

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

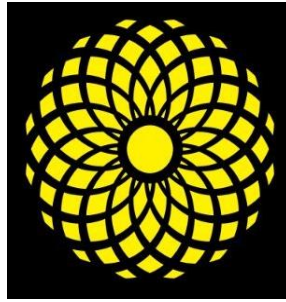
**INTERPRETACIÓN Y MODELADO DE LA
SUBCUENCA DE CARANDAYTY, CHACO
PARAGUAYO**

JAIRO VIDAL VILLALBA MACIEL

Orientadora: Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y
Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la
obtención del
Grado de Licenciado en Ciencias-Mención Geología

SAN LORENZO – PARAGUAY DICIEMBRE – 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

**INTERPRETACIÓN Y MODELADO DE LA
SUBCUENCA DE CARANDAYTY, CHACO
PARAGUAYO**

JAIRO VIDAL VILLALBA MACIEL

Orientadora: Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y
Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la
obtención del
Grado de Licenciado en Ciencias-Mención Geología

SAN LORENZO – PARAGUAY DICIEMBRE – 2021

**INTERPRETACIÓN Y MODELADO DE LA SUBCUENCA DE
CARANDAYTY, CHACO PARAGUAYO**

Autor: Jairo Vidal Villalba Maciel
Orientadora: Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del Título de
Grado de Licenciado en Ciencias-Mención Geología.

MIEMBROS DE LA MESA EXAMINADORA DE TRABAJO DE GRADO

MIEMBROS:

Prof. Dra. Ana Maria Castillo Clerici

Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruíz Díaz

Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba

Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Qué gran libro se podría escribir con lo que se sabe. Otro mucho mayor se escribiría con lo que no se sabe.

Julio Verne

INTERPRETACIÓN Y MODELADO DE LA SUBCUENCA DE CARANDAYTY, CHACO PARAGUAYO

Autor: Jairo Vidal Villalba Maciel
Orientador: Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici

RESUMEN

La Subcuenca del Carandayty cuenta con una serie de pozos perforados, el cual se seleccionaron algunos de ellos, para describir sus unidades litológicas y realizar una correlación y posterior contrastación con líneas sísmicas con el fin de determinar la disposición litológica dentro de la Subcuenca de Carandayty, para ello se accedió a los datos proveídos por PETROPAR y el CENIHP que finalmente fueron procesados en programas especializados y a través de ello generar una interpretación y relación geológica el cual ayudara a caracterizar la geología de la Subcuenca.

Palabras clave: Subcuenca, líneas sísmicas, pozos, litologías.

INTERPRETATION AND MODELING OF THE SUB-BASIN OF CARANDAYTY, CHACO PARAGUAYO

Author: Jairo Vidal Villalba Maciel
Counselor: Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici

ABSTRACT

The Carandayty sub-basin has a series of drilled wells, some of which were selected to describe their lithological units for correlation and subsequent contrast with seismic lines in order to determine the lithological arrangement within the Carandayty sub-basin, for this purpose the data provided by PETROPAR and CENIHP were accessed and finally processed in specialized programs and through this generate an interpretation and geological relationship which will help to characterize the geology of the sub-basin.

Key words: Sub-basin, seismic lines, wells, lithologies.

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Planteamiento del problema	8
1.2. Justificación	8
1.3. Objetivos	9
1.3.1 Generales.....	9
1.3.2 Específicos	9
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes	10
2.2. Geología Regional.....	11
2.2.1 Cuenca del Chaco	11
2.2.2 Secuencia geológica	12
2.2.3 Subcuenca del Carandayty	14
2.3. Secuencia litológica Paleozoica de la Subcuenca del Carandayty	15
2.3.1 Formación La Paz (Llanvirniano superior - Ashgilliano/Llandoveryano inferior):	15
2.3.2 Formación Santa Rosa (Llandoveryano inferior - Wenlockiano/Ludlowiano):	16
2.3.3 Grupo San Alfredo (Pridoliano - Tournaisiano/Viseano inferior)	16
2.3.4 Grupo San Alfredo inferior (Pridoliano - Emsiano):	16
2.3.5 Grupo San Alfredo superior (Eifeliano - Tournaisiano / Viseano inferior):	17
2.3.6 Grupo Palmar de las Islas (Westfaliano/Stefaniano - Kazaniano/Tatariano)	18
2.4. Parámetros técnicos.....	18
2.4.1 SEGY.....	18
2.4.2 LAS (estándar de registro ASCII)	18
3. METODOLOGÍA	19
3.1. Localización del área de estudios	19
3.2. Materiales	20
3.3. Método	20
3.4. Fases de trabajo	20
3.4.1 Fase 1 – Recopilación de datos.....	20
3.4.2 Fase 2 – Selección y análisis de datos	20
3.4.3 Fase 3 – Procesado de la información	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1. Resultados	22
4.1.1 Descripción de pozos.....	22
4.1.2 Correlación de pozos.....	26
4.1.3 Modelo Tridimensional	27
4.2. Discusión.....	28
5. CONCLUSIONES	31
6. BIBLIOGRAFÍA	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Pozos perforados en Paraguay hasta el año 1990	10
Tabla 2: Ubicación de los pozos seleccionados	19

LISTA DE FIGURAS

Figura compuesta 1: Evolución deposicional en el Paraguay, Cámbrico - Ordovícico.	13
Figura compuesta 2: Evolución deposicional en el Paraguay, Silúrico - Devónico.....	14
Figura compuesta 3: Evolución deposicional en el Paraguay, Carbonífero Inf. - Sup..	14
Figura 4: Ubicación de la cuenca del Carandayty	19
Figura 5: Portal del CENIHP	20
Figura 6: Pozo Mendoza R-1 con su descripción litológica.....	22
Figura 7: Pozo Mendoza-3 con su descripción litológica.....	23
Figura 8: Pozo Picuiba con su descripción litológica.....	23
Figura 9: Pozo Don Quijote con su descripción litológica.....	24
Figura 10: Pozo La Paz con su descripción litológica.....	25
Figura 11: Correlación de los pozos seleccionados	26
Figura 12: Mapa Tridimensional de Subcuenca de Carandayty,.....	27
Figura 13: Sección transversal entre las Subcuencas de Carandayty y Purity.	28
Figura 14: Sección transversal en base a la línea sísmica PZ 104	29
Figura 15: Desarrollo Geotectónico de la Subcuenca de Carandayty	30

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las cuencas sedimentarias nos ayuda a comprender con mayor profundidad la geología que afectó a la región y los procesos tectónicos que condicionaron la deposición de las diferentes litologías y los ambientes por el cual pasaron en distintos Periodos, además para determinar la ubicación de yacimientos hidrocarburíferos entre otras mineralizaciones importantes para la economía. Para la búsqueda y prospección/exploración de los hidrocarburos en particular, es fundamental utilizar los estudios geofísicos, en el que primeramente se determina la ubicación de la cuenca por medio de estudios de gravimetría, posterior a ello se realizan estudios estructurales del subsuelo por medio de líneas sísmicas el cual permite determinar la disposición de las litologías y finalmente se realiza la perforación del pozo exploratorio para determinar la presencia de hidrocarburos, extraer muestras geológicas y generar registros geofísicos. Por medio de los datos geológicos y geofísicos se puede generar una serie estudios del área de exploración uno de ellos es la correlación de pozos el cual nos permite definir la continuidad de las diferentes litologías además de la disposición de las mismas. En orden a definir la continuidad de las litologías en la cuenca del Carandayty recurrimos a los registros geofísicos y datos de perforación de los pozos Mendoza 1R, Mendoza 3, Picuiba, Don Quijote y La Paz. para su posterior descripción y caracterización, además de ello se complementaron con las líneas sísmicas de los pozos citados que nos permitieron obtener una mejor interpretación de la disposición de las diferentes litologías.

1.1. Planteamiento del problema

La exploración petrolífera en el Paraguay inició en 1945, desde entonces en todo el Paraguay se perforaron tan solo 52 pozos y se realizaron 15.000 km de líneas sísmicas aproximadamente el cual no es suficiente para la determinación de yacimientos hidrocarburíferos. La falta de más exploraciones e inversiones y además la poca densidad datos reducen la expectativa de encontrar estos yacimientos, para ello; con la organización, análisis e interpretación de los datos, se podría generar, obtener o deducir las posibles áreas futuras con potencial hidrocarburífero.

1.2. Justificación

Los recursos energéticos son todas las formas de combustibles que se utilizan en el mundo moderno, ya sea para calefacción, generación de energía eléctrica o para otras formas de procesos de conversión de energía. Los recursos energéticos se pueden clasificar aproximadamente en tres categorías: renovables, fósiles y nucleares, (Novakovic, 2016).

Aunque el consumo de combustible fósiles está en declive debido a la implementación de recursos energéticos renovables y vehículos eléctricos, aún le queda mucho camino que recorrer a los hidrocarburos debido a que la demanda industrial y de transporte sobre este recurso aun es grande lo cual es una oportunidad para el Paraguay de poder explorar y explotar sus recursos hidrocarburíferos y a ello se le adiciona una ventaja secundaria cual es la inversión necesaria para el estudio de yacimientos de esta índole que genera la oportunidad de poder estudiar las cuencas y la geología regional en general, entender los eventos del pasado y la tectónica que dio forma a la configuración actual de la corteza terrestre.

1.3. Objetivos

1.3.1 Generales

- Caracterizar la estratigrafía de la Subcuenca del Carandayty a través de los datos geofísicos.

1.3.2 Específicos

- Correlacionar las curvas de los registros de rayos gamma, porosidad y perfiles litológicos entre los pozos Mendoza 1R, Mendoza 3, Picuiba, Don Quijote y La Paz, para contrastar con la sísmica PZ-104 y determinar la disposición litológica.
- Modelar la Subcuenca de Carandayty tridimensionalmente a partir de los horizontes seleccionados en las líneas sísmicas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Para el desarrollo de esta investigación se ha consultado datos del trabajo denominado “Correlação Estratigráfica a Partir de Perfis Geofísico de Poços da Sub-Bacia de Carandaty no Chaco Paraguayo” realizado por la Ingeniera en petróleos Gisselle Arévalo, 2018 en el cual se correlacionaron pozos correspondientes a la cuenca de Carandaty a partir de registros geofísicos.

Respecto a la exploración de hidrocarburos, desde 1947, cuando la Union Oil California perforó el primer pozo exploratorio llamado Santa Rosa-1 en la cuenca de Carandaty. Desde entonces se perforaron tan solo 47 pozos en un área de 406.452 km². Al mismo tiempo se adquirieron 15.000 kilómetros de líneas sísmicas. El pobre índice de no más de un pozo por año y la baja densidad hace de Paraguay un país prácticamente inexplorado (Ferreiro, 2002).

Tabla 1: Pozos perforados en Paraguay hasta el año 1990, Fuente: (Clebsch, C.; 1991)

HYDROCARBON EXPLORATION WELLS OF PARAGUAY							
Operator	Well	Area	Year	Meters	Feet	Location	
Union Oil Co.	Santa Rosa-1	Carandaty	1947	2,309.4	7,577	21 45S	61 41W
	Pirizal D-1	Pirity	1948	3,148.9	10,331	23 03	60 38
	Picuiña B-1	Carandaty	1949	2,290.9	7,516	20 40	61 56
	La Faz D-1	Boquerón Arch	1949	2,210.4	7,252	21 53	60 58
Pure Oil Co.	Orihuela B-1	Hayes Arch	1949	2,047.3	6,715	23 24	58 40
	Madrejón-1	C. Chaco High	1958	1,728.1	5,668	20 28S	59 29W
	Lagerenza-1	Carandaty	1959	2,889.5	9,480	20 00	61 00
	Mendoza-1	Carandaty	1959	3,242.7	10,639	20 12	61 42
Placid Oil Co.	López-1	C. Chaco High	1959	1,730.9	5,679	21 46	59 58
	Mendoza-1	Carandaty	1967	792.1	2,598	20 07 30S	61 45 20W
	Mendoza-2	"	"	1,246.6	4,090	20 02 20	61 52 10
	Mendoza-3	"	"	693.4	2,275	20 03 10	61 53 30
Pennzoil & Victory Oil Holdings	Alicia-1	Carandaty	1971	1,305.4	4,283	20 57 02S	61 48 57W
	Brigida-1	"	"	1,512.7	4,963	21 18 50	61 50 22
	Christina-1	"	"	643.1	2,110	21 26 54	61 53 26
	Dorotea-1	"	"	853.4	2,800	21 17 01	62 08 54
	Emilia-1	"	"	1,022.0	3,353	21 06 34	62 07 14
	Federica-1	"	"	800.0	2,624	21 34 56	62 11 30
	Gabriela-1	"	"	1,015.6	3,332	21 46 34	62 00 02
	Hortensia-1	"	"	765.2	2,510	21 30 29	61 39 27
	Isabel-1	"	"	944.9	3,100	21 01 14	61 27 40
	Julia-1	"	"	1,280.1	4,200	20 36 05	61 37 03
	Katerina-1	"	"	1,139.6	3,739	20 44 30	61 33 50
	Luciana-1	"	"	819.3	2,688	20 10 40	61 43 10
	Marta-1	"	"	827.5	2,715	20 16 31	61 40 27
	Nola-1	"	"	760.1	2,493	20 07 49	61 47 13
Don Quixote-1	"	"	2,894.4	9,496	21 37 47	61 56 43	
REPSA & Compañía Petr. del Chaco	Olga-1	"	"	1,171.3	3,843	21 25 13	61 52 41
	Palo Santo-1	Pirity	74-75	3,765.2	12,350	23 10 20S	60 46 08W
ESSO, AMINOIL, REPSA, CPC	Berta-1	Pirity	1976	4,792.4	15,723	22 32 47S	61 00 58W
Chaco Exploration	Parapiti-1	Carandaty	1977	2,834.2	9,296	21 00 00S	61 00 00W
	Parapiti-2	"	"	2,350.9	7,711	21 34 00	62 00 00
Texaco & Marathon Petroleum Co.	Cerro León-1	C. León Arch	1977	1,970.1	6,462	19 49 00S	60 56 45W
	Toro-1	Curupaity	1978	3,417.7	11,210	58 57 00	20 07 58
	Gato-1	"	"	1,646.3	5,400	20 03 03	58 52 03
Compañía Petr. del Chaco	Anita-1	Pirity	1978	4,127.9	13,543	22 53 24S	61 30 18W
	Gloria-1	"	1979	4,015.1	13,173	22 56 55	60 38 04
Occidental	Carmen-1	Pirity	85-86	4,511.0	14,800	23 04 29S	61 28 43W
	Tte. Acosta-1	"	1987	4,268.0	14,003	22 44 55	60 25 15
	Nazaret-1	"	87-88	4,025.0	13,205	22 39 16	59 51 37
Pecten	Asunción-1	Paraná Basin	1982	3,223.0	10,574	24 04 13S	56 27 12W
	Asunción-2	"	1983	2,926.0	9,600	23 41 48	56 35 02
Texaco	Mallorquín-1	"	1990	2,990.4	9,811	25 28 47.6S	55 16 40W

2.2. Geología Regional

2.2.1 Cuenca del Chaco

La Gran Cuenca del Chaco, puede ser considerada una "Cuenca Compuesta" (Levorsen, 1973), dado que los acontecimientos sedimentarios fueron acompañados por eventos tectónicos de gran porte que contribuyeron en gran manera a delimitar la misma y las Subcuencas que componen. Esta Gran Cuenca se desarrolló en un antepaís y es una Cuenca pericratónica de la plataforma Sudamericana. Específicamente constituye el borde del Escudo Central Brasileiro (Gómez, 1986).

Según Clebsch, C.; 1991 en el Chaco paraguayo se produjeron tres eventos geológicos importantes:

- 1- Deposition de sedimentos clásticos del Paleozoico (desde el Ordovícico Inferior al Pensilvanico inferior y en algunas zonas al Pérmico Superior-Triásico Inferior) en ambientes marinos a continentales en un entorno de plataforma continental.
- 2- Rifting de la sección Paleozoica en la Subcuenca Pirizal durante el Cretácico temprano. con deposición de un relleno espeso, predominantemente continental.
- 3- Deposition de sedimentos continentales y marinos en una cuenca de antepaís desde el Eoceno al presente.

El área del Chaco se ubica al oeste del escudo brasileño. Sedimentos derivados de este Los escudos fueron depositados en el Chaco en una plataforma continental a marina relativamente tranquila. el ambiente se inclina suavemente hacia el oeste. Reconstrucción de la migración de los polos durante el Paleozoico (Clebsch, C.; 1991)

La Cuenca del Chaco a diferencia de la Cuenca del Paraná presenta una relación más estrecha con los Andes, debido a su proximidad geográfica, de esta manera, está sujeta a la intensidad de los ciclos tectónicos andinos (Castillo Clerici, 1986).

Según Wiens (1989) la cuenca del Chaco se emplazó sobre áreas de corteza continental como resultado subsiguiente del Ciclo Brasileño (800-500 Ma), que es un evento tectónico de compresión, intenso y de larga duración. La formación de la Cuenca del Paraná también se relaciona con este Ciclo.

La evolución tectono-sedimentaria de la Cuenca fanerozoica del Chaco está relacionada con reactivaciones estructurales con orientación NW y NE. También hubo movimientos invertidos; en caso de una inversión vertical pudo haber habido migraciones o inversiones de depocentros. La movimentación fue generalmente a menor escala, exceptuando la activación mesozoica en las zonas de Pirity y Bahía Negra (Wiens, 1989). Esta cuenca es de carácter pericratónico, conformada por varios depocentros o Subcuencas separadas por altos estructurales, cada uno de ellos con un registro tectono-sedimentario único. Al NW se acomodan las Subcuencas de Curupayty y Carandayty, ambas representan áreas con secuencias paleozoicas bien desarrolladas. En cambio, áreas de subsidencia de edad mesozoica-cenozoica, ocurren principalmente en las Subcuencas de Pirity y Pilar (Viceministerio de Minas y Energía (s. f.)).

La historia del Paleozoico del Chaco paraguayo tiene mucho en común con la región de Bolivia y es importante entender esta relación. Se observan ambientes de depósitos similares entre el cinturón subandino de Bolivia al oeste, y en menor grado, la zona de Roboré-Santiago de Chiquitos (Serranías de Santiago y San José) al norte y al este de Bolivia. Muchas de las

unidades litológicas encontradas y definidos en Bolivia, en la parte occidental del cinturón subandino, son similares o equivalentes en Paraguay, aunque los cambios en los ambientes deposicionales en la región de Paraguay son notorios (Nazario, C *et al.* 2018).

2.2.2 Secuencia geológica

Cámbrico: La presencia del Cámbrico no se puede excluir en el Chaco por su presencia en la región andina y su posible existencia en el este de Paraguay y el Chaco-Pampeano Llanuras de la provincia de Formosa en Argentina (Russo *et al.*, 1980). Los carbonatos y elásticos del grupo Itapucumi que afloran en el este de Paraguay y a lo largo del margen occidental del río Paraguay en el Chaco se asignan al Cámbrico basado en litología y posición stratigráfica (Clebsch, C.; 1991).

Según Wiens (1995), define las siguientes fases respecto a las deposiciones y la tectónica del chaco y el Paraguay:

1ra fase Ordovícico-Devónico: Una secuencia ordovícica casi completa en el pozo Don Quijote-1 (Grupo Cerro León, Subcuenca Carandaity) y sedimentos del Ordovícico medio a Alto en el pozo Asunción-1 (Grupo Caacupé, Bajo San Pedro), en contraposición a un incompleto o secuencia del Ordovícico inexistente en otros pozos y afloramientos, sugiere hundimiento diferencial y eventos erosivos menores.

Las observaciones de afloramientos en el sureste de Paraguay y el norte del Chaco paraguayo sugieren una sedimentación casi continua desde el Ordovícico hasta el Devónico, como resultado de un mayor ciclo fluctuante de transgresión-regresión. Un gran golfo a lo largo de un margen continental pasivo se extendía desde un océano protopacífico hacia el oeste cubriendo el área general de las cuencas del Chaco y Paraná. La discordancia regional del Silúrico Inferior en la cuenca del Chaco (Russo *et al.*, 1979) hasta ahora no se ha observado en el Chaco paraguayo, pero podría estar presente en las principales cuencas del Paleozoico (Subcuencas de Curupayty y Carandayty).

2da fase: Carbonífero-Pérmico: En el contacto Devónico-Carbonífero se encuentra presente una pronunciada discordancia angular y una superficie erosiva en áreas extendidas del noroeste del Chaco paraguayo. Un reajuste diferencial de los bloques estructurales de la cuenca provoca el incipiente levantamiento de los altos de Boquerón, Fuerte Olimpo y Lagerenza, resultando en discordancias entre voluminosos sedimentos glaciares continentales del Carbonífero Superior y secuencias locales marinas someras del Pérmico Inferior (Grupo Palmar de las Islas) que descansan en lutitas del Devónico (Lobo *et al.*, 1976).

Solo en las partes más profundas de la Subcuenca occidental de Carandayty se conserva una sección completa desde el Devónico hasta los sedimentos del Carbonífero Superior y del Pérmico Inferior. En la Subcuenca de Curupayty una discordancia erosiva marca el contacto entre las secuencias del Carbonífero y las areniscas del Mesozoico.

3ra fase: Jurásico tardío / Cretácico temprano-Eoceno medio: La sedimentación se reinició durante el Triásico como depósitos fluvial-eólicos, llenando depresiones morfológicas (Bianucci *et al.*, 1981). El entorno de la deposición cambió más tarde al desierto. condiciones, principalmente en la zona norte del Chaco, abarcando todas las cuencas, alturas y plataformas (Formación Adrián Jara inferior).

Un importante evento tectónico extensional Mesozoico (ciclo del Atlántico Sur, 230-65 Ma) corresponde a la deposición de la Formación Adrián Jara en la Subcuenca Curupaity. Formaciones Berta, Palo Santo y Santa Bárbara en la Subcuenca Pirity, así como a mal identificadas areniscas rojas en el centro y sureste del Chaco paraguayo. El estilo tectónico refleja un sistema de rifts bien desarrollados que se originó desde el Cretácico temprano hasta el Eoceno medio.

La tectónica de rift mesozoica marcó una reorganización estructural y el cambio la historia sedimentaria a lo largo del patrón tectónico en el Chaco paraguayo. Las configuraciones generales de las cuencas y los altos existentes se modifican sustancialmente y se desarrollan nuevas unidades tectónicas: las Subcuencas de Carandaity y Curupaity se vuelven más estables, lo que indica tasas de sedimentación menores; Se observa el arqueamiento de los altos existentes y se forman nuevos centros deposicionales.

4ta fase: Cenozoico: Eoceno medio-Cuaternario: El levantamiento de las cordilleras andinas al oeste de la cuenca del Chaco se originó a partir de la tectónica (ciclo andino, 50-35 Ma) generó una fuente importante de sedimentos, y excluyó cualquier posible influencia marina del oeste. Los efectos de la reactivación estructural y magmática se registran en áreas de tectónica invertida en los bloques Asunción y San Ignacio alrededor del basamento cristalino expuesto en el sureste de Paraguay. (49-40 Ma).

Las Subcuencas y altos de la cuenca del Chaco que se establecieron durante el Mesozoico, se vieron cubiertos por sedimentos continentales espesos y extensos (Formación Chaco). Reajustes menores de las estructuras dentro de los sedimentos mesozoicos podrían haber sido causadas por la tectónica terciaria acompañada de magmatismo local básico-alcalino.

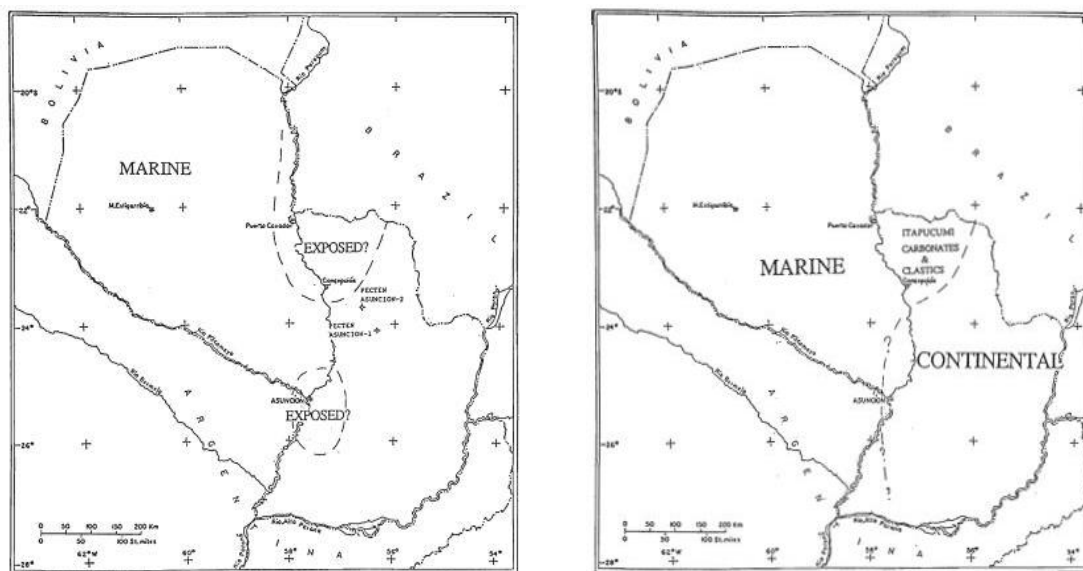


Figura compuesta 1: Evolución deposicional en el Paraguay, Cámbrico (izquierda), Ordovícico (derecha), Fuente: (Clebsch, C.; 1991).

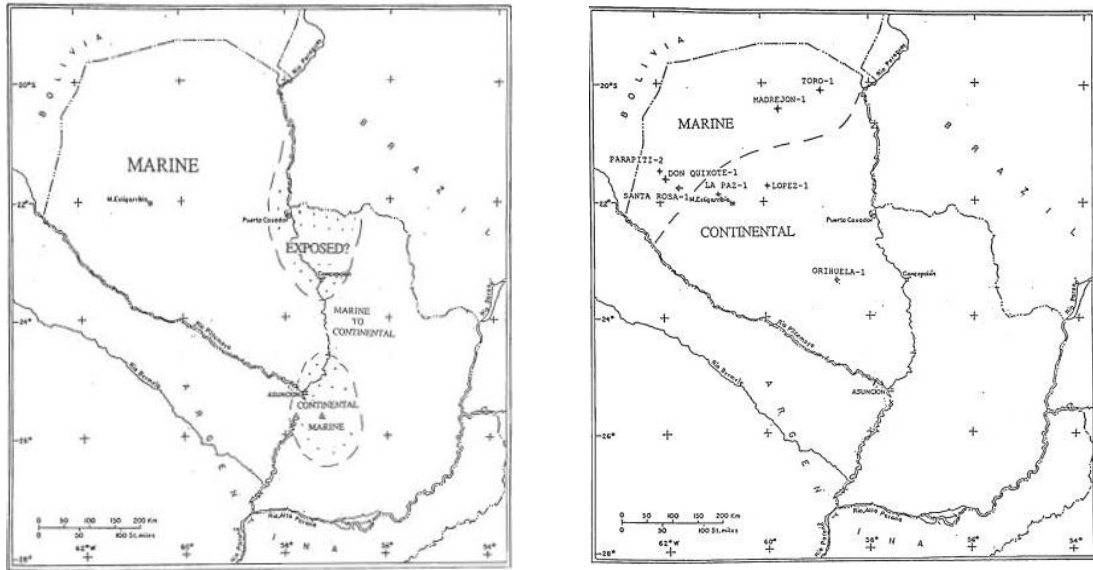


Figura compuesta 2: Evolución deposicional en el Paraguay, Silúrico (izquierda), Devónico (derecha), Fuente: (Clebsch, C.; 1991).

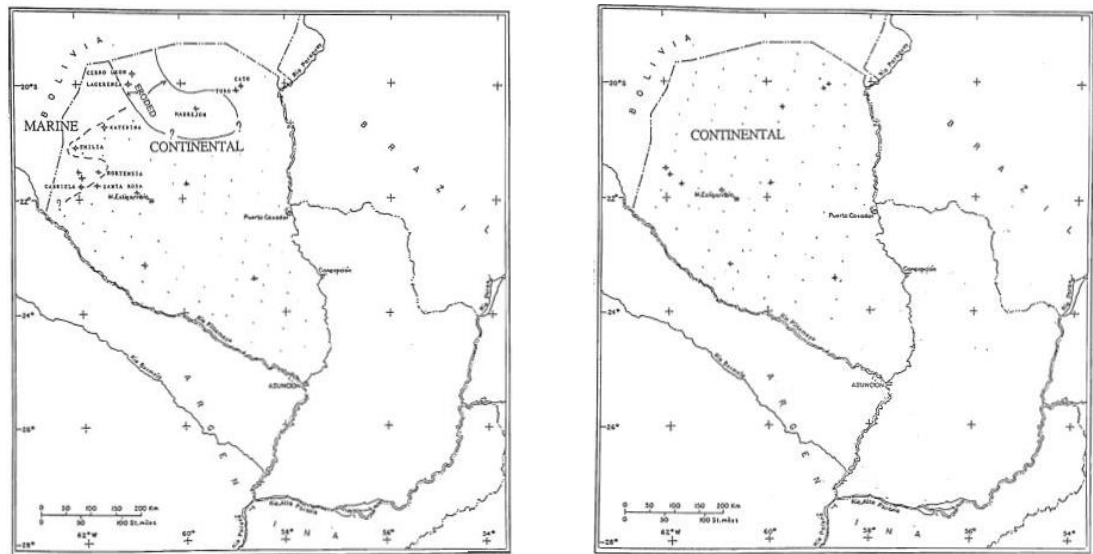


Figura compuesta 3: Evolución deposicional en el Paraguay, Carbonífero inferior (izquierda), Carbonífero superior (derecha), Fuente: (Clebsch, C.; 1991).

2.2.3 Subcuenca del Carandayty

Geológicamente está constituido por rocas Paleozoicas (Silúrico y Devónico). El ciclo Silúrico-Devónico está constituido por sedimentos clásticos de origen marino de edad Silúrico y Devónico, donde claramente se pueden ver facies arenosas y arcillosas. (Nazario, C *et al.* 2018)

La estratigrafía de la Subcuenca de Carandayty, con respecto al Ordovícico, según observaciones realizado en el perfil litológico del pozo Don Quijote, presenta lutitas marinas desde el Ordovícico medio hasta el superior en la parte occidental del Chaco paraguayo. En la parte oriental de la mencionada Subcuenca, en el Parapiti-1, las lutitas van desde el Ordovícico Inferior hasta el Medio. Las lutitas del Ordovícico son negras para gris muy oscuro, firme,

limoso y síliceo en partes, parcialmente fisionable, piriticas, muy micáceo, intercalado con arena. La arena intercalada es de color blanco a gris medio, limosa y parcialmente micácea, de muy fina a fina, predominantemente friable y, a veces, firmemente cementado por sílice; con contenido ocasional de anhidrita, ligeramente calcáreo. El contacto más superior del Ordovícico parece ser transitorio a los limos y pizarras del Ordovícico medio y superior (Nazario, C *et al.* 2018)

La parte superior de la secuencia del Devónico en la Subcuenca Carandaity muestra una transición secuencia regresiva de facies marina a marino-deltaica, de laguna a continental, como determinada por palinología y litología (Urban, 1972 en Clebsch, C.; 1991).

2.3. Secuencia litológica Paleozoica de la Subcuenca del Carandaity

2.3.1 Formación La Paz (Llanvirniano superior - Ashgilliano/Llandoveryano inferior):

Aunque la distribución debe ser relativamente amplia, registros inferiores del Grupo Cerro León han sido alcanzados apenas en los pozos Don Quijote #1 (+425) y Parapití #1 (+166 m) en el oeste chaqueño. Son definidas lutitas negras a gris oscuras, muy consistentes a agrietadas, piriticas a limoníticas y muy micáceas. Intercalaciones de siltitas y areniscas son blanquecinas a gris claras, finas a muy finas y generalmente friables o localmente cementadas por sílice. Anhidrita y niveles calcáreos son comunes. El ambiente deposicional es definido como marino calmo. Hacía el techo el aumento de siltitas y areniscas indican hacía un mayor pulso transgresivo en el Silúrico inferior (Formación Sta. Rosa). La escasa información palinológica señala por la asociación de Chitinozoarios y Acritarcas hacía una ubicación desde el Llanvirniano superior al Ashgilliano/Llandoveryano inferior. Debido a la documentación incompleta se correlaciona la Formación La Paz desde términos superiores del Grupo Sta. Victoria (Ordovícico) hasta niveles inferiores de la Formación Kirusillas (Silúrico) en la franja subandina. Cabe mencionar la persistente problemática acerca de un periodo fluvio-glacial, registrado entre las Formaciones La Paz y Sta. Rosa, denominado como Formación Boquerón (Paraguay oriental), Formación Zapla (Argentina), Formación Cancañiri (Bolivia) y Formación Iapó (Brasil). Estos sedimentos predominantemente diamictíticas asociadas con areniscas y lutitas negras no han sido documentados en el subsuelo chaqueño paraguayo. Este evento representaría un buen horizonte guía en la subdivisión estratigráfica. Debido a la carencia de documentación más detallada el contacto hacía la Formación Sta. Rosa sería aceptada como transicional (Wiens, 1998)

2.3.2 Formación Santa Rosa (Llandoveryano inferior - Wenlockiano/Ludlowiano):

Se acentúa la transgresión marina del oeste indicada en niveles superiores de la Formación La Paz. Llegan a predominar areniscas masivas claras con intercalaciones de siltitas y arcillitas oscuras que van cubriendo ampliamente el Chaco y se conectan por el bajo de San Pedro hacia el Paraguay oriental. Espesores registrados oscilan entre 670 m en el noroeste y 200 m hacia el este.

Las areniscas son blancas a gris claras, saccaroidales, muy finas a siltíticas, algo micáceas, en general friables a cementadas por sílice y carbonatos. Algunos intervalos registran tallos de crinoides reemplazados por pirita. Intercalaciones lutíticas contienen ocasionalmente hasta 25% de pirita.

Contenidos palinológicos de chitinozoarios y acritarcas bien documentados en los pozos Toro #1 y Parapití #1, así como aislados registros macrofósilíferos de trilobites, graptolites, gasterópodos y braquiópodos permiten la correlación con el Grupo Itacurubí en el Paraguay oriental. Igualmente corresponde una correlación hacia la Formación Kirusillas en la franja subandina y la Formación El Carmen en el oriente boliviano.

De esta manera es posible indicar un sistema paleogeográfico, señalando que el Chaco paraguayo continúa durante el Silúrico en una amplia plataforma marina, causando la deposición de la Formación Sta. Rosa (Llandoveryano inferior - Wenlockiano/Ludlowiano), La distribución sedimentaria indica áreas dístales hacia el oeste y noroeste con pronunciada participación arcillosa; hacia las estas condiciones calmas y playo marinas son observadas con influencia continental en el alrededor de áreas cratónicas; mientras que el área norte registra facies proximales más arenosas a continentales clásticas. (Wiens, 1998)

2.3.3 Grupo San Alfredo (Pridoliano - Tournaisiano/Viseano inferior)

Ya que sedimentos lutíticos devónicos (en particular arcillitas del Eifeliano) representan una importante fuente generadora para hidrocarburos, la secuencia devónica en la cuenca Chaco-Paranaense paraguaya cuenta con una razonable documentación estratigráfica, tanto litológica como palinológica/paleontológica. De esta manera se identifica todo un ciclo transgresivo-regresivo desde el Pridoliano (Silúrico tardío) hasta el Viseano (Carbonífero inferior).

El ciclo deposicional del Grupo San Alfredo limita en una discordancia tectónica-erosiva en su base con el Grupo Cerro León (epirogénesis Caledoniana), mientras que culmina igualmente en una discordancia tectónica-erosiva en su techo con sedimentitas del Grupo Palmar de las Islas. Extensos afloramientos devónicos son observados en la Cordillera de San Alfredo y en el macizo del Cerro León (alto de Lagerenza). La sedimentación alcanza espesores entre 1600 hasta 3500 m (Wiens, 1998)

2.3.4 Grupo San Alfredo inferior (Pridoliano - Emsiano):

Pridoliano: Los sedimentos basales del Grupo San Alfredo se inician con depósitos arenosos en una distribución restringida desde la zona noroeste (Gral. Garay) hacia el sureste (Antequera) conectándose a través del bajo de San Pedro hacia el Paraguay oriental. La distribución limitada dibuja el sustrato discordante y erosionado del Grupo Cerro León infrayacente, permitiendo durante el Pridoliano apenas una sedimentación local y esporádica.

La granulometría de las areniscas inmaduras refleja un régimen fluvial/terrestre a transgresivo marino inicial desde el noroeste (pozos Picuiba #1 y Parapití #1) en un ambiente de línea de costa, de plataforma muy somera y con áreas de aporte muy próximos. Hacia niveles superiores se intercalan cada vez más horizontes pelíticos, que permiten por su contenido de esporas y acritarcas la ubicación de esta secuencia hacia el Pridoliano, pasando gradualmente hacia términos del Devónico inferior.

Pragiano-Emsiano: La transgresión marina del noroeste iniciada durante el Pridoliano se desarrolla hacia una cobertura amplia de todo el Chaco paraguayo, continuando su influencia progresiva por el bajo de San Pedro hacia el Paraguay oriental. La transgresión llega a cubrir áreas expuestas y erosionadas durante la epirogénesis Caledoniana que no fueron alcanzadas durante el Pridoliano. Así se reflejan depocentros hacia la Subcuenca del Pirity (hasta 900 m de espesor; área pozo Carmen #1) y el alto de Boquerón (hasta 849 m de espesor; área pozo Sta. Rosa #1); mientras que en una zona alta hacia Mcal. Estigarribia se señalan sedimentos de apenas 565 m de espesor (pozo La Paz #1). En general, la sedimentación avanza desde el noroeste (1520 m a 1540 m de espesor; pozos Mendoza #3 y Cerro León #1) hacia parámetros cada vez más playos en el sureste (195 m a 265 m de espesor; pozos Asunción #2 y Asunción #1) (Wiens, 1998)

2.3.5 Grupo San Alfredo superior (Eifeliano - Tournaisiano / Viseano inferior):

Eifeliano: La amplia transgresión devónica del Pragiano-Emsiano alcanza su culminación durante el Eifeliano. El Chaco paraguayo es ampliamente cubierto por un mar calmo y somero, reflejando una diferenciación de depocentros, señalando una suave subsidencia diferenciada. La unidad se constituye por lutitas gris azuladas a negruzcas, de estratificación delgada, con abundantes laminillas de mica y rica en materia orgánica. Intercalan capas delgadas de areniscas arcillosas micáceas. Hacia niveles superiores presentan más intercalaciones arenosas, los sedimentos se vuelven algo oxidados, al igual que aumenta la granulometría de las areniscas. Se señala así una regresión marina iniciada al final del Eifeliano.

Givetiano: Los niveles superiores más arenosos del Eifeliano ya indican parámetros regresivos iniciales. Durante el Givetiano se pronuncia la regresión marina, de manera que la litología es cada vez más arenosa; registros de erosión y redeposición de niveles inferiores son observados.

Sedimentos givetianos son constituidos por un conjunto de areniscas finas a muy finas, gris claras a verdosas; parcialmente arcósicas. Intercalan lutitas gris claras a oscuras que tienden a desaparecer hacia niveles superiores. Esporas y pollen indican ambientes próximos a la costa, mientras que braquiópodos señalan zonas marino playas.

Frasniano/Famenniano - Tournaisiano/Viseano inferior: Son reducidos los sectores en el Chaco paraguayo donde permanecen restos conservados de esta unidad estratigráfica. Representa la fase de regresión marina final del ciclo sedimentario Devónico. El evento regresivo hacia el noroeste deja al descubierto la mayor parte de la cuenca Paleozóica inferior en el Chaco, que consecuentemente es sometida a una intensa erosión. Influye además en

forma pronunciada la epirogénesis Eoherciniana carbonífera, causando levantamientos regionales y acelerando aún más la erosión.

Resaltan en la unidad arcillitas y limolitas impuras con buena estratificación, aunque a veces se presentan disturbados obteniendo aspectos de abanicos fluviales. Son de colores grises a verdosos y violáceos, volviéndose más oxidados hacia niveles superiores (reflejando la avanzada influencia de efectos de intemperismo). Siguen aumentando y predominando hacia arriba horizontes arenosos, de grano fino a conglomerático. Son bien estratificados y de colores blanquecinos a amarillentos (Wiens, 1998).

2.3.6 Grupo Palmar de las Islas (Westfaliano/Stefaniano - Kazaniano/Tatariano)

Formaciones San José/Cabrera (Westfaliano/Stefaniano-Sakmario/Kunguriano). Importantes afloramientos carboníferos son observados en el norte chaqueño, entre Palmar de las Islas y Gabino Mendoza, reflejando una variedad litológica desde conglomerados y areniscas, hasta arcillitas varvíticas de muy variado comportamiento lateral y vertical. Es así que una subdivisión en dos formaciones es casi inapreciable.

Las formaciones carboníferas representan una época terrestre a marina glacial, depositando diferentes ciclos sedimentarios, que por su heterogeneidad no han sido subdivididos aun satisfactoriamente. Así se observan secuencias tiliticas a morenas acompañadas por turbiditas glaciales, sedimentos fluviales y depósitos de planicies de inundaciones. Los materiales depositados se originan de unidades paleozoicas inferiores y áreas cratónicas adyacentes, definiéndose de esta manera unos sedimentos redepositados e inmaduros. El ambiente de sedimentación tiene características de condiciones de amplia plataforma tranquila, bajo parámetros marinas someras, litorales-lagunares hasta terrestres fluviales – lacustres (Wiens, 1998)

2.4. Parámetros técnicos

2.4.1 SEGY

El SEG-Y (también conocido como SEG Y) es un formato de archivo que contiene varios estándares desarrollados por la Sociedad de Exploración Geofísica (SEG) para almacenar datos geofísicos. El formato se desarrolló originalmente en 1973 para almacenar datos digitales de reflexión sísmica de una sola línea en cintas magnéticas. La especificación fue publicada en 1975.

El formato y su nombre evolucionaron de SEG "Ex" o *Exchange Tape Format*.¹² Sin embargo, desde su lanzamiento, ha habido avances significativos en la adquisición de datos geofísicos, como las técnicas sísmicas tridimensionales y el registro de alta velocidad y alta capacidad (Hagelund, 2017)

2.4.2 LAS (estándar de registro ASCII)

El estándar de registro ASCII (LAS) es un formato de archivo estándar común en las industrias de pozos de agua y petróleo y gas para almacenar información de registros de pozos. El registro de pozos se utiliza para investigar y caracterizar la estratigrafía del subsuelo en un pozo.

Un solo archivo LAS solo puede contener datos para un pozo, pero puede contener cualquier conjunto de datos numérico (llamado "curvas") de ese pozo. Las curvas comunes que se encuentran en un archivo LAS pueden incluir registros de gamma natural, tiempo de viaje o resistividad (USGS, *sf*).

3. METODOLOGÍA

3.1. Localización del área de estudios

La Subcuenca Carandayty, se ubica en el Noroeste del Chaco paraguayo, se separa de la Subcuenca de Curupayty por el Alto de Lagerenza (Izozog como se le conoce en Bolivia), de dirección Noroeste-Sureste, y de Pirity por el Alto de Boquerón, dirección Noreste-Suoreste y forma parte de la cuenca Tarija de Bolivia.

Los pozos seleccionados fueron los de Mendoza 1R, Mendoza 3, Picuiba, Don Quijote y La Paz.

Tabla 2: Ubicación de los pozos seleccionados, Fuente: Elaboración propia.

Pozo	Coordenada X	Coordenada Y	Zona	TD
MENDOZA-R1	628056,2	7770282,5	20S	3242,8
MENDOZA-3	615896,98	7782639,88	20S	693,27
PICUIBA-1	611045,96	7714893,35	20S	2133,6
DON QUIJOTE	609154,2	7607786,3	20S	2880,36
LA PAZ_1	710012,4	7578902,62	20S	2210,10

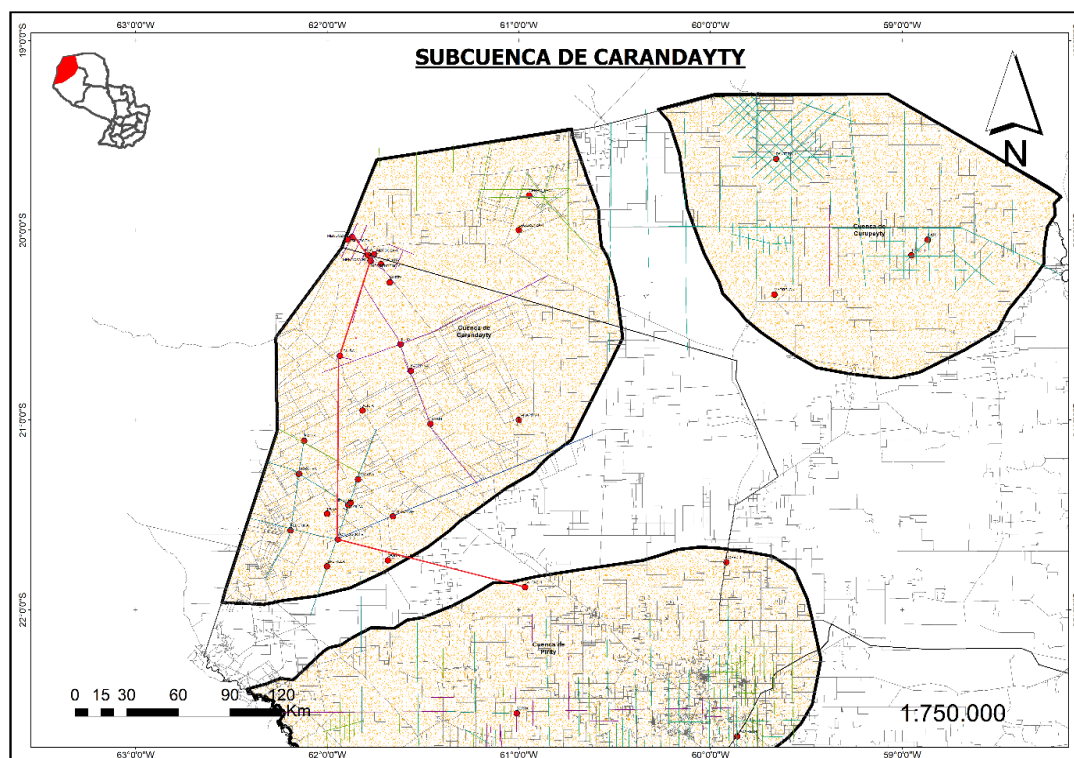


Figura 4: Ubicación de la cuenca del Carandayty, Fuente: Elaboración propia

3.2. Materiales

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó una computadora i7-10ma generación con 64Gb de ram y gráficos de 4gb Nvidia GTX 1650 y los softwares: Arcgis 10.8 para el desarrollo de los mapas, el Gverse Geographix con sus modulos Geophysics y Xsection además de otros complementarios como el Seisee, Globalmapper, Adobe Illustrator, Petrel y Microsoft office.

3.3. Método

El método aplicado para esta investigación es del tipo cualitativo – descriptivo

3.4. Fases de trabajo

3.4.1 Fase 1 – Recopilación de datos

Por medio de recursos bibliográficos se recolectaron informaciones respecto a la cuenca del Chaco y más específicamente sobre la Subcuenca de Carandayty, basado en autores como Gómez (1986), Wiens (1998) y Clebsch (1991), entre otros. Además, gracias al convenio entre la FACEN-PETROPAR se logró acceder a los datos geofísicos como líneas sísmicas en formato SEGY y pozos en formato LAS, también se recopilieron los registros de exploraciones previas de la base de datos de PETROPAR que fueron reforzados por datos descargados del portal CENIHP del Vice Ministerio de Minas y Energías (VMME).

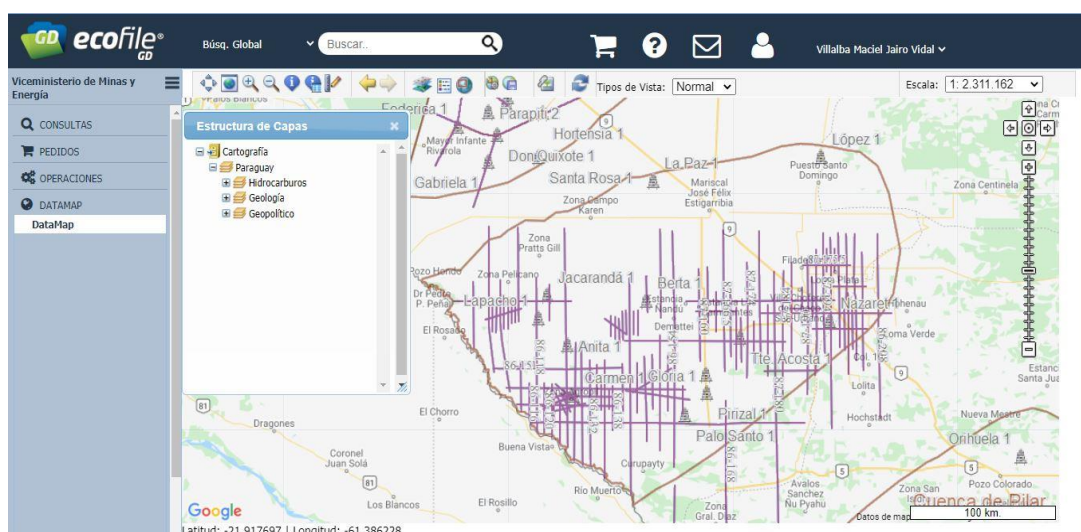


Figura 5: Portal del CENIHP en el cual se consultaron datos de exploración de la Subcuenca de Carandayty, Fuente: Centro Nacional de Información Hidrocarburífera del Paraguay

3.4.2 Fase 2 – Selección y análisis de datos

Los datos fueron seleccionados acorde al área de estudios descartando gráficos antiguos de las líneas sísmicas y pozos debido a que la mayoría de estos datos se encuentran en formato digital, como son SEGY y LAS permitiendo integrarlos a softwares especializados para su visualización y tratamiento que fueron reforzados con reportes y descripciones de las perforaciones.

3.4.3 Fase 3 – Procesado de la información

Las descripciones de los Mendoza 1R, Mendoza 3, Picuiba, Don Quijote y La Paz.; se realizaron en base a (Wiens, 1998) Potencial Hidrocarburífero del Paraguay - Tomo III, en el que resume las litologías atravesadas en cada pozo perforado en el Chaco Paraguayo corroborando con los perfiles elaborados por las empresas que realizaron las perforaciones. Los datos digitales fueron procesados por medio de diferentes softwares, como el Arcgis 10.8 para el desarrollo de los mapas y visualizar el modelo 3D de la Subcuenca, el SeiSee y el Gverse Geographix para la visualización de las líneas sísmicas. Se utilizó el módulo Gverse Geophysics para la integración de las líneas sísmicas y los pozos en un sistema de información geográfica. El Xsection se utilizó para el procesado del correlacionamiento de las curvas y la definición de los horizontes estratigráficos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1 Descripción de pozos

Primeramente, se describieron los pozos, (Figura 6 al 10) enlazando las curvas de rayos gamma (izquierda) y porosidad (derecha) con las correspondientes litologías acorde a la profundidad descritas en (Wiens, 1998) Potencial Hidrocarburífero del Paraguay, Tomo III.

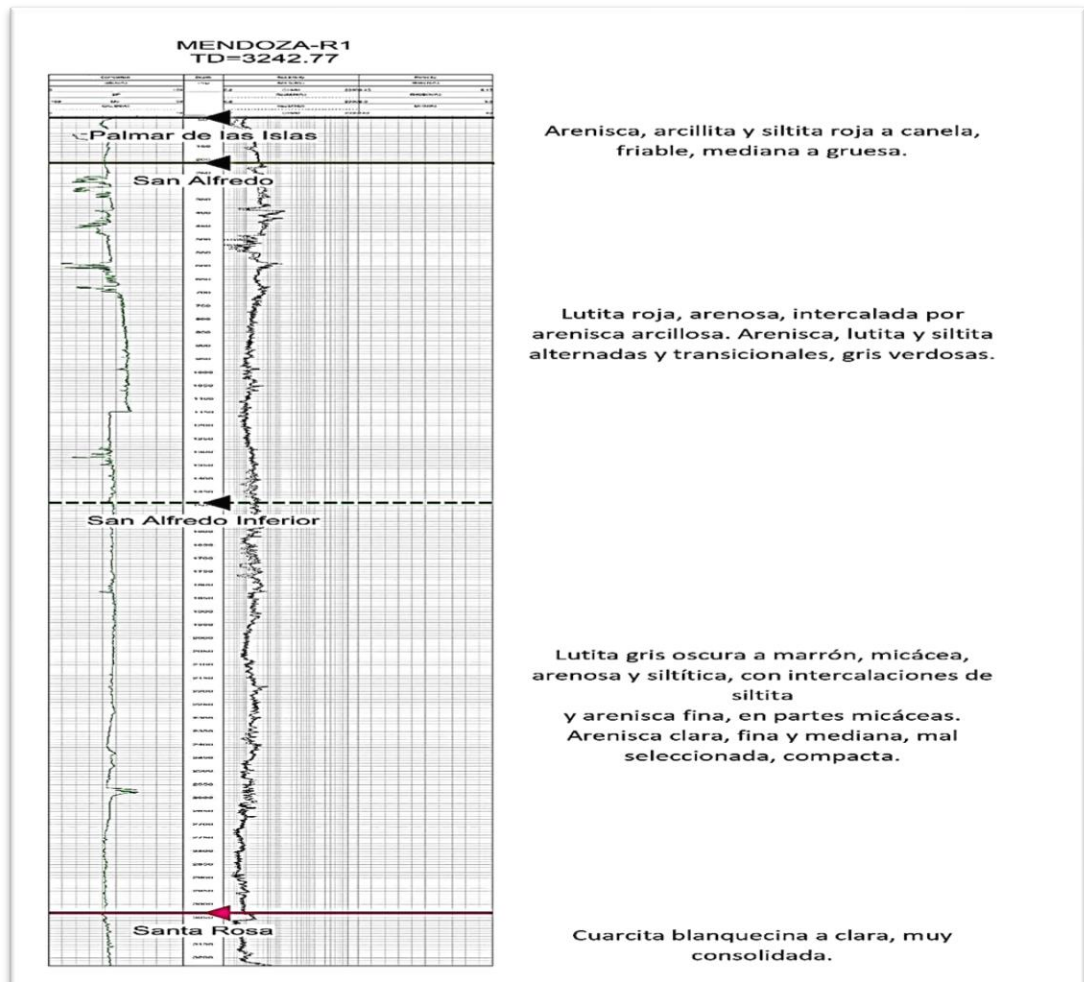


Figura 6: Pozo Mendoza R-1 con su descripción litológica, Fuente: Elaboración propia

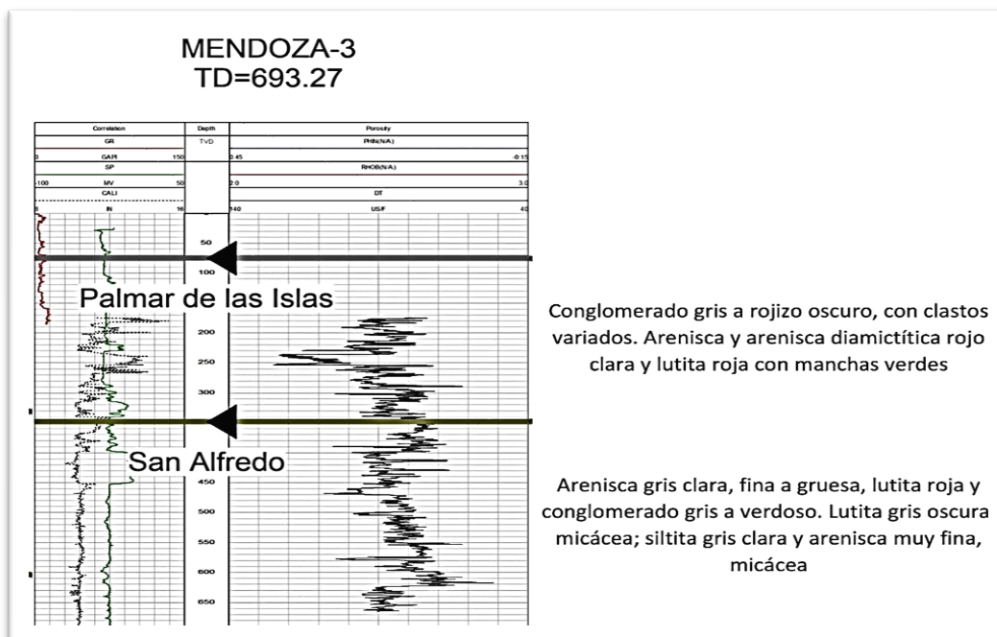


Figura 7: Pozo Mendoza-3 con su descripción litológica, Fuente: Elaboración propia

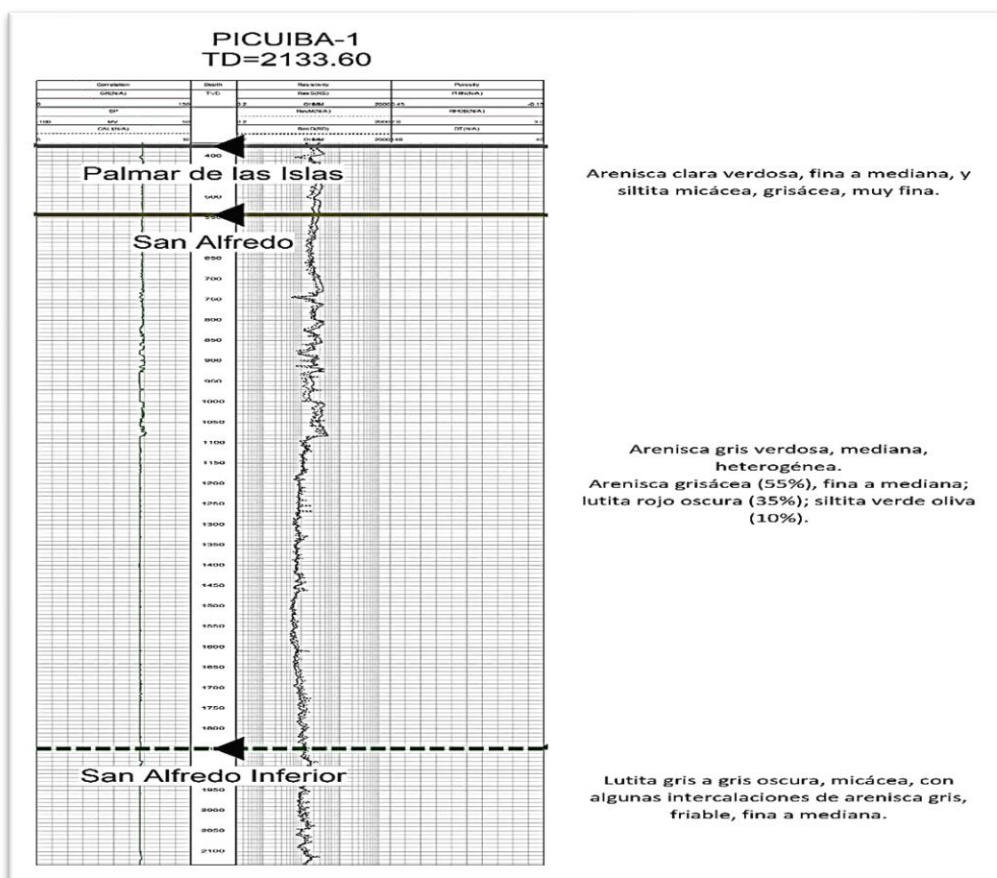


Figura 8: Pozo Picuiba con su descripción litológica, Fuente: Elaboración propia

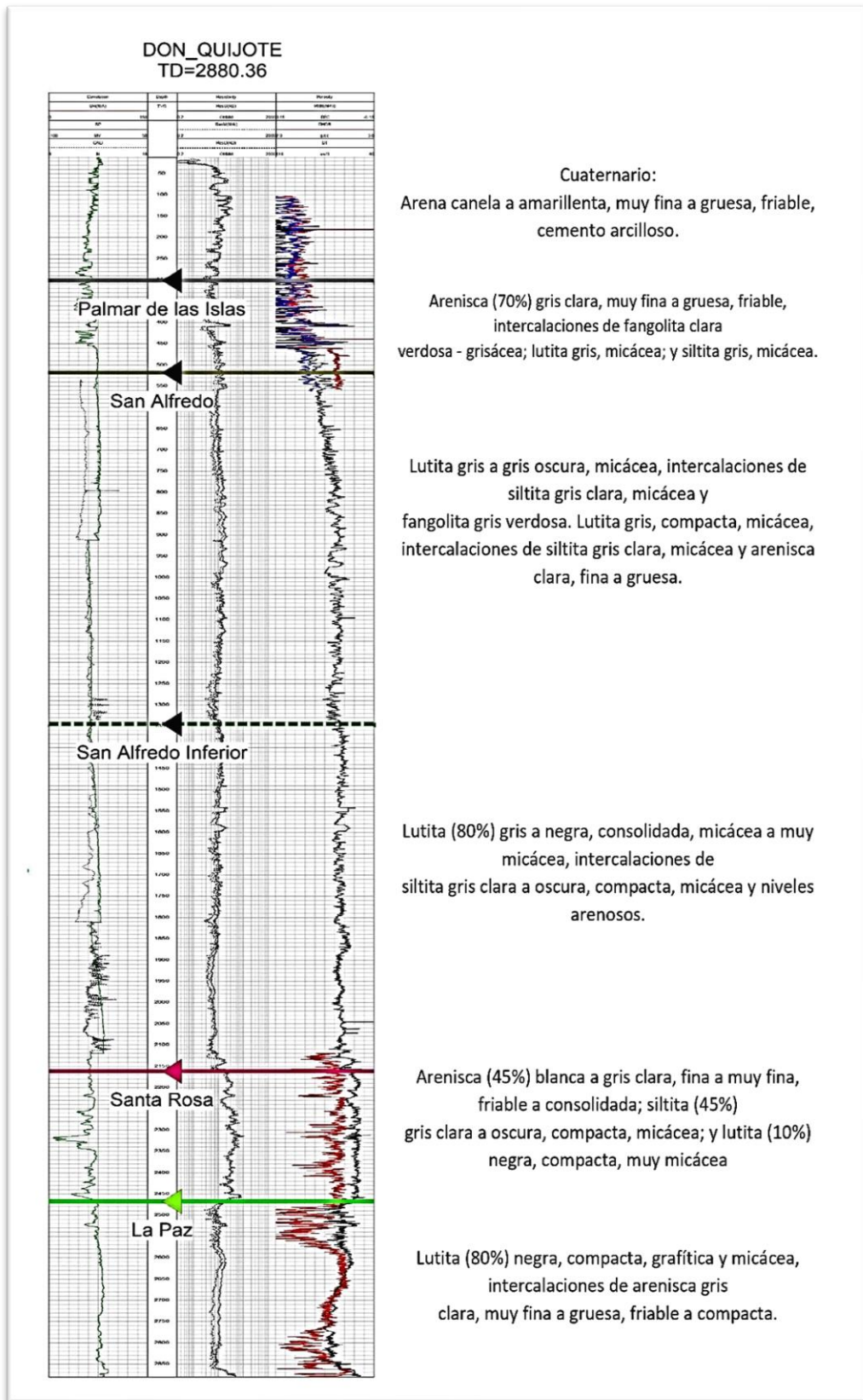
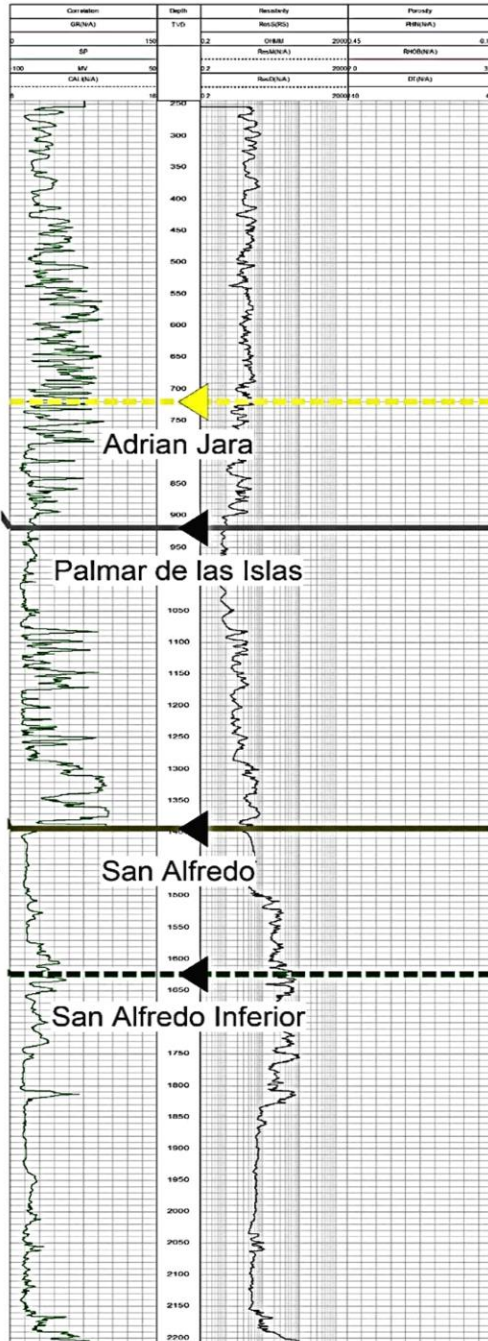


Figura 9: Pozo Don Quijote con su descripción litológica, Fuente: Elaboración propia

LA_PAZ_1
TD=2209.80



Cuaternario y Chaco superior:
Siltita arenosa rojo clara, con arena blanca y alguna arcilla verdosa, yesífera.

60% arenisca fina, pardo clara, homogénea, y 40% arcillita rojo oscura, con siltitas arenosas rojizas.

Siltita verdosa a rojiza, micácea, alternándose con arenisca grisácea a amarillenta, fina a gruesa, heterogénea; y arcillita roja a pardo clara, micácea.

Lutita negra a grisácea, muy micácea, pirítica, con intercalaciones de arenisca fina, gris, micácea, compacta.

Lutita gris oscura a negra, compacta, micácea; con niveles de arenisca fina a mediana, grisácea, micácea, lentes aislados de dolomita compacta. Arenisca cuarcítica grisácea a amarillenta, fina a gruesa, heterogénea, cristalizada; algunos niveles lutíticos gris oscuros, micáceos

Figura 10: Pozo La Paz con su descripción litológica, Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Correlación de pozos

Posterior a la descripción se correlacionaron los techos de cada litología y las curvas mencionadas anteriormente con dirección norte-sur como se observa en la figura 11.

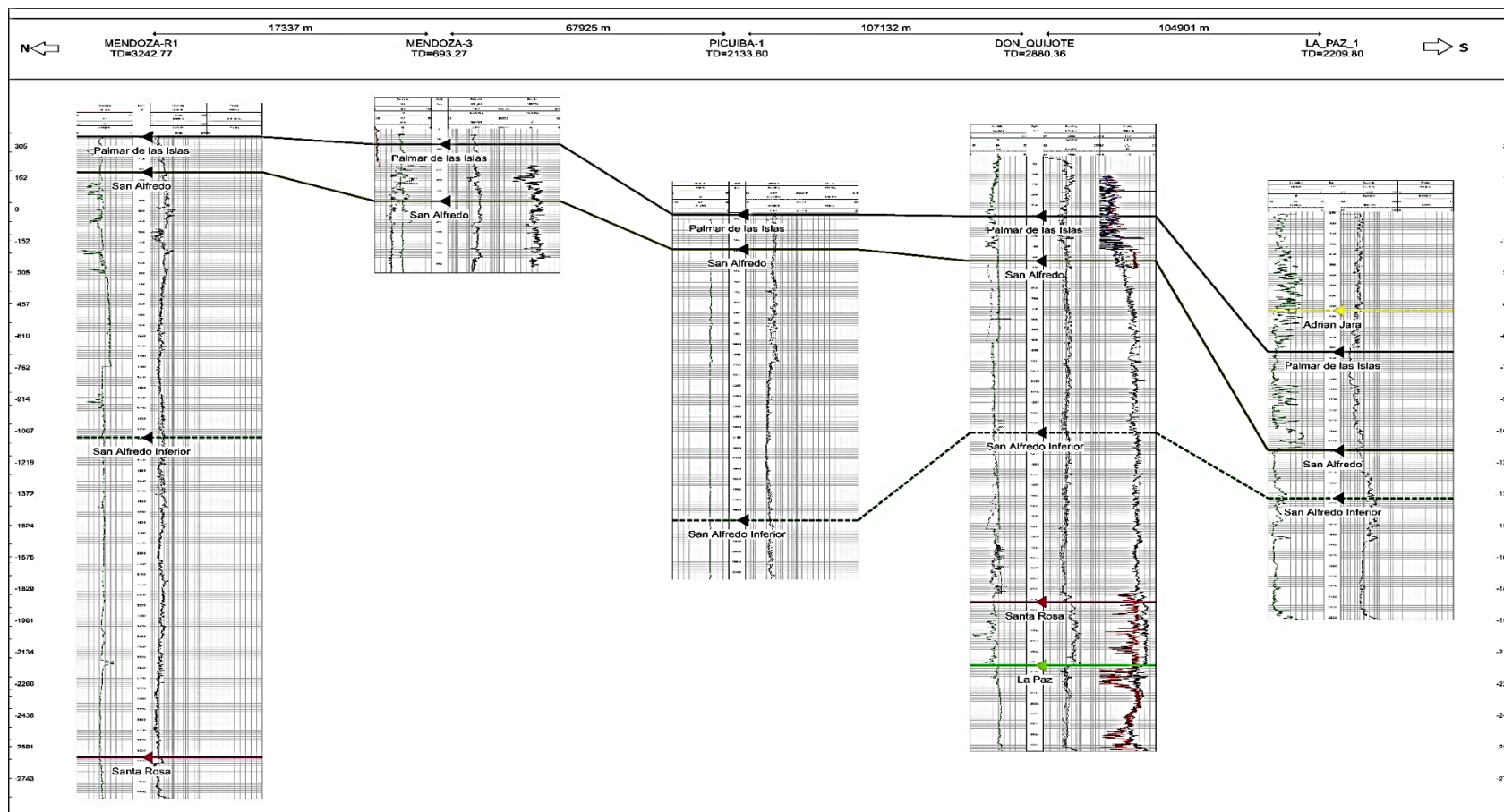


Figura 11: Correlación de los pozos seleccionados en el que se observa la disposición de las litologías. Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Modelo Tridimensional

Por medio del procesado de las líneas sísmicas, se obtuvo el modelo tridimensional de la Subcuenca de Carandayty, seleccionando horizontes Pre Silúricos, en el que observa la distribución dentro del territorio paraguayo y las profundidades.

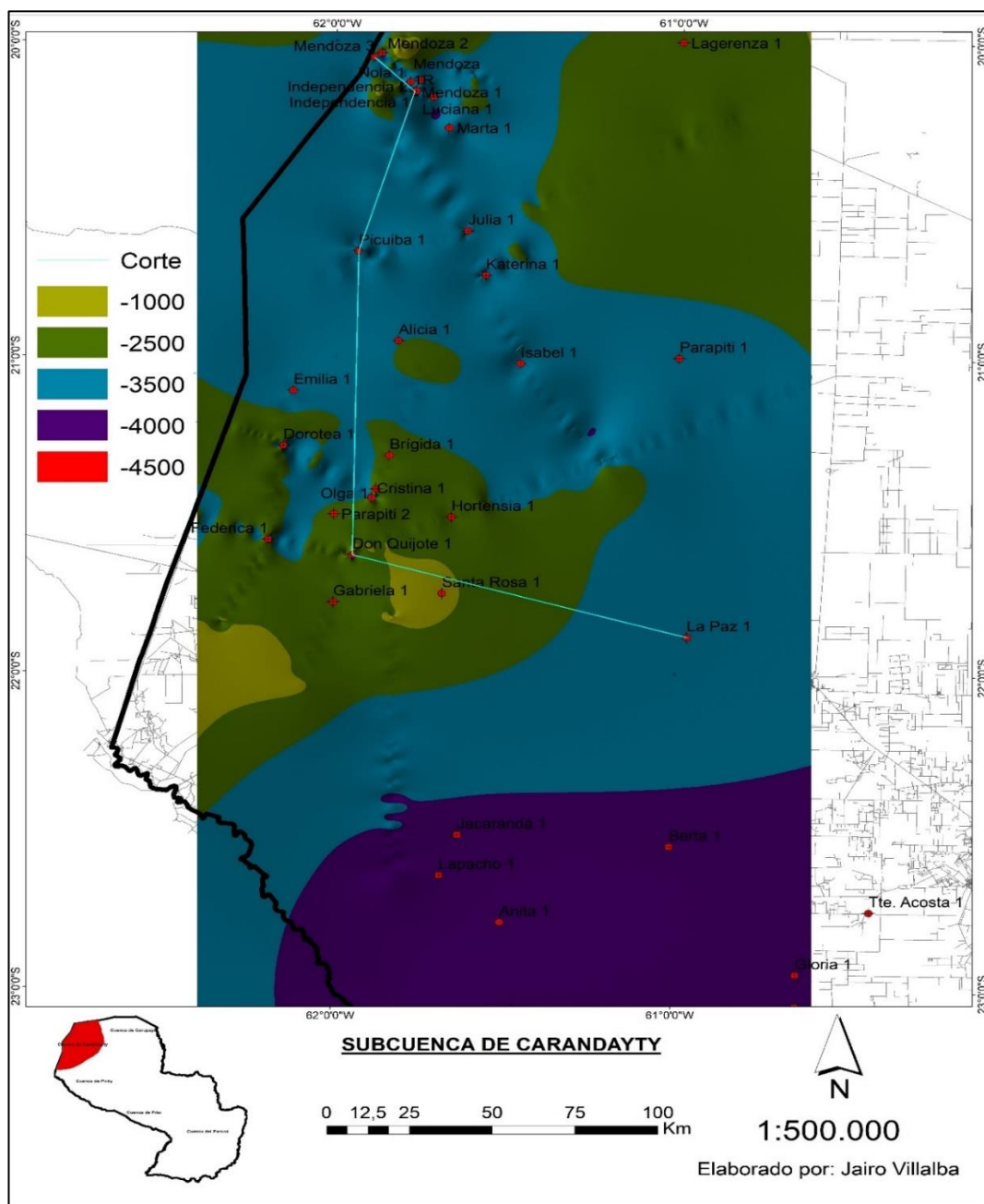


Figura 12: Mapa Tridimensional de Subcuenca de Carandayty, Fuente: Elaboración propia.

4.2. Discusión

La Subcuenca de Carandayty en relación a la Subcuenca de Pirity presenta menor depresión siendo 4500 metros aproximadamente para la subcuenca de Carandayty y 5000 metros para la subcuenca de Pirity (Figura 13), conteniendo litologías de mayor edad, hablamos de litologías de edad Ordovícica – Carbonífera (Figura 14), en cambio en el Pirity se encuentran sedimentos del Cretácico al cuaternario sobre una plataforma Paleozoica. Esto debido a que la Subcuenca de Carandayty no fue fuertemente afectada por el tectonismo del Cretácico relacionado a la apertura del Atlántico que generó una serie de rifts en la región subandina del Gran Chaco.

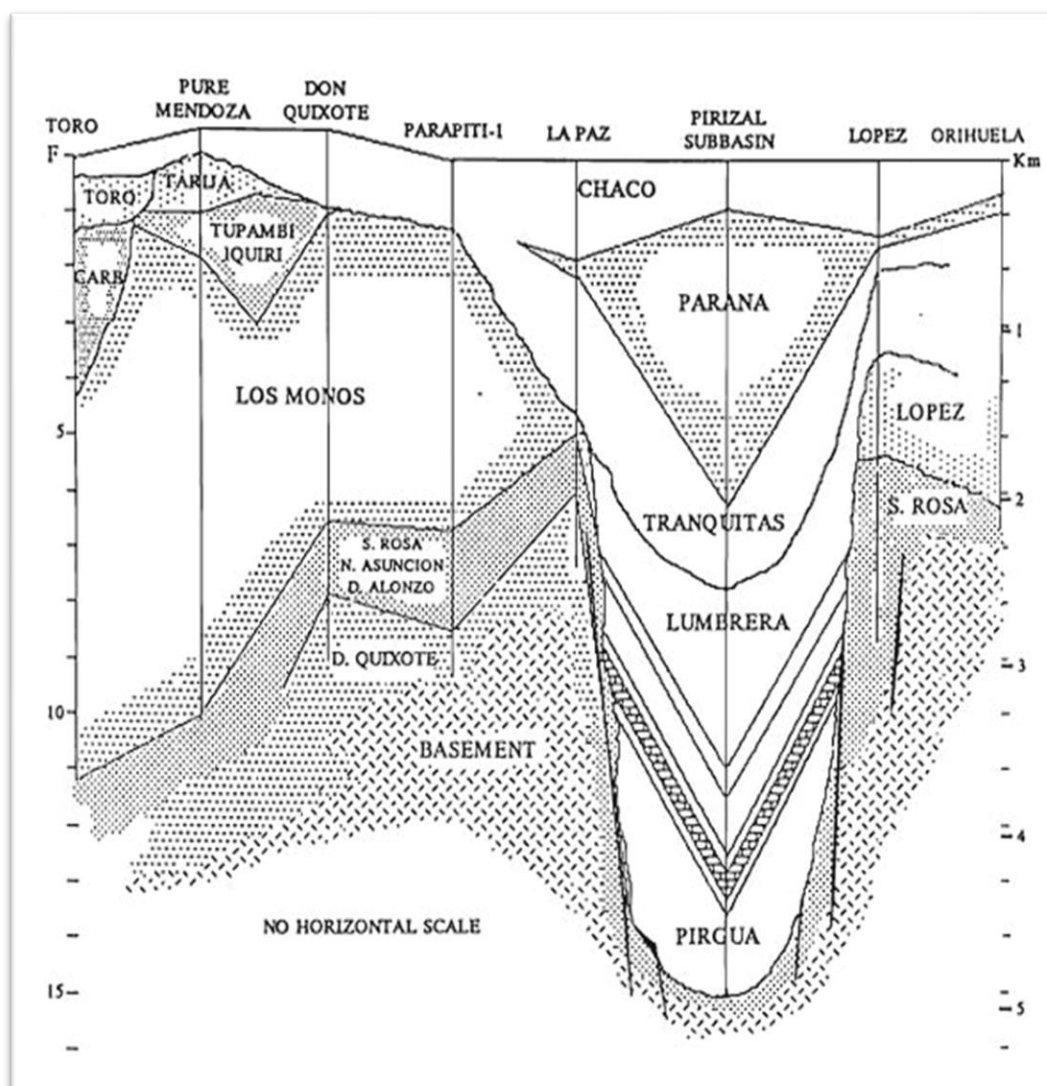


Figura 13: Sección transversal entre las Subcuencas de Carandayty y Pirity, en el que observa la disposición de ambas Subcuencas además de las litologías en base a autores bolivianos y argentinos Fuente: (Clebsch, C.; 1991).

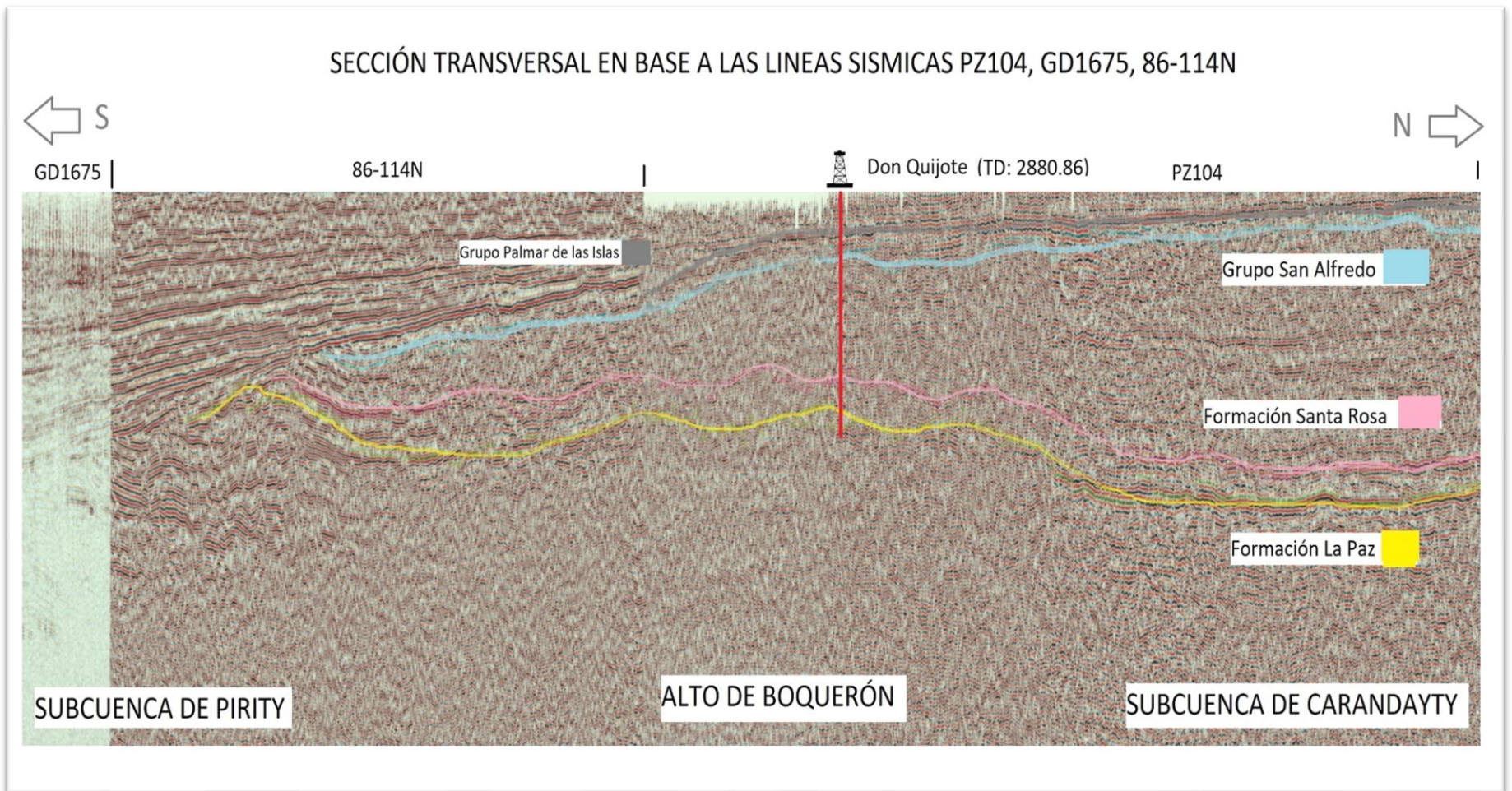


Figura 14: Sección transversal en base a las líneas sísmicas GD1675, PZ 104, 86-114N en donde se observa el Alto de Boquerón separando la Subcuenca de Pirity y la Subcuenca de Carandayty. Fuente: Elaboración propia

Otro factor del porque la Subcuenca de Carandayty presenta una estructura relativamente más plana es que acorde al tectonismo generado por la orogenia andina, la Subcuenca Carandayty fue levemente afectada debido a la lejanía del epicentro de la orogenia, formando parte de la llanura de pie de antepaís.

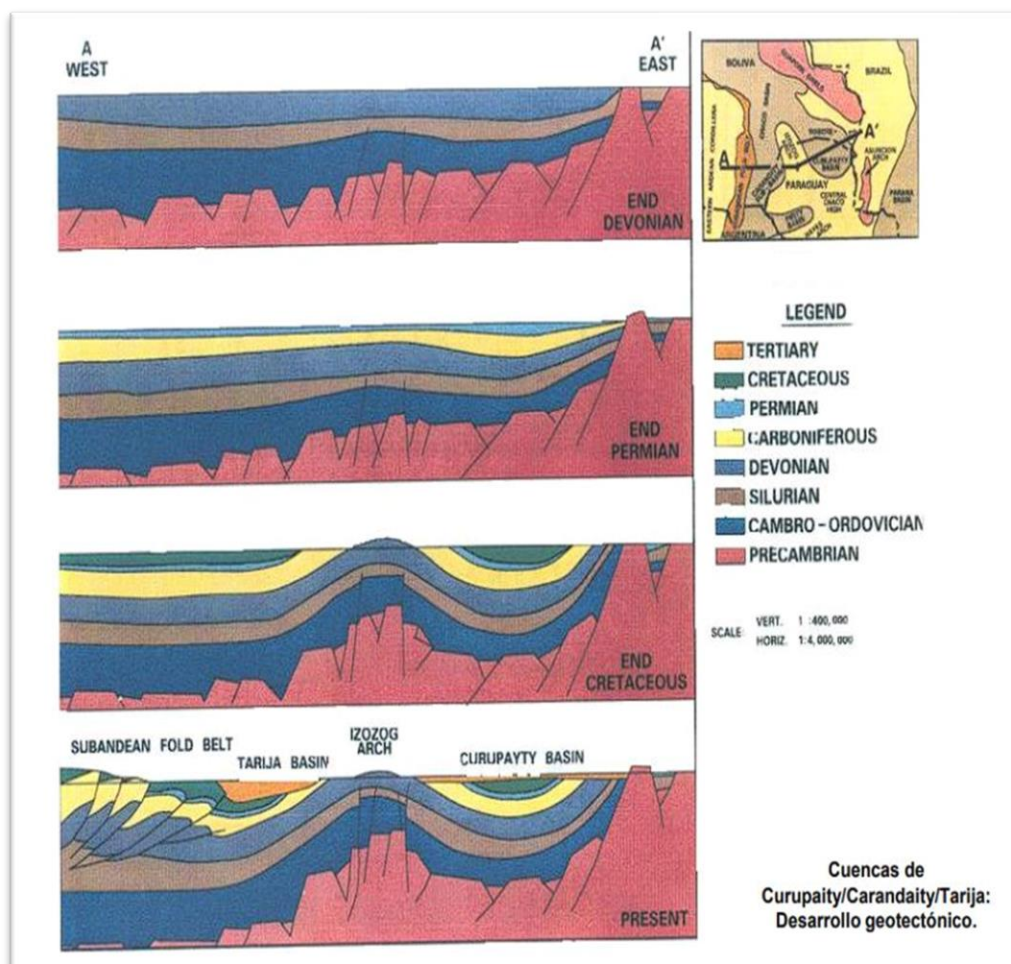


Figura 15: Desarrollo Geotectónico de la Subcuenca de Carandayty desde el Devónico al presente. Fuente: Potencial de Hidrocarburos, (Wiens, F, 2019)

5. CONCLUSIONES

Por medio de la descripción de los pozos Mendoza 1R, Mendoza 3, Picuiba, Don Quijote y La Paz. Se logró observar la disposición de las litologías dentro del área de estudios de la Subcuenca de Carandayty que además sirvió para definir el horizonte pre Silúrico en las líneas sísmicas.

A través de la correlación geofísica-estratigráfica de los pozos seleccionados, y la proyección de los horizontes identificados en las líneas sísmicas contrastadas con los pozos se logró generar el modelado tridimensional de la Subcuenca de Carandayty y de esta manera obtener las características geofísicas estratigráficas de la Subcuenca; de tal modo este modelo tridimensional serviría para futuras exploraciones hidrocarburíferas y determinar la distribución de la Subcuenca dentro del territorio paraguayo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, G. 2019. Correlação Estratigráfica a Partir de Perfis Geofísico de Poços da Sub-Bacia de Carandaty no Chaco Paraguai. Universidade Federal do Espiritu Santo.
- CASTILLO CLERICI. A.M. 1986. Reavaliação da Geologia do Paraguay Oriental. Tesis Dr. São Paulo, Universidad De São Paulo, Brasil. 141p.
- Clebsch, C.; 1991. The Geological Evolution of the Paraguayan Chaco. A Dissertation in Geoscience, Submitted to the Graduate Faculty of Texas Tech University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, 217 pp.
- Ferreiro, O.; 2002. Oil & Gas exploration in the Paraguayan Chaco.
- Gómez Duarte, D. R. (1986). Contribución al Conocimiento de la Geología del Norte del Chaco Paraguayo, Comando en jefe de las FF. AA. De la Nación, IIIer Cuerpo de Ejército, 8ª División de Infantería, Comandancia, Cap. Pablo Lagerenza (Chaco).
- Hagelund, Rune; Stewart A. Levin, eds. (2017). SEG-Y r2.0: SEG-Y revision 2.0 Data Exchange format. Tulsa, OK: Society of Exploration Geophysicists.
- LA Greening, DL Greene, C Difiglio (2004), Enciclopedia de la energía
- Nazario, Celso, Mitjans, Felipe, 2018. Potential of Unconventional Hydrocarbons in the Paraguayan Chaco: Carandaty Sub-Basin Case.
- PROYECTO PAR/86. Texto Explicativo del Mapa geológico del Paraguay.
- Rashid, M. H. (2016). Electric renewable energy systems. Sistemas de energía renovable eléctrica
- US Geological Survey: Log ASCII Standard (LAS) files for geophysical wireline well logs and their application to geologic cross sections through the central Appalachian basin, acesado el 15 Diciembre de 2021.
- Viceministerio de Minas y Energía (s. f.). CENIHP Centro Nacional de Información Hidrocarburifera del Paraguay consultado el 5 de noviembre del 2021 en: https://www.ssme.gov.py/vmme/index.php?option=com_content&view=article&id=1883
- WIENS, F. 1998. Informe sobre el potencial de Hidrocarburos en el Paraguay. Servicio de consultoría en Apoyo al Sector de Hidrocarburos del Paraguay. TOMO II.
- WIENS, F. 1998. Informe sobre el potencial de Hidrocarburos en el Paraguay. Servicio de consultoría en Apoyo al Sector de Hidrocarburos del Paraguay. TOMO III.

WIENS, F. 2019. Informe sobre el potencial de Hidrocarburos en el Paraguay. Servicio de consultoría en Apoyo al Sector de Hidrocarburos del Paraguay.