

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

Trabajo de Grado

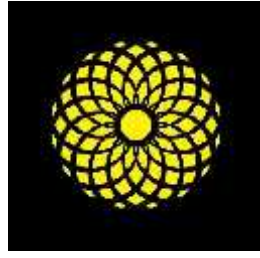
**GEOMORFOLOGÍA DEL DEPARTAMENTO DE
CORDILLERA, DEL PARAGUAY ORIENTAL**

ANALÍA GONZÁLEZ OLMEDO

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para aprobar la asignatura de Trabajo de Grado.

SAN LORENZO – PARAGUAY

JULIO- 2023



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

Trabajo de Grado

**GEOMORFOLOGÍA DEL DEPARTAMENTO DE CORDILLERA, DEL
PARAGUAY ORIENTAL**

ANALÍA GONZÁLEZ OLMEDO

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para aprobar la asignatura de Trabajo de Grado.

SAN LORENZO – PARAGUAY

JULIO- 2023

**GEOMORFOLOGÍA DEL DEPARTAMENTO DE CORDILLERA, DEL
PARAGUAY ORIENTAL**

Autor: ANALÍA GONZÁLEZ OLMEDO
Profesora: PROF. MSC. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DÍAZ
Orientador: LIC. CHRISTIAN COLMAN

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para aprobar la asignatura de Trabajo de Grado.

Fecha de aprobación: 12 de julio del 2023

MIEMBROS DE LA MESA EXAMINADORA DE TRABAJO DE GRADO:

Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruíz Díaz
Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici
Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba
Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

DEDICATORIA

A mis padres, César González y Mirian Olmedo.

A mis hermanos, Luis Alberto González Olmedo y Diana González Olmedo.

A mi abuelo que está en el cielo, Narciso González.

A mis abuelos Hilda Ortega, Bersabé Bazán y Juan Benito Olmedo.

AGRADECIMIENTO

Gratitud enorme a mi familia, en particular a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional y los esfuerzos detrás de éste logro.

Gracias a las amigas que me dio la carrera Maihara, Alma e Iris, por cada suerte antes de un examen y por las veces que le salvaron a ésta estudiante fuera de casa un poco la vida y la carrera.

Un profundo agradecimiento al Lic. Christian Colman, por su apoyo, tiempo y paciencia durante el proceso de éste trabajo.

A los profesores gracias por el acompañamiento durante todo el proceso de los años de la carrera.

Gratitud a cada persona que estuvo durante todo éste tiempo de vida universitaria.

GEOMORFOLOGÍA DEL DEPARTAMENTO CORDILLERA, ORIENTAL DEL PARAGUAY

Autor: ANALÍA GONZÁLEZ OLMEDO
Profesora: PROF. MSC. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DÍAZ
Orientador: LIC. CHRISTIAN COLMAN

RESUMEN

Las características geomorfológicas del Departamento de Cordillera presentan relación con los procesos fluviales y procesos de meteorización química subsuperficial, evidenciados en las grandes cantidades de geoformas indicadores de toda el área, que a través del procesamiento de modelos digitales de elevación (MED) y a partir de parámetros geomorfométricos se han identificados cuatro regiones geomorfológicas principales; 1-) Paisajes de posibles terrazas fluviales, 2-) Paisajes antiguos de Gondwana, 3-) Paisajes fluviales actuales y 4-) Paisajes de valles del Cuaternario.

Palabras claves: Geomorfología, geoformas, morfodinámicos, valles, fluviales, geomorfología antigua, terrazas.

GEOMORPHOLOGY OF THE CORDILLERA DEPARTMENT, EASTERN PARAGUAY

Author: ANALÍA GONZÁLEZ OLMEDO

Teacher: PROF. MSC. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DÍAZ

Counselor: LIC. CHRISTIAN COLMAN

ABSTRACT:

The geomorphological characteristics of the Department of Cordillera are related to fluvial processes and deep chemical weathering processes, evidenced by the large amount of geofoms distributed in the area of digital elevation models (DEM) and the application of parameters geomorphometrics, four main geomorphological regions have been identified; 1-) Landscapes of possible fluvial terraces, 2-) Ancient landscapes of Gondwana, 3-) Current river landscapes and 4-) Landscapes of Quaternary valleys.

Keywords: Geomorphology, geofoms, morphodynamic, valleys, fluvial, terraces.

INDICE

	Páginas
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del Problema:.....	2
1.1.1. Formulación del problema:	2
1.1.2. Preguntas específicas	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivos Generales:.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos:	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Hipótesis.....	3
1.5. Variables	4
1.6. Operacionalización de las variables	4
2. MARCO TEORICO	5
2.1. Marco Conceptual.....	5
2.1.1. Geomorfología	5
2.1.2. Agentes y procesos geomórficos	5
2.1.3 Los factores externos: procesos y sistemas morfogenéticos	6
2.1.4. Las rocas y su incidencia en la configuración del relieve	7
2.1.5. Sistema Fluvial	7
2.1.6. Acción geomórfica fluvial	7
2.1.7. Formas del relieve fluvial.....	8
2.1.8. Terrazas Fluviales.....	8
2.1.9. Geomorfología de paisajes antiguos	8
2.2. Antecedentes de Geomorfología en Paraguay.....	10
2.3. Geología del Paraguay	12
2.3.1. Paraguay Oriental.....	12
2.3.2. Geomorfología y Clima	12
2.4. Geología del Departamento de Cordillera.	14
2.4.1. Grupo Caacupé.....	14
2.4.2. Grupo Itacurubí.....	16
2.4.3. Formación Arroyos y Esteros	17

2.4.4.	Formación Coronel Oviedo.....	17
2.4.5.	Cuaternario.....	18
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
3.1.	Tipo de investigación.....	19
3.2.	Enfoque de investigación.....	19
3.3.	Nivel de Investigación	20
3.4.	El estudio considerando la secuencia de tiempo:	20
3.5.	Línea de investigación:	20
3.6.	Área de estudio:	20
3.7.	Universo.....	21
3.8.	Población	21
3.9.	Muestra	22
3.10.	Unidad de análisis.....	22
3.12.	Muestreo	22
3.13.	Instrumentos para recolección de datos.....	22
3.14.	Procedimiento de análisis	23
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	37
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
6.	BIBLIOGRAFÍAS	41
7.	ANEXOS.....	43

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
1. Mapa Geológico del Departamento de Cordillera.....	19
2. Mapa de Ubicación del Departamento de Cordillera.....	21
3. Mapa de Modelo Digital de Elevación.....	24
4. Mapa de Sombreado Analítico.....	25
5. Mapa de Aspecto.....	26
6. Mapa de Pendiente.....	27
7. Mapa de Longitud de Pendiente.....	28
8. Mapa de Índice de Convergencia.....	29
9. Mapa de Área de Captación Total.....	30
10. Mapa de Profundidad de Valle.....	31
11. Mapa de Geomorfología del Departamento de Cordillera.....	32
12. Boulders.....	35
13. Tors.....	36
14. Fracturas Poligonales.....	36
15. Descamación por Meteorización Esferoidal.....	37
16. Bloques Hendidos.....	38
17. Grupo de Caretones.....	38
18. Rocas Precariamente Equilibradas.....	39

LISTA DE TABLAS

	Páginas
1. Operacionalización de variables	4

LISTA DE ANEXOS

	Páginas
A. Vista del Cerro Ybytusilla	43
B. Vista del Cerro Ybytusilla.....	43
C. Vista del Cerro Kavaju.....	44
D. Vista del Cerro Kavaju.....	44
E. Vista del Cerro Naranjo.....	45
F. Vista del Cerro Tren.....	46
G. Vista del Cerro Tren.....	46

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

MDE:	<i>Modelo digital de elevación</i>
QGIS:	<i>Quantum GIS</i>
SAGA:	<i>System for Automated Geoscientific Analyses</i>
GOOGLE EARTH:	<i>Sistema de información geográfica</i>
SRTM:	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
m:	<i>Metros</i>
Km:	<i>Kilómetros</i>
°:	<i>Grados</i>
USGS:	<i>United States Geological Survey</i>
N:	<i>Norte</i>
S:	<i>Sur</i>
E:	<i>Este</i>
W:	<i>Oeste</i>
Km²:	<i>Kilómetros Cuadrado</i>
°G:	<i>Grados Celsius</i>
Cm:	<i>Centímetros</i>
μ:	<i>Medida de la cantidad de una sustancia</i>

1. INTRODUCCIÓN

El relieve de la superficie terrestre es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de las grandes elevaciones y depresiones y, las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a nivelar al relieve original. Esta modificación continua de los paisajes se manifiesta a diferentes escalas y ha sido un proceso continuo a lo largo de la historia de la Tierra. El resultado se manifiesta en la creación de un conjunto de modelados erosivos y deposicionales, que suelen presentar rasgos específicos (Gutiérrez, 1990).

La geomorfología del Paraguay Oriental presenta características bien definidas, caracterizado principalmente por sus paisajes de relieves suaves y ondulados, asociados a las áreas topográficamente más bajas, muchos de sus positivos se corresponden con mesetas que presentan concordancia de cumbre, configurando antiguos valles disectados del Gondwana y que actualmente se encuentran colgados topográficamente. Toda la Región Oriental presenta en líneas generales una red de drenaje dendrítica, y una hidrográfica drenada por los Ríos Paraguay y Paraná, estos últimos configurando en nivel de base local, según Iriondo y Brunetto, (2016).

En el Departamento de Cordillera algunos de los cerros más elevados se encuentran el Cerro Naranjo con elevación de 300 m. aproximadamente, el Cerro Ybytu Silla con elevación de 246 m., el Cerro Aguaity con elevación de 260 m., el Cerro Tren con elevación de 190 m. entre los muchos que se pueden mencionar. Estos cerros están compuestos principalmente por rocas sedimentarias.

El Departamento de Cordillera tiene una hidrografía marcada principalmente por una red de drenaje representados, por el Río Paraguay que cruza 33 km. al NW del Departamento, además de los otros como el Río Manduvirá que limita al Norte con el Departamento San Pedro; el Río Yhaguy es uno de su afluente, el Río Piribebuy que nace en una Compañía de Cordillera del Distrito de Piribebuy y cruza varios pueblos del Departamento y desemboca en el Río Paraguay, también se encuentra el lago Ypacarai que está formado por aguas de varios arroyos que desembocan en él.

1.1. Planteamiento del Problema:

1.1.1. Formulación del problema:

La escasa información referente a la geomorfología en el Paraguay, se encuentra reflejada en el poco conocimiento existente sobre los procesos geomórficos que modelaron la superficie actual, en asociación con factores paleoclimáticos posibilitaron el accionar de los agentes erosivos físicos y químicos que dieron como resultados, un sinnúmero muy amplio de geoformas erosivas fluviales y de meteorización química sobre las distintas unidades geológicas sedimentarias como ígneas.

El Departamento de Cordillera presenta una morfología marcada principalmente por procesos morfodinámicos fluviales y de meteorización química, representados por las zonas de planicies aluviales y del frente de meteorización química posteriormente exhumadas. Para la identificación de las áreas donde se encuentran los indicadores de los distintos procesos geomórficos, se utilizaron numerosas y variadas técnicas de procesamiento de modelos digitales de elevación (MDE) que nos permitió representar cartográficamente las distintas unidades geomorfológicas.

¿Qué características geomorfológicas presenta el Departamento de Cordillera? y ¿A qué procesos morfodinámicos modeladores de paisajes están asociados?

1.1.2. Preguntas específicas

¿Cuáles son las características geomorfológicas generales del área?

¿Cuáles son las distintas geoformas que se desarrollaron en las unidades geológicas?

¿Qué sistemas morfodinámicos modelaron las geoformas examinadas?

¿Presenta la red de drenaje en el área de estudio un control geomorfológico/estructural relacionada a las unidades litoestratigráficas?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General:

Caracterizar las unidades geomorfológicas del Departamento de Cordillera.

1.2.2. Objetivos Específicos:

Identificar las características de la morfología general del Departamento de Cordillera.

Analizar las distintas geoformas desarrolladas sobre las unidades geológicas del área de estudio.

Distinguir los sistemas morfodinámicos que modelan la superficie del área de estudio.

Determinar el grado de relacionamiento de la red de drenaje con las distintas unidades litoestratigráficas del área.

1.3. Justificación

Estudiar y conocer la relación del relieve de la superficie terrestre con los cambios que sufrieron gracias a procesos externos e internos, estos aspectos nos permiten identificar y caracterizar las distintas geoformas de acuerdo a la génesis de las mismas, ya que cada proceso o evento tiene una respuesta singular, siendo el proceso un agente modelador y la respuesta su forma resultante. En este caso, las geoformas identificadas en la zona del Departamento de Cordillera presentarán distintas morfogénesis, por lo que se caracterizan y distinguen de acuerdo a la morfología resultante con relación a un evento paleoambiental. De aquí la importancia y la relevancia de conocer los criterios necesarios sobre eventos morfodinámicos y los productos “geoformas” asociados.

1.4. Hipótesis

Hi: El Departamento de Cordillera presenta una morfología marcada por paisajes antiguos y fluviales Cuaternarios recientes.

Ho: El Departamento de Cordillera no presenta una morfología de zonas de paisajes antiguos y fluviales Cuaternarios recientes.

1.5. Variables

Dependientes: Red de drenaje, Terrazas Fluviales, Relieve.

Independientes: Unidades Litológicas.

1.6. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables
Fuente: Elaboración Propia

Variable (Nombre)	Definición	Dimensión	Indicadores	Técnicas para recepción de datos	Instrumentos
1. Relieve 2. Unidades litológicas 3. Drenaje 4. Terrazas Fluviales.	<p>1. La superficie sólida de la Tierra presenta de forma irregular y posee una serie de formas que se agrupan bajo el nombre de relieve terrestre</p> <p>2. Un cuerpo rocoso que ha sido definido e identificado en base a sus propiedades litológicas y relaciones estratigráficas</p> <p>3. Cualquier medio por el que el agua contenida en una zona fluye a través de cursos fluviales y de infiltraciones en el terreno</p>	<p>1. Estudio de las formas de la superficie terrestre.</p> <p>2. Estudio de las distintas litologías y sus características.</p> <p>3. Estudio de los patrones de drenaje, la forma de la red hidrográfica.</p>	<p>1. Diferentes formas del relieve, controlados por diferentes procesos geomorfológicos.</p>	<p>1. Cartografía Digital.</p> <p>2. MDE.</p> <p>3. Cartas geológicas.</p> <p>4. Trabajos previos de temas afines.</p> <p>5. Publicaciones sobre geología del Paraguay.</p> <p>6. Software.</p>	<p>1. Imágenes Satelitales SRTM (Misión Topográfica Shuttle Radar).</p> <p>2. Software SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses),</p> <p>3. Global Mapper, QGIS,</p> <p>4. Google Earth.</p> <p>6. Cartas Geológicas que abarcan la zona de estudio Hoja Caacupé 5470, Hoja Coronel Oviedo 5670, Hoja San José 5569 y Mapa Geológico del Área Central.</p>

2. MARCO TEORICO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Geomorfología

Gutiérrez (2008), define etimológicamente que la geomorfología deriva de las raíces griegas *geo* (Tierra), *morphos* (forma) y *logos* (tratado). Por lo tanto, esta ciencia se ocupa de la forma de la Tierra. Schumm (1991), define la geomorfología como la ciencia que estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y se encarga de las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos, implicando los sólidos, líquidos y gaseosos. Los efectos de la actividad humana son con frecuencia cruciales. Otros restringen la geomorfología al estudio de los rasgos del relieve subaéreo y algunos, por el contrario, lo extienden también a la morfología de los fondos marinos.

El relieve de la superficie terrestre es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras actúan como creadoras de las grandes elevaciones y depresiones, producidas fundamentalmente por movimientos verticales, y las segundas, como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado. Estos procesos de la dinámica externa se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación. El resultado se manifiesta en la creación de un conjunto de modelados erosivos y deposicionales, que suelen presentar rasgos específicos, en relación con los actuantes en los diferentes ambientes morfogenéticos. La energía necesaria para la actividad de estos procesos proviene de diferentes fuentes, según Gutiérrez (2008).

Muñoz, J., (1995), agrega que el relieve que observamos es el estado presente de la relación o interacción entre hechos, fuerzas y procesos que tienen su lugar en la litosfera (internos), fuerzas y procesos que se desarrollan fuera o por encima de esta esfera sólida dentro del ámbito de sus envolturas (externos).

2.1.2. Agentes y procesos geomórficos

Spikerman, J. P. (2010), menciona que los procesos geomórficos son todos los cambios físicos y químicos que determinan una modificación de la forma superficial de la Tierra. Agente o acción geomórfica es cualquier medio natural capaz de obtener y transportar materia de la tierra, por ejemplo, el agua, los glaciares, el viento, las mareas, etcétera. Estos agentes y los procesos por ellos realizados tienen lugar en el exterior de la corteza terrestre y por ello se los denomina exógenos, en oposición a los endógenos que tienen origen en el

interior del planeta (magmatismo, diastrofismo, metamorfismo). Normalmente los procesos endógenos son constructivos de las formas del relieve terrestre, mientras que los exógenos son destructivos (estos conceptos son relativos ya que por ejemplo un río que en su accionar erosivo, destruye formas preexistentes, puede construir terrazas fluviales). Desde el punto de vista de la geomorfología, en todos estos procesos, se tiene en cuenta la posterior erosión y el relieve “final” característico cuya fuente energética principal es la solar que mueve la hidrosfera y la atmósfera sobre la litosfera.

Dentro de los procesos exógenos debemos tener en cuenta que la mayoría de los agentes geomórficos se originan dentro de la atmósfera terrestre y están regidos por la fuerza de la gravedad y la fuente de energía motora principal es el Sol. En este ambiente ocurren procesos gradacionales que son aquellos que tienden a llevar a la superficie terrestre a un nivel común.

De no mediar los fenómenos endógenos, creadores de formas de relieve (p.e. las montañas) los efectos exógenos habrían nivelado la superficie del planeta, de tal manera que el paisaje que vemos, tanto subaéreo como subacuático son el resultado del equilibrio entre la acción endógena y la exógena.

2.1.3. Los factores externos: procesos y sistemas morfogenéticos

Muñoz, J., (1995), expone que en la elaboración del relieve terrestre y en la determinación de sus caracteres no intervienen sólo hechos o procesos relacionados con la estructura y la dinámica de la litosfera, sino que concurren acciones ligadas a elementos y fuerzas exteriores a la corteza terrestre. Estas acciones, desarrolladas sobre los afloramientos rocosos dispuestos conforme a pautas tectónicas, modelan el relieve mediante el desplazamiento de “partículas” del exterior de la estructura geológica, habiendo recibido genéricamente el nombre de erosión. Las acciones desarrolladas sobre la superficie de la litosfera consisten tanto en un accionamiento de partículas (es decir, en un descohesionamiento o arrancamiento de componentes de las rocas aflorantes), como un desplazamiento o transporte y en un acumulación o sedimentación de las mismas, procesos que en modo alguno pueden considerarse destructivos. Estas acciones geomorfológicas externas, a las que en la actualidad se denomina procesos de modelado o procesos morfogenéticos, reciben su energía de dos fuentes principales, la gravedad y la radiación solar, conocidas como fuerzas externas, y son llevadas a cabo por una amplia serie de agentes de modelado correspondientes a la atmósfera (el oxígeno del aire, el viento, los cambios de la

temperatura, la lluvia, etc.), a la hidrosfera (las corrientes, el oleaje, la arroyada, los ríos, etc.) y la biosfera (los microorganismos, los productos de la actividad orgánica, las plantas, el hombre, etc.). Estos procesos morfogenéticos externos, presentan muy diferentes niveles de complejidad y notables diferencias en su escala de actuación y desempeñan diferentes funciones geomorfológicas.

2.1.4. Las rocas y su incidencia en la configuración del relieve

Muñoz, J., (1995), enuncia que la estructura geológica, es decir el conjunto de materiales del exterior de la corteza sobre el que se modela el relieve, influye en los caracteres y en la génesis de éste, por medio de la naturaleza y los caracteres físico-químicos de los materiales que la forman y, de otro, por medio de la disposición que dichos materiales presentan como consecuencia de la actuación de las fuerzas tectónicas.

La litología se define como material o conjunto de materiales que forman la estructura geológica e influye en el relieve a través de su naturaleza, de sus caracteres mecánicos, físicos y químicos y de su forma de yacimiento. Como todos los que constituyen la corteza terrestre, los materiales de las estructuras geológicas son rocas, es decir, asociaciones estables de minerales dotadas de mayor o menor resistencia frente a la acción de los agentes externos y de mayor o menor plasticidad ante los esfuerzos tectónicos.

2.1.5. Sistema Fluvial

Gutiérrez, M. (2008), expresa que el sistema se puede definir como una combinación significativa de cosas que forman un conjunto complejo, con conexiones, interrelaciones y transferencias de energía y materia entre ellos. En el caso de sistema fluvial no solo implica a los canales Fluviales, sino también al conjunto de redes de drenaje y zonas de sedimentación de abanicos aluviales, deltas, también a las escorrentías y sedimentos de ladera.

El sistema fluvial cambia con el tiempo, debido a la actividad de los procesos erosivos y de sedimentación, y también responde a los cambios climáticos, modificaciones del nivel de base, tectónica cuaternaria y actividades humanas.

2.1.6. Acción geomórfica fluvial

Spikerman, J. P. (2010), explica que el agua corriente es el agente más efectivo de los procesos gradacionales. Los ríos normalmente transportan al mar el producto de la meteorización. Los procesos de meteorización y erosión actúan normalmente juntos y en

ellos el agua juega un papel preponderante. El efecto final resultante de una corriente de agua es la acumulación de sedimentos y la elaboración de un relieve característico. En dicho efecto han actuado previamente, la meteorización (alteración de la roca “in situ” por acción de agentes físicos y químicos), erosión (arranque de los materiales y su entrega al medio de transporte), el transporte y la depositación.

2.1.7. Formas del relieve fluvial.

Spikerman, J. P. (2010), explica que los ríos desarrollan formas erosivas y acumulativas que son características, entre ellas citamos:

Valles: son formas de relieves negativas, labradas por aguas corrientes, de tamaño y aspectos variables, ocupados por ríos permanentes o temporarios. En el desarrollo de un valle fluvial actúan tres procesos:

Profundización: existe predominio de la erosión vertical sobre la lateral.

Ensanchamiento: existe predominio de erosión lateral.

Alargamiento: producido por erosión retrocedente, (1) meandros (2) o avance de sus terminales (3) ascenso o descenso del terreno.

2.1.8. Terrazas Fluviales

Gutiérrez, M. (2008), enuncia que las terrazas fluviales son partes de llanura de inundaciones que están por encima del nivel máximo de las aguas de un río, como resultado de la incisión del mismo. La terraza fluvial es una superficie plana formada por un relleno y un escarpe y suele aplicarse el término de terraza a ambas morfologías. La terraza buza suavemente hacia aguas abajo, a no ser que esté afectada por movimientos tectónicos. Las llanuras de inundación son relativamente planas, constituidos por aluviones, que se desarrollan entre el río y los márgenes del valle. La anchura de las llanuras de inundación es variable y depende del tamaño del río, de la velocidad de erosión y de la resistencia del material rocoso de las paredes del valle.

2.1.9. Geomorfología de paisajes antiguos

Según Rabassa, J. (2020), menciona que no todo el paisaje es cuaternario, sino que hay elementos del paisaje que son mucho más antiguos. Se trata de una morfología ubicada en zonas estables de la corteza terrestre, en las zonas de alta movilidad cortical estos paisajes

no pueden sobrevivir. Es una problemática de meteorización química profunda asociada a altas temperaturas y a gran disponibilidad de agua en el ambiente.

Rabassa, J. (2010), manifiesta que el concepto de “Paisaje Gondwánico” fue definido como un “paisaje antiguo” compuesto por “series de remanentes de planicies” que “registran trazas de episodios de planación más antiguos”, durante el “Mesozoico tardío (localmente Jurásico o Cretácico)”. Este conjunto ha sido apareciendo extensivamente en Australia, Africa del Sur, y las áreas cratónicas de América del Sur. Estos paleopaisajes fueron generados cuando el antiguo supercontinente de Gondwana estaba todavía unido y condiciones tectónicas similares en sus fragmentos a la deriva han permitido su preservación. Estas superficies de planación gondwánicas son características de regiones cratónicas, las cuales han sobrevivido en el paisaje sin ser cubiertas por sedimentos marinos a lo largo de tiempos muy prolongados, habiendo sido expuestos a paleoclimas extremadamente húmedos y cálidos de naturaleza “hiper-tropical”, con suelos permanentemente saturados de agua, o quizás climas paleomonzónicos extremos, con fluctuaciones cíclicas o estacionales, desde extremadamente húmedos a extremadamente secos. La meteorización química profunda es el proceso geomorfológico dominante, con el desarrollo de perfiles de meteorización. Los procesos geomorfológicos incluyen asimismo pediplanación extensiva bajo climas húmedos/semiáridos y/o cambiantes estacionalmente. Finalmente, su evolución continuó con remoción fluvial de los productos de deflación y procesos hidroeólicos en las áreas con ambientes semiáridos o de intensa estacionalidad climática. Los productos finales del paisaje de estos sistemas de meteorización profunda/pediplanación son las superficies de planación, planicies grabadas, compuesta por *inselbergs*, *bornhardts*, remanentes de duricostras que cubren mesetas, pedimentos asociados, paisaje de granitos meteorizados, etc.

2.1.9. Meteorización química subsuperficial

Muñoz, J., (1995), expresa que el contacto de las rocas con el medio ambiente externo en la superficie terrestre no solo se traduce en su ruptura o desagregación, sino que con mucha frecuencia los elementos de dicho medio ambiente dan lugar a su descomposición, transformando los afloramientos rocosos en formaciones superficiales diferentes del material lítico originario no solo con compacidad y resistencia, sino también en composición mineralógico.

2.1.10. Geformas mayores y menores relictuales asociadas

Vidal Romaní y Twidale (1998), plantean que realmente muchas de las formas del paisaje y conjuntos de formas que se desarrollan sobre las rocas son lo suficientemente distintivas como para permitir con una gran probabilidad de éxito identificar los afloramientos a gran distancia o por teledetección. Bolos y *bornhardts*, *koppjes* y *nubbins*, así como toda una serie de formas menores, principalmente características como pilas y acanaladuras, son típicas de las rocas.

2.2. Antecedentes de Geomorfología en Paraguay

Iriondo, M., (1993), realizó un trabajo sobre la Geomorfología y Cuaternario tardío del Chaco, donde menciona que es una gran isla tropical localizada en Sudamérica, caracterizadas por bosques, sabanas y grandes pantanos y marcado por un clima y biográfica único.

Colmán *et al.* (2019), describieron la geomorfología de la ciudad de Asunción donde se elaboró un mapa planialtimétrico, utilizando el programa Surfer 8, evidenciándose pequeñas colinas onduladas con pendientes suaves, los cuales son producto de la intensa erosión fluvial del Cenozoico, que también se corrobora regionalmente.

Gadea, M. *et al.* (2018), argumentaron que el Cabo Itá Pytã Punta está asociado al río Paraguay, por ende, se lo considera relacionado genéticamente con el modelado fluvial del río, sin embargo, el emplazamiento del cabo no es concordante con la dirección del flujo, y que la geoforma corresponde a un arco natural inconcluso y observado desde ambos perfiles laterales, demuestra una similitud relativa con un “Cráneo de Elefante”, geoforma que señala ciclos intermedios de evolución de un arco natural, además de la pequeña hendidura o gruta, inferida bajo una erosión selectiva marítima en la base de sus flancos y posterior conexión entre ambas por socavamiento lateral continuo del material. Esto lo podemos inferir debido al poco lapso temporal de permanencia del Mar Chaqueño (Mioceno Medio - Superior) y su consiguiente acción de modelado litoral en la región.

2.2.1. Antecedentes de paisajes antiguos en Paraguay

Sarubbi, Y. *et al.* (2019), menciona que en el noreste del Paraguay Oriental existen notables morfologías naturales que, además, de su valor escénico, tienen un alto valor científico y educativo. El origen de estas serranías, que, desde el punto de vista geomorfológico, corresponden con “montes isla” y “superficies de planación”, está asociado

a condiciones ambientales muy distintas a las actuales que imperaron en la región hace millones de años, en el pasado geológico. Las geoformas de interés coinciden con mesetas, *buttes* y montes isla, distribuidas en una superficie cercana a los 1000 km², que son los restos de antiguas y extensas superficies de planación, cuya reconstrucción implica retroceder en el tiempo geológico decenas de millones de años, a una época en la cual las condiciones ambientales eran en extremo distintas a las del presente.

Colman *et al.* (2018), mencionan que Caapucú es una ciudad ubicada en el Paraguay Oriental, que se halla emplazada sobre un campo de núcleos de roca o *corestones* de gran extensión, constituyendo uno de los pocos ejemplos geomorfológicos urbanos de este tipo. El gran tamaño de los bloques no permite aceptar que su buen grado de redondeamiento se deba a procesos de transporte y erosión. Se interpreta que este característico rasgo superficial se debe a meteorización química profunda, probablemente bajo condiciones ambientales más cálidas y húmedas que las actuales y que estos afloramientos de granito representan un antiguo frente de meteorización. El paisaje actual, sobre el cual se ha fundado la ciudad de Caapucú, sería el producto, entonces, de alteración química y profunda de la roca, quizás durante el Mesozoico, y su posterior exhumación, durante el terciario, lo que habría favorecido la movilización de la cubierta meteorizada probablemente hacia la Cuenca Chaco-Paranaense y la exposición de la roca fresca inalterada.

2.2.2. Antecedentes de Geomorfología Fluvial en Paraguay.

Edmundo, (1975), presenta un Mapa Geomorfológico de la llanura aluvial del Río Paraguay Inferior, presenta una interpretación de las fotografías aéreas escala 1:35.000 y 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar completadas con las cartas de navegación escala 1:50.000 del Servicio de Hidrología Naval, en dicho trabajo se describe la zona mapeada; la diferenciación de las distintas unidades geomorfológicas, la llanura aluvial del Paraguay inferior presenta las características de llanuras compuestas, es decir, integrada por llanura de bancos, llanura de meandros antiguos y llanura con avenamiento impedido.

Otro trabajo que podemos mencionar es del El Paraná, un Río y su Historia Geomorfológica por el Ing. Dr. Eliseo Popolizio, en el cual se ha trabajado sobre la bibliografía y cartografía existente en Argentina, Brasil y Paraguay, así como en numerosas observaciones y trabajos de campaña y en la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, describe la historia geomorfológica del río Paraná y sus desplazamientos a lo largo

del tiempo, desde el Terciario superior hasta la actualidad y su posible comportamiento futuro, teniendo en consideración el Cambio Climático Global y la influencia antrópica.

2.3. Geología del Paraguay

2.3.1. Paraguay Oriental

Fulfaro (1996), expresa que la República del Paraguay en Sur América central posee un área de 406.752 Km² y es dividido por el río Paraguay en dos grandes partes tradicionalmente denominados Paraguay Occidental (Gran Chaco) al oeste y el Paraguay Oriental al este, que son totalmente diferentes en geomorfología, geología, suelos, vegetación y clima.

Harrington (1950), trabajando en el Paraguay Oriental y de forma general caracteriza a este como una superficie de relieve suave con altura media sobre el nivel del mar.

La región Oriental está drenada por los ríos Paraguay y Paraná. La divisoria entre las cuencas de los dos grandes colectores penetra en Paraguay, desde el estado brasileño Mato Grosso.

Castillo, A. (1986), menciona que se trata de una región peculiar desde el punto de vista geológico, ya que su evolución está, en parte, relacionado al Cuenco de Paraná y, en parte, relacionado al Cuenco del Chaco, con características genéticas bastantes diferentes entre sí. La Cuenca de Paraná es, actualmente, considerada como una cuenca intracontinental, más energética, cratónica, compuesto tipo 2, es decir, complejo 2 A.

2.3.2. Geomorfología y Clima

Castillo (1986), expresa que el Paraguay Oriental representa el 40% del territorio nacional, presenta características geomorfológicas bien definidas y bien distintas de Paraguay Occidental o Chaco Boreal. Está formada por centenas de laderas bien drenadas, en cuanto que la Región Occidental es, prácticamente, libre de ríos, en virtud de bajas lluvias y condiciones de subsuperficies preferencialmente de sedimentos limo-arcillosos; aproximadamente 3.000 m. de sedimentos cenozoicos recubren grandes partes de esa región.

Iriondo y Brunetto (2016), discriminan a la geomorfología y las formaciones geológicas de las dos grandes regiones que presentan un gran contraste. Siendo el Paraguay Oriental, dominado por un paisaje antiguo de mesetas compuestas por rocas cretácicas; en el sector de llanura del sur han sedimentado arenas cuarzosas originadas en rocas antiguas del

Escudo Brasileño y de areniscas cretácicas. Este mismo autor menciona que, en líneas generales al Paraguay Oriental se puede dividir en dos unidades geomorfológicas principales, “Paleosuperficies y Valles Menores”, asociando principalmente a la Meseta Basáltica Paranaense (MBP), como una combinación de la preservación de un paisaje heredado antiguo, labrado sobre las paleosuperficies de Gondwana del Cretácico y la dinámica geomorfológica del Cuaternario.

King (1956), plantea que asociado a la Meseta Basáltica Paranaense (MBP), identificó cuatro niveles de paleosuperficies para el sur de Brasil y comparó con las paleosuperficies que identificó previamente en África, niveles que representan ciclos de erosión a escalas regionales de distintas edades: 1) Superficie Gondwánica (Cretácico Superior); 2) Superficie Sul-americana (Terciario Inferior); 3) Superficie de Velhas (Terciario Superior) y 4) Superficie de Paraguaçu (Plio-pleistoceno). Posteriormente (Kröhling *et al.*, 2011), confirmó la existencia para el sur de Brasil y noreste argentino la presencia de ocho (8) niveles de paleosuperficies, de los cuales cinco (5) son correlacionables al Paraguay Oriental de forma indirecta; Paleosuperficie 4 (110 – 165 m.s.n.m.), Paleosuperficie 3 (165 – 256 m.s.n.m.), Paleosuperficie 3b (256 – 436 m.s.n.m.), Paleosuperficie 2 (436 – 676 m.s.n.m.) y Paleosuperficie 2b (676 – 883 m.s.n.m.).

Los valles Cuaternarios en el Paraguay Oriental están caracterizados por presentar un desarrollo de sistemas sedimentarios acumulados por: 1) el Río Paraguay, 2) por el Río Bermejo, localizado en el sector distal del mega-abanico generado por las Sierras Subandinas y 3) por el Río Paraná y la depositación del mega-abanico aluvial de la Formación Ituzaingó desde el este. (Iriando y Brunetto, 2016).

Terrazas fluviales asociadas a distintos sistemas fluviales del Río Paraguay han sido reportados por Iriando y Brunetto (2016), geoformas erosivas correlacionadas a la Formación San Antonio (Palmieri y Velázquez, 1982), identificada tanto en el norte, como en el sur de la Región Oriental, desde la Ciudad de Concepción hasta la Ciudad de Pilar y también en correspondiente al registro de la sección superior de la Formación San Antonio.

Castillo (1986), menciona que, entre los accidentes topográficos de la región, se destacan, al norte, un macizo cristalino central, que tiene márgenes de formaciones sedimentarias. En la parte central, están los Altos de San Joaquín, de Ybyturuzú, de San

Rafael, y éste último está la culminación de Paraguay, con 850 m. de altitud. La altitud media de Paraguay Oriental es de 250 m.

Fisiográficamente, según Harrington (1950), el Paraguay Oriental puede ser dividido en cuatro áreas distintas: Norte, Oriental, Central y Sur, cuyos límites no están muy bien definidos.

El Paraguay Oriental presenta clima subtropical, suavizado por la abundante vegetación, vientos suaves y lluvias frecuentes. La temperatura media anual es de 23°C. Los meses de mayor precipitación de lluvias son de abril, junio y octubre. Los meses más secos son mayo, julio y agosto. La lluvia media anual es de 1.500 mm., variando de 600 mm., al oeste, hasta 2.000 mm., al este de la región.

2.4. Geología del Departamento de Cordillera.

El Departamento de Cordillera se sitúa en el centro oeste de la Región Oriental, limita al Norte con San Pedro, al Sur con Paraguairí, al Sur este con Caaguazú y al Noroeste con Presidente Hayes que se divide con el río Paraguay, comprende una superficie de 4948 km² y se caracteriza por llanuras y grandes esteros y por afloramientos de rocas antiguas más elevadas.

Está comprendida por las siguientes unidades litológicas:

2.4.1. Grupo Caacupé

Las tres formaciones del Grupo Caacupé constituyen la secuencia clástica más gruesa del evento marino transgresivo del Ordovícico/Silúrico.

Este Grupo ha sido descrito por Harrington (1950) como Serie Caacupé, dividiéndolo en conglomerado Paraguairí y areniscas Piribebuy. Harrington (1956) cambia la denominación anterior por Grupo Caacupé, y Harrington (1972) subdivide al grupo en tres unidades:

2.4.1.1. Formación Paraguairí

Consiste en un paquete sedimentario clástico, formado principalmente de conglomerado con intercalaciones de areniscas arcósicas, las cuales son más frecuentes en la

parte superior de la formación, siendo ésta la característica transicional a la unidad superior. (Dionisi, A., 1999).

Litológicamente estos conglomerados son oligomícticos y se caracterizan por poseer clastos de cuarzo de veta predominantes y en menor proporción clastos de pórfido cuarcífero. Los clastos se presentan generalmente redondeados a esféricos. (Dionisi, A., 1999).

Las arcosas constituyen componentes litológicos menores asociadas a los conglomerados, de granulometría mediana a gruesa, mal seleccionados, presentan estratificación cruzada acanalada. (Dionisi, A., 1999).

2.4.1.2. Formación Cerro Jhu

Estos sedimentos poseen una faja de afloramientos paralelo a los conglomerados de la Formación Paraguairí, con lo cual tienen un contacto concordante y gradado. (PAR 83/005, 1986).

Las areniscas de esta formación presentan estratificaciones cruzadas a subparalela muy característica, y con gran variedad de colores, se lo encuentra frecuentemente con proceso de lateritización. Cuando no están lateritizados son friables y de aspecto sacaroidal, debido a su composición cuarzosa y ausencia de matriz. (PAR 83/005, 1986).

2.4.1.3. Formación Tobatí

Está constituida por areniscas friables y también sacaroides, a veces un poco carbonáticas en forma de capas aparentemente macizas. En detalle presenta estratificación en láminas, frecuentemente parte de estratificaciones cruzadas de gran tamaño y ángulo bajo. Las areniscas presentan granulación entre 350-500 μ , bien seleccionadas, pero poco redondeadas. (PAR83/005, 1986).

En los afloramientos estas areniscas presentan fuerte silicificación, lo que causa resistencia a la erosión. La infiltración del agua superficial pasa por la fractura permitiendo la separación de bloques y la formación de escarpas. El ambiente deposicional atribuido a esta formación es marino somero. (PAR83/005, 1986),

2.4.2. Grupo Itacurubí

Aflora en una faja de dirección NW-SE paralela a la orientación de los afloramientos del Grupo Caacupé. El grupo está dividido en tres formaciones según (PAR83/005, 1986):

2.4.2.1. Formación Eusebio Ayala

Están constituida por areniscas en capas de 10 cm. a 15 cm. de espesor y lutitas en alternancia rítmica. Las areniscas presentan granulación fina y son frecuentemente micáceas. Las capas de lutitas están constituidas por una mezcla entre limo y arcilla en proporción variada. Las capas de areniscas, próximo al contacto basal con la Formación Tobatí, debido al carácter transicional del contacto, presenta aspectos sacaroides. El contacto superior con la Formación Vargas Peña es igualmente transicional. Esta unidad posee 200 m. de espesor.

La asociación de graptolites y trilobites atribuye a esta formación un origen en ambiente marino somero, próximo a la orilla del mar, con lagunas, barras de arena y sedimentación costera.

2.4.2.2. Formación Cariy

Está constituida por areniscas cuarzosas y feldespáticas de grano fino a medio, en capas macizas con estratificaciones cruzada e intercalaciones de lutitas y areniscas micáceas de grano fino. Su contacto inferior transicional con la Formación Vargas Peña y el superior está presumiblemente en discordancia erosional con las capas sedimentarias de edad carbonífera. En superficie el contacto de la secuencia sedimentaria del Ordovícico/Silúrico con las unidades del Permo-Carbonífero, es por falla. El espesor máximo de ésta unidad es de 100 m. Los fósiles presentes atribuyen a ésta unidad un ambiente deposicional marino cerca de la línea de la costa, en bahías o golfos.

2.4.2.3. Formación Varga Peña

Presenta pobres y escasos afloramientos. Aparecen como lutitas micáceas blancas a veces teñidas de amarillo, pardo y rojo. El máximo espesor de ésta formación es de 80 m. al W del valle de Ypacaraí, donde la secuencia se encuentra fallada con buzamiento entre 25° y 40° hacia el SW. Al este del mismo valle no sobrepasa los 20 m.

La asociación fosilífera, presente en esta secuencia, sugiere un ambiente marino somero, nerítico proximal a la orilla del mar, en ensenadas y golfos, con fuerte influencia continental.

2.4.3. Formación Arroyos y Esteros

Harrington (1950), lo describió como arenisca friable, poco cementadas, color amarillo a rosado, de granulometría gruesa, con intercalaciones de arcillas y areniscas conglomerádicas. Dyck (1991), observó similitudes litológicas entre sedimentos del área de Arroyos y Esteros y las areniscas de Tobatí, atribuyendo tectonismo al posicionamiento de uno con respecto a otro.

Las rocas de la Formación Arroyos y Esteros afloran en una faja continua e irregular, en dirección NW-SE. Este conjunto de rocas consiste de areniscas de grano medio a grueso, con formas subangulares a subredondeados, contacto sutural y longitudinal, de selección moderada a pobre.

En las proximidades de la localidad de Aceval la Formación Arroyos y Esteros se halla constituida por areniscas de granulometría media a gruesa, conteniendo niveles de areniscas conglomerádicas, con cantos rodados. Las areniscas en ocasiones son friables en sus niveles inferiores, las mismas presentan estratificación cruzada, o bancos macizos.

Estas areniscas son intercalaciones como depositadas en ambiente eólico y fluvial costero con influencia marina lateral.

2.4.4. Formación Coronel Oviedo

Según el Proyecto (PAR83/005, 1986), posee una faja de afloramientos entre 5 km. y 35 km. de ancho, frecuentemente cortados por sedimentación de edad Cuaternaria. La Formación Coronel Oviedo está constituida por diamictitas, lutitas, areniscas y ritmitas del tipo Varvitas. Algunos niveles de diamictitas, indican sedimentación de origen en tills supra-glaciales presentando una matriz de granulación fina, cantos distribuidos de manera aleatorio y lentes de areniscas convulsionadas. Estos afloramientos parecen representar un periodo de sedimentación en ambiente glacial.

La estratificación de la formación Coronel Oviedo se complica debido al intenso movimiento estructural en casi todos sus contactos.

Sus exposiciones en superficie son frecuentemente limitadas por fallamientos y hacia el NW, en dirección al valle del Río Tebicuary, está totalmente cubierta por sedimentación cuaternaria asociada a una gran planicie aluvial de este río y sus afluentes. De esta manera, se cree que gran parte del área de afloramientos, solamente existe el techo de esta formación.

2.4.5. Cuaternario

Fueron descritas en el Texto Explicativo de la Hoja de Caacupé, Dionisi, A., (1999):

2.4.5.1. Sedimentos aluviales y coluviales

Estos sedimentos ocupan gran extensión en el área, circundando áreas elevadas, principalmente formando depósitos de pie de monte, y como suelos transportados y redepositados en zonas bajas.

Los suelos se presentan conglomerádicos, arenosos y en hasta arcillosos, dependiendo del tipo de roca de proveniencia. El sedimento de pie monte de la Cordillera de los Altos se presentan arenosos gruesos a conglomerádicos, mientras los depósitos del SE de la misma presenta arenoso medio a grueso.

El espesor de éstos sedimentos se ajusta a la topografía del terreno en el cual se deposita, por lo que presenta muy variado espesor.

2.4.5.2. Sedimentos de planicie

Estos suelos son producto de alteración de las rocas circundantes, redepositadas como relleno de las planicies y material de colmatación de los drenajes actuales. Los primeros son arcillosos, con alto contenido de materia orgánica y los segundos son arenosos y constituyen el material de arrastre, producto de la erosión de las áreas

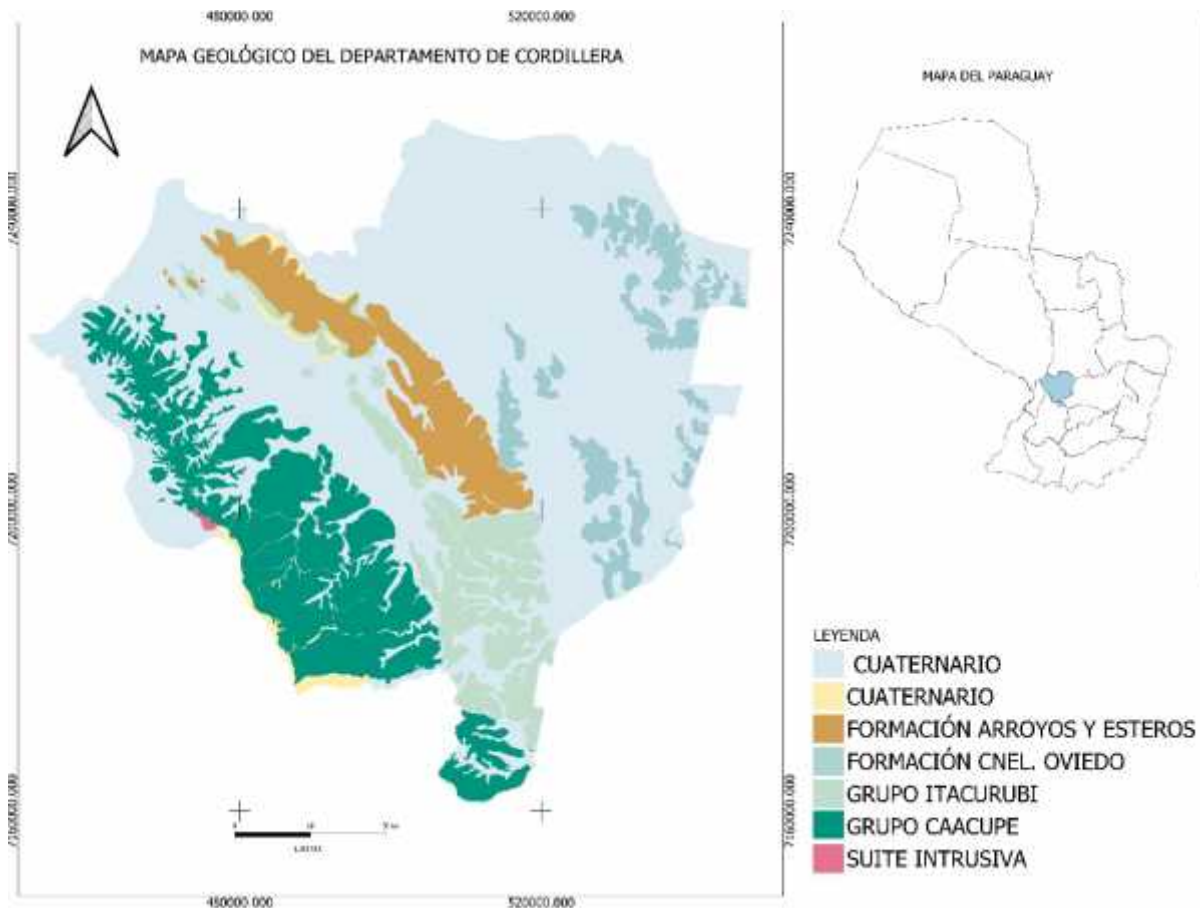


Figura 1: Mapa Geológico del Departamento de Cordillera
Fuente: Elaboración Propia

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

Descriptivo: el trabajo tiene un alcance descriptivo por lo que buscó especificar propiedades y características importantes de los fenómenos analizados. Se investigó además describir las unidades geomorfológicas de la zona de estudio.

Hernández, *et. al.* (2014), señala que la meta del investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan.

3.2. Enfoque de investigación

Cualitativo: el trabajo se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica, como descripciones y observaciones. Consiste en recolectar informaciones y resultados mediante la observación y descripciones de recursos de teledetección.

Hernández, *et. al.* (2014), señala que el enfoque cualitativo utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación.

3.3. Nivel de Investigación

Nivel descriptivo: el trabajo alcanza un nivel descriptivo por que procura brindar una buena percepción del funcionamiento de los fenómenos estudiados e indicar las características de los mismos.

Hernández, *et. al.* (2014) menciona, prefigurar, los estudios descriptivos son útiles para mostrar con precisión las dimensiones de un fenómeno. En esta clase de estudios el investigador debe ser capaz de definir, o al menos visualizar, qué se medirá y sobre qué o quiénes se recolectarán los datos.

3.4. El estudio considerando la secuencia de tiempo:

Es un estudio de corte transversal porque para el trabajo se recolectó datos en un solo momento, en un tiempo único.

Hernández, *et. al.* (2014), señala que su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

3.5. Línea de investigación:

Según el Acta N° 14 (S.L. 22/07/2017) Resolución N°0363-2016 de la Universidad Nacional de Asunción la línea de investigación corresponde a Recursos Geológicos.

3.6. Área de estudio:

Como se observa en la figura 2, el Departamento de Cordillera se sitúa en el Centro Oeste de la Región Oriental, limita al Norte con Departamento de San Pedro, al Sur con el Departamento Paraguairí, al Sur este con el Departamento de Caaguazú y al Noroeste con el Departamento de Presidente Hayes con el río Paraguay como divisoria, comprende una superficie de 4948 km². Los accesos principales al departamento son por la Ruta Py. 02 y 03.

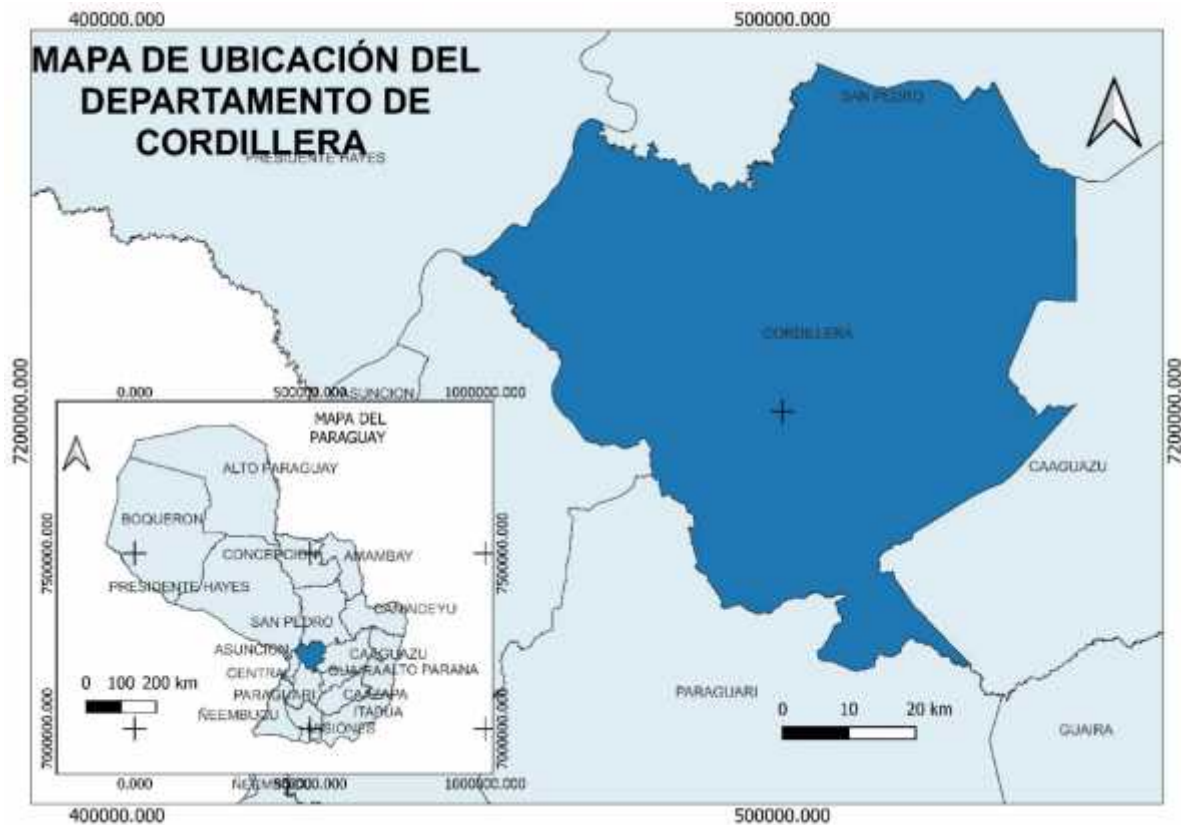


Figura 2: Mapa de Ubicación del Departamento de Cordillera.
Fuente: Elaboración Propia

3.7. Universo

Departamento de Cordillera.

3.8. Población

Características geológicas: litología.

Las características hidrográficas: lagos, ríos y sus afluentes.

Elevaciones: zonas altas y planicies.

3.9. Muestra

Las unidades geológicas, el relieve, la red de drenaje, los valles fluviales, las terrazas fluviales.

3.10. Unidad de análisis

En este proyecto la unidad de estudio es la Geomorfología General del Departamento de Cordillera, las características principales, las geoformas en cada unidad litológica, las dinámicas responsables modeladores, el comportamiento de la red de drenaje y las posibles terrazas fluviales.

3.12. Muestreo

De acuerdo a los modelos de elevación digital (MDE) se consigna como tipo de muestreo no probabilístico intencional o por conveniencia, de acuerdo a los datos obtenidos muestra aquello de lo que se podría conocer como seguro y se pueda considerar una muestra de credibilidad.

Los datos obtenidos del muestreo son las que se considerarían como las unidades geomorfológicas del Departamento de Cordillera, se empleó un modelo de elevación digital (MDE), *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)* de 12,5 m. descargado de la página *USGS (United States Geological Survey)*, se analizó y se cortó de acuerdo a la zona de estudio en el *software QGIS*. Para obtener los datos, se procesó la imagen en el *software de SAGA QGIS*, obteniendo diferentes resultados de la zona, como el relieve, las estructuras, los causes hídricos, etc.

Después de procesar los datos y analizar, se obtuvieron los resultados finales que ayudaron a distinguir de las distintas unidades geomorfológicas de la zona de estudio.

3.13. Instrumentos para recolección de datos

- Bibliografías recolectadas de diferentes autores.
- *USGS (United States Geological Survey)*
- Modelo de elevación digital *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)*.
- *Software SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses)*.
- *Software Global Mapper*.

- *Software QGIS.*
- *Google Earth.*
- Cartas Geológicas que abarcan la zona de estudio Hoja Caacupé 5470, Hoja Coronel Oviedo 5670, Hoja San José 5569 y Mapa Geológico del Área Central.
- *GPS.*

3.14. Procedimiento de análisis

- Trabajo de Gabinete

1. Recopilación de datos bibliográficos por el cual se obtuvo toda la información posible de la zona de estudio, informes, mapas geológicos y topográficos.
2. Procesamiento del modelo de elevación digital y selección del mismo, por el cual se obtuvieron una mejor calidad de información y las características principales de la zona de estudio.

- Trabajo de Campo

1. Se realizaron previos análisis y una ruta de los puntos a visitar para mejor manejo.
2. Se seleccionaron los puntos visitados y se clasificaron las distintas geoformas que puedan presentar.
3. Se anotaron los puntos de ubicación y realizaron una descripción de lo que se observa en el campo.

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados del procesamiento por SAGA QGIS (Geomorfometría)

A partir del procesamiento de modelos digitales de elevación (MDE) de 12,5 metros de resolución espacial se generaron imágenes que fueron utilizadas para la confección del mapa geomorfológico.

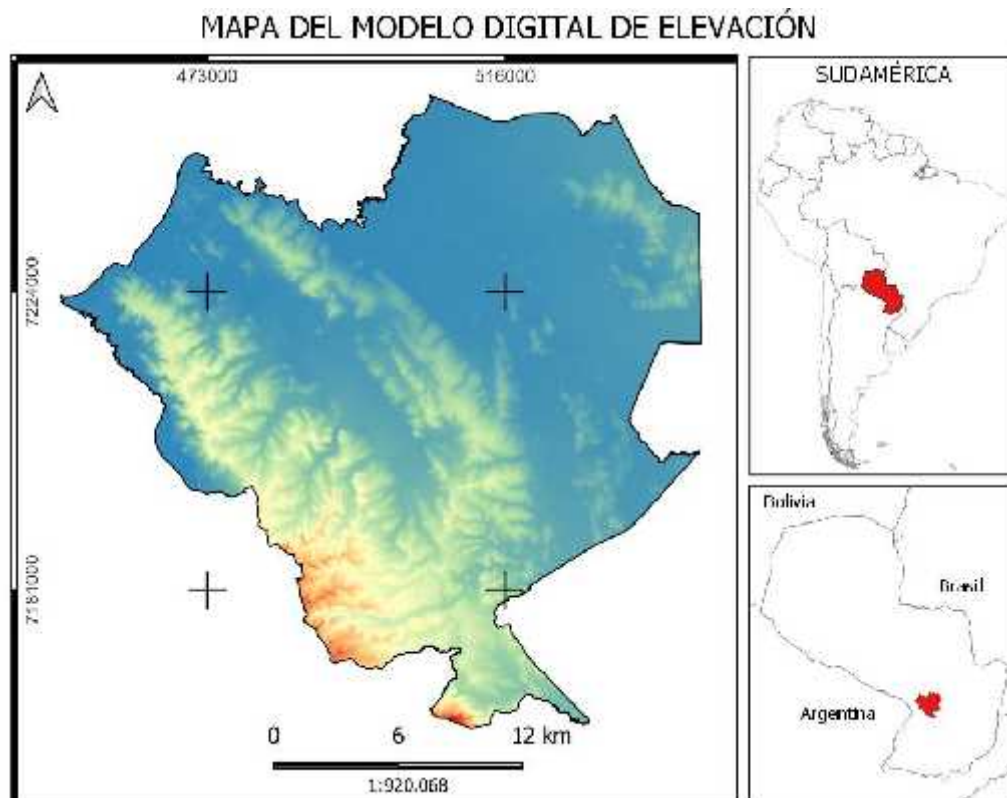


Figura 3: Mapa de Modelo Digital de Elevación
Fuente: Elaboración Propia

La Figura 3, corresponde al mapa procesado con el *software Global Mapper* que permitió identificar las superficies planas al NE, NW y SE constituyendo gran parte del territorio. Se visualiza en color azul, asociadas a las planicies fluviales cuaternarias, donde se verificó la presencia de un número importante de planicies de variadas alturas, documentándose una cantidad importante y completamente disectadas.

Mientras que las elevaciones con mayores metros se aprecian con una dirección preferencial al NW, representado por el color blanco verdoso.

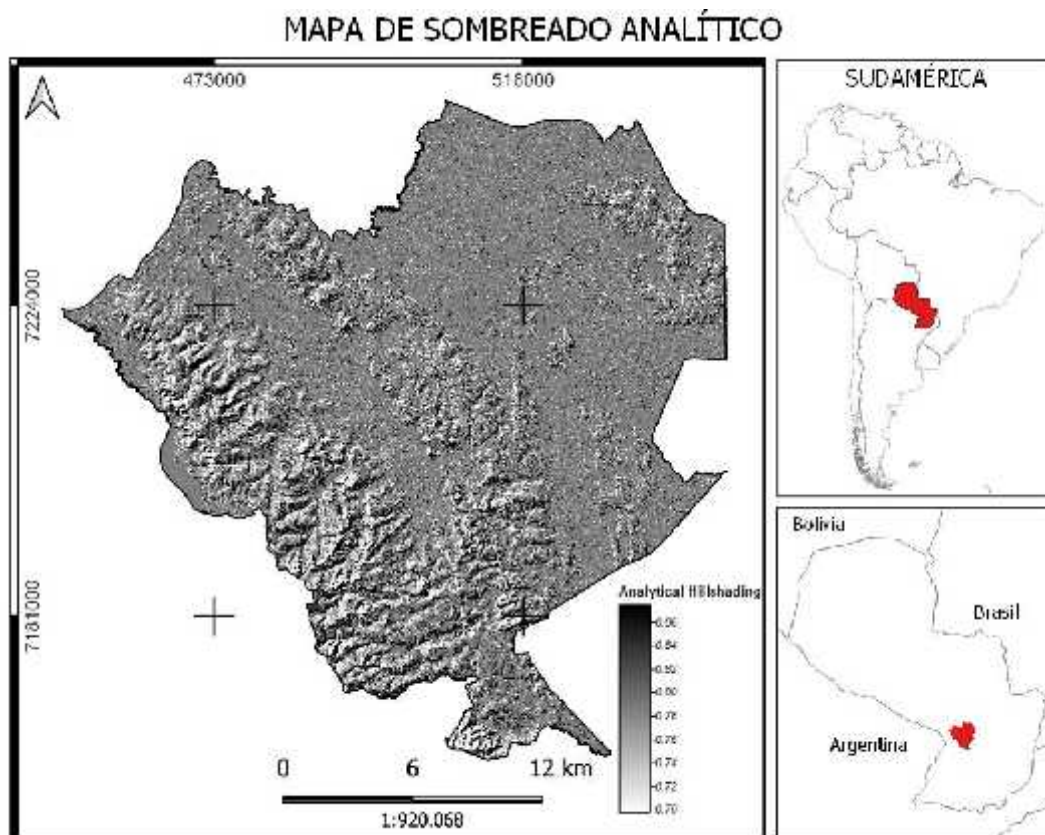


Figura 4: Mapa de Sombreado Analítico
Fuente: Elaboración Propia

Las figuras 4 y 5 permitió identificar estructuras secundarias, como el control preferencial de la red de drenaje que es de NW y SE que se encuentra evidenciada en las unidades geológicas, también lineamientos asociados a las elevaciones que muestran una dirección preferencial de NW.

Las elevaciones están relacionadas a las unidades geológicas como es el Grupo Caacupé que se encuentra en el límite derecho del departamento, el Grupo Itacurubí y la Formación Arroyos y Esteros más en el centro y la Formación Coronel Oviedo hacia el límite izquierdo.

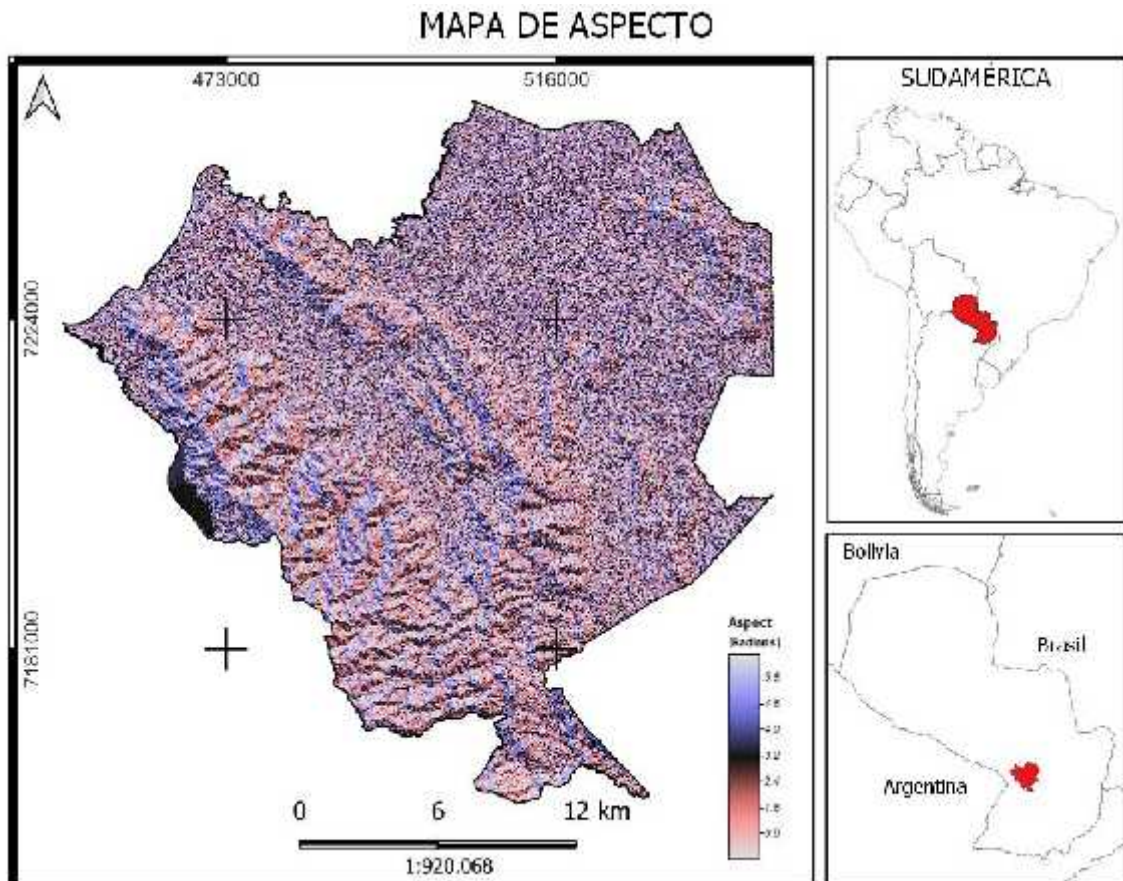


Figura 5: Mapa de Aspecto
Fuente: Elaboración Propia

Las figuras 6 y 7, permitieron identificar las zonas de mayor y menor variación topográfica, con relación a las distintas unidades geológicas mapeadas previamente.

De esta manera, en la figura 6, se visualiza de color rojo las zonas asociadas a las planicies fluviales del Cuaternario, superficie que no presenta mucha variación topográfica.

Posteriormente se visualizan las zonas de colores asociados al amarillo, que se corresponden con superficies de pendientes intermedias (%) relacionadas a las unidades sedimentarias de los Grupos Caacupé, Grupo Itacurubí, a las Formaciones Arroyos y Esteros y Coronel Oviedo que mantienen una dirección preferencial al NW.

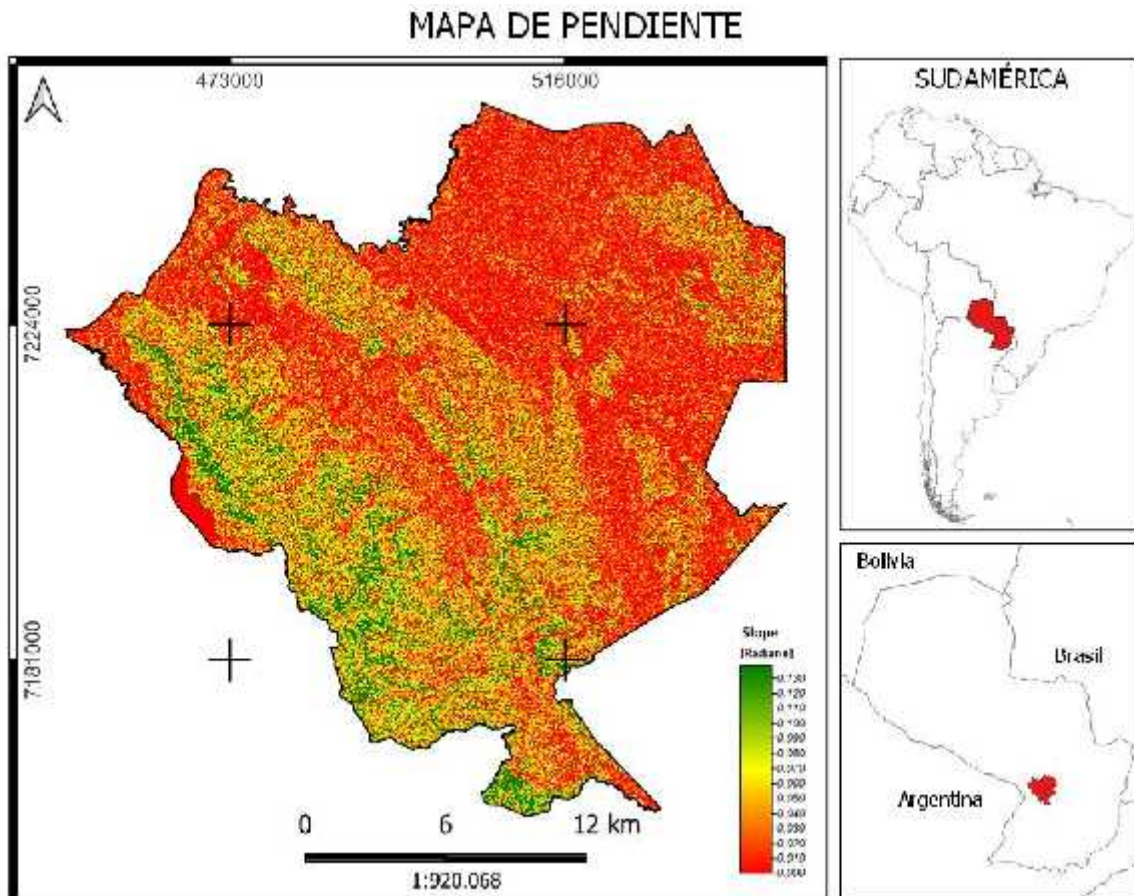


Figura 6: Mapa de Pendiente
Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, las zonas asociadas a los polígonos de colores rojizos a blancos en la figura 7, corresponden a zonas del paisaje con pendiente elevadas (%), que en mayor proporción se localizan por sobre unidades sedimentarias del Grupo Caacupé y asociadas direccionalmente al Rift de Asunción que tiene una dirección preferencial al NW y se encuentra totalmente emplazado en todo el límite oeste del departamento.

En sectores más al sur sobre la misma unidad geológica, las pendientes más pronunciadas presentan una distribución dendrítica, sin control aparente.

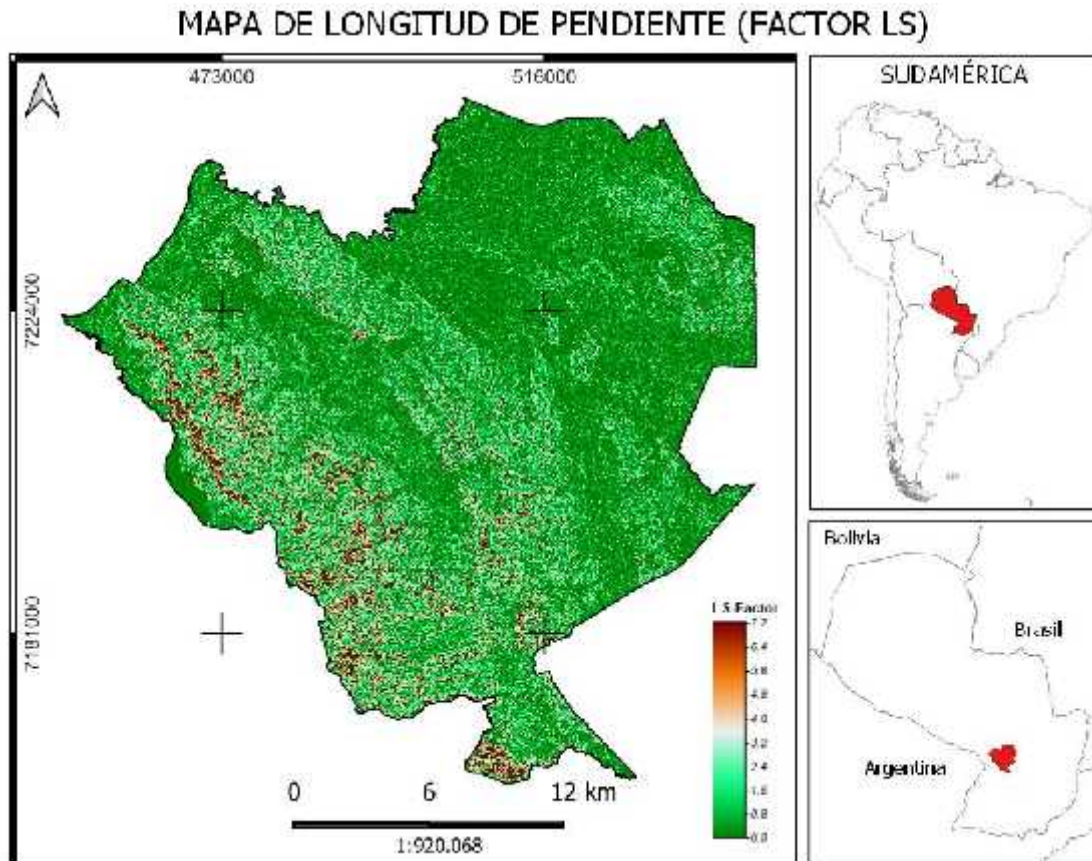


Figura 7: Mapa de Longitud de Pendiente
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 8, el mapa fue mayormente utilizado debido a que refleja las variaciones de pendientes relativas asociada a los positivos que se representa por los colores entre rojo y blanco.

Verificando los polígonos generados fue posible identificar y separar las distintas unidades geológicas, partiendo desde la densidad relativa de las pendientes.

También posibilitó la identificación de las zonas de descarga de aguas pluviales asociados a las zonas de quiebres.

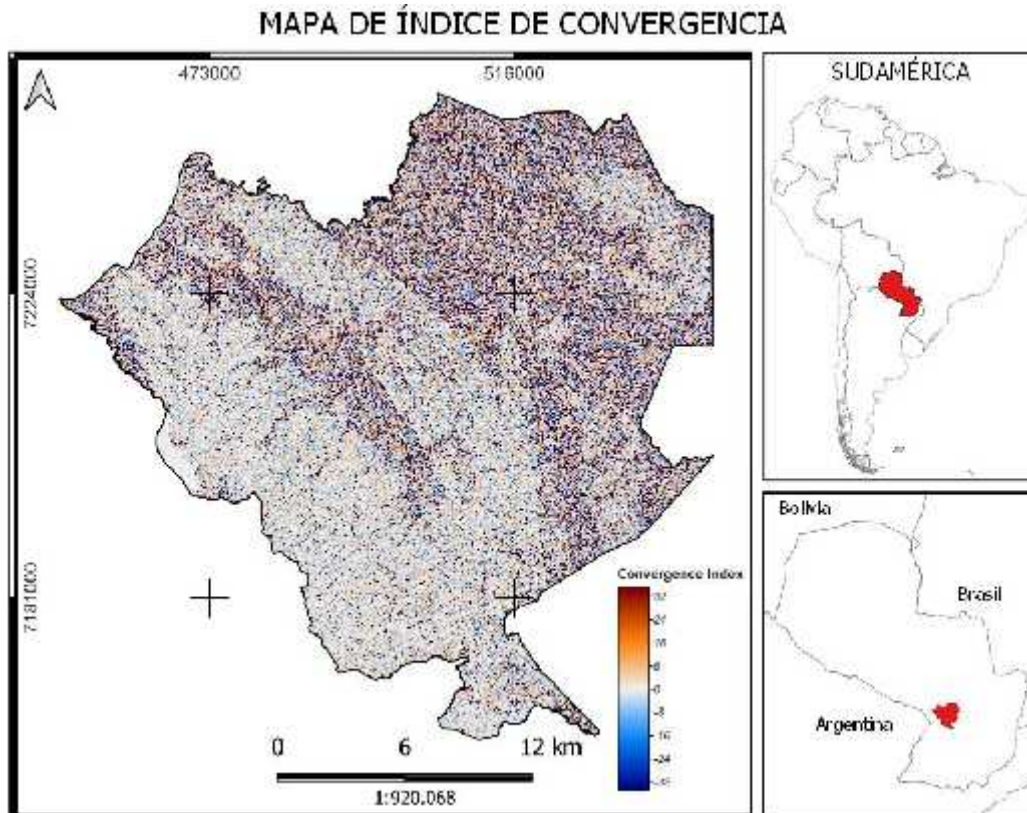


Figura 8: Mapa de Índice de Convergencia
Fuente: Elaboración Propia

La figura 9, posibilitó identificar principalmente los interfluvios con relación a la dirección de los mismos.

Además de las redes de drenaje dispuestas en comparación a las zonas y la distribución de las redes de drenaje de los valles cuaternarios. Que se puede determinar en toda la zona que tiene una red de drenaje de preferencial tipo dendrítico, con dirección preferencial NW y NE en las distintas unidades geológicas.

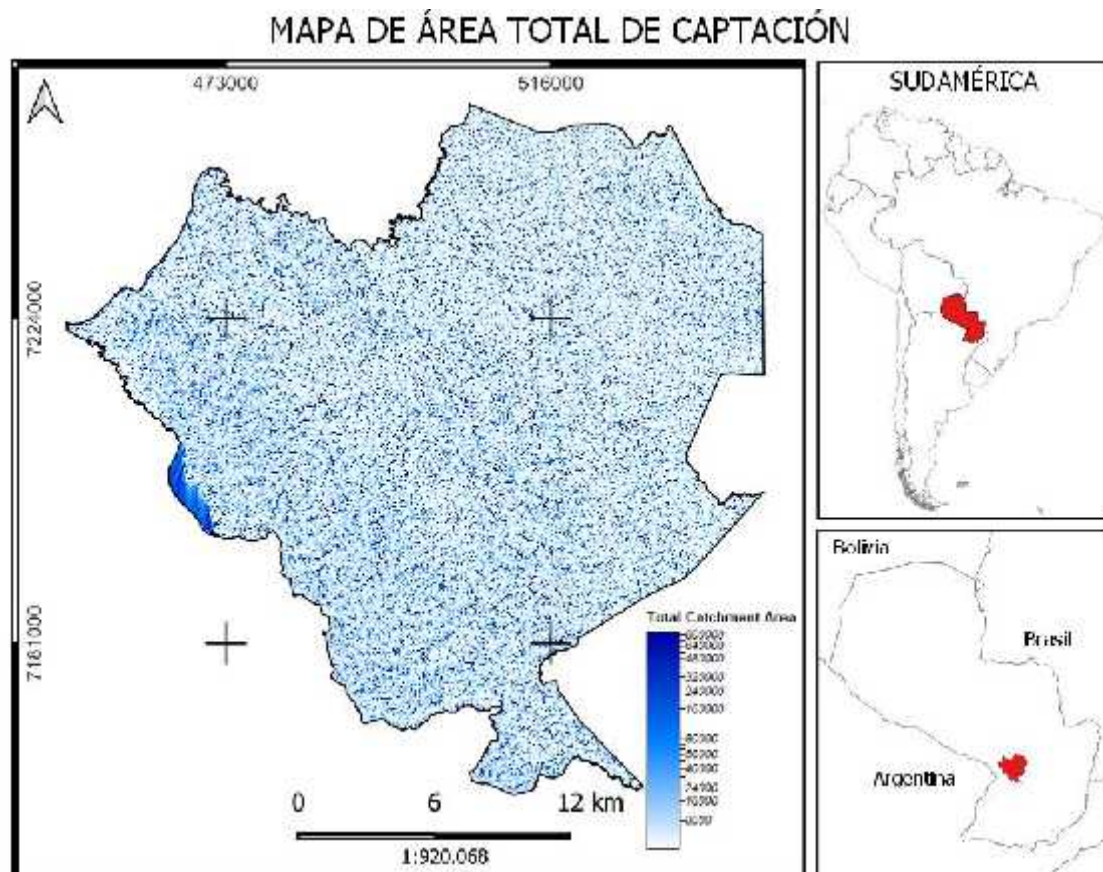


Figura 9: Mapa de Área Total de Captación
Fuente: Elaboración Propia

La figura 10, corresponde al mapa que mayor información brindo al trabajo, a partir del mismo se logró delimitar las unidades geomorfológicas principales.

Comparando con los mapas anteriores, asociado a los polígonos de color verde que se corresponde con las zonas geográfica de mayor altura y de planicies relativas, posibles paisajes antiguos, los polígonos de color verde más claro y amarillos que reflejan una disección actual de las superficies de planicies, que podrían responder a zonas de erosión fluvial actual limitados por zonas de color mostaza que estarían reflejando la superficie de las planicies actuales y relacionadas a posiblemente los depósitos más recientes.

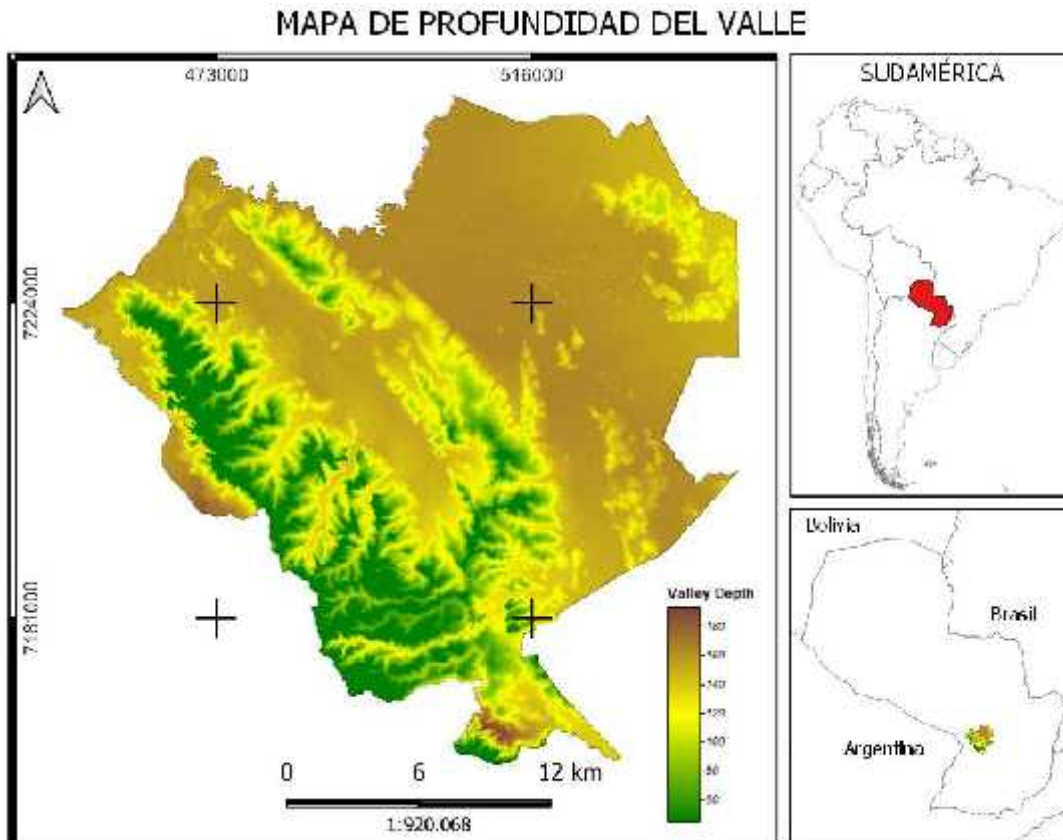


Figura 10: Mapa de Profundidad de Valle
Fuente: Elaboración Propia

La figura 11, se elaboró tomando en cuenta los criterios geomorfométrico para la delimitación de los polígonos que representan a las unidades geomorfológicas del Departamento de Cordillera. En el cual se logró identificar cuatro unidades geomorfológicas principales.

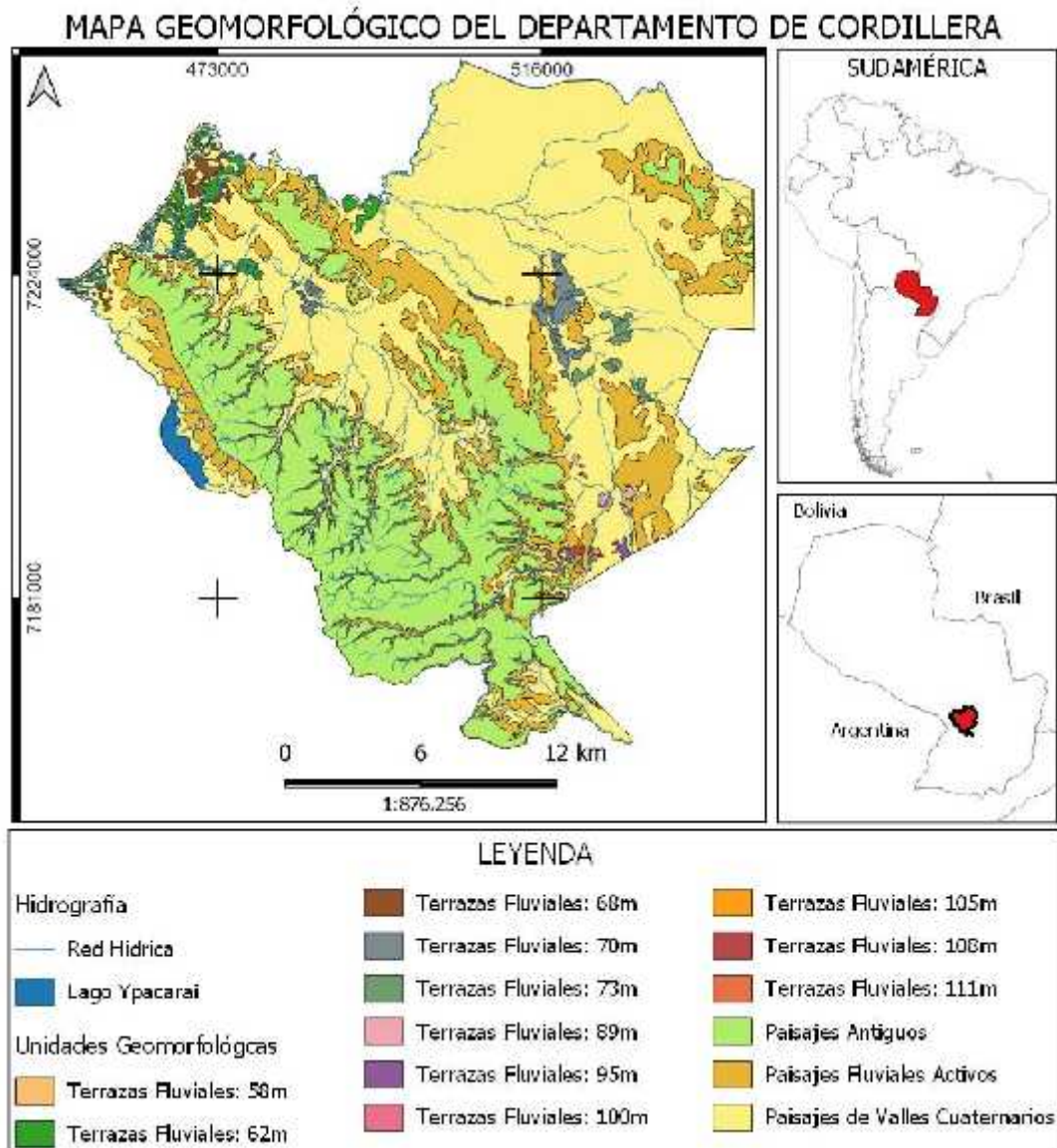


Figura 11: Mapa Geomorfológico del Departamento de Cordillera
Fuente: Elaboración Propia

Paisajes Antiguos: es la unidad geomorfológica que se representan por los altiplanos, que son un conjunto de elevaciones con sustratos más antiguos y que en la actualidad están expuestos en la superficie presentando distintas formas, expuesto a los agentes externos. Presenta una dirección preferencial de NW-SE, que están ligados a los lineamientos preferenciales del Rift de Asunción. Está representado principalmente por las unidades geológicas del Grupo Caacupé al Oeste del Departamento, por el Grupo Itacurubí y la Formación Arroyos y Esteros en Centro Oeste y la Formación Coronel Oviedo al Este del Departamento.

Paisajes Fluviales activos: el cauce hídrico es un agente de erosión, transporte y sedimentación que va labrando a su paso distintas formas de modelado, en la zona de estudio se puede deducir cual marcado está por este agente. Principalmente los sedimentos transportados y acumulados en las distintas zonas. Esta característica es común en las proximidades de los paisajes más antiguos como se puede apreciar en tono naranja oscura en la figura 11.

Paisajes de valles cuaternarias: su morfología se puede considerar como relieves muy suaves y de escasa pendiente, son superficies extensas que abarca el Departamento de Cordillera, se encuentra en contacto directo con los causes hídricos, están rellenos de sedimentos no consolidados de planicies húmedas, generalmente arcilloso.

Posibles terrazas fluviales: que se encuentran dispuestos en diferentes áreas con distintos niveles de altura, al NW del Departamento se aprecia las cotas menores entre 58 y 70 m., están próximas al cauce del Río Paraguay y que se podría suponer que son recientes y que están rellenos de sedimentos no consolidados. Al NE y SE del Departamento se observan las cotas de niveles entre los 70 y 111 m que ya ascienden hacia los márgenes de los paisajes antiguos.

Cantidad de posibles terrazas identificadas por altura:

- Terrazas Fluviales de 58 m: se encuentran en el margen de los cursos activos del Río Paraguay, representan a posibles formaciones recientes, presentan características planas y posiblemente con rellenos de sedimentos nuevos, asimétricos y algunos presentan concavidad, se encuentran dispuestos al NW del departamento.

- Terrazas Fluviales de 62 m: se encuentran también dispuestos en los márgenes del Río Paraguay y en los márgenes de los arroyos más afluentes, presentan mesetas de formas asimétricas, algunos alargados y otros redondeados, posiblemente relleno de sedimentos también recientes, se encuentran al NW del departamento.

- Terrazas Fluviales de 68 m: se disponen en los márgenes del Río al NW del departamento, características de formas planas, asimétricas, redondeadas y posible relleno de sedimentos sueltos.

- Terrazas Fluviales de 70 m: ya se encuentra alejado de los márgenes del Río, están dispuestos en los márgenes de los arroyos más importantes, se presentan en forma de mesetas planas, asimétricas y cóncavas, cortados por los arroyos, posiblemente con relleno de sedimentos menos recientes que los anteriores, están dispuestos al NE y NW del departamento.

- Terrazas Fluviales de 73 m: se encuentran situados en los márgenes de los arroyos más importantes y más cerca de los positivos, tienen formas redondeadas y asimétricas, se encuentran al NE del departamento.

- Terrazas Fluviales de 89 m: se encuentran en los márgenes de un arroyo y en las orillas de los paisajes activos fluviales, características planas y relictos de mesetas, se presentan en forma redondeadas, cóncavas y asimétricas, posible relleno de sedimentos ya más antiguos, se disponen al SE del departamento.

- Terrazas Fluviales de 95 m: se encuentra dispuesto en los valles fluviales, cerca de un arroyo y de los fluviales activos, característica plana y asimétrica, posible relleno de sedimentos más antiguos, dispuestos al SE del departamento.

- Terrazas Fluviales de 100 m: se encuentra en el margen de arroyos y cercano a los positivos, características planas y asimétricas, posible relleno de sedimentos antiguos, están dispuestos al SE del departamento.

- Terrazas Fluviales de 105 m: se encuentra al margen de arroyos y cercano a los positivos, presenta características planas, formas asimétricas y redondeadas, están dispuestos al SE del departamento.

- Terrazas Fluviales de 108 m: se encuentra en el margen de un arroyo y cercano a los positivos, características planas, formas redondeadas y asimétricas, posible relleno de sedimentos antiguos, están dispuestos al SE del departamento.

- Terrazas Fluviales de 111 m: es una de las posibles terrazas con más altura, al SE del departamento y que se encuentra en forma de medias redondeadas y planas. Se encuentra cortado por un cauce hídrico.



Figura 12: *Boulders* dentro del Grupo Itacurubí. Paisaje Antiguo
Ubicación: UTM 21J 0462561E 7221272N

Se realizó un posterior control de campo para verificación de las consideraciones geológicas:

Se identificaron zonas de paisajes antiguos asociados al Grupo Itacurubí y la Formación Arroyos y Esteros, donde se pudieron identificar las siguientes geoformas menores y mayores:

- *Boulders*: son bloques de rocas que se encuentran sueltos de gran tamaño, se identificó este tipo de geoforma en la zona de estudio al NW del Departamento, dispuestos en la superficie de gran tamaño como se observa en la figura 12.

- *Tors*: estas formas son bloques de rocas productos de meteorización química, se encuentra este tipo de geoforma en la zona de estudio al NW del Departamento como se distingue en la figura 13.



Figura 13: Tors dentro del Grupo Itacurubí, Paisaje Antiguo
Ubicación: UTM 21J 0462561E 7221272N

-Fracturas Poligonales: Se encontró este tipo de fractura que suelen tener un patrón poligonal, varían en tamaño, existen varios factores que pueden ser el proceso de causa ya sea interno o externo, como se puede observar en la figura 14.



Figura 14: Fracturas Poligonales dentro del Grupo Itacurubí, Paisaje Antiguo
Ubicación: UTM 21J 0462561E 7221272N

-Descamación por Meteorización Esferoidal: estas formas corresponden a una particularidad de descomposición de las rocas, donde el bloque de roca encontrada se desgaja, se desintegra la roca en capas desde afuera hacia adentro, en torno a un núcleo más o menos redondeado, se puede apreciar en la figura 15.



Figura 15: Descamación por Meteorización Esferoidal dentro del Grupo Itacurubí. Paisaje Antiguo
Ubicación: UTM 21J 0462561E 7221272N

-Bloques Hendidos: son como bolos o bloques que aparecen separados o partidos, la superficie de rotura suele ser plana, las diaclasas o fracturas verticales provocan que las distintas porciones de roca se desgajen y coincidan con discontinuidades de la roca, que se logran observar en las figuras 16.



Figura 16: Bloques Hendidos dentro del Grupo Itacurubí, Paisaje Antiguo
Ubicación: UTM 21J 0464446E 7220459N



Figura 17: Campo de *Coretones* dentro del Grupo Itacurubí, Paisaje Antiguo.
Ubicación: UTM 21J 0464446E 7220459N.

-Rocas Precariamente Equilibras: son formaciones geológicas naturales, de tamaños considerables, donde un bloque de roca descansa sobre otro, el que se encontró podría ser un remanente erosional, una roca que persistió a los procesos erosivos.



Figura 18: Rocas Precariamente Equilibra dentro del Grupo Itacurubí, Paisaje Antiguo
Ubicación: UTM 21J 0464446E 7220459N

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Con este estudio se verifica que el Departamento de Cordillera que posee unidades geomorfológicas generales que están caracterizadas principalmente por los paisajes antiguos, por los paisajes fluviales activos, los valles cuaternarios y las posibles terrazas fluviales.

Cada unidad geomorfológica mantiene una característica distinta, y cada unidad geológica del área de estudio tienen distintas geoformas, que por ejemplo podrían ser *tors*, *boulders*, bloques hendidos, etc.

Se destaca el grado de incidencia de la red de drenaje en las distintas unidades geológicas del Departamento de Cordillera, que es un agente activo e importante.

5.2. Recomendaciones

Como recomendación cabe mencionar la importancia de implementar en temas de investigación los sistemas de teledetección como las imágenes satelitales y los MDE.

Es importante profundizar los temas relacionados a la geomorfología como aliado importante para trabajos geológicos.

Se recomienda, además hacer calicatas para los estudios de las terrazas fluviales, a fin de lograr una mejor observación.

BIBLIOGRAFIAS

Castillo, A. (1986). Reevaluación de la Geología de Paraguay Oriental. Universidad de San Pablo, Brasil. Disponible en <https://www.geologiadelparaguay.com.py/tesis.htm>

Colman, C. *et al.* (2018). Caapucú: una ciudad construida sobre un campo de núcleos de roca (corestones) en el Paraguay Oriental. Universidad Nacional de Asunción.

Dionisi, A., (1999). Hoja Caacupé 5470 Texto Explicativo. Escala 1:100000. Dirección de Recursos Minerales (MOPC). Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR). Asunción, Paraguay.

Drago, E. (1975). Mapa Geomorfológico de la llanura aluvial del Río Paraguay Inferior. Revista de la Asociación Geológica Argentina.

Fulfaro, V.J., (1996). Geología del Paraguay Oriental. San Pablo, Brasil.

Gadea, M. *et al.* (2018). Arco Natural Truncado, Paleoacantilado litoral marítimo, Mioceno tardío – Plioceno temprano, ItÁ Pytã Punta, Asunción, Paraguay. Universidad Nacional de Asunción.

González, M.E., (1999). Hoja Coronel Oviedo 5670, Texto Explicativo. Escala 1:100.000. Dirección de Recursos Minerales (MOPC). Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR). Asunción, Paraguay.

Gutierrez Elorza, M., (2008). Geomorfología. Pearson Educación, S.A., Madrid, España.

Harrington, H., (1950). Paraguay. Departamento de Geología, Universidad de Kansas, Lawrence, Kansas.

Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. Sexta Edición. Mc Graw Hill Education. México.

Iriondo, M. 1993. Geomorphology and Late Quaternary of the Chaco (South America). Geomorfology. Paraná, Argentina.

Iriondo, M, y Brunetto, E., 2016. Cuaternario de Brasil, Paraguay y Uruguay. Primera Edición. Córdoba, Argentina.

King, L.C., 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia, IBGE, 2, p. 147-265.

Leiva, J. 2021. Cartografía y correlación de terrazas fluviales en los ríos Guardal y Barbada. Facultad de Ciencias Experimental, Universidad de Jaén, España.

Muñoz Jiménez, J., (1995). Geomorfología General. Editorial Síntesis, S.A. Madrid, España.

Popolizeo, E., (2006). El Paraná, un río y su historia Geomorfológica. Centro de Geociencias Aplicadas, Facultad de Humaitá. Argentina.

PROYECTO PAR83/005.1986. Mapa Geológico de la República del Paraguay. Escala 1:1.000.000. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Ministerio de Defensa Nacional. Asunción, Paraguay.

Rabassa, J. (2020). Paisajes Gondwanicos: naturaleza, origen, distribución y edad. Jornada Comunidad Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Argentina.

Rabassa, J. (2010). Gondwana paleolandscapes: long-term landscape evolution, genesis, distribution and age. Universidad Nacional de la Patagonia - San Juan Bosco, Sede Ushuaia.

Sarubi, Y., *et al.* (2019). Paleopaisajes Como Recurso Geoturístico en el Noreste del Paraguay Oriental. Universidad Nacional de Asunción, Paraguay.

Schumm, S.A., (1991). To Interpret the Earth: Ten Ways to be Wrong. Cambridge University Press. Cambridge, 133 pág.

Spikerman, J.P., (2010). Elementos de Geología General. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Buenos Aires, Argentina.

Vidal Romaní, J. R. y Twidale, C. R. (1998). Formas y Paisajes Graníticos. Universidad de Coruña

ANEXOS

A. Vista del Cerro Ybytusilla. Elevación: 246 m.-**Ubicación:** 21J 488254 E 7203673 S



B. Vista del Cerro Ybytusilla. Elevación: 246 m.-**Ubicación:** 21J 488254 E 7203673 S



C. Vista del Cerro Kavaju. Elevación: 275 m. - **Ubicación:** 21J 487178 E 7201313 S



D. Vista del Cerro Kavaju. Elevación: 275 m. - **Ubicación:** 21J 487178 E 7201313 S



E. Vista del Cerro Naranjo. Elevación: 300 m. - Ubicación: 21J 493703 E 7201313 S



F. Vista del Cerro Tren. Elevación: 190 m. - **Ubicación:** 21J 505327 E 7201313 S



G. Vista del Cerro Tren. Elevación: 190 m. - **Ubicación:** 21J 505327 E 7201313 S

