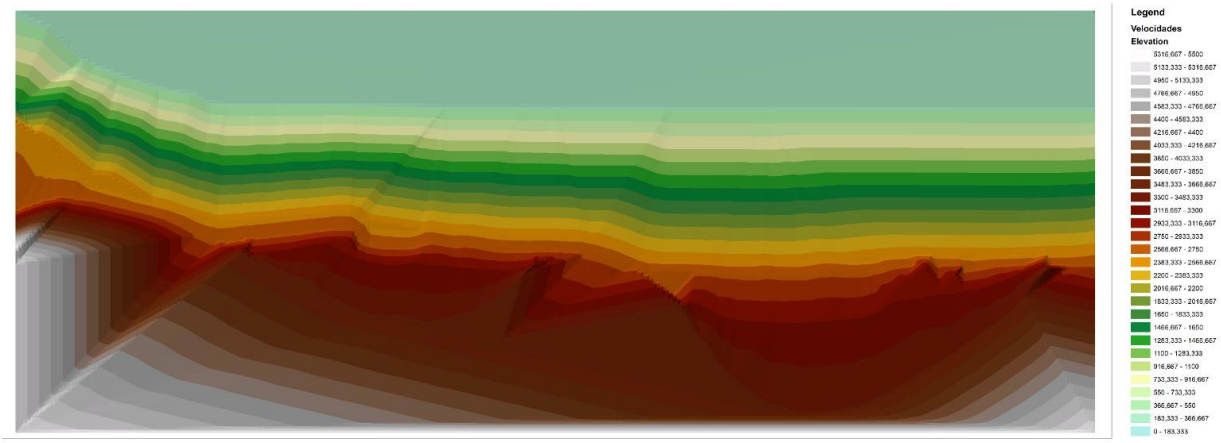


Ilustración 10. Pozo LINDA-1 digitalizado en ArcMap 10.8. Fuente: Propia



Ilustración 11. Contorno de mapa estratigráfico y grilla. Fuente: Propia

Se procede a extraer en formato .txt los valores interpolados de velocidades, las cuales representaran cada característica del mapa estratigráfico. La totalidad de velocidades corresponde a 48250 datos adquiridos representados en 125 filas por 386 columnas.

El comando ***Rayt2d*** debe ser modificado teniendo en cuenta la Tabla 1, actualizando la siguiente información (Tabla 2):

Dato	Cantidad	Definición
dt	0.004	intervalo de muestra de tiempo en el trazado de rayos
nt	51	número de muestras de tiempo en el trazado de rayos
fz	0	primera muestra de profundidad en velocidad
nz	125	número de muestras de profundidad en velocidad
dz	10	intervalo de profundidad en velocidad
fx	0	primera muestra lateral en velocidad
nx	386	número de muestras laterales en velocidad
dx	20	intervalo lateral en velocidad

Tabla 2. Datos de LINDA-1 para Rayt2d. Fuente: Propia

Adicional a la modificación del comando, en donde se actualizan el intervalo de muestras, el número de muestras de profundidad en velocidad y demás. Es necesario preparar un archivo el cual contenga los 48250 datos de velocidad representadas en una cola columna (Ilustración 12).

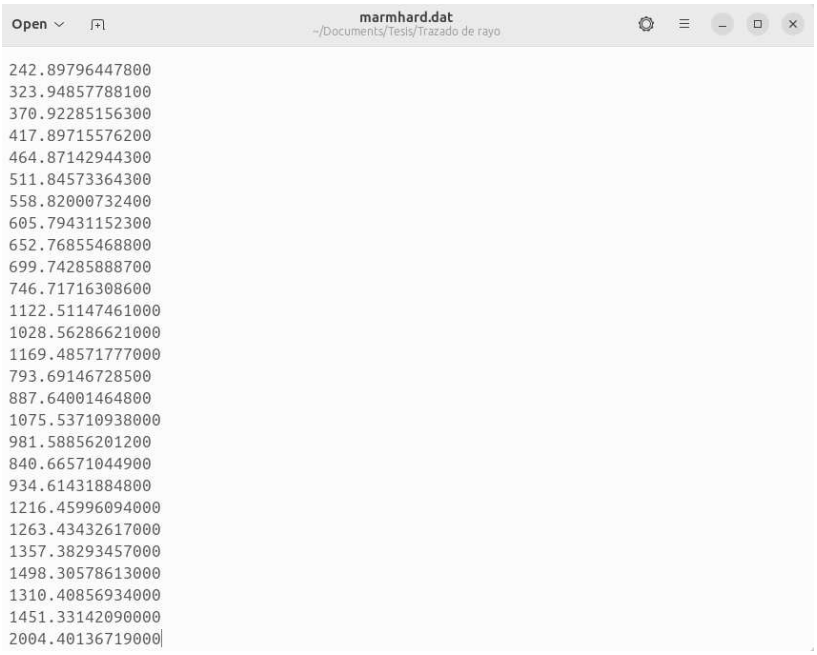


Ilustración 12. Archivo de velocidades. Fuente: Propia

SEISMIC UNIX

Con el comando ***Rayt2d*** modificado al Pozo LINDA-1, todo el proceso se realizará directamente en la terminal de Ubuntu, este código aprovechará los datos de entrada modificados y mencionados en la tabla 1 y tabla 2; también, aprovechará el archivo de velocidades para mostrar una imagen, en donde a la vez el modelo de Marmousi aplicará un suavizado.

Para la ejecución del comando, se escribirá en la terminal de trabajo de Ubuntu:

Sh Rayt2d.sh

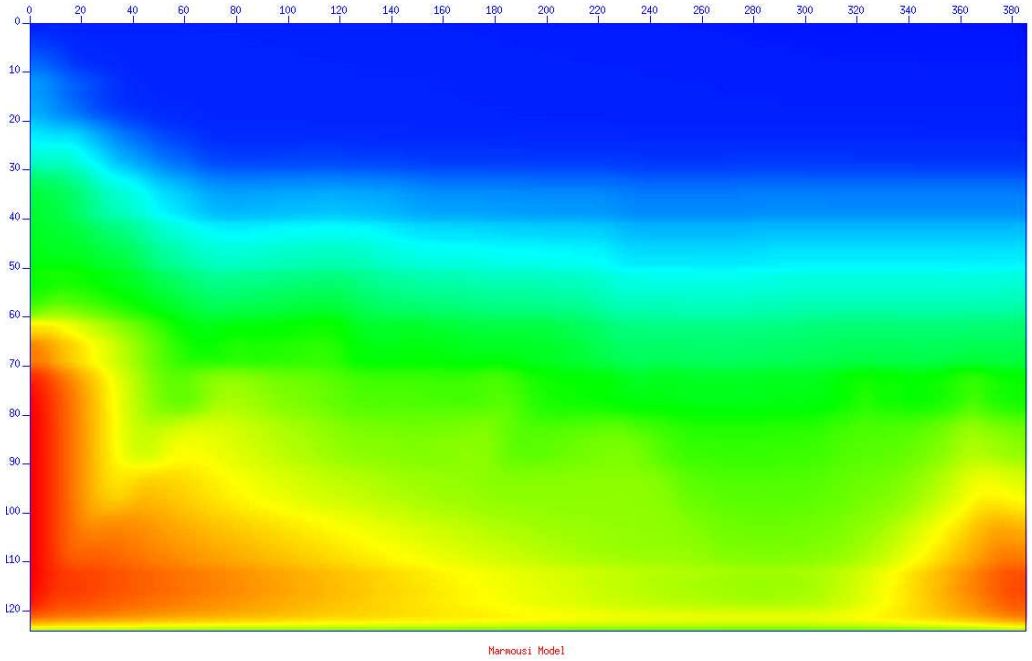


Ilustración 13. Respuesta sísmica Pozo LINDA-1. Fuente: Propia

También se puede obtener imágenes sin ningún tipo de aplicación de modelos de suavizado:

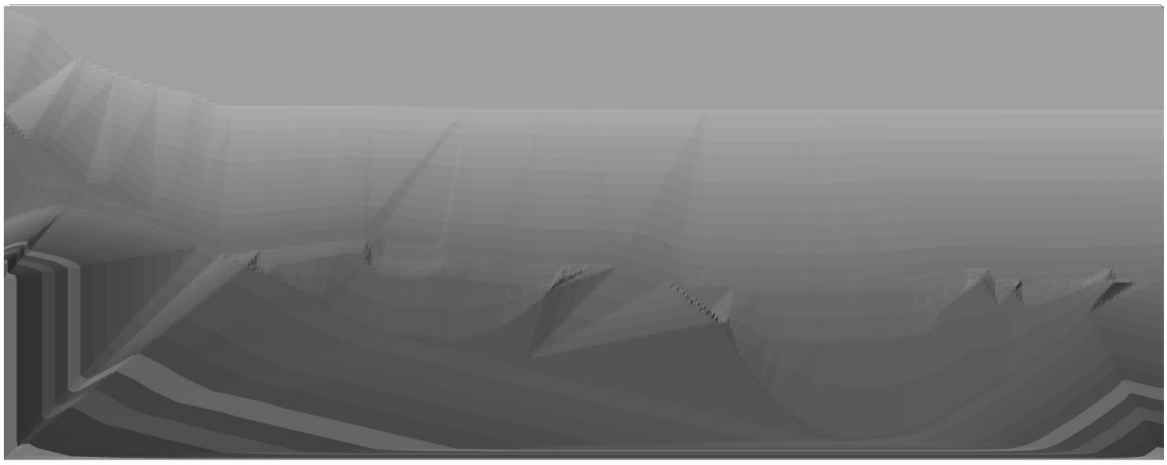


Ilustración 14. Respuesta sísmica Pozo LINDA-1 sin aplicación de modelo Marmousi. Fuente: Propia

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados se concluye lo siguiente:

- Se logró identificar una zona activa de explotación de la cuenca Caguán-Putumayo por medio del Servicio Geológico Colombiano denominado pozo linda-1, teniendo en cuenta que este ha estado en operación desde 1989 no se tienen datos crudos disponibles de los trabajos sísmicos 3D para un correcto procesado en Seismic Unix, por lo cual fue necesario la digitalización e interpolación de velocidades simuladas por medio de ArcMap 10.8.

- Para la obtención del modelo estratigráfico del pozo de estudio se utilizó como base el mapa estratigráfico mencionado en el anexo "VOLUMEN_4_CAGUAN-PUTUMAYO_BASINS" suministrado por la ANH, gracias a las velocidades interpoladas, se logra obtener una respuesta sísmica semejante al presentado en dicho documento.

- Gracias a las herramientas de digitalización de ArcMap 10.8, en donde se grafican los distintos estratos presentes en la zona de estudio, se logra crear una grilla conformada por 125 filas y 386 columnas las cuales simularan los tiempos de viaje de la onda y la cantidad de geófonos necesarios para el funcionamiento del código contenido en "Rayt2D". Los datos resultantes se conocerán como "Velocidades de Onda".

- Debido a la cantidad de velocidades de onda obtenidos en la interpolación de estratos digitalizados, el cual suma 48250 datos, el código presenta problemas de funcionamiento, para lo cual es necesario una pequeña configuración en donde se limitarán los tiempos de procesado y se descarta la aplicación de filtros de suavizado para el modelo generado; garantizando

un resultado confiable optimizando los datos de entrada (velocidades de onda).

- Para efectos prácticos del ejercicio, se obtiene la respuesta sísmica del pozo LINDA-1, el cual está presente en los anexos de la ANH localizados en su repositorio de documentos. Debido a la ausencia de los datos crudos de la comisión de adquisición sísmica 3D, fue necesario interpolaciones simuladas, en donde puede presentarse errores difíciles de evidenciar y cuyo resultado puede verse afectado. Adicional, el código "Rayt2D" requiere de datos precisos los cuales también fueron simulados siguiendo como ejemplo los ejercicios prácticos localizados en Seismic Unix.

RECOMENDACIONES

Seismic Unix funciona bajo el sistema operativo de Linux, por lo tanto, se requiere la creación y configuración de una máquina virtual que puede ser creada por medio de Oracle VM VirtualBox (versión más reciente).

Teniendo en cuenta esto, se recomienda configurar la máquina virtual con:

CARACTERISTICAS GENERALES DE COMPUTADORA

Se recomienda una computadora de escritorio en donde sus características sean preferiblemente:

- RAM: 32 Gb.
- Espacio de almacenamiento: 1 Tb Gb (preferiblemente un disco en estado sólido).
- Procesadores: 16.

CARACTERISTICAS RECOMENDADAS PARA LA CREACION DE LA MAQUINA VIRTUAL

- RAM: 8 Gb.
- Espacio de almacenamiento: 50 Gb (preferiblemente un disco en estado sólido).
- Procesadores: 4.

No requiere de tarjeta gráfica.

BIBLIOGRAFÍA

Gadallah, M., & Fisher, R. (2005). *Applied Seismology. PennWell Books.*

Higley, D. (2001). *https://www.usgs.gov/*. Obtenido de https://www.usgs.gov/: https://pubs.usgs.gov/dds/DDS-63/DDS-63.pdf

ICP. (1998). *Evaluación regional de la Cuenca Yarí-Caguán.* Bogotá: ECOPETROL.

Lenovo. (2023). *LENOVO.* Obtenido de https://www.lenovo.com/es/es/faqs/pc-life-faqs/que-es-linux/?orgRef=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

Montenegro, G., & Barragan, M. (Diciembre de 2011). *https://www.anh.gov.co/es/*. Obtenido de https://www.anh.gov.co/es/: https://www.anh.gov.co/documents/30/VOLUMEN_4_CAGUAN-PUTUMAYO_BASINS.pdf

Peña, C. (Noviembre de 2013). *ipn.mx.* Obtenido de ipn.mx: https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/14907/1/Modelado%20sísmico%20usando%20trazado%20de%20rayos%20en%20medios%20anisotropos.pdf

Schlumberger. (2023). *glossary.slb.* Obtenido de glossary.slb: https://glossary.slb.com/es/terms/r/ray_tracing

Sector Electricidad. (15 de Julio de 2014). *SectorElectricidad*. Obtenido de SectorElectricidad: https://www.sectorelectricidad.com/9588/la-sismica-en-la-exploracion-de-hidrocarburos/

SGC. (Marzo de 2020). *https://www.sgc.gov.co/.* Obtenido de https://www.sgc.gov.co/: https://www2.sgc.gov.co/Noticias/tpaginas/Entrega-Informacion-BIP/Manual_V0_AnexoNo-01_Informacion-Geofisica_V1.0_Mar19_2020.pdf

SGC. (2023). *Sistema Geológico Nacional.* Obtenido de Sistema Geológico Nacional: https://www2.sgc.gov.co/Nosotros/AcercaDelSgc/Paginas/Quienes-Somos.aspx

USGS. (2023). *United States Geological Survey.* Obtenido de SEISMIC UNIX SCRIPTS: https://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-326/HTML/SEISUNIX.HTM

Wren. (2005). *Simplifying seismic. Reservoir. Vol 32, No. 1: 34-36.*

Zone, s.f. (s.f.). *Linux Zone.* Obtenido de https://linuxzone.es/distribuciones-principales/ubuntu/