



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencia Exactas y Naturales

Departamento de Geología

Trabajo de Grado

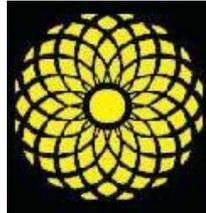
**TIPOS DE ROCAS CALCAREAS DE LA
FORMACIÓN TACUARY EN EL DEPARTAMENTO
DE CAAGUAZÚ - PARAGUAY**

MILCIADES ARIEL VERA TOLEDO

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

SAN LORENZO – PARAGUAY

DICIEMBRE – 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología
Trabajo de Grado

**TIPOS DE ROCAS CALCAREAS DE LA
FORMACIÓN TACUARY EN EL DEPARTAMENTO
DE CAAGUAZÚ - PARAGUAY**

MILCIADES ARIEL VERA TOLEDO.

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 – 2018

**TIPOS DE ROCAS CALCAREAS DE LA FORMACIÓN TACUARY
EN EL DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ - PARAGUAY**
MILCIADES ARIEL VERA TOLEDO.

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención de la
Licenciatura Ciencias Mención Geología.

Fecha de aprobación: 20 de diciembre de 2018.

COMITÉ ASESOR DE TRABAJO DE GRADO

MIEMBROS:

Prof. Dra. Ana Maria Castillo Clerici
Universidad Nacional de Asunción.

Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín.....
Universidad Nacional de Asunción.

Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruiz Díaz
Universidad Nacional de Asunción.

Aprobado por la Coordinación de Postgrado e Investigación del Departamento de
Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de
Asunción, en fecha.....de.....de 2018.

Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruiz Díaz
Director de Postgrado e Investigación, FACEN – UNA

DEDICATORIA

Este trabajo va especialmente dedicado a mis padres, Milciades Cesar y Calixta por su incondicional e incansable apoyo en esta larga etapa de formación y superación. A mis hermanos Carlos, Fredy, Pedro (+), Raúl, Emma, Ronald, Henry y Jazmín por la confianza y apoyo de siempre.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por brindarme siempre su apoyo y confianza en todo momento. Primeramente, a mis padres y hermanos y todos aquellos familiares quienes siempre estuvieron presentes desde la distancia brindando su apoyo.

Mis agradecimientos especiales van dirigidos para la Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici, a la Prof. Lic. MSc. Sonia Molinas y al Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín por sus valiosas orientaciones para la elaboración de este trabajo.

Agradezco también especialmente al Prof. Lic. Juan Carlos Ovelar, al Lic. Cristian Colman y al Técnico Ricardo Souberlich por su buena predisposición para la realización de los análisis requeridos en este trabajo.

Agradezco por su aporte al Lic. Moisés Gadea, al Lic. Diego López y al compañero Pedro Benítez por facilitarme informaciones que sirvieron de gran ayuda.

A la Lic. Adriana García, al Lic. Ricardo Vera y al compañero Jairo Villalba por su orientación y colaboración para la elaboración de mapas requeridos.

Agradezco especialmente al compañero Yamil Arvez por acompañarme a mis expediciones al campo. A cada uno de los profesores del departamento quienes fueron partícipes de mi proceso de formación quienes dieron su apoyo y esfuerzo para ello y, a cada uno de mis compañeros y amigos por su apoyo incondicional.

TIPOS DE ROCAS CALCAREAS DE LA FORMACIÓN TACUARY EN EL DEPARTAMENTO DE CAAGUAZÚ - PARAGUAY

Autor: MILCIADES ARIEL VERA TOLEDO.

Orientador: PROF. DRA. ANA MARIA CASTILLO CLERICI.

RESUMEN

El Paraguay Oriental se encuentra en la antigua Margen Occidental del Gondwana donde se sitúa la Cuenca del Paraná que en rango de edad se instala desde el Paleozoico al Mesozoico Superior. El Pérmico en Paraguay se encuentra en la Región Central-Este con varias formaciones que la constituyen. Nuestro objetivo es exclusivo en la Formación Tacuary localizado en gran parte del Departamento de Caaguazú. A diferencia de las calizas encontradas en la región del Cratón del Apa, al norte de la Región Oriental del Paraguay que son del Proterozoico Superior al Cámbrico inferior, las calizas de la Formación Tacuary son de edad Pérmica. Las distribuciones de estos depósitos calcáreos son esporádicas debido a un fuerte patrón tectónico dominante en la región. Estos materiales se manifiestan en forma de detritos o paquetes sedimentarios enriquecidos con carbonato, son materiales que obedecen al ambiente de formación de las mismas. Las evidencias se encuentran en los distintos sitios de afloramientos encontrados en el Departamento de Caaguazú, son rocas con estructuras características y principalmente, por sus componentes químicos nos permiten dilucidar una clasificación para las mismas.

Palabras clave: Gondwana, Cuenca del Paraná, Formación Tacuary, Pérmico, Cratón Apa, Calizas, Detritos, Carbonato.

TYPES OF CALCAREAS ROCKS OF THE TACUARY FORMATION IN THE DEPARTMENT OF CAAGUAZÚ - PARAGUAY

Author: MILCIADES ARIEL VERA TOLEDO.
Advisor: PROF. DR. ANA MARIA CASTILLO CLERICI.

SUMMARY

The Eastern Paraguay is located in the ancient West Bank of the Gondwana where the Paraná Basin is located, which ranges in age from the Paleozoic to the Upper Mesozoic. The Permian in Paraguay is in the Central-Eastern Region with several formations that constitute it. Our objective is exclusive in the Tacuary Formation located in a large part of the Department of Caaguazú. Unlike the limestones found in the Craton del Apa region, north of the Eastern Region of Paraguay that are from the Upper Proterozoic to the Lower Cambrian, the limestones of the Tacuary Formation are of Permian age. The distributions of these calcareous deposits are sporadic due to a strong tectonic pattern dominant in the region. These materials are manifested in the form of detritus or sedimentary packages enriched with carbonate, they are materials that obey the environment of their formation. The evidences are in the different sites of outcrops found in the Department of Caaguazú, they are rocks with characteristic structures and mainly, due to their chemical components, they allow us to elucidate a classification for them.

Keywords: Gondwana, Paraná Basin, Tacuary Formation, Permian, Apa Craton, Limestones, Detritus, Carbonate

ÍNDICE

	Páginas
1.INTRODUCCIÓN	1
1.1.Planteamiento del problema.	3
1.2.Justificación.....	3
1.3.Objetivos.	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4.Hipótesis.....	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes.	5
2.1.1. Geología Regional.	8
2.2. Tipos de rocas carbonatadas.....	9
2.2.1.Rocas Sedimentarias no clasticas.....	9
2.2.2. Rocas carbonaticas sedimentarias.....	10
2.2.3. Rocas carbonaticas igneas.....	10
2.2.4. Rocas carbonáticas metamórficas.....	11
2.3. Impurezas comunes en rocas carbonaticas.	12
2.4. Clasificacion general de las rocas carbonatadas.....	13
2.5. Usos.....	14
3. METODOLOGIA	16
3.1. Localizacion del area de estudio.....	16
3.2. Descripción del area de estudio.....	17
3.3. Condicion de exposicion de los materiales carbonaticos.....	19
3.4. Materiales.....	21
3.5. Metodo.....	21
4. RESULTADOS Y DISCUSION	24
4.1. Resultados.....	25
4.1.1. Descripcion macroscopica en campo de los puntos de muestreo..	24
4.1.2. Descripciones con lupa binocular.....	30
4.1.3. Clasificacion química de las muestras	34
4.1.4. Determinacion de la abundancia isotopica de elementos fundamentales mediante el metodo DRX.....	37
4.1.5. Usos y posible aprovechamiento economico para los distintos tipos de rocas carbonáticas encontradas.....	40
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
5.1. Conclusiones.....	41
5.2. Recomendaciones.....	42
6. ANEXO	43
6.1. Figura de los analisis quimicos.....	43
6.2. Fotografia de los afloramioentos.....	46
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	50

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
1. Aspectos geológicos y geotectónicos del Paraguay Oriental.....	8
2. Clasificación genética de las rocas carbonáticas.....	11
3. Esquema general del proceso de formación de calizas.....	12
4. Agrupamiento de miembros extremos de las rocas carbonatadas.....	14
5. Mapa del área de estudio de las manifestaciones calcáreas en base a los distritos abarcados en el Departamento de Caaguazú.....	17
6. Modelo de elevación digital del área de estudio.....	18
7. Corte de perfil de los puntos de muestreo extraído de Google earth.....	20
8. Perfil litológico de la estación n°1	25
9. Perfil litológico de la estación n°2	27
10. Perfil litológico de la estación n°3.....	29
11. Muestra de limolita fotografiada con lupa.....	30
12. Muestra de Arenisca polimíctica fotografiada con lupa.....	31
13. Muestra de Calcarenita fotografiada con lupa.....	32
14. Muestra de Arenisca polimíctica fotografiada con lupa.....	33
15. Muestra de fangolita calcárea fotografiada con lupa.....	34
16. Esquema de clasificación de las calcarenitas y rocas afines basados en su composición	37

LISTA DE TABLA

	Páginas
1. Determinación de concentrados químicos por el método NP 34-01211(n°1)...35	
2. Determinación de concentrados químicos por el método NP 34-01211(n°2)....35	
3. Determinación de concentrados químicos por el método NP 34-01211(n°3)....36	
4. Análisis químico por el método RD-FRX (n°1).....38	
5. Análisis químico por el método RD-FRX (n°2).....38	
6. Análisis químico por el método RD-FRX (n°3).....39	
7. Denominación de la cal según el contenido de MgO.....40	

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

NW/SE	Noroeste, Sureste
N/S	Norte, Sur
CO₂	Dióxido de carbono
CaMg(CO₃)₂	Mineral Dolomita
MgCO₃	Mineral magnesita
FeCO₃	Mineral siderita
CaO	Oxido de calcio
SiO₂	Oxido de sílice
MgO	Oxido de magnesio
HCl	Ácido clorhídrico
EQ	Equivalente químico
Km	Kilómetros
Km²	Kilómetros cuadrados
m	Metros
cm	Centímetros
SIG	Sistema de Información Geográfica
FACEN	Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
INTN	Instituto Nacional de Tecnología Normalización y Metrología
NP	Norma Paraguaya
GPS	Sistema de posicionamiento global
DRX	Difracción de rayos x

1. INTRODUCCION

Este trabajo de investigación se enfoca en las calizas del Pérmico de la Formación Tacuary en razón de que aún existen ciertas discrepancias en cuanto a los criterios estratigráficos y/o de nomenclatura para la diferenciación de las varias unidades geológicas de la Región Oriental del Paraguay, específicamente en lo referente al Pérmico del Departamento de Caaguazú.

Se necesitan estudios más detallados en el área mencionada debido a que actualmente se cuentan con datos incompletos y puntuales que hacen al conocimiento de la geología y a la complejidad litoestratigráfica de las secuencias sedimentarias.

El área de investigación forma parte de la Cuenca del Paraná, clasificada como intracratónica, de origen Paleozoico que posee un control estructural preferencial de dirección NW/SE, secundariamente NE/SW y N-S, donde se acomodan la complejidad litoestratigráfica de cada una de las unidades que la componen. En el contexto paleogeográfico, la Cuenca del Paraná o Chaco-Paraná constituía una de las principales cuencas intracratónicas del margen meridional de Gondwana Occidental, ocupando así los actuales territorios de Argentina, Paraguay, Uruguay, Bolivia y Brasil, donde las principales áreas fuente de sedimentación estaban integradas por las regiones cratónicas de la Plataforma Sudamericana al Este y Noroeste (Daners. *et all.* 2006).

La zona de estudio se encuentra ubicada en la región Centro Oriental del Paraguay, en el Departamento de Caaguazú, abarcando los distritos de Coronel

Oviedo, San Joaquín, Carayao, RI 3 Corrales, Cecilio Báez y Colonia Mbururupy, localidad aledaña a la ciudad de Caaguazú.

El área delimitada está representada geológicamente por el Grupo Independencia el cual se encuentra dividida en las Formaciones San Miguel y Tacuary (González Núñez, 1999). Las mismas corresponden a una sucesión de capas sedimentarias Permocarboníferas, donde se puede diferenciar dos unidades, una inferior y otra superior, basado principalmente en sus características ambientales de depositación (Hutchinson, 1979).

La Formación Tacuary está constituida en su mayoría por sedimentos finos, predominantemente arenoso a arcilloso, con capas de calizas oolíticas (Thornburg *et al*, 1989), en éste contexto, vamos a enfocarnos en las calizas debido a que la cal se fabrica a partir de éstas, a través de un tratamiento térmico para la obtención del dióxido de carbono (CO₂). Si bien los carbonatos pueden formar distintos minerales, según con qué elemento se combinen, como la dolomita CaMg (CO₃)₂; la magnesita, MgCO₃; la siderita FeCO₃, y la aragonita similar en composición química a la calcita, que, sin ser todos los minerales del grupo, son los más comunes (Palmieri, Fecha incierta).

Los productos más conocidos que se pueden obtener de éstas son: Cemento (tipos I, II y puzolánico), cal agrícola, cales vivas, hidratada e hidráulica, y las aplicaciones que tienen pueden dirigirse a la producción de acetileno, carburo de calcio, precipitado de carbonato de calcio, agricultura, fundiciones de papel, tratamiento de residuos industriales, construcciones, productos alimenticios (humano y animal), obtención de álcalis, polvos de blanqueo, curtiembres y numerosos otros productos (Palmieri, Fecha incierta)

La clasificación de las rocas carbonáticas, como todas las otras rocas tienen una base genética, es decir, se puede realizar una diferenciación de las mismas a partir del estudio del origen de éstas en razón de su carácter poligénico (F, J, Pettijhon.1980).

Considerando la importancia económica y científica de las unidades geológicas del área, esta investigación se centrará en el estudio de los diferentes tipos de calcáreos presentes en un intento de realizar una clasificación más detallada y de esta manera poner de manifiesto la necesidad de realizar estudios más precisos para un conocimiento más amplio y denotar la importancia económica que se encuentra asociada a ellas.

1.1 Planteamiento del Problema

Este trabajo tiene por objetivo principal la clasificación de las rocas calcáreas presentes en la región Centro-Oriental del Paraguay, más precisamente en el Departamento de Caaguazú.

La hipótesis en el cual se basa este trabajo se debe en que la región de estudio presenta la posibilidad de existencia de yacimientos de rocas carbonáticas de distintos tipos en cuanto a su composición química.

En el caso de la existencia de estos yacimientos y considerando la importancia científica y económica que presentan, se acentúa la necesidad de un estudio detallado de las mismas a fin de generar una mayor información y a partir de estas, analizar la factibilidad económica para la utilización como recurso comercial.

1.2 Justificación

La presencia de rocas carbonáticas en un determinado lugar, son indicadores de condiciones ambientales favorables bajo las cuales han sido formadas estos materiales, este aspecto nos llevó a realizar una reconstrucción de su pasado geológico y de acuerdo a éste, a una clasificación más adecuada según su composición química.

La evaluación de las rocas calcáreas será desde el punto de vista económico, basado en la necesidad de la corrección de los suelos para la agricultura y la ganadería, rubros principales de nuestro país y la posibilidad de la explotación para un nuevo campo laboral como ser la minería, muy poco desarrollada en la región.

Debido a la amplia variabilidad en la que estas rocas pueden presentarse dependiendo de las condiciones de formación, existe la posibilidad de una clasificación superficial mediante métodos simples como el análisis químico in situ mediante reactivos o la identificación de estructuras propias de este tipo de material que pueden darnos la información respecto a su génesis.

Cabe destacar que este tipo de investigación nos permite una aproximación de la historia geológica de la formación de estas rocas, como también la posibilidad de realizar una evaluación para el aprovechamiento económico de los mismos a partir de los resultados obtenidos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- Clasificar los tipos de rocas calcáreas de la Formación Tacuary en el Departamento de Caaguazú.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los tipos de rocas calcáreas de acuerdo a la composición química en el área estudiada.
- Determinar el uso y su potencialidad comercial de los tipos de rocas calcáreas del área estudiada.

1.4 Hipótesis

Hi: El Departamento de Caaguazú presenta la posibilidad de existencia de varios tipos de rocas carbonáticas de interés científico y con potencial de aprovechamiento económico.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Las rocas del Pérmico en Paraguay fueron estudiadas por primera vez por el geólogo argentino Horacio Harrington en 1950, fue el primero en estudiar estas formaciones geológicas en las inmediaciones de la ciudad de la Colonia Independencia en las estribaciones de la Sierra de Ybuturuzú y al cual designó con el nombre de Serie Independencia. Según las condiciones de estas rocas, el citado geólogo los comparó con las lutitas de Iratí y a las de Estrada Nova de Brasil. Este geólogo describió también potentes capas de areniscas claras, fosilíferas en su base, que se disponen transgresivamente y en leve discordancia sobre las Series por él denominada de Tubarao y de Itacurubí.

Posteriormente, Putzer en 1962 mencionó la presencia de capas sedimentarias entre Caazapá y el Rio Jejuí con contenido fosilífero (Dadoxilon y Pizonella) correlacionables con la Formación Estrada Nova (Pérmico inferior) de Brasil. El geólogo citado lo describe en dos facies diferentes, la de Independencia y las facies de Serra Alta, una sucesión de areniscas arcósicas fosilíferas en capas espesas de hasta 400 m.s.n.m de espesor y estratos alternantes de areniscas arcillosas en bancos delgados y lutitas arenosas de colores verdes, gris, parduzcas o violetas respectivamente.

La descripción de la ocurrencia de rocas arenosas y calcíticas con una dirección N-S son mencionadas por Comte (1968), sin añadir cualquier información a las proporcionadas por Putzer.

La Anschutz (1980), se refirió al Grupo Independencia como una secuencia de unidad Permocarbonífera y formada principalmente por areniscas finas, arcillitas y siltitas, con influencia continental y depositación en ambiente lacustre-fluvial, admitió también condiciones marinas (mar raso) de sedimentación, como indicador de la presencia de oolitas (*in* Geoconsultores, 1998).

La mencionada empresa, ha dividido el Grupo Independencia en cuatro formaciones, propuesta de la siguiente manera; San Miguel, Boquerón, Tapytã y Cabacué, pudiendo ser diferenciadas las primeras como areniscas, arcillas y siltitas, que separan la zona de oolitas de la formación Boquerón de los sedimentos de canales de la formación Tapytã y las rocas arenosas estarían colocadas por debajo de la Formación Cabacué Carlson, 1981 (*in* Geoconsultores, 1998).

El proyecto PAR 86/005 (1986) posteriormente adoptó el termino Grupo Independencia para la secuencia de rocas Pérmicas del Paraguay Oriental. Los autores citados en este trabajo proponen la eliminación de las formaciones Tapytã y Cabacué, donde las mismas son consideradas unidades Triásicas y Jurásicas, de este modo queda adecuada su subdivisión en dos formaciones, San Miguel y Tacuary.

Las perforaciones efectuadas por la Texaco (1991) en el área de Mallorquín, distrito de Caaguazú, indica la presencia de sedimentos post-glaciales dentro de las areniscas sobrepuestas al Grupo Coronel Oviedo.

La Formación Tacuary es descrita como una sucesión rítmica de siltitas, arcillas, areniscas finas y algunos carbonatos, los cuales en general son oolíticas. Siendo así una de sus características principales de afloramiento una gran variedad de colores. La fauna es principalmente representada por moluscos, ostrácodos y crustáceos. Se asume un ambiente de depositación de un mar Pérmico somero. (Fulfaro, 1996).

La edad estratigráfica más probable para la formación Tacuary fueron determinados mediante experimentos de magnetización remanente isotérmica utilizado para probar

la inclinación potencial de la magnetización de la remanencia natural, con este método se sugiere una edad de magnetización cercana a 260 Ma, perteneciente al Pérmico, en el Guadalupian tardío o en el Lopingio temprano (Orué, 2006).

El contenido fosilífero correspondiente a este periodo ha sido estudiado de forma detallada en regiones limítrofes correlacionables a las mismas. Estudios realizados sobre los troncos fósiles del Pérmico de Paraguay corresponden a maderas gimnospermas decorticadas asignadas al orden coniferales, identificándose los taxa: *Bageopitys herbstii* Crisafulli, *Araucarioxylon teixeirae* Marguerier, *Protophyllocladoxylon dolianitii* Muss y *Podocarpoxyton aff. Paralatifolium*. Las mismas ya han sido citados en otras formaciones que en esa época componían el continente Gondwánico, como ser la formación Yaguari y Melo (Uruguay) del Pérmico superior y la formación Iratí (Brasil) como también la formación Raniganj (India) y en el Sistema Karoo (Mozambique-África) también del Pérmico Superior. (Crisafulli, 2000)

A la Formación Tacuary palinológicamente se le atribuye la palinozona de striatites del Pérmico Superior bajo, el cual también sustenta la fauna Pinzonella. Mediante estas características la formación Tacuary es considerada como el equivalente de las formaciones Serra Alta/ Teresina de Brasil que es la opinión más aceptada. Es así que helechos descriptos mediante la comparación paleobotánica del Pérmico de esta parte de Gondwana fueron identificadas con caracteres que sin duda pertenece al género *Asterotheca* Presl (Herbst, *et al.* 2011).

2.1.1 Geología Regional

El área de estudio abarca una pequeña parte del margen occidental de la Cuenca del Paraná. El contenido de esta cuenca constituye una sucesión de sedimentitas gondwánicas, dispuestas en discordancia sobre rocas antiguas de cratones circundantes y limítrofes, y recubiertas e intruidas por rocas volcánicas y plutónicas de eventos magmáticos posteriores (Orué, 2006).

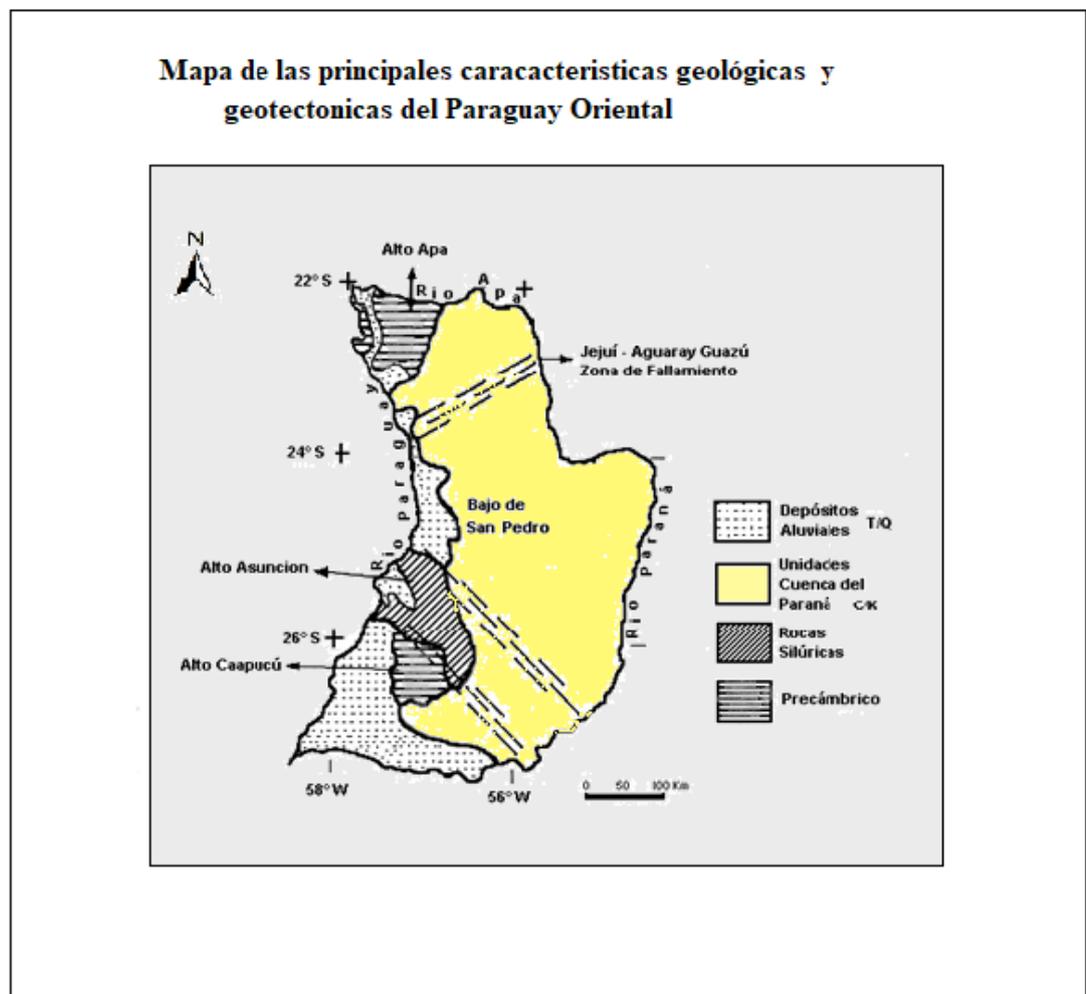


Figura 1. Aspectos geológicos y geotectónicos del Paraguay Oriental.

Fuente: Fulfaro. (1996)

La unidad Permocarbonífera/Triásica se dispone en discordancia sobre sedimentitas de las secuencias del Paleozoico inferior. Ésta contiene rocas clásticas agrupadas en la Formación Coronel Oviedo como base, seguidas por el Grupo Independencia y la Formación Misiones.

El evento tectónico subatlántico a partir del Triásico y principalmente en su etapa de apogeo, durante el Cretácico modifica las características evolutivas de la cuenca, orientando la sedimentación en dirección general noreste y sus conjugadas sureste, intruyendo y cubriendo rocas preexistentes con magmáticas de la Suite Magmática Alto Paraná (*in* Geoconsultores.1998)

La morfología actual del área y sus alrededores, producto de tectonismos y erosiones se comporta con forma de serranías alargadas y redondeados, en contraste con valles cubiertos con sedimentación reciente (González. 1999).

2.2 Tipos de rocas carbonatadas

2.2.1 Rocas sedimentarias no clásticas

Los sedimentos no clásticos más importantes son la caliza y la dolomita. Otros, menos comunes, son las evaporitas (yeso, sal, anhidrita), y los sedimentos ferruginosos, fosfáticos, silíceos y orgánicos, importantes todos en uno u otro aspecto del análisis estratigráfico (Pettijhon. 1980).

La caliza y la dolomita contienen más del 50 por ciento de los minerales carbonatados calcita y o dolomita. Se han reconocido diversas variedades, dependiendo de las diferencias de textura o de las condiciones en que se supone se han originado.

La caliza autóctona se formó en su lugar por acumulación de restos orgánicos o por precipitación química, y la caliza alóctona representa una acumulación de fragmentos fósiles, rombos de calcita u oolitas transportados (Pettijhon. 1980).

La mayor parte de la dolomita representa una alteración de la caliza posterior a la depositación, aunque algunas dolomitas cristalizadas asociadas con evaporitas parecen ser depósitos químicos primarios. La dolomitización es un proceso de

reemplazamiento acompañado casi siempre de recristalización, que produce una roca en la que se han perdido algunas de las estructuras y texturas originales de la caliza (Krumbein, *et al.*, 1963).

2.2.2 Rocas carbonáticas sedimentarias

La caliza cuyo origen es sedimentario está compuesta generalmente por el mineral calcita (CaCO_3) o por su polimorfo aragonita. La presencia de aragonita debido a su carácter inestable, es un indicador de materiales de formación reciente. La dolomía se corresponde con una roca sedimentaria, pero contiene la mineral dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Tal como se ha mencionado más arriba, la formación de este último mineral se realiza por sustitución metasomática del calcio por magnesio como consecuencia de la acción de soluciones ricas del segundo elemento. Existen otros carbonatos que pueden encontrarse asociados tanto a las calizas como a las dolomías, entre ellos siderita (FeCO_3), ankerita ($\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$) y magnesita (MgCO_3). Gran parte de los carbonatos sedimentarios han tenido su origen en procesos químicos y bioquímicos; entre estos últimos, se cuentan los formados por esqueletos de microorganismos y moluscos. Entre las rocas sedimentarias carbonáticas se identifican la denominada tiza (Chalk), con textura formada por cristales muy finos (micrítica), de color blanco, con tacto relativamente suave y porosa. Otras variedades incluyen la llamada marga (arcilla calcárea), travertino (precipitación de carbonato de calcio a partir de aguas termales) y vetas de calcita (cristales gruesos asociados a baritina epigenética, fluorita y minerales de plomo y cinc) (PONCE .2000).

2.2.3 Rocas carbonáticas ígneas

Denominadas carbonatitas, son poco comunes y se encuentran formadas por carbonatos de calcio, magnesio y/o hierro apareciendo en los anillos intrusivos alcalinos de áreas de basamento antiguo o como rocas intrusivas o volcánicas dentro de estructuras profundas (ORTIZ *et al.*, 1995).

2.2.4 Rocas carbonáticas metamórficas

Corresponden a calizas y dolomías que por efecto del metamorfismo han experimentado un proceso de recristalización, pasando a denominarse mármoles. Las impurezas más frecuentes para este tipo de rocas están representadas por cuarzo, mica, cloritas, hematita y limonita (ORTIZ *et al*, 1995).

2.3 Impurezas comunes en rocas carbonáticas

Es frecuente encontrar impurezas junto a las rocas carbonáticas, constituyendo una información importante ya que posee incidencia en el valor económico del yacimiento (ORTIZ *et al*, 1995).

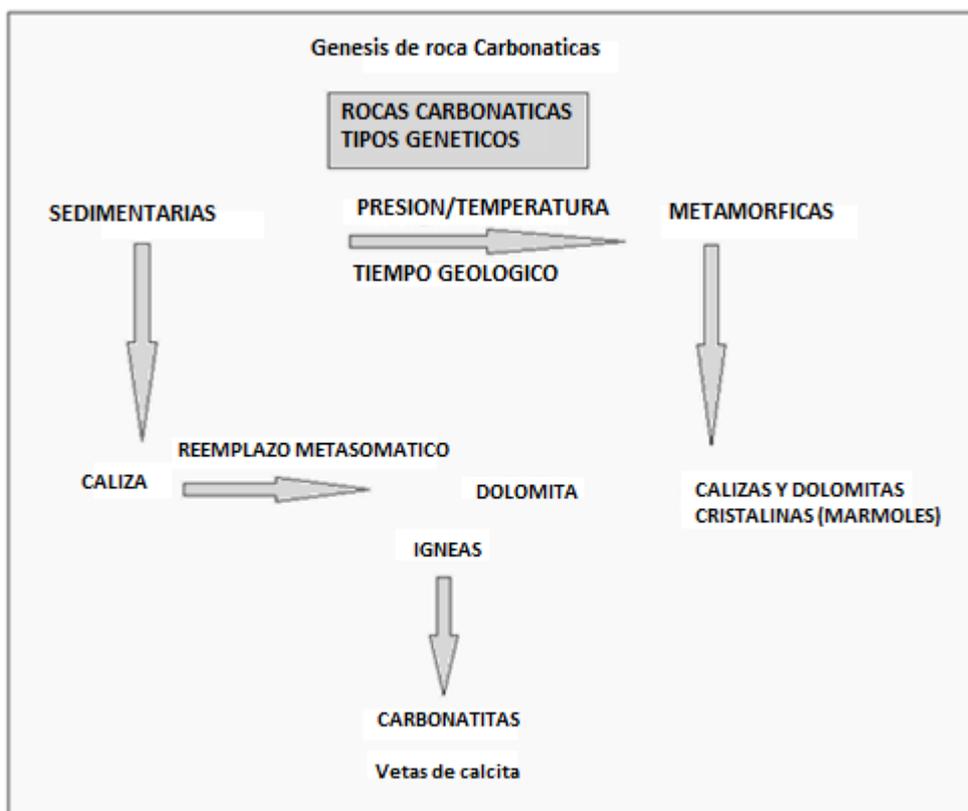


Figura 2: Clasificación genética de las rocas carbonáticas

Fuente: (PONCE, 2000)

Las más comunes están constituidas por materiales arcillosos, los cuales son detectados a partir de los residuos solubles después del ataque ácido. La sílice es

también un mineral bastante común en las calizas; puede presentarse como calcedonia en forma de grano fino, esferulitas o como relleno entre los cristales rómbicos de rocas dolomitizadas. También puede aparecer formando nódulos ya como ftanita o pedernal. Cuarzo detrítico se ha observado en calizas y dolomías. La siderita raramente aparece en calizas. El hierro ferroso puede aparecer diseminado; aunque una leve oxidación da como resultado la descomposición de la siderita, siendo observable la distribución de manchas de óxido en los bordes de los cristales y en las superficies de clivaje. Como un componente menor puede aparecer feldespatos como cristales de tipo autógeno y raramente sobrepasa el 40% de la composición total de la roca. Glauconita, colofana y pirita entre los componentes menores pueden ser encontrados (Krumbein *et al*, 1963).

CO ₂ DISUELTO EN LA HIDROSFERA				
PROCESOS BIOGENICOS	ACCION BIOQUIMICA	DEPOSITOS BIOACUMULADOS	CIENOS CALCAREOS BIOTROMAS	CRETA CALIZA COQUINOIDE
	ACCION BIOQUIMICA	DEPOSITOS BIOCONSTRUIDOS	ARRECIFE BIOHERMAS ESTROMATOLITOS	CALIZA REFRACTAL CALIZA BIOHERMAL CALIZA ESTROMATOLITICA
	ACCION BIOQUIMICA O QUIMICA	PRECIPITADOS Y/O BIOACUMULADOS	FANGOS CALCAREOS ARENAS OOLITICAS	FANGOLITICA CALIZA OOLITICA
PRECIPITACION QUIMICA INORGANICA				TOSCA TUFA TRAVERTINO
FRAGMENTACION MECANICA	CLASTOS CARBONATICOS	FANGOS CALCAREOS CALCARENITAS CONCHILLAS	FANGOCALCITA MICOCOQUINA COQUINA	

Figura 3: Esquema general del proceso de formación de calizas

Fuente: (PONCE, 2000)

La primera se presenta como gránulos redondeados constituyendo localmente, concentraciones abundantes. La segunda es producto de detritos

esqueléticos fosfáticos tales como conchas de braquiópodos y espinas de peces. La pirita puede encontrarse como granos dispersos que, por procesos de oxidación, pasa a formar limonita. Raramente una caliza contiene una cantidad de pirita suficiente como para ser calificada de pirítica. El bitumen por su parte, puede ser abundante en algunas calizas a las que les confiere color gris a negro y eventualmente, al partirse exhalar un fuerte olor fétido (Krumbein *et al*, 1963).

2.4 Clasificación general de las rocas carbonatadas

La clasificación de las rocas carbonáticas, como de todas las otras rocas, tiene una base genética. Los carbonatos son en parte clásticos, gravas de óxido de calcio, arenas de óxido de calcio y fangos de óxido de calcio. A diferencia de sus equivalentes no carbonáticos, estos materiales, aunque caracterizados por texturas y estructuras similares a las de los sedimentos clásticos usuales, no son los escombros resultantes de una masa terrestre sometida a erosión (Krumbein, *et al.*, 1963).

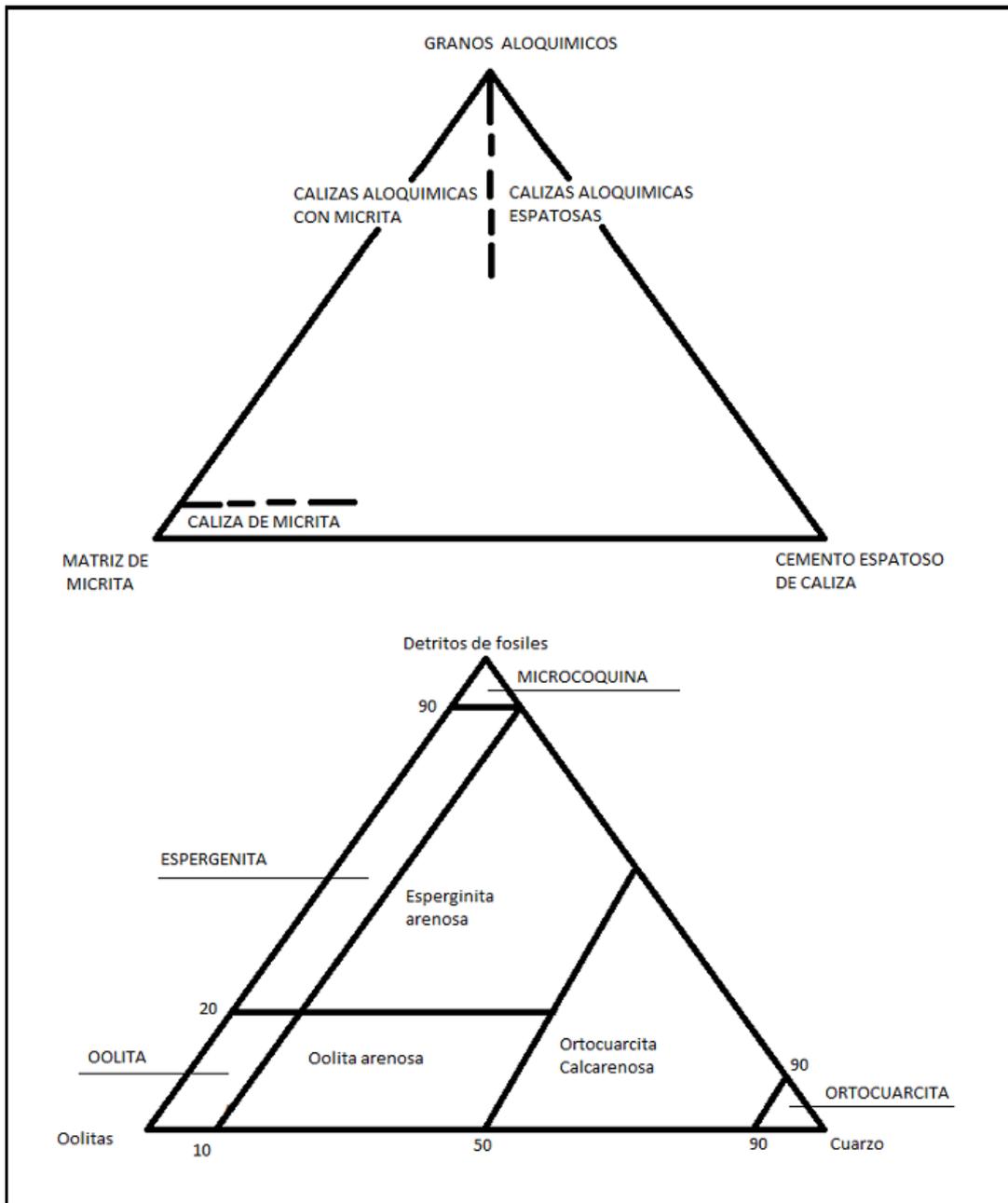


Figura 4: Agrupamiento de miembros extremos de las rocas carbonatadas

Fuente: (Krumbein & Sloss, 1963)

2.5 Usos

Es muy amplia la aplicación de calizas y dolomías en la industria. El uso más importante está dirigido a la construcción tanto como agregado o en la producción de cal y cemento; también en la industria del hierro y el acero, en química, en

fabricación de vidrios, como carga mineral u otros usos específicos. La agricultura emplea tanto calizas como dolomías en procesos de encalado y enmiendas con la finalidad de reducir la acidez de los suelos o bien para incrementar el contenido de calcio y magnesio, considerados como nutrientes. En el caso de la dolomita no solamente se la emplea como aditivo para los suelos sino también como material base para los fertilizantes; para este último caso, debe contener como mínimo 90% de $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$ combinado, así como un contenido de sílice que no exceda el 5%. Cuando la dolomita es de bajo grado (15 a 20% MgO) se usa como acondicionador de suelos. Entre las especificaciones que debe cumplir la caliza /dolomía se refieren al Equivalente Químico (EQ), es decir la capacidad que posee la roca para neutralizar la acidez del suelo a partir de la comparación con el poder de neutralización del carbonato de calcio puro, al cual se le asigna el valor de 100%. Otra característica que se toma en cuenta es el tamaño de partícula, puesto que con un aumento de la finura existe un aumento de la superficie específica y consecuentemente, su poder (PONCE, 2000).

3. METODOLOGIA

3.1 Localización del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Caaguazú dentro de la hoja Coronel Oviedo mapa de texto explicativo “5670” abarcando una superficie de 1.383 km² aproximadamente, siendo la ciudad homónima la capital del Departamento distante a unos 134 km de Asunción. El cuadrante del área de estudio se ubica entre las coordenadas 56°00′-56°30′ longitud oeste y 25°00′-25°30′ latitud sur.

El área se encuentra dispuesta en sentido longitudinal N/S siendo las ciudades de San Joaquín, Dr. Cecilio Báez y Simón Bolívar su límite norte, las ciudades de Coronel Oviedo, Caaguazú y la Colonia Mbururupy al sur, la ciudad de Carayao al oeste, Yukyry al este.

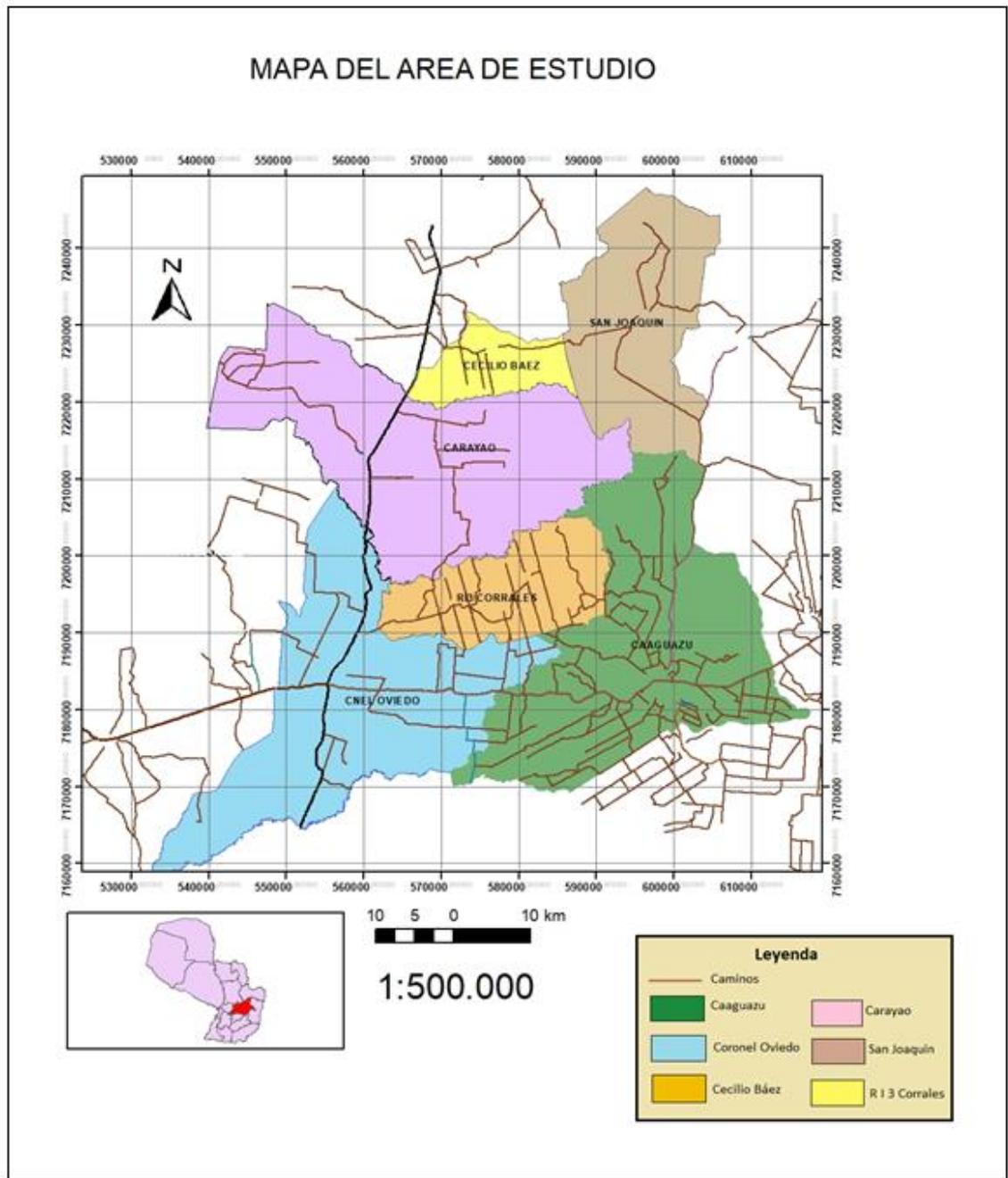


Figura 5: Mapa del área de estudio de las manifestaciones calcáreas en base a los distritos abarcados del departamento de Caaguazú.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Descripción del área de estudio

La morfología general del área de estudio se presenta accidentado con regiones de serranías y pantanosas. La región Este se encuentra dominada por

cordilleras que se extienden en forma de plataformas, y en claro contraste del lado oeste se encuentran las planicies húmedas.

En el extremo Oeste las zonas pantanosas se encuentran asociadas con alturas que oscilan entre los 80 y 100 m.s.n.m, los cuales constituyen las planicies de inundación que drenan la zona que permanecen bajo agua en época de lluvia. La morfología ondulante de este borde es marcada, con elevaciones de hasta 200 m.s.n.m de altura que se alternan con los valles inundables de los arroyos Tobatiry y Hondo.

Desde la región central del área hacia el este la morfología presenta un carácter ascendente en forma constante hasta llegar a alturas entre los 300 a 350 m.s.n.m de altura formando una plataforma.

El cerro San Joaquín que se encuentra al noreste, es el punto más elevado de toda la zona de estudio. Este cerro presenta una elevación máxima de 428 m.s.n.m en la plataforma de 350 de elevación.

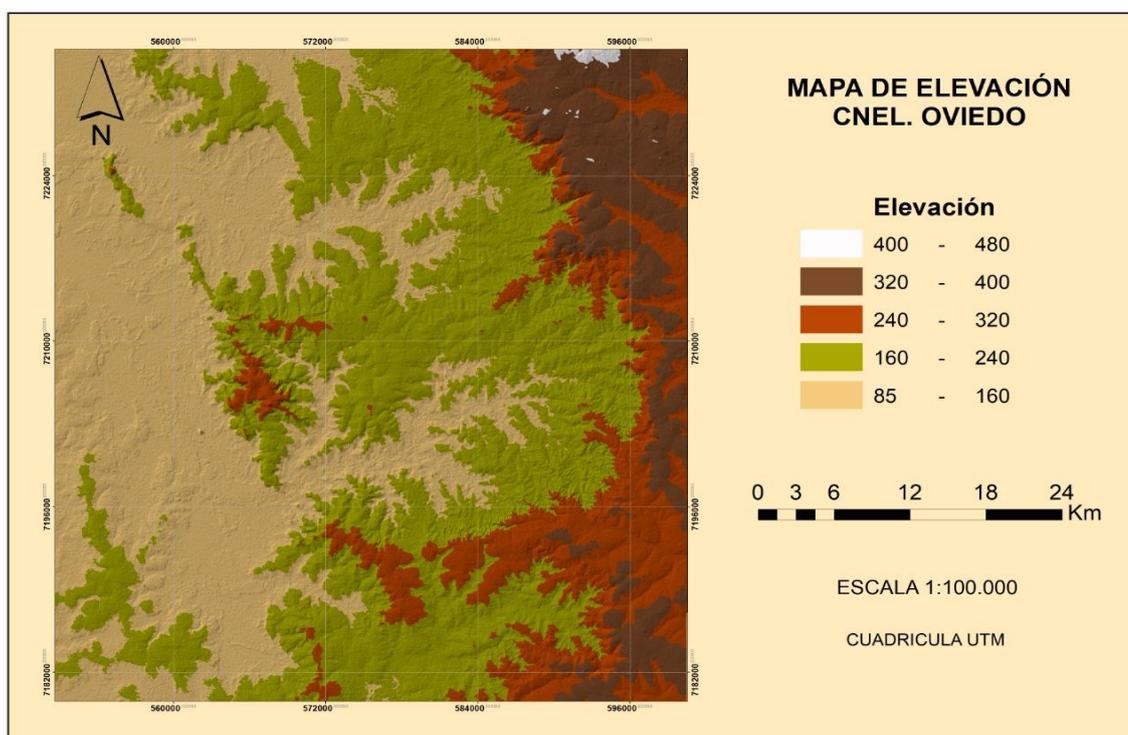


Figura 6: Modelo de elevación digital del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Condiciones de exposición de los materiales de interés.

Considerando la morfología general dominante y la tectónica el cual configura el área en estudio, se puede observar mediante corte de perfil a subsuelo la disposición que presentan los diferentes puntos de muestreo. La primera sección A-B de dirección noroeste de 26,13 km de extensión aproximadamente y la segunda B-C de dirección noreste de 23,6 km entre un punto a otro, las mismas se encuentran cortando un terreno accidentado dominado por pendientes abruptas.

Dichos yacimientos de rocas carbonatadas se presentan aflorando en zonas de pendientes, donde la característica tectónica de esfuerzos verticales es común, y donde se presentan generalmente las exposiciones de los paquetes sedimentarios.

Realizando una comparación entre las tres estaciones, se puede observar que las mismas se encuentran aflorando prácticamente en la misma altura y bastante próximas a las zonas de contacto superficial de las diferentes unidades litológicas que se hallan dentro del área de estudio (Estación N°1 211m.s.n.m, Estación N°2 199m.s.n.m, y la Estación N°3 225m.s.n.m). Estos materiales observados y descriptos corresponden a la Formación Tacuary del Grupo independencia, esto en base al mapa geológico del texto explicativo hoja Coronel Oviedo.

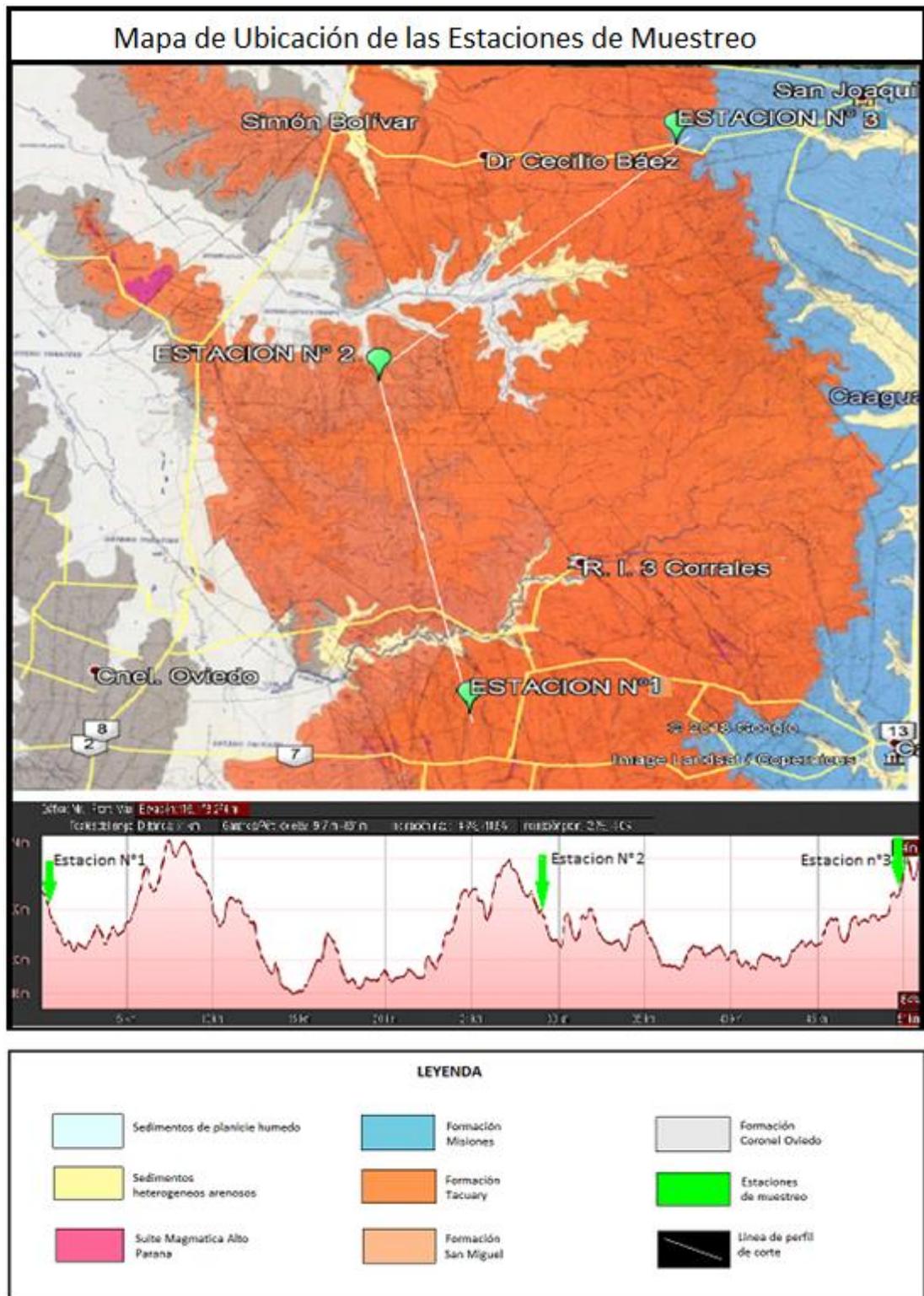


Figura 7: Corte de perfil de los puntos de muestreo extraído de Google Earth.
Fuente: Elaboración propia.

3.4 Materiales

Para la realización de este trabajo de investigación se utilizaron herramientas informáticas de posicionamiento satelital como Google Earth, STREEM y SIG para la elaboración de los diferentes mapas, STRATER para elaboración de columnas litoestratigráficas y Microsoft Word, materiales de cartografía como el mapa del Texto explicativo Hoja Coronel Oviedo 1:100.000. para la elaboración del presente documento.

La etapa de trabajo de campo para la recolección y descripción de las muestras se utilizaron martillos geológicos, lupa de mano de 10X y 20X, brújula geológica, GPS, ácido clorídrico (HCl), bolsas de muestra, libreta de campo.

Para la etapa de análisis de las diferentes muestras colectadas fueron llevadas a laboratorio de Paleontología del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN), y en el Instituto Nacional de Tecnología Normalización y Metrología (INTN), en esta tarea se utilizaron equipos diversos como, lupa electrónica para la descripción de las muestras en detalle e insumos químicos para la determinación de composición química de cada muestra.

3.5 Método

El tipo de investigación está basado en un diseño mixto o combinado del tipo retrospectivo/analítico, para la misma se realizaron colecta de información de trabajos relacionadas a datos de pozos perforados en la zona y de ensayos químicos para su posterior procesamiento. Otros aspectos que se tuvieron en cuenta fueron ensayos de laboratorio en muestras obtenidas en campo.

El presente trabajo se realizó en las siguientes etapas:

- Primera etapa: consistió en la recopilación de datos basados en todos los trabajos anteriores relacionado a la investigación para obtener un esquema general en

cuanto a las características geológicas que componen el área y la distribución y estructuración de las mismas.

Como base para la ubicación y delimitación de las áreas de interés se utilizó la hoja cartográfica de escala 1:100.000, denominada Coronel Oviedo (5670), y como apoyo a ésta, las cartas Coronel Oviedo, Carayao, San Joaquín y Caaguazú de escala 1.50:000.

- Segunda etapa: consistió en el trabajo de campo para la ubicación de los afloramientos mencionados en la información recopilada. Los sitios de interés fueron nombrados como Estación N°1, 2 y 3 para realizar la columna estratigráfica de cada estación y luego coleccionar las muestras de interés para su posterior análisis mediante ensayos en laboratorio.

- Tercera etapa: se realizaron los análisis correspondientes de las muestras de rocas recolectadas en los laboratorios de Paleontología del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN), y en el Instituto Nacional de Tecnología Normalización y Metrología (INTN).

En el laboratorio de Paleontología se realizaron los análisis petrográficos mediante lupa binocular (Microscopio estereoscópico Leica A60 F) de aumento de 30X. Para este análisis primeramente se procedió al corte de las diferentes muestras de roca que en su mayoría eran de carácter sedimentario.

En el laboratorio del Instituto Nacional de Tecnología Normalización y Metrología (INTN) fueron llevadas las determinaciones de los diferentes elementos químicos componentes de cada muestra representativa mediante el método NP 34-01211.

El siguiente análisis que se realizó fue una determinación cuantitativa de los elementos presentes en las diferentes muestras mediante curvas de calibrado de patrones para elementos fundamentales, a través del método de difracción de RAYOS

X por dispersión de longitudes de ondas (Método DRX en estructuras cristalinas). El método consiste en tomar un volumen de 450 mm³ de muestra aproximadamente, que son pulverizadas en forma de partículas entre 10-30 micrones, luego es prensado para obtener un polvo homogenizado y cristalino para su posterior medición.

- Cuarta etapa: interpretación de las condiciones de yacimiento y morfología general del área de estudio mediante el uso de imágenes satelitales, softwares Google Earth y Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la USGS. También la interpretación de los resultados obtenidos en los diferentes análisis químicos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Descripción macroscópica en campo de los puntos de muestreo.

El trabajo de campo consistió en la descripción in situ de las litologías en las estaciones N°1, 2 y 3. Se obtuvieron los siguientes resultados:

• Estación. N° 1

Localidad Colonia Mbururupy de coordenadas 25°26'36.01"S, 56°14'54.77"W. Ubicada a unos 3,7 km de la ruta nacional Dr. Gaspar Rodríguez de Francia a la altura del km 152 entre la ciudad de Coronel Oviedo y la colonia Blas Gray en la propiedad del Sr. Guido Escobar.

La exposición de rocas descriptas se encuentra en una cantera a cielo abierto en estado de explotación para producción de cal agrícola, que abarca un área de 1,5 hectáreas aproximadamente. La morfología de la zona se encuentra dominada por lomadas de pendientes abruptas que pone en exhibición las unidades litológicas del lugar. La cantera se encuentra a una elevación de 190 m sobre el nivel del mar en las márgenes de una pequeña cuenca de arroyo. La exposición de la pared de roca exhibe una secuencia sedimentaria de poco espesor que termina en un cuerpo ígneo intrusivo. El perfil vertical muestra un suelo arcilloso de color amarillento a gris claro poco desarrollado en la parte superior de unos 10cm de espesor seguidas por una arenisca de color amarillo pálido a gris claro, de grano fino a muy fino, bien seleccionado poco cementado, masivo, moderadamente silicificado, en la parte superior con fisilidad 15

cm aproximadamente con presencia de calcita en relleno de fracturas, estructura de ondulitas con icnofósiles. Por debajo se encuentra un limo de color amarillo claro con pequeños niveles de coloración gris oscura, masivo, moderadamente calcáreo con venillas de calcita en relleno de fisuras, se encuentran en contacto inferior a ellas unas varvitas de coloración gris claro y sectores más oscuros, masivo y poco cementado, presenta niveles moderadamente calcáreos como también venillas de calcita relleno de fisuras, minerales laminares de coloración oscura se encuentran diseminadas en pequeños niveles, inmediatamente por debajo de estas se presentan nuevamente el limo de coloración amarillenta con las mismas características con las que se encuentra en contacto superior. La secuencia termina en una diabasa de color gris oscuro muy fracturada donde las mismas se encuentran rellenas con vetas de calcita entremezclada con minerales de pirita.

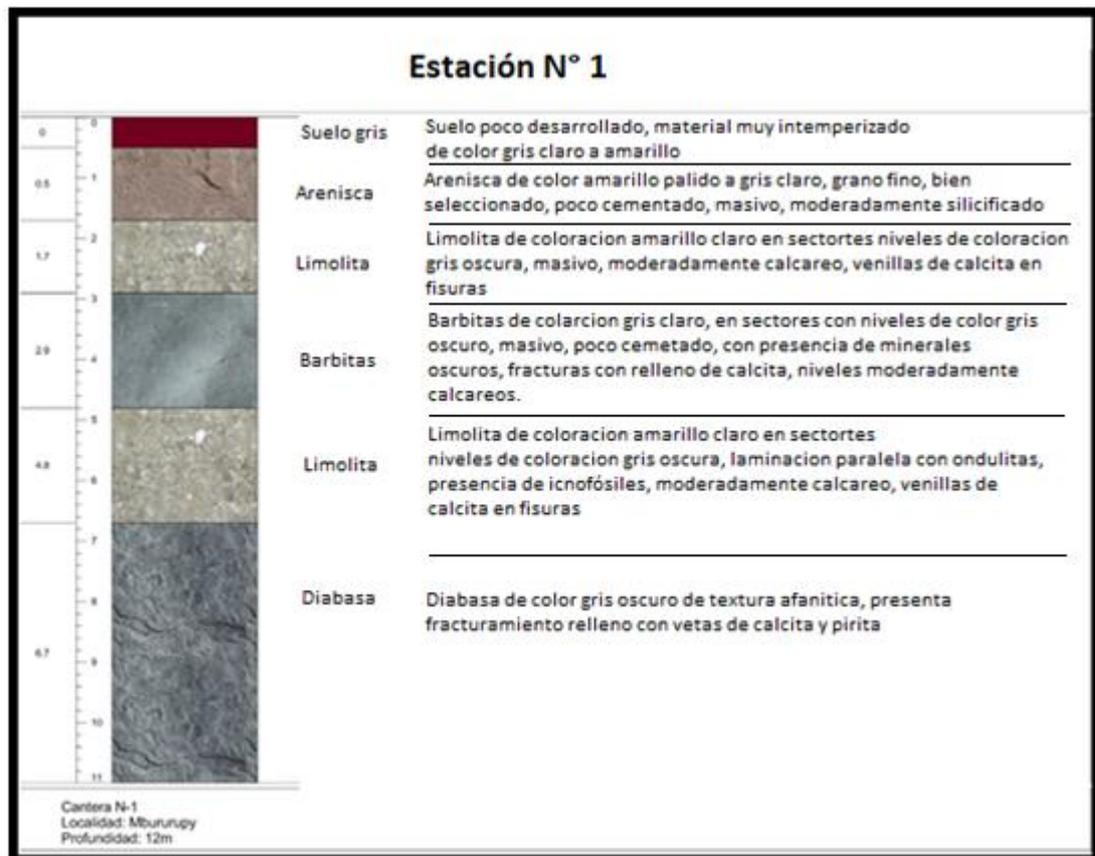


Figura 8: Perfil litológico de la estación N°1 elaborado con Strater.

Fuente: Elaboración propia

• **Estación N°2:**

Localidad Colonia Nicolás Bo de coordenadas 25°13'13.84"S, 56°18'1.18"W. La descripción fue realizada a un afloramiento de roca al borde de un arroyo con barrancas de pendiente muy pronunciada y con alta vegetación, la misma se encuentra en la propiedad del señor Julián Toledo a 1 km aproximadamente de la zona urbana. Presenta una elevación de 278 m sobre el nivel del mar con un relieve accidentado de contorno semicirculares donde son muy frecuentes fallas y fracturas de direcciones NW/SE y E/W que se interceptan y donde en general se presentan las mejores exposiciones de los paquetes sedimentarios que se encuentran en la región.

La secuencia descrita consiste en paquetes sedimentarios bastante potentes que se encuentra dispuesta en dirección N53°E y buzando entre 1,5 a 2° al SE las cuales se encuentran muy tectonizadas. El paquete se inicia con una arenisca de color clara y en sectores presenta facciones de color amarillenta y gris con un espesor desconocido, presenta una buena selección, granos bien redondeados de tamaño medio, muy permeable, moderadamente cementadas, fuertemente calcárea, con pequeños clastos de coloración oscura. En la parte superior de la pendiente presenta una estructura de carácter cavernosa, una cavidad epidérmica por socavamiento con una altera de 1,70 m de altura y una extensión de 12 m aproximadamente, dentro la misma se encuentra estructuras del tipo estalactitas y estalagmitas muy desarrolladas formados por proceso de precipitación, también al mismo nivel se puede observar una estructura de deformación (por hundimiento o surcos), formas de costras calcáreas se encuentra recubriendo un nivel de 1m aproximadamente que continua a lo largo de todo el borde del arroyo. Por debajo de esta se encuentra una arenisca muy fina, de color gris a amarillo, con fisilidad, granos bien seleccionados, con una matriz arcillosa, permeable, el carácter calcáreo no es mas tan acentuado, pero presentan las costras calcáreas esponjosas semejantes a cretas al igual que el nivel superior, estas areniscas presentan un espesor de entre 7 a 10 m con pequeños niveles de arcilla de hasta 10cm. Inmediatamente por debajo de estas se presentan nuevamente unas areniscas de color amarillo claro, poroso, muy similar al nivel superior, el cual no se pudo determinar su espesor.

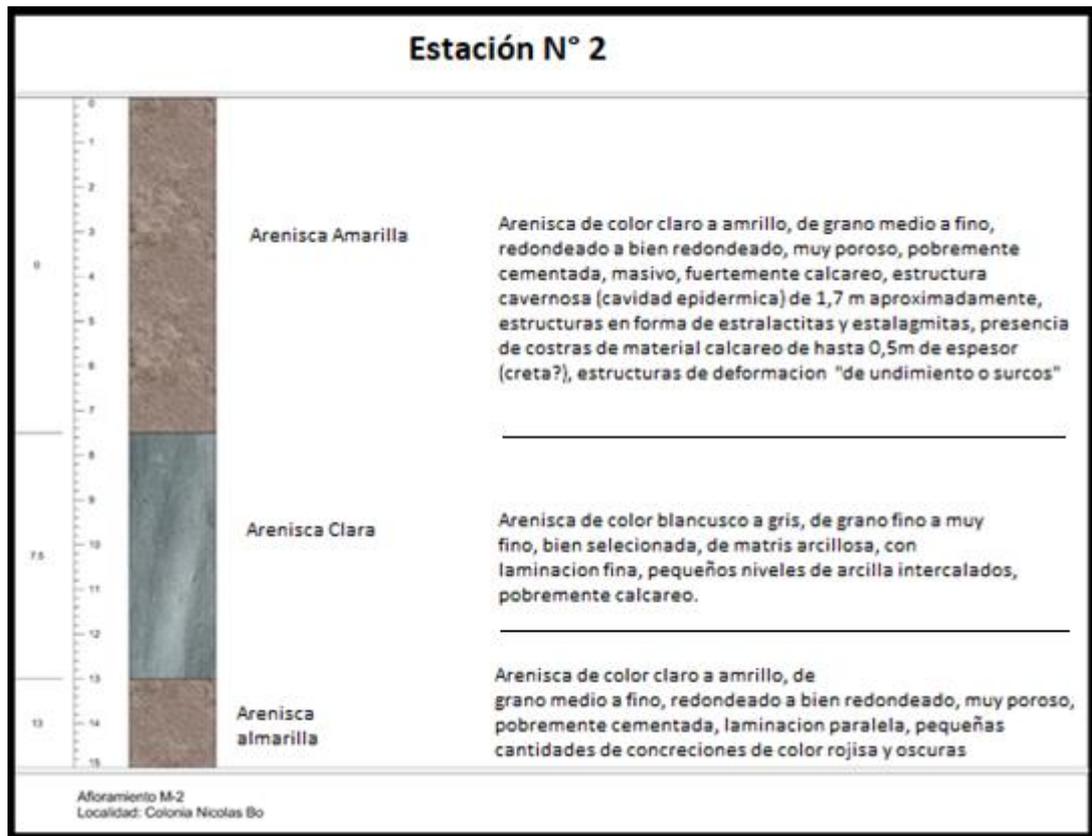


Figura 9: Perfil litológico de la estación N° 2 elaborado con Strater.

Fuente: Elaboración propia

• **Estación N°3:**

Localidad San Joaquín de coordenadas 25° 03'42,06" S, 56° 08'34,04" W. La descripción fue realizada en una cantera a cielo abierto de 150 m. de extensión longitudinal y una exposición de vertical de 12 m. aproximadamente en estado de explotación. Se encuentra ubicada al borde de la ruta que une las ciudades de Dr. Cecilio Báez y San Joaquín a unos 10 km entre ambas ciudades, con una elevación de 250 m. sobre el nivel de mar.

La exposición de las capas se presenta en una secuencia potente intercalada de rocas sedimentarias de variados colores, con diferentes estructuras sedimentarias y normalmente una gradación grano decreciente. Las mismas presentan una orientación NE y buzan entre 1 y 3 grados al SE que obedece al control estructural característico de la región.

La secuencia se presenta de la siguiente forma: En la parte superior, se encuentra una arenisca de grano medio bien seleccionada, bien redondeados y cementados de color claro a amarillo pálido con un espesor de 1,5 m., por debajo de estas se encuentran una limolita de coloración amarilla con un espesor de 1,5m., masiva, bien seleccionada con pequeños niveles oscuros, presenta niveles de fisilidad rellenos con láminas de calcita e impregnada en forma de pequeños nódulos en la roca misma. Siguen a estas una capa de arenisca de 1 m. de espesor de coloración liliácea de grano fino a muy fino con bastante fisilidad, bien seleccionados, bien redondeados, pobremente cementado, presentan niveles de ondulitas con presencia de icnofósiles y pequeñas láminas de calcita paralelas al estrato, estas se encuentran en contacto con una pequeña capa de arenisca clara a amarillenta de 40cm. de espesor, masivo, algo silicificado, con niveles de estructuras de ondulación con presencia de icnofósiles, fuertemente calcárea. La secuencia continua con una capa de entre 30 a 40 cm. de espesor de una fangolita muy alterada de color gris oscuro a marrón rojizo, muy fractura, con minerales verdosos (glauconita), se presenta calcita en forma de vetas rellenas las fracturas y diseminados dentro de la roca en forma de pequeñas motas circulares. A partir de esta se invierte nuevamente la secuencia de la misma forma hasta llegar nuevamente a las areniscas finas liliáceas con ondulación. Es importante mencionar que la concentración calcárea por debajo del nivel de la fangolita se acentúa más especialmente a nivel de las areniscas de color amarillo donde incluso se puede observar la formación de pequeñas costras calcáreas por la pared re roca y vetas calcíticas de hasta 1cm de espesor.

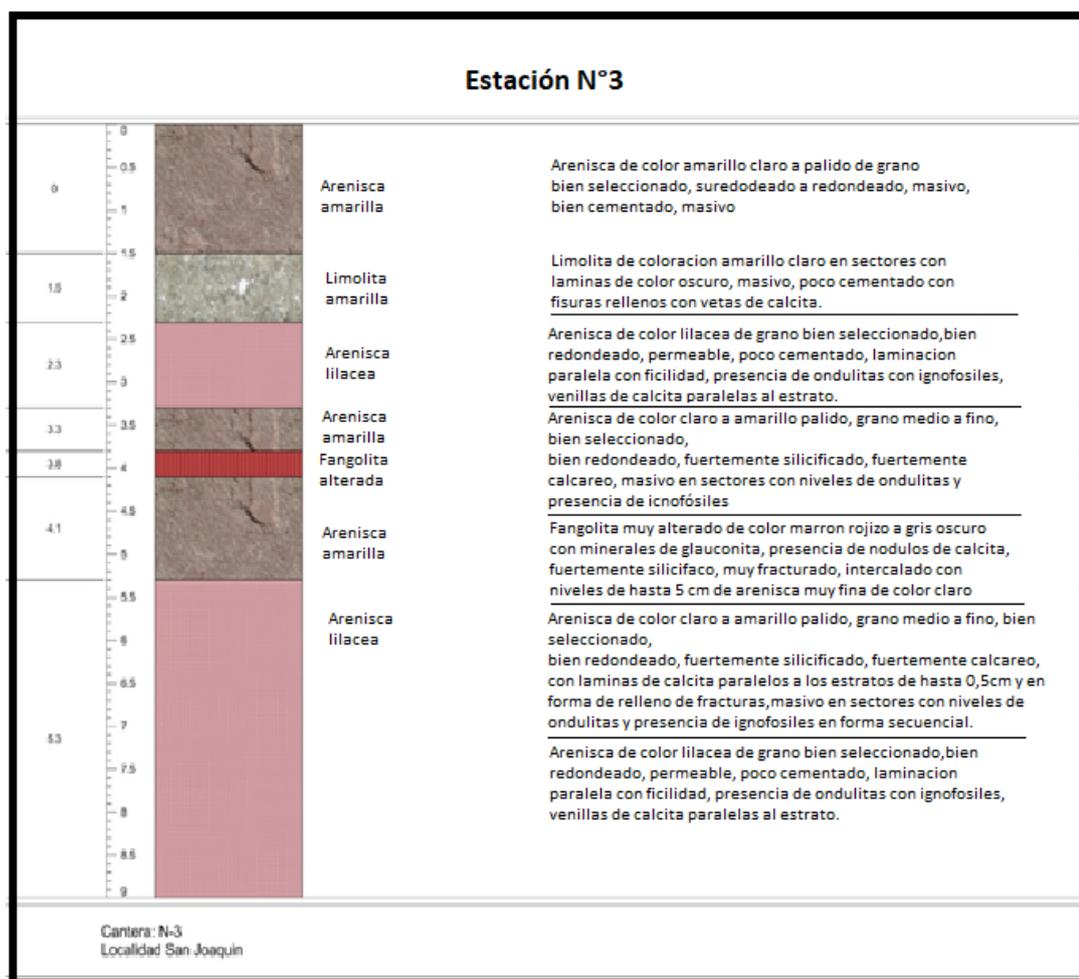


Figura 10: Perfil litológico de la estación N° 3 elaborado con Strater.

Fuente: Elaboración propia

Las condiciones formacionales observadas en las tres estaciones, N° 1, 2 y 3 respectivamente, reflejan predominancia de areniscas medianas a finas de colores grises a blanco amarillento porosas y permeables. Son intercalados siltitas, arcillitas, margas y horizontes de nódulos de arcilla bituminosos y minerales de hierro y sulfatos.

La presencia de material carbonatico para todos los casos resultaron ser de carácter secundario, sedimentos enriquecidos con carbonato; areniscas calcáreas, lutitas calcáreas, fangolitas calcáreas y vetas de calcita en relleno de fracturas y fallas.

Los sedimentos en su mayoría son muy ricos en estructuras sedimentarias, principalmente de origen singenético casi todas de carácter vectorial, que indican las condiciones genéticas de los depósitos.

4.1.2 Descripciones con lupa binocular.

- Estación N° 1 Colonia Mbururupy: en la figura se puede observar una muestra de limolita en aumento de 30x.



Figura 11: Imagen de Limolita . Aumento 30X

Fuente: Elaboración propia

Limolita de granos muy finos, polimicticos mal seleccionados con matriz arcillosa y calcítica de coloración verdosa probablemente aragonita, minerales de oscuros u opacos, con fisura rellena con material calcítico.

➤ Estación N°2 Colonia Nicolás Bo.

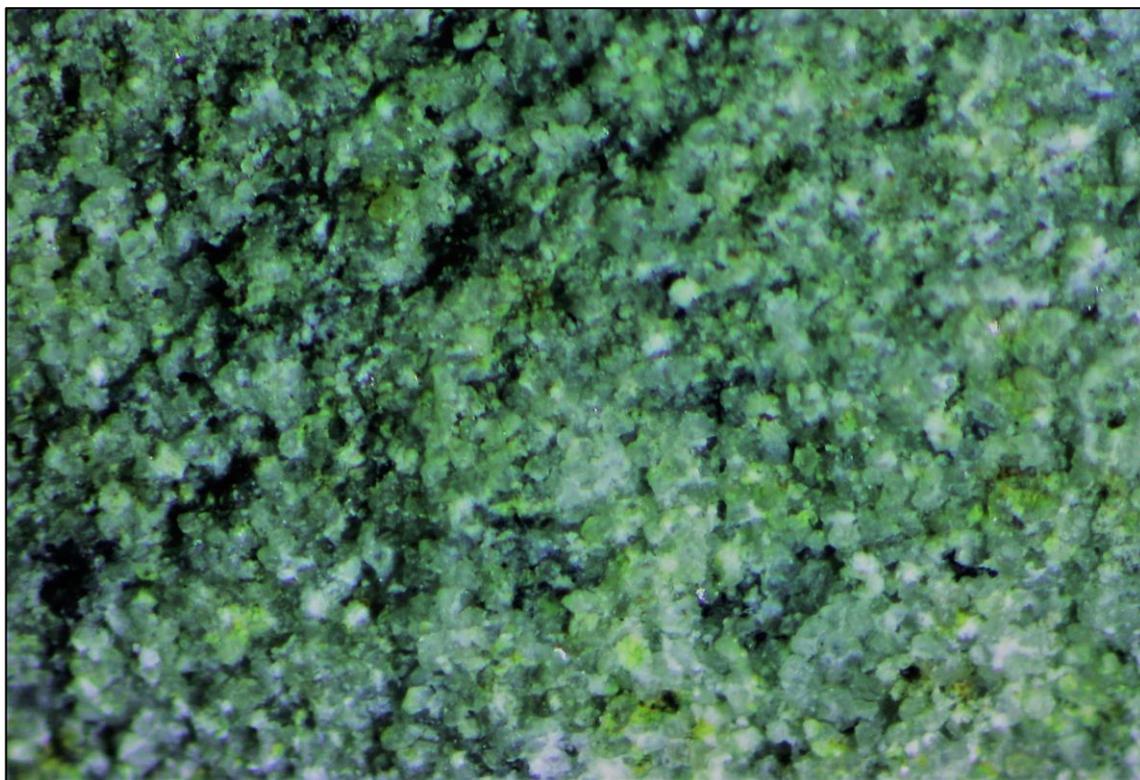


Figura 12: Imagen de Arenisca polimíctica. Aumento de 30X.

Fuente: Elaboración propia.

Arenisca de grano medio a grueso, subredondeado a subanguloso, polimíctica, clasto soportado, cuarzo 85 % y opacos 15%, de matriz aparentemente carbonática a levemente arcillosa, las coloraciones amarillentas y negruzcas posiblemente sean producto de la oxidación de minerales de hierro, manganeso y calcita en su variedad aragonita.

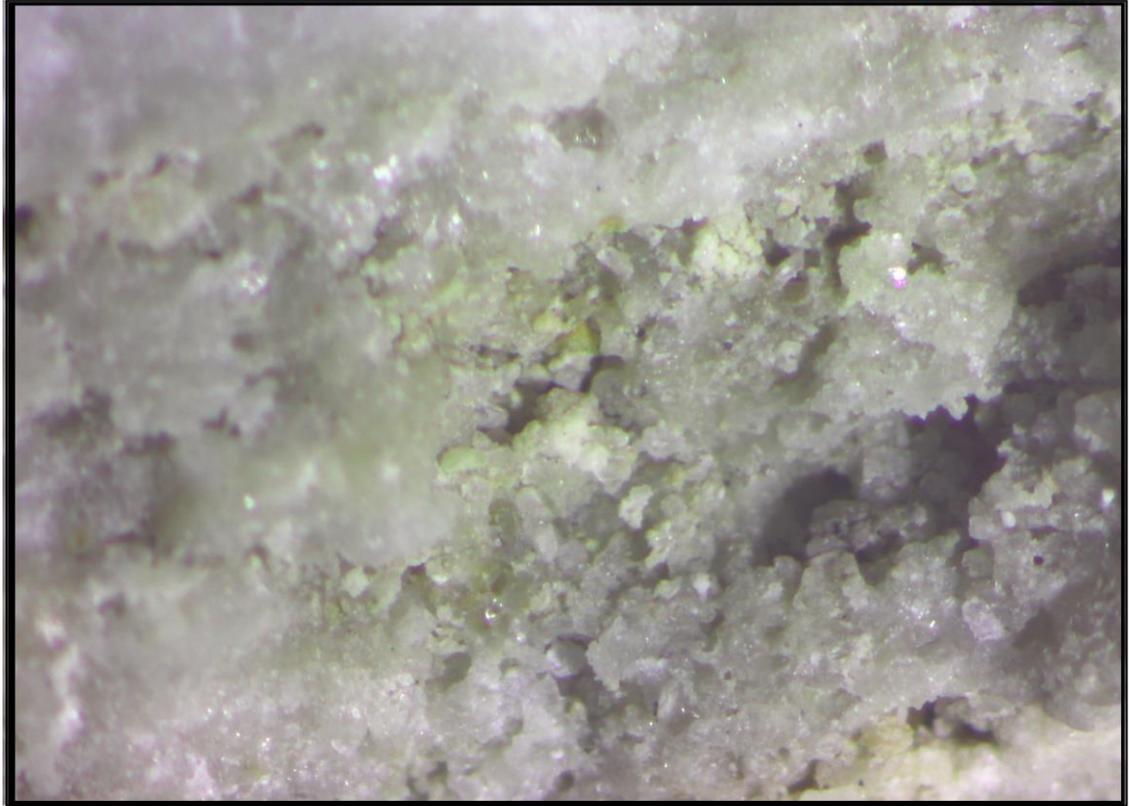


Figura 13: Imagen de Calcarenita. Aumento de 30X

Fuete: Elaboracion propia

Arenisca calcárea o Calcarenita, de grano medio a fino, subredondeado a subanguloso, de cuarzo moderadamente seleccionadas de colores claros y amarillentas inmersas en una matriz calcitica cristalina amorfa.

➤ Estacion N° 3 San Loquin:

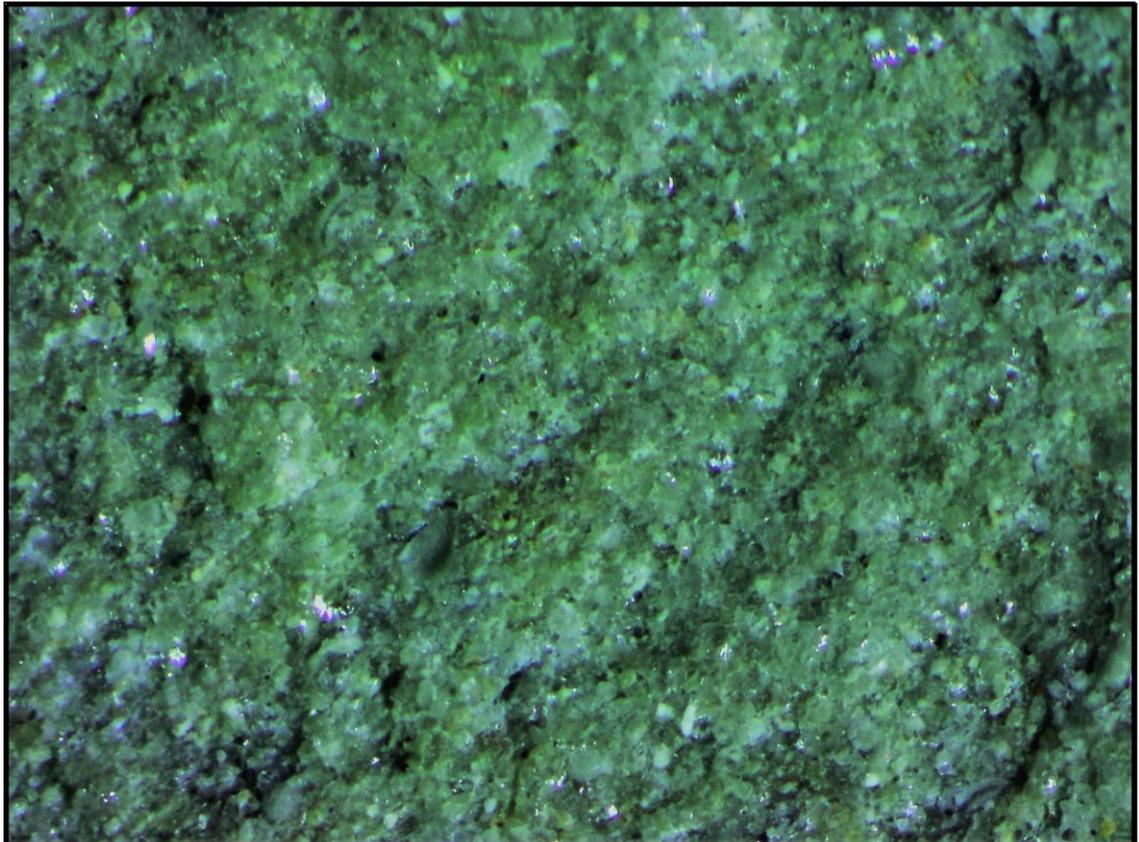


Figura 14: Imagen de arenisca polimictica. Aumento de 30X

Fuete: Elavoracion propia.

Areniscas polimíctica mal seleccionada de grano medio a fino, anguloso a subanguloso, pobremente cementada, de matriz arcillosa con presencia de calcita cristalina amorfa o microgranular en secciones, con minerales alargados en forma de fibras posiblemente aragoníticas por su cristalización, se observan pequeños minerales verdosos vesiculares aparentemente glauconita.



Figura 15: Imagen de fangolita calcarea. Aumento de 30X

Fuete: Elavoracion propia.

Fangolita calcárea de coloración marrón a gris oscuro, con minerales de calcita de formas alargadas o fibrosas. Se observan estructuras semicirculares a ovoideas que presumiblemente sean algún tipo de microfósil.

4.1.3 Clasificación química de las muestras.

En el INTN se realizaron ensayos de determinación química para los elementos de óxido de silicio (SiO_2), oxido de calcio (CaO), oxido de magnesio (MgO) y sesquióxidos (R_2O_3) a una muestra representativa extraída de cada uno de los tres puntos de muestreo cuyos resultados fueron los siguientes:

- De la estación N°1 (Colonia Mbururupy) se obtuvieron las siguientes concentraciones.

Tabla 1. Determinación de concentrados químicos (N° 1) por el método NP 34-01211.

Determinaciones	Unidades	Resultados
Oxido de Silicio SiO ₂	g/100g	71,43
Oxido de calcio CaO	g/100g	11,08
Oxido de magnesio MgO	g/100g	1,00
Sesquióxidos R ₂ O ₃	g/100g	4,33
Perdida por calcinación	g/100g	7,10

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología INTN

En la Tabla 1 se puede observar una elevada predominancia de óxido de sílice (SiO₂) 71,43% y en ínfimas cantidades, óxido de calcio (CaO) 11,08% seguidas por oxido de magnesio (MgO) 1% evidentemente poco considerables lo que nos indica que según el esquema de comparación estas corresponden a una (porcelanita), calcarenita silíceas que corresponde en este caso a su equivalente mecánico.

- Para la estación N°2 (Colonia Nicolás Bo) se obtuvieron las siguientes concentraciones.

Tabla 2. Determinación de concentrados químicos (N° 2) por el método NP 34-01211.

Determinaciones	Unidades	Resultados
Oxido de Silicio SiO ₂	g/100g	7,49
Oxido de calcio CaO	g/100g	45,72
Oxido de magnesio MgO	g/100g	3,78
Sesquióxidos R ₂ O ₃	g/100g	0,61
Perdida por calcinación	g/100g	42,84

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología INTN

La muestra correspondiente a la estación N°2 representado en la Tabla 2 se observa que, la concentración de óxido de calcio es la predominante (CaO) 45,72% siendo mucho más reducidas las del óxido de sílice (SiO₂) 7,49% y oxido de magnesio

(MgO) 3,78%, estas corresponden a calcarenitas silíceas donde el componente de la calcita es considerable.

- Para la estación N°3 (San Joaquín) se obtuvieron las siguientes concentraciones.

Tabla 3. Determinación de concentrados químicos (N° 3) por el método NP 34-01211.

Determinaciones	Unidades	Resultados
Oxido de Silicio SiO ₂	g/100g	68,45
Oxido de calcio CaO	g/100g	14,13
Oxido de magnesio MgO	g/100g	0,40
Sesquióxidos R ₂ O ₃	g/100g	1,30
Perdida por calcinación	g/100g	0,24

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología INTN

Para la Tabla 3 se observa que el contenido Silíceo es la de mayor abundancia; oxido de sílice (SiO₂) 68,45% seguida por el óxido de calcio (CaO) 14,13% y el óxido de magnesio (MgO) 0,40% en mínima proporción lo que nos indica como en los casos anteriores que se trata de una calcarenita silícea (porcelanita) con predominancia del mineral de sílice.

Los distintos resultados obtenidos mediante la determinación de los componentes químicos fueron sometidas a un análisis comparativo con un esquema de clasificación adecuada para las mismas.

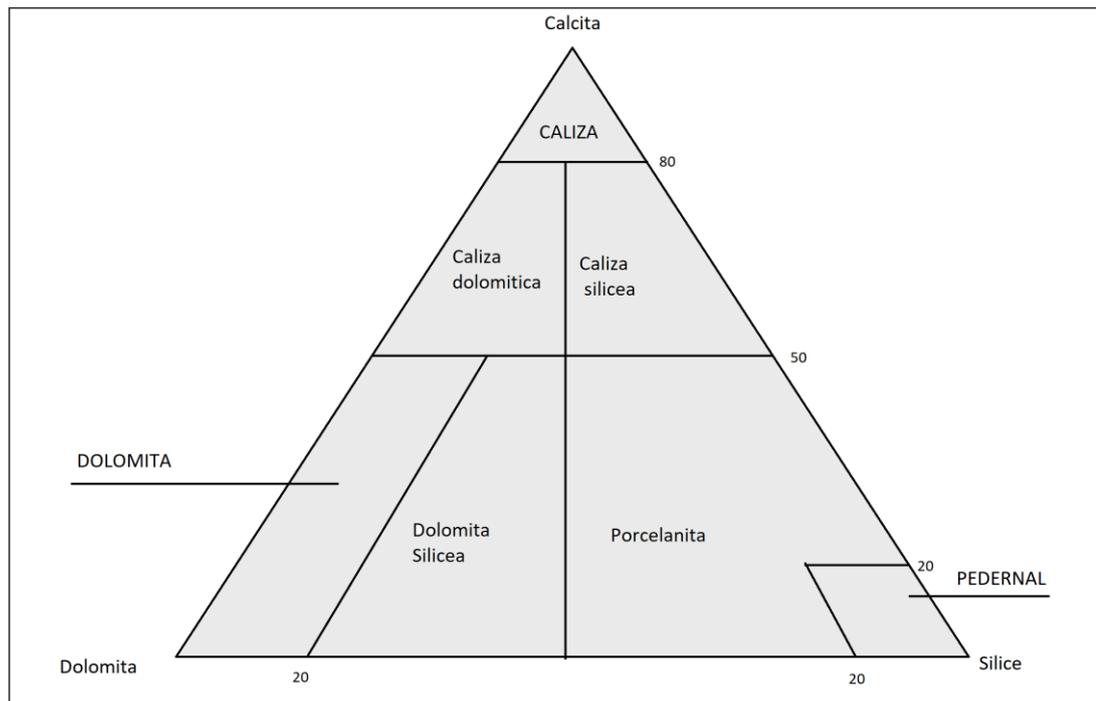


Figura 16: Esquema de clasificación de las calcarenitas y rocas afines basada en su composición.

Fuente: (F, J, Pettijhon, 1980)

4.1.4 Determinación de la abundancia isotópica de elementos fundamentales mediante el método DRX

La metodología aplicada a cada muestra de roca arrojó los siguientes resultados;

- Para la estación N°1 (Colonia Mbururupy) se obtuvo las siguientes concentraciones.

Tabla 4. Análisis químico (N° 1) por el método DRX

Elemento	Unidades (ppm)	Medida
Ca	%	11,05
Si	%	59,64
AL	%	3,82
Fe	%	0,95
Mg	%	0,61
S	%	0,02
K	%	0,88
Na	%	0,42
P	%	0,01
Mn	%	0,06
Ti	%	0,15

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología INTN

Para la Tabla 4 se observa que la sílice se encuentra como componente mayoritario seguidas por el calcio y por último el magnesio, arrojando un resultado muy aproximado con el otro método de análisis químico realizado en la misma.

- Para la estación N°2 (Colonia Nicolás Bo) se obtuvo las siguientes concentraciones.

Tabla 5. Análisis químico (N° 2) por el método DRX

Elemento	Unidades (ppm)	Medida
Ca	%	46,84
Si	%	6,07
AL	%	0,25
Fe	%	0,63
Mg	%	3,27
S	%	1,06
K	%	0,08
Na	%	0,03
P	%	0,06
Mn	%	0,00
Ti	%	0,01
Sr	%	0,01

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología INTN

En la Tabla 5 la relación de abundancia de los tres elementos se presenta una variación en relación a la primera muestra, ésta posee el calcio como el de mayor predominio, la sílice y el magnesio tiene poco menos del 50 % y en ínfimas proporciones.

➤ Para la estación N°3 (San Joaquín) se obtuvo las siguientes concentraciones.

Tabla 6. Análisis químico (N°3) por el método DRX

Elemento	Unidades (ppm)	Medida
Ca	%	8,14
Si	%	62,71
AL	%	5,04
Fe	%	1,41
Mg	%	0,87
S	%	0,02
K	%	0,84
Na	%	0,70
P	%	0,02
Mn	%	0,06
Ti	%	0,15

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología INTN

En la Tabla 6 nuevamente se observa un elevado contenido de sílice, es el elemento más abundante y en menores proporciones los elementos calcio y magnesio.

En los resultados obtenidos en las diferentes muestras se pudo determinar la composición elemental en cada una de ellas, poniendo principal interés en las concentraciones de Ca, Si y Mg con el fin de comparar con el método químico anterior.

Los elementos como el hierro, azufre, potasio, sodio, fósforo, manganeso, titanio y estroncio (Fe^{+3+2} , S^{-2} , K^{+2} , Na^{+} , P^{-3} , Mn^{+2} , Ti y Sr) son constituyentes minoritarios o elementos traza a excepción del aluminio (Al^{+3}) encontrado en las muestras N° 1 y N° 3 en muy baja proporción comparados con los otros elementos mencionados más arriba.

4.1.5 Usos y posible aprovechamiento económico para los distintos tipos de rocas carbonáticas encontradas.

Según la norma Paraguaya NP 34-01211 (Cal Agrícola Generalidades) estipulada por la INTN, indica una denominación para materiales con contenido carbonático quedando establecidos valores mínimos de los siguientes componentes:

Tabla 7. Denominación de cales según el contenido de MgO

DENOMINACION	DENOMINACION
Cal agrícola calcítica	Menos a 5 % MgO
Cal agrícola magnesiana	Entre 5 y 12 % MgO
Cal agrícola dolomítica	Mayor a 12 % MgO

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología INTN

En base a este parámetro y considerando los análisis químicos realizados para cada muestra colectada en las tres estaciones se observa que las tres muestras corresponden a la denominación de cales agrícolas calcíticas según el contenido de óxido de magnesio MgO.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En base a descripciones de campo y resultados de análisis químicos se concluye que los materiales calcáreos presentes en el Departamento de Caaguazú específicamente, corresponden en su mayoría a materiales enriquecidos con carbonatos; areniscas calcáreas, margas, lutitas calcáreas y en menores proporciones calcita propiamente dicha, generalmente presentes como relleno de fracturas.

La distribución de los materiales de interés se encuentra bastante restringidas, confinándose a lo que es la Formación Tacuary.

El aspecto económico fue otro punto considerado, y según los resultados obtenidos en los análisis químicos y las normas que determinan su uso se pudo concluir que resultaron no aptas o de escaso aprovechamiento económico las muestras obtenidas en las estaciones N°1 y 2 de la Colonia Mbururupy y San Joaquín, sin embargo, resultan ser relevantes como registros para una posible evaluación en cuanto a distribución de estos materiales. Por otra parte de entre las tres estaciones evaluadas dentro del área delimitada, la estación N° 2 de la Colonia Nicolás Bo es la que arrojo resultados positivos desde el punto de vista económico, siendo clasificadas como cales calcíticas según el parámetro de concentrados químicos de óxido de magnesio, que son aprovechables para manejo de suelos.

En base a la investigación podemos concluir que, en el Departamento de Caaguazú, la minería se encuentra medianamente desarrollada y, por ende, con poco aporte a la economía local, razón por lo cual nos abocamos a mejorar el conocimiento en este sector.

5.2 Recomendaciones

Este trabajo se basó en conocer mejor las rocas que componen a la Formación Tacuary, específicamente las rocas con contenido calcáreo y en el transcurso de la investigación hemos percibido que se necesitan más y mejor apoyo a la investigación aplicada. En ese sentido, la elección del tema también fue para colaborar con una alternativa de fuente de trabajo para la población local que tanto necesita.

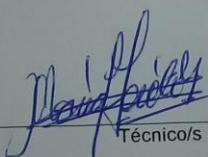
A partir de esta investigación realizada se pudo constatar la existencia de estos materiales calcáreos que revisten importancia tanto desde el punto de vista socio-económico y como un aporte de información para el mayor conocimiento de los mismos. Si bien en este trabajo se pudo realizar una clasificación somera de los materiales calcáreos presentes en el Departamento de Caaguazú, no son suficientes para una caracterización y denominación específica por lo que se recomiendan estudios más detallados.

ANEXO

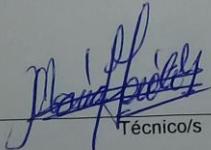
Figura de los análisis químicos. A. Colonia Nicolás Bo.

	INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA, NORMALIZACIÓN Y METROLOGÍA		
INFORME DE ENSAYO			
Solicitante: MILCIADES ARIEL VERA TOLEDO. Dirección: DEFENSORES DEL CHACO CASI ESPAÑA.		Entrada N°: 196235/2018 Dpto. ejecutor: Materiales de Construcción - ONI	
Fecha de recepción: 24-10-2018		Fecha de ejecución del ensayo: 31-10-2018	
Descripción del ítem de ensayo: 1 (UNA) MUESTRA DE ROCA :COLONIA NICOLAS BO OBS: .Extraída en superficie. 25° 13' 8,09" S- 56° 17' 7,83" W			
Determinaciones	Unidades	Métodos	Resultados
Oxido de Silicio, exp. en SiO ₂	g/100g	NP 34-01211	7,49
Sesquióxidos, exp. en R ₂ O ₃	g/100g		0,61
Oxido de Calcio, exp. en CaO	g/100g		45,72
Oxido de magnesio, exp. en MgO	g/100g		3,78
Perdida por Calcinación	g/100g		42,84
Abreviaturas: Ítem: Muestra ensayada g/100g: Gramo analito por cien gramos de la muestra NP: Norma paraguaya			
Notas: <ul style="list-style-type: none">Este informe sólo puede ser reproducido en forma completa con autorización del laboratorio.Los resultados obtenidos se refieren exclusivamente a las muestras ensayadas y suministradas por el solicitante			
			Fecha de informe: 05-10-2018
 Técnico/s			 Jefe de Departamento
Lic. Mónica Zárate Dpto. Materiales de Construcción ONI - INTN		Al Wilfrido Ramírez Jefe de Dpto. Materiales de Construcción - INTN	
Fin del Informe.			

A.1 Análisis químico Colonia Mbururupy.

	INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA, NORMALIZACIÓN Y METROLOGÍA																						
INFORME DE ENSAYO																							
		CONS N°: 0974/2018																					
Solicitante : MILCIADES ARIEL VERA TOLEDO. Dirección : DEFENSORES DEL CHACO CASI ESPAÑA.	Entrada N° : 196235/2018 Dpto. ejecutor : Materiales de Construcción - ONI																						
Fecha de recepción : 24-10-2018	Fecha de ejecución del ensayo : 31-10-2018																						
Descripción del ítem de ensayo : 1 (UNA) MUESTRA DE ROCA: MBURURUPY OBS: COORDENADAS:																							
<table border="1"><thead><tr><th>Determinaciones</th><th>Unidades</th><th>Métodos</th><th>Resultados</th></tr></thead><tbody><tr><td>Oxido de Silicio, exp. en SiO₂</td><td>g/100g</td><td rowspan="5">NP 34-01211</td><td>71,43</td></tr><tr><td>Sesquióxidos, exp. en R₂O₃</td><td>g/100g</td><td>4,33</td></tr><tr><td>Oxido de Calcio, exp. en CaO</td><td>g/100g</td><td>11,08</td></tr><tr><td>Oxido de magnesio, exp. en MgO</td><td>g/100g</td><td>1,00</td></tr><tr><td>Perdida por Calcinación</td><td>g/100g</td><td>7,10</td></tr></tbody></table>				Determinaciones	Unidades	Métodos	Resultados	Oxido de Silicio, exp. en SiO ₂	g/100g	NP 34-01211	71,43	Sesquióxidos, exp. en R ₂ O ₃	g/100g	4,33	Oxido de Calcio, exp. en CaO	g/100g	11,08	Oxido de magnesio, exp. en MgO	g/100g	1,00	Perdida por Calcinación	g/100g	7,10
Determinaciones	Unidades	Métodos	Resultados																				
Oxido de Silicio, exp. en SiO ₂	g/100g	NP 34-01211	71,43																				
Sesquióxidos, exp. en R ₂ O ₃	g/100g		4,33																				
Oxido de Calcio, exp. en CaO	g/100g		11,08																				
Oxido de magnesio, exp. en MgO	g/100g		1,00																				
Perdida por Calcinación	g/100g		7,10																				
Abreviaturas: Ítem : Muestra ensayada g/100g : Gramo analito por cien gramos de la muestra NP : Norma paraguaya																							
Notas: <ul style="list-style-type: none">Este informe sólo puede ser reproducido en forma completa con autorización del laboratorio.Los resultados obtenidos se refieren exclusivamente a las muestras ensayadas y suministradas por el solicitante																							
		Fecha de informe : 05-10-2018																					
 Técnico/s		 Jefe de Departamento																					
Lic. Mónica Zárate Dpto. Materiales de Construcción ONI - INTN		Al Wilfrido Ramirez Jefe de Dpto. Materiales de Construcción - INTN																					
Fin del Informe.																							

A.2 Análisis químicos San Joaquín.

	INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA, NORMALIZACIÓN Y METROLOGÍA		GOBIERNO NACIONAL
INFORME DE ENSAYO			
			CONS N°: 0974/2018
Solicitante :MILCIADES ARIEL VERA TOLEDO. Dirección: DEFENSORES DEL CHACO CASI ESPAÑA.		Entrada N°: 196235/2018 Dpto. ejecutor: Materiales de Construcción - ONI	
Fecha de recepción: 24-10-2018		Fecha de ejecución del ensayo: 31-10-2018	
Descripción del ítem de ensayo: 1 (UNA) MUESTRA DE ROCA: SAN JOAQUIN OBS: COORDENADAS 25° 03' 47,06" S- 56° 08' 34,04" W			
Determinaciones	Unidades	Métodos	Resultados
Oxido de Silicio, exp. en SiO ₂	g/100g	NP 34-01211	68,45
Sesquióxidos, exp. en R ₂ O ₃	g/100g		1,30
Oxido de Calcio, exp. en CaO	g/100g		14,13
Óxido de magnesio, exp. en MgO	g/100g		0,40
Perdida por Calcinación	g/100g		0,24
Abreviaturas: Ítem: Muestra ensayada g/100g: Gramo analito por cien gramos de la muestra NP: Norma paraguaya			
Notas: <ul style="list-style-type: none">• Este informe sólo puede ser reproducido en forma completa con autorización del laboratorio.• Los resultados obtenidos se refieren exclusivamente a las muestras ensayadas y suministradas por el solicitante			
			Fecha de informe: 05-10-2018
 Técnico/s			 Jefe de Departamento
Lic. Mónica Zárate Dpto. Materiales de Construcción ONI - INTN		Lic. Wilfrido Ramírez Jefe de Dpto. Materiales de Construcción - INTN	
Fin del Informe.			

**Fotografías de los puntos de muestreo. B Perfil frente de cantera estación N°1
Colonia Mbururupy.**



**B.1. Fotografía de vetas de calcita en relleno de fractura estación N°1
Mbururupy.**



B.2. Fotografía de perfil de frente cantera Estación n°3 San Joaquín.



B.3 Vetas de calcitas en relleno de fallas Estación n°3 San Joaquín.



B.4. Interdigitación litológica característica de la formación Tacuary Estación n°3 San Joaquín



B.5 Estructura tipo caverna (cavidad epidérmica) con estalactitas y estalagmitas. Estación n°2 Colonia Nicolás Bo.



B.6 Estructuras tipo estalactitas y estalagmitas Estación n°1 Colonia Nicolás Bo



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

AGUSTO E. RAPALINI., SABRINA FAZZITO., DILO ORUE. (2006). A new Late Permian Paleomagnetic pole for stable South América: The Independencia Group, Eastern Paraguay.

ALEXANDRA CRISAFULLI., RAFAEL HERBST. (2009). Gymnospermous Wood (Coniferales, Taxales, an Ginkgoales) from the Upper Permian Tacuary Formation, Eastern Paraguay

F. J. PETTIJHON. (1980). Rocas Sedimentarias. Trad. por Dr. JUAN TURNER 4^a ed. Editorial Universitaria de Buenos Aires

GÓMEZ DUARTE., S. MOLINAS. (2000). Contribución a las características del norte de la ciudad de Caazapá, Paraguay

GEOCONSULTORES. 1998. Potencial de Hidrocarburos en el Paraguay

GONZÁLEZ, M., BARTEL, W. (1998). Mapa Geológico de la República del Paraguay Escala 1:100.000: Hoja Coronel Oviedo 5469. MOPC-BGR. Texto Explicativo Asunción Paraguay

GONZÁLEZ, M., BARTEL, W. (1998). Mapa Geológico de la República del Paraguay Escala 1:100.000: Hoja Villarrica 5469. MOPC-BGR. Texto Explicativo Asunción Paraguay

HARRINGTON, H. J. (1950) Geología del Paraguay Oriental. Fac. Ci. Ex., Fis.
Mat., Contr. Cient., Ser. E., Geología

HOWELL WILLIAMS., FRANCIS, J. TURNER, CHARLES, M. GILBERT. (1970)
Introducción al Estudio de las Secciones Delgadas. University of California,
Berkeley

RAFAEL HERBST., VICTOR FILIPPI. (2011). Asterotheca en la Formación
Tacuary (Pérmico Superior) del Paraguay Oriental.

P. ORTIZ, E. MAYORAL., M. A. GUERRERO., E. GALÁN. (1995).
Caracterización Petrográfica y Geoquímica de las calizas de la Sierra de
Estepa (Sevilla) y Evaluación de la calidad técnica como materiales de
construcción.

V.J. FULFARO. (1996). Geología del Paraguay Oriental: Magmatismo Alcalino en
Paraguay Central-Oriental Relaciones con Magmatismo Coeval en
Brasil.

W. C. KRUMBEIN., L. L. SLOOS. 1963. Estratigrafía y Sedimentación. Trad. por
RAFAEL GARCIA DIAZ. 2^a ed. México: Unión Tipográfica Editorial
Hispano-Americana.

PONCE DE DE MAIO, M.B. 2000: Rocas y minerales industriales de Argentina en
Rocas y Minerales Industriales de Iberoamerica, CYTED

GAMBAUDO, S. 2003. La Acidez del Suelo en la Región Pampeana. pp: 193-216.
EN: Nielson, H y R. Sarudiansky (Ed.). Fertilizantes y Enmiendas de
Origen Mineral. Ediciones Panorama Minero. 283p