



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

**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y GEO-  
ESTRUCTURAL DE LAS SERRANÍAS DE YBYCUÍ Y  
SU RELACIÓN EN LA CIRCULACIÓN DE LOS  
RECURSOS HÍDRICOS**

**JESICA LINDA JAZMIN GUILLEN PEÑA**

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 – 2020



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN**

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Departamento de Geología**

**Trabajo de Grado**

**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y GEO-  
ESTRUCTURAL DE LAS SERRANÍAS DE YBYCUÍ Y  
SU RELACIÓN EN LA CIRCULACIÓN DE LOS  
RECURSOS HÍDRICOS**

**JESICA LINDA JAZMIN GUILLEN PEÑA**

**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 – 2020

**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y GEO-  
ESTRUCTURAL DE LAS SERRANÍAS DE YBYCUÍ Y SU  
RELACIÓN EN LA CIRCULACIÓN DE LOS RECURSOS  
HÍDRICOS**

**JESICA LINDA JAZMIN GUILLEN PEÑA**

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: 22 de diciembre del 2020

**COMITÉ ASESOR DE TRABAJO DE GRADO**

MIEMBROS:

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

.....

**Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba**  
*Universidad Nacional de Asunción*

.....

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

.....

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Petrona Peña y Eugenio Guillen.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres en primer lugar, Petrona Peña y Eugenio Guillen, porque siempre estuvieron y siguen estando ahí para mí. A mis hermanos Ronaldo, Evany, Liz, Jonathan, Antonio y Mileva, por acompañarme en este camino.

Mis agradecimientos especiales van dirigidos a la Prof. Dra. Ana Maria Castillo Clerici, a la Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruiz Díaz y a la Lic. María Rosa Campaya por sus orientaciones para poder lograr el objetivo.

A mi hermana Liz por ser más que un apoyo, no solo para la realización de este trabajo, sino en mis 25 años de vida.

Al Arq. Fernando Capurro por toda la ayuda brindada siempre. A la compañera Mirian Almada por la elaboración de los mapas necesarios, por acompañarme a la visita de campo y por todos sus consejos. También a la Lic. Liz Brites por el acompañamiento al campo y por la ayuda con la realización de este trabajo.

A mis compañeros y amigos de Trabajo de Grado y de toda la carrera, que nunca me negaron ningún tipo de ayuda. También a todos los profesores que hicieron su parte en todo esto.

A mis amigos, Nisa, Dayana, Brenda, Diego y Tom, que, a pesar de la distancia, estuvieron conmigo durante este proceso.

# **CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y GEO-ESTRUCTURAL DE LAS SERRANÍAS DE YBYCUÍ Y SU RELACIÓN EN LA CIRCULACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.**

Autor: JESICA LINDA JAZMIN GUILLEN PEÑA.  
Orientador: Prof. Dra. ANA MARIA CASTILLO CLERICI.

## **RESUMEN**

El área de estudio se encuentra ubicada en el extremo Noreste del Departamento de Paraguarí, entre los distritos de Ybycuí, La Colmena, Tebicuarymi y el Parque La Rosada. Se distingue muy bien del resto del territorio gracias a su elevación y a la vegetación. Para lograr caracterizar la geomorfología y geo-estructura del área, se procedió a la interpretación y descripción de mapas de relieve, mapa geológico, y mapa hidrológico, también se utilizaron Modelos de Elevación Digital e imágenes satelitales. Estas herramientas permitieron tener una mejor visualización de las características geomorfológicas del terreno desde distintas perspectivas. Esta zona se caracteriza por presentar colinas sinuosas y serranías a lo largo y ancho de toda el área estudiada. Los cauces de los arroyos que atraviesan la zona se ven afectados por las geoformas de la superficie, ya que, gracias a la sinuosidad del terreno, el agua, al correr a una velocidad considerable, erosiona las rocas, haciendo sus bordes muy pronunciados, principalmente en aquellas zonas de mayor relieve, formando también saltos de agua muy atractivos, razón por el cual es muy aprovechada turísticamente.

**Palabras claves:** Serranías de Ybycuí, geomorfología, Sistema de Información Geográfica, relieve, cauce hídrico.

# **GEOMORPHOLOGICAL AND GEO-STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF THE YBYCUÍ MOUNTAINS RANGES AND THEIR RELATIONSHIP IN THE CIRCULATION OF WATER RESOURCES**

Author: JESICA LINDA JAZMIN GUILLEN PEÑA.  
Advisor: Prof. Dra. ANA MARIA CASTILLO CLERICI.

## **SUMMARY**

The study area is located in the extreme Northeast of the Department of Paraguari, between the districts of Ybycui, La Colmena, Tebicuarymi and La Rosada Park. It is very well distinguished from the rest of the territory thanks to its elevation and vegetation. To characterize the geomorphology and geo-structure of the area, we proceeded to the interpretation and description of relief maps, geological map, and hydrological map, Digital Elevation Models and satellite images were also used. These tools allowed a better visualization of the geomorphological characteristics of the land from different perspectives. This area is characterized by winding hills and mountain ranges throughout. The channels of the creeks that cross the area are affected by the geofoms of the surface, since, thanks to the sinuosity of the land, the water, when running at a considerable speed, erodes the rocks, making its edges very pronounced, mainly in those areas of greater relief, also forming waterfalls that are very striking, and, therefore, the area is very popular for tourists.

**Keywords:** Ybycuí Mountains Ranges, geomorphology, Geography Information System, relief, water channel.

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
2.1 Antecedentes.....	4
2.2 Geología Regional.....	5
2.2.1 Formación Paraguari.....	6
2.2.2 Formación Cerro Jhú y Tobatí Indiferenciados.....	7
2.2.3 Suite Magmática Caapucú.....	9
2.2.4 Provincia Alcalina Central.....	11
2.3 Evento Tectónico Regional.....	12
2.4 Hidrografía.....	13
2.5 Geomorfología.....	15
2.6 Geomorfología Climática.....	17
2.7 Geotectónica.....	18
2.8 Geología Estructural y Tectónica.....	18
2.9 Deformaciones.....	19
2.10 Fallas.....	19
2.11 Lineamientos.....	19
2.12 Meseta Brasileña.....	19
2.13 Rift de Asunción.....	19
2.14 ¿Qué es un SIG?.....	20
2.15 MED, SIG y <i>Google Earth</i> .....	21
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>22</b>
3.1 Características generales del área de estudio.....	22



3.1.1 Localización.....	22
3.1.2 Población.....	23
3.1.3 Clima y Vegetación.....	23
3.1.4 Turismo.....	23
3.2 Materiales.....	24
3.3 Métodos.....	24
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>25</b>
4.1 Descripción Mapa de Relieve y del DEM.....	25
4.2 Descripción Imagen Satelital.....	29
4.3 Perfil de Elevación.....	32
4.4 Descripción Mapa Geológico.....	34
4.5 Descripción Mapa Hidrológico.....	36
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>38</b>
5.1 Conclusión.....	38
5.2 Recomendaciones.....	38
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>40</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>42</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1. Mapa geológico de la zona de estudio.....	12
1. Cuenca del Río Tebicuary. ....	15
2. Unidades taxonómicas de clasificación del relieve.....	17
3. Localización del Rift de Asunción.....	20
4. Localización del área de estudio. ....	22
6. Mapa de relieve de la zona de estudio.....	26
7. Vista desde la parte Norte de la geomorfología del área de estudio.....	26
8. Vista desde la parte Sur de la geomorfología del área de estudio.....	27
9. Vista desde la parte Este de la zona de estudio.....	27
10. Vista desde la parte Oeste de la zona de estudio.....	28
11. Imagen satelital del área de estudio, tomada desde una altura de 59,60 km, en puntos rojos se señalan las ciudades circundantes.....	29
12. Vista desde la parte Noroeste del área de estudio, desde una altura de 9,38 km.....	30
13. Vista desde la parte Suroeste del área de estudio, desde una altura de 8,99 km.....	30
14. Vista desde la parte Sur del área de estudio, desde una altura de 11,18 km.....	31
15. Vista desde la parte Noreste del área de estudio, desde una altura de 10,41 km.....	31
16. Perfil de elevación (W - E) del área de estudio.....	32
17. Perfil de elevación (N - S) del área de estudio.....	33
18. Mapa Geológico del área de estudio.....	35
19. Arenisca conglomerádica polimíctica al pie del Cerro Verá.....	36
20. Mapa Hidrológico de la zona de estudio.....	37

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Página</b>
A. 1. Salto Cristal.....	42
A. 2. Salto Minas.....	43
A. 3. Vista Panorámica desde el Cerro Verá.....	43
A. 4. Arroyo Corriente.....	44

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.

<b>SIG</b>	:	Sistema de Información Geográfica
<b>TM</b>	:	<i>Thematic Mapper</i>
<b>SRTM</b>	:	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
<b>RGB</b>	:	<i>Red, Green, Blue</i>
<b>SENASA</b>	:	Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental
<b>PNY</b>	:	Parque Nacional de Ybycuí
<b>FCA</b>	:	Facultad de Ciencias Agrarias
<b>UNA</b>	:	Facultad Nacional de Asunción
<b>PDMS</b>	:	Plan de Desarrollo Municipal Sustentable
<b>MED</b>	:	Modelo de Elevación Digital
<b>DGEEC</b>	:	Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos
<b>GPS</b>	:	<i>Global Positioning System</i>

## **1. INTRODUCCIÓN**

La superficie de la Tierra es muy compleja, con paisajes muy diversos a lo largo de toda su extensión, desde grandes cadenas montañosas, a extensas planicies. Esto se debe a la dinámica del planeta, también llamada fuerzas endógenas, que hace que la litósfera se movilece formando estructuras muy significativas a lo largo del tiempo, millones y millones de años.

No solo las fuerzas endógenas influyen en el modelado del terreno, también lo hacen, y en gran medida, las condiciones climáticas de un determinado lugar. El viento, las precipitaciones, los cauces hídricos, los glaciares, la variación de temperatura, todos estos factores determinan las características geomorfológicas de un área.

En el estudio de las geoformas, y en el de otros campos, desde ya muchos años, se ha implementado la utilización de una herramienta muy útil, los Sistema de Información Geográfica (SIG). Esta herramienta le permite al investigador recoger datos más precisos del área de estudio, también le permite realizar un mejor análisis de los mismos, teniendo un panorama mucho más amplio en todos los sentidos, pudiendo así, a través de estos, resolver varios tipos de problemas.

En el siguiente trabajo se busca comprender mejor las características geomorfológicas del área de estudio, a través de la utilización de las herramientas SIG, (*QGis* y *Google Earth*) que serán de mucha ayuda para poder observar las diferentes geoformas presentes en el área.

### **1.1 Planteamiento Del Problema**

La zona de estudio se encuentra localizada en la parte Este del Departamento de Paraguarí, rodeada por las ciudades de Ybycuí, La Colmena, Tebicuary Mí y el Museo de Hierro, en La Rosada. Esta zona se caracteriza por modelados del terreno muy variados, con

cursos de agua que son una atracción para los turistas ya que se crean espectaculares saltos debido a la forma de la superficie por donde corren las aguas.

Con las herramientas que brinda hoy en día la tecnología, es posible realizar diferentes tipos de trabajos que permiten ampliar nuestro conocimiento sobre las características geomorfológicas y estructurales de cualquier área de nuestro interés.

En el presente trabajo se buscará realizar una representación de la geomorfología del área de estudio para comprender mejor las características geológicas que originaron el actual modelado superficial.

## **1.2 Justificación**

Es importante tener una mejor comprensión de las características geomorfológicas de nuestro territorio, ya que éste influye en el comportamiento del suelo y de los recursos hídricos.

El sustrato geológico es el factor principal en la evolución de las formas del relieve, en muchos casos es el factor dominante casi exclusivo, como en las cordilleras y en todas las regiones donde ha habido procesos endógenos recientes (vulcanismo, fallamiento, etc.); en áreas donde la meteorización y la erosión actuaron durante un tiempo largo, la estructura geológica se refleja en las formas del terreno en forma directa (Iriondo, 2007)

El clima también es un factor muy importante en el modelado del terreno, la cantidad de precipitaciones y temperaturas anuales, tienen un gran impacto en el paisaje, ya que de esto depende la vegetación, la meteorización y la erosión de las rocas.

En la zona de estudio se encuentra uno de los parques más importantes del país, el Parque Nacional de Ybycuí, a 150 km de la capital, con 5000 hectáreas, donde se pueden observar serranías y hermosos saltos que son resultado justamente de la forma del terreno por donde pasa el agua. A unos pocos kilómetros se encuentran otros saltos muy conocidos y muy visitados por los turistas que vienen de todas partes del país.

Es ahí donde radica la importancia de este trabajo, al contar con un conocimiento más amplio sobre el terreno, se podrá tener un mejor manejo del mismo, como en el aprovechamiento de la zona.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

- Caracterizar la configuración geomorfológica y geo-estructural de las Serranías de Ybycuí, y su relación en la circulación de los recursos hídricos y su aprovechamiento en el turismo regional.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Definir, a través de la herramienta SIG, la geomorfología y geo-estructuras presentes en la zona de estudio.
- Determinar la relación de las geoformas en los recursos hídricos que circulan por esta zona y su aprovechamiento en el turismo regional.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes**

En Paraguay se tienen escasos estudios sobre geomorfología utilizando la herramienta SIG, esta área todavía no ha sido muy abarcada, sin embargo, Argüello (2016) realizó un estudio sobre la caracterización morfo-estructural del Valle de Ypacaraí en la Región Oriental, utilizando la herramienta SIG.

Colmán, Gadea, Souberlich, Vargas, Ríos (2019) también realizaron un trabajo sobre geomorfología en la ciudad de Asunción, donde se elaboró un mapa plan altimétrico de la ciudad 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.

La herramienta SIG se ha vuelto muy importante en los últimos años en el estudio de las geoformas de la superficie terrestre a nivel global. Existen otros estudios, entre ellos el realizado por Flores (2010) sobre la interpretación de lineamientos estructurales en la Provincia de Manabí, Ecuador. Los datos provenientes del sensor *Landsat / TM* y *radar SRTM*, aportaron importante información geológica-estructural, en la definición de lineamientos.

Aguilera (2007) también realizó un estudio de Teledetección y SIG aplicados a la regionalización geomorfológica en el Macizo Nordpatagónico. La aplicación de la teledetección permitió acceder a una visión global de una región muy extensa (57.400 km<sup>2</sup>) y de escaso o nulo relieve, pudiéndose identificar sobre las imágenes las geoformas objeto de estudio. La utilización del Modelo Digital de Elevación fusionado con las imágenes satelitarias permitió generar vistas sinópticas de grandes extensiones geográficas proporcionando una perspectiva global y sirvió de base para las descripciones y cuantificaciones de geoformas. El Sistema de Información Geográfica (SIG) permitió relacionar la información con la distribución espacial y temporal de estas superficies geomorfológicas. En este trabajo se



destaca la utilización *TM 732 RGB* de óptimos resultados para discriminación litológica y estructuras. La variable que se ha potenciado en este triplete, es la incorporación de la banda 3, por tratarse de regiones prácticamente ausentes de cobertura vegetal que no ofrece señal vinculada a dicha cobertura, en cambio destaca regiones de la imagen con detallada variación litológica.

## **2.2 Geología Regional**

La geología del área de estudio está constituida por el Grupo Caacupé, como se menciona en la Hoja San José, fue descrita por Harrington (1950) con la denominación de Serie Caacupé, subdividida en conglomerado de Paraguairí, y areniscas de Peribebuy. El mismo autor en 1956, sustituye el término Serie por Grupo, manteniendo la misma clasificación. Y en 1972 modifica la clasificación del Grupo Caacupé, quedando esta constituida de una unidad basal, llamada conglomerado de Paraguairí, una intermedia o areniscas de Cerro Jhú y una unidad superior, como areniscas de Tobatí. Esta clasificación ha sido adoptada por todos los autores de trabajos posteriores (Escobar, 1978; *The Anschutz Co.*, 1981; Proyecto PAR 83/005, 1986 y otros), asignándole la categoría de formación a los constituyentes litológicos.

El levantamiento geológico del área aflorante de esta unidad estratigráfica lo que corresponde al cuadrante de la Hoja San José, no permite el delineamiento de un contacto claro, entre las formaciones Cerro Jhú y Tobatí citadas por autores anteriores. La problemática surge debido a las grandes variaciones litológicas, que se han encontrado en los diferentes afloramientos descritos, razón por la cual, para el mapeamiento de esta hoja, se opta por diferenciar los conglomerados de las bases y describir las sedimentitas superiores dentro de una unidad indiferenciada, quedando el Grupo Caacupé conformada por por la Formación Paraguairí y las formaciones Cerro Jhú y Tobatí indiferenciadas. Investigaciones en detalle de las características litológicas y fisiológicas, en estas rocas serían necesarias para determinar los componentes litológicos de cada una de las formaciones. (González, 1998)

Wolfart (1961) y Putzer (1962), tomando como base las dataciones fosilíferas, realizadas en la unidad superior o Grupo Itacurubí, estiman un posicionamiento relativo de edad silúrica, para las sedimentitas de este grupo. Debe considerarse a este respecto, que en la antigua clasificación el Periodo Silúrico incluía al ordovícico, como una de sus dos series componentes, siendo la otra conocida como Gotlándico, razón por la que puede considerarse una equivalencia entre el Ordovícico de la clasificación actual y el Silúrico Inferior de la

antigua. Esto lleva a presumir que la edad atribuida por estos autores al Grupo Caacupé, no estaría errada. (González, 1998)

### **2.2.1 Formación Paraguari**

La Formación Paraguari está conformada por rocas clásticas gruesas, esencialmente conglomerados con intercalaciones de areniscas conglomerádicas y arcósicas. Los mejores afloramientos de esta unidad se encuentran en la Hoja Paraguari, incluyendo la localidad tipo de esta formación. (González, 1998)

Los afloramientos son observables en la base del escarpe del Bloque Cordillera en los Cerros Apyreguá, Jhú y Verá, conforme se describe en la Hoja San José (1998).

En dicha Hoja se describen a los conglomerados de color marrón claro, con clastos predominantemente de cuarzo de veta y cuarcita, de 1 a 6 cm de diámetro, redondeados a subredondeados, de formas esféricas, elipsoidales y discoidales, la matriz es arcósica de grano grueso.

En general los bancos de conglomerados se disponen con espesores decrecientes. Los bancos o pulsos deposicionales se acomodan localmente con diseño plano-paralelo, siendo los tramos observados, partes componentes de un esquema deposicional mayor. Los espesores de estos bancos no sobrepasan 1,5 m y se presentan cortados por canales de erosión y depositación intercalados con areniscas de estratificación cruzada acanalada, típicos de depósitos de ríos entrelazados asociados al sistema. (González, 1998)

El espesor general de los depósitos de conglomerados y areniscas es muy variado, por ejemplo, el flanco norte del Cerro Apyreguá presenta un espesor total de conglomerados intercalados con areniscas conglomerádicas de aproximadamente 10 m, en el flanco oeste del mismo cerro, esta asociación clásica presenta un espesor aproximado de 40 m, mientras que en el flanco este estos espesores son menores. Esta aparente diferencia en el espesor de la asociación clástica de la Formación Paraguari, es debida probablemente a la posición del observador con respecto al depósito. Una diferencia muy marcada estaría dada en los pozos perforados, para prospección de agua en la ciudad de La Colmena, donde el espesor total alcanzaría 80 a 90 m, en contacto inferior con los granitos de la Suite Magmática Caapucú

(perfiles de pozos, SENASA). Este dato puede ser considerado como el espesor máximo del sistema. (González, 1998)

La decrecencia en el espesor de los bancos conglomerádicos y en la granulometría muestra la evolución gradual de los depósitos conglomerádicos de la Formación Paraguari, a las areniscas de unidad sedimentaria superior de las Formaciones Cerro Jhú y Tobatí. Además, indica, conjuntamente con otras características que estos se depositan en un ambiente fluvial, de abanicos aluviales del tipo torrencial, en su facie distal. Este sistema estaría asociado a sistemas deltaicos y sedimentación marina lateral, en un esquema transgresivo. (González, 1998)

Esta unidad estratigráfica conglomerádica representa la base de una secuencia de sedimentación transgresiva y sin registros fosilíferos, por lo que se le asigna la edad relativa del Ordovícico Superior, considerando las dataciones paleontológicas, conocidas para las sedimentitas de la unidad silúrica inferior del Grupo Itacurubí. (González, 1998)

### **2.2.2 Formación Cerro Jhú y Tobatí Indiferenciados.**

Estas rocas fueron descritas por Harrington (1950) como areniscas de Peribebuy. Eckel (1959) utiliza la misma clasificación, mientras otros autores como Wolfart (1961) y Putzer (1962) lo llamaron areniscas de Caacupé. Harrington (1972) describe las areniscas Cerro Jhú y Tobatí para designar el conjunto de rocas sedimentarias clásticas superiores del Grupo Caacupé. Posteriormente otros autores adoptaron esta clasificación con modificaciones, tales como el Proyecto PAR 83/005 (1986), Escobar (1987), Orue (1996) entre otros. (González, 1998)

Las rocas silicoclásticas de la unidad indiferenciada son esencialmente areniscas arcósicas en la base, areniscas con intercalaciones lutíticas y areniscas friables con textura sacaroidal. Estas diferenciaciones litológicas locales no observables en todos los perfiles, es la principal dificultad para una clara caracterización de las formaciones Cerro Jhú y Tobatí y la delineación de un contacto claro entre ellas, por lo que son mapeadas de manera indiferenciada. (González, 1998)

En el cuadrante de la Hoja San José las rocas sedimentarias de esta unidad indiferenciada constituyen las hombreras norte y sur del Valle de Acahay. En la hombrera norte, el contacto de los conglomerados de la Formación Paraguari no es observable, por

tratarse de depósitos en posición distal. Estos depósitos distales de la unidad indiferenciada, constituyen areniscas de granulometría media a gruesa, mal seleccionada en parte conglomerádicas, que presentan intercalaciones lutíticas, de pocos centímetros de espesor, que en algunas localidades alcanzan 4 m (Compañía Itá Morotí).

El techo de esta unidad es predominantemente arenosa, friable y con textura sacaroidal, de granulometría media, mejor seleccionada y de granos subredondeados, con una geometría deposicional sigmoidal retrogradante. En superficies expuestas a la erosión estas areniscas se presentan agrietadas. Estas grietas en forma de polígonos rugosos tienen un origen químico, son producidas por meteorización en areniscas con escasa matriz y muy poco cementadas. La meteorización forma una costra silicificada, de aproximadamente 1 cm de espesor. El proceso consiste en la propiedad del cuarzo de solubilizarse, estando expuesto a los agentes atmosféricos. Este cuarzo solubilizado actúa como cemento en la superficie, confiriendo a la roca una costra resistente. Esta costra debido a las variaciones de temperatura, por dilatación y contracción se agrietan formando los polígonos debajo de esta costra. Debajo de esta costra el material es friable y parte del mismo es erosionado formando una superficie rugosa con oquedades. Este fenómeno de agrietamiento es muy característico en las areniscas superiores de esta unidad. (González, 1998)

Al sur de la Ciudad de La Colmena en el Bloque Cordillerita, esta unidad muestra areniscas conglomerádicas en la base, sobreyaciendo a los conglomerados de la Formación Paraguari, con espesor aproximado de 250 m. Al suroeste de la misma ciudad, el perfil de estas rocas muestra areniscas finas silicificadas en la base, intercaladas con areniscas de granulometría gruesa, conglomerádicas con clastos angulosos, dispuestas con estratificación acanalada, sobrepuesta a los canales se hayan areniscas con granulometría creciente de media a gruesa en una disposición sigmoidal. Esta asociación de estructuras de deposición permite definir para la unidad indiferenciada un ambiente fluvial de ríos entrelazados en la base, asociado a un sistema deltaico, en un contexto marino transgresivo. (González, 1998)

La roca del Cerro Apyreguá, ubicado a 6 km al suroeste de La Colmena, en el Bloque Cordillerita, corresponde al Grupo Caacupé, desmintiendo de esta manera la composición alcalina de tipo essexítico, que se le fuera atribuida (Eckel, 1959), esta confusión presumiblemente ha sido debida al aspecto morfogeológico del cerro, similar a un stock de roca inclusiva. (González, 1998)

### 2.2.3 Suite Magmática Caapucú

En la Hoja San José (1998) se menciona que la Suite Intrusiva Caapucú consiste de una variedad de granitos, pórfidos de granito/ riolita y riolitas. Para esta unidad Anónimo (1966) introduce el nombre de Serie Caapucú. Wiens (1986) y Proyecto PAR 83/ 005 (1986) mantienen el nombre, pero con la categoría de Grupo. Cubas et al. (1997) lo denominan Suite Magmática Caapucú. Para la edición de este texto explicativo, se opta por la utilización del nombre Suite Magmática Caapucú, designación empleada para esta unidad, al momento de la edición del mapa.

La mayoría de las rocas de la suite afloran en la Hoja Villa Florida. Otras ocurrencias aparecen en las hojas Paraguairí, Mbuyapey, San Juan Bautista, Caacupé y Santa Rosa. En el cuadrante de esta hoja, las magmatitas aparecen en el extremo oeste del Bloque Cordillerita, en la base de los cerros Apyreguá, Verá y San José. Los afloramientos son muy escasos ya que el material de derrumbe de las zonas altas, cubre el contacto de este con sedimentos superiores, dejando expuestos bloques aislados, que permiten inferir su presencia. (González, 1998)

Investigaciones petrográficas y cronológicas realizadas en la zona de Caapucú en la Hoja Villa Florida (Bitschene & Lippolt; 1986), describen estas rocas como pertenecientes al rango de granitos aplíticos a granitoides de grano fino. Dataciones hechas en mineral de biotita de los granitos de Caapucú, por el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  arrojan edades de  $544 \pm 11$  Ma (Bitschene & Lippolt, 1986), lo que las ubica en el límite Precámbrico/ Cámbrico. Según Kanzler (1987) esta suite puede ser dividida en granito Jhú y granito Barrerito y riolitas de Casualidad y riolitas de Charará. Este autor supone que estas rocas serían resultados de intrusiones en un nivel crustal alto. Lohse (1990) y Engler (1990), analizan las muestras colectadas por Kanzler, realizando estudios petrográficos detallados, así como dataciones por el método K-Ar. Estos investigadores reconocen que los granitos de los tipos Barrerito y Jhú, pertenecen a un mismo tipo petrográfico, y, por otro lado, confirman la división de las riolitas en los tipos Charará y Casualidad: Dataciones de estas rocas arrojan edades de enfriamiento de 580-475 Ma (Lohse, 1990). (González, 1998)

Cabe mencionar los trabajos de Báez (1992), en las magmatitas de esta suite, en el área suroeste de la Hoja San José. Sus consideraciones los define en general como granitos rosados, algo alterados y riolitas frescas, rojas a rosadas, levemente metamorfizadas. (González, 1998)

Recientes trabajos de mapeamientos del área precámbrica/cámbrica de la Hoja Villa Florida y sus adyacentes (Cubas et al. Com. Per, 1997), incluyen investigaciones de láminas delgadas, análisis químicos y dataciones por el método Rb-Sr. Estos autores subdividen las rocas de la suite en: extrusivas ácidas del tipo Charará (lavas riolíticas de textura tobácea; ignimbritas riolíticas y brechas de nubes ardientes; riolitas densas a criptocristalinas; riolitas o riocitas porfiríticas, con matriz densa a criptocristalina), rocas hipabisales y subefusivas ácidas del tipo Casualidad (pórfido de granito/riolita con fenocristales de grano medio, en matriz fina idiomórfica e hipidiomórfica; microgranito de biotita; granito aplítico), rocas hipabisales y subefusivas ácidas del tipo Fanego (pórfido de granito con fenocristales de grano grueso, en matriz fina xenomórfica) y rocas plutónicas ácidas del tipo Barrerito (granito de grano medio a grueso, en partes porfiríticas). (González, 1998)

Según los mismos autores la gran variedad petrográfica de las rocas de la suite, constituye diferentes niveles de emplazamiento, más o menos sincrónicos, pero en diferentes pulsos, de un mismo y gran batolito. Estas rocas no son afectadas por metamorfismo regional, pero procesos autometamórficos e hidrotermales alteran parte de las mismas, principalmente en áreas próximas a fallas o zonas cataclásticas, formando mineralizaciones de sulfuros y óxidos de hierro, fluorita o pirofilita. (González, 1998)

Dataciones realizadas en las diferentes rocas de la suite, por el método Rb-Sr, arrojan una isocrona común de 535 Ma (Höhndorf com. Per., 1997). De estos datos se deduce que la intrusión de estas rocas es postectónica, en el rango de 600 a 590 Ma, siguiendo el clímax orogénico del Ciclo Brasiliano (Söllner et al., 1987). En el cuadrante de la Hoja San José, las rocas de la Suite Magmática Caapucú afloran en la base de la escarpa del Bloque Cordillerita y al noreste del Cerro San José. El afloramiento ubicado en el camino a la Colonia Gral. Cesar Barrientos, el granito se encuentra en estado fresco, pero altamente fracturado, en contacto no expuesto con sedimentitas arenosas y conglomerádicas del Grupo Caacupé. En el eskarpe oeste del Cerro Verá, el contacto se halla cubierto por material de derrumbe, pero la presencia de bloques de granitos y/ o riolitas, dispersos en áreas bajas, confirma su existencia. Otra zona de afloramientos es el extremo suroeste del cuadrante, donde áreas con alturas inferiores a 200 m. exponen rocas graníticas pertenecientes a la misma suite. Un afloramiento importante, aparece en el eskarpe este del Cerro Apyreguá, en este un granito altamente alterado y fracturado, se encuentra en contacto con rocas clásticas ordovícicas, localmente conglomerádicas. (González, 1998)

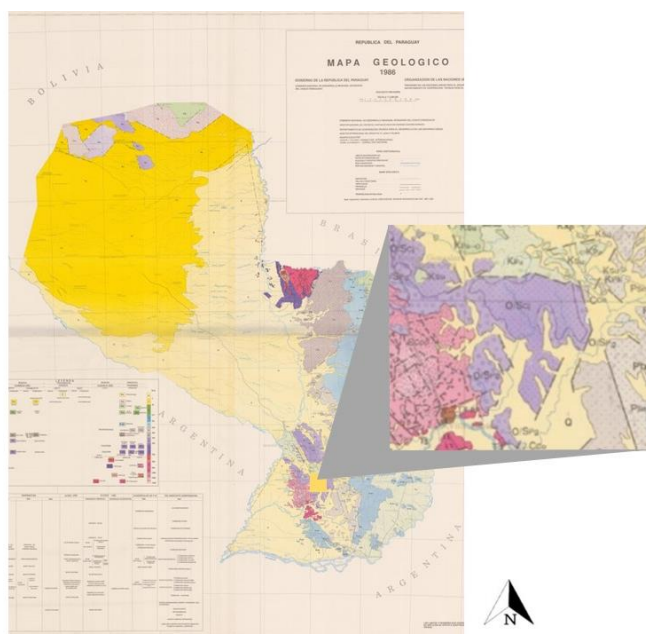
Estudios petrográficos realizados en el granito definen características texturales porfiríticas, con fenocristales de feldespato, cuarzo y mica, en una matriz cuarzosa acompañada de mica, clorita y opacos. Algunos minerales alterados presentan huellas de maclas, lo que hace suponer la presencia de plagioclasas. Estas características petrográficas indican una correlación con los granitos del tipo Barrerito de Kanzler (1987) y Cubas et al. (com. Per., 1997). (González, 1998)

#### **2.2.4 Provincia Alcalina Central**

Las erupciones de lavas basálticas y la intrusión de decenas de cuerpos alcalinos, ocurridas principalmente en el Jurásico-Cretácico, corresponden a eventos magmáticos de mayor importancia en Paraguay (Velázquez, 1992)

La intrusión de estos cuerpos está tectónicamente condicionada a las huellas de las grandes estructuras regionales, incluso, a las intersecciones y rasgos lineales (Velázquez, 1992)

La Provincia Central ocupa la parte centro-este del Paraguay Oriental, que tiene el mayor número de ocurrencias alcalinas. Según Livieres Quade (1987), las intrusiones están estrechamente ligadas a los anticlinales de Asunción e Igatimi, y a la falla de Acahay. También, según estos autores, los complejos consisten principalmente en essexitos, shonkinitos, las sienodioritas, nefelinas sienitas, traquitas, fonolitas, basanitas y nefelinitas (Velázquez, 1992)



**Figura 7. Mapa geológico de la zona de estudio.**  
 Fuente: Extraído de geologiadelparaguay.com

### 2.3 Evento Tectónico Regional

La Región Oriental del Paraguay tiene sus propias características estructurales, siendo las direcciones principales dominantes NS, NW-SE y NE-SW, y, secundariamente, EW. Cada una de estas orientaciones tiene una interpretación específica, que intenta explicar su origen y evolución (Velázquez, 1992)

Algunos autores (Putzer, 1962; Wiens, 1982, PROJETO PAR 005/83, 1986) argumentan que las direcciones NS corresponden al evento tectónico más antiguo ocurrido durante la evolución del ciclo brasileño, que se asocian con la intrusión de una gran masa granítica, responsable de fuertes deformaciones, que están controlados por este patrón de guía (Velázquez, 1992)

El mismo autor menciona que el levantamiento geofísico regional apunta a la existencia de un sistema de fractura de fallas con orientaciones preferenciales NW-SE NE-SW. El primero parece estar relacionado genéticamente con la apertura del Océano Atlántico, que tuvo lugar durante el Mesozoico, la mayoría de las evidencias con su residencia en la mega-estructura ubicada en la parte centro-oriental del país. Una tendencia similar de



orientación también es exhibida por los gráficos condicionantes y los álcalis de los diques toleíticos del Cretácico. Con respecto a estos últimos (NE-SO), se consideran pertenecientes o asociados a un evento regional que alcanza la periferia del basamento, ocurrido durante la fase tardía del ciclo orogénico Brasileño, probablemente Cambriano-Ordoviciano (Degraff, 1985, Mariano y Druecker, 1985, Drueckere Gay, 1987)

Wiens (1982) citado por Velázquez (1992) cree que las orientaciones EW reflejan la reactivación tectónica del basamento, con poca actividad una magmática básica muy localizada, y sin presentar expresiones más considerables.

De ello se desprende, entonces, el cuadro tectónico de lo que atraviesa Paraguay Oriental Estando regido por los diversos eventos tectomagmáticos, predominantemente alcalinos, que se registraron durante el período geológico cretáceo-terciario, residiendo la última actividad en las múltiples intrusiones de rocas ultra-alcalinas, de edad entre 61-39 Ma, aflorando alrededor de la ciudad de Asunción (Velázquez, 1992)

## **2.4 Hidrografía**

Toda el área de estudio de esta investigación se encuentra en la gran cuenca del Río Tebicuary, y específicamente en la microcuenca del Arroyo Mbuyapey, como se menciona en una publicación realizada en el marco del proyecto “Elaboración del Plan de Manejo del Parque Nacional Ybycuí” (2015) ejecutado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.

En este trabajo también se menciona lo siguiente; los principales arroyos tributarios de la microcuenca son los arroyos Corrientes e Ybycuí conocido también como Mina, que casi en su totalidad se encuentra dentro del PNY, y parte del arroyo Corrientes con su afluente el Carai mí, que cruza el PNY de norte a sur. Los dos arroyos mencionados, nacen de numerosas nacientes localizadas en las laderas de los cerros. Algunos de los tributarios del arroyo Ybycuí/Mina son los arroyos Canelón, Guaraní y otras nacientes; mientras los afluentes del arroyo Corrientes son el Carai-Mí y el Pindó.

Flecha et al. (2005) citado en el Plan de Manejo del Parque Nacional Ybycuí (2015) mencionan algunas características morfométricas de estas microcuencas. El Arroyo Ybycuí desemboca en el Arroyo Mbuyapey y alcanza una longitud total de 25,41 km. La microcuenca abarca una superficie de 15.168 ha.

El arroyo Corrientes tiene una longitud de 35,04 km. La pendiente da una pauta sobre el riesgo de erosión que puede sufrir una microcuenca, pues esta influye en la velocidad con que se escurre el agua, y la probabilidad que tiene el agua de infiltrarse. Flecha et al (2005) calcularon el porcentaje y la superficie de la cuenca que se encuentra en los diferentes rangos de pendiente. De este modo se tiene que 1.091 ha (15,55 %) de la microcuenca de este curso de agua cae en el rango de pendiente de Clase A (0 – 2%). Un total de 10.720 ha (70,5%) de esta microcuenca están en el rango de pendientes de la Clase B (2 – 6%), de riesgo de erosión moderado (FCA-UNA, 2015)

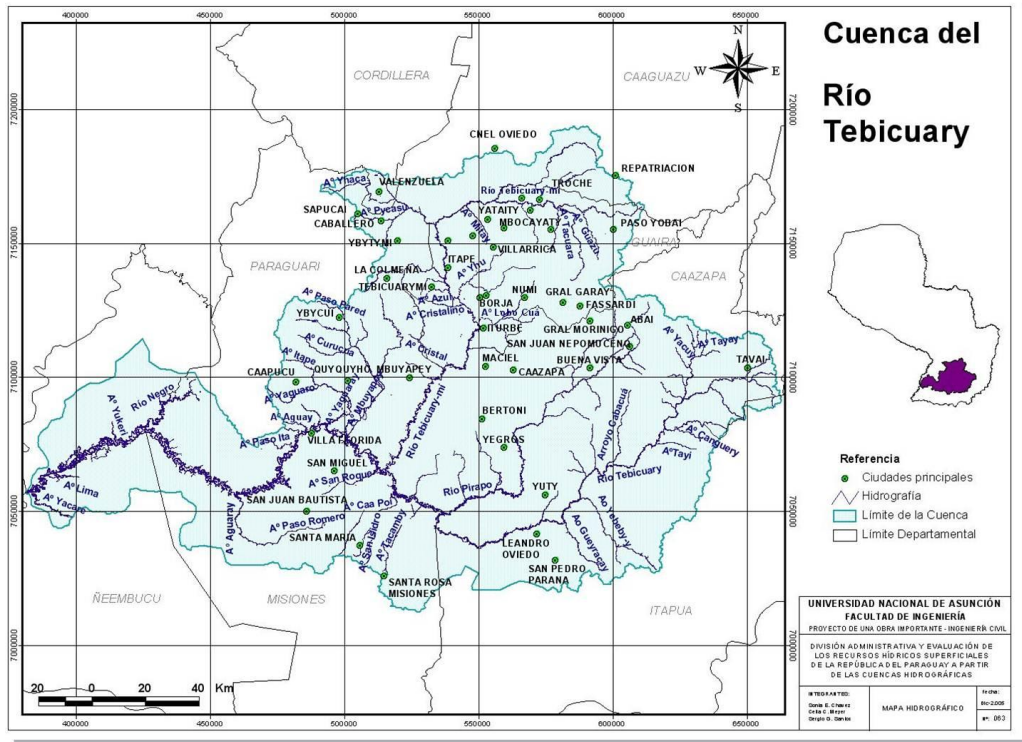
El rango de pendiente C (6 – 12 %) con un riesgo de erosión fuerte; en la microcuenca del Arroyo Corrientes es la de mayor correspondencia a esta Clase entre todas las microcuencas con una superficie 2.262 ha (32,22%). La clase D (12 – 25 %) donde el riesgo de erosión es muy fuerte el Ao. Corrientes tiene 872 ha y 12,34%; por último, la clase de pendiente E (mayor a 25%) donde el escurrimiento superficial es muy rápido y deben utilizarse prácticas de manejo y conservación de los suelos específicos, 111 ha (1,58%) de la microcuenca pertenece a esta Clase. La altitud media es de 305 msnm (FCA-UNA, 2015)

El Arroyo Carai Mí tiene una longitud de 17,05 km. Una superficie de 1.191 ha (19,1%) de su microcuenca pertenece a la clase A de pendiente (0 – 2%), 368,47 ha (10,1%) a la clase B (2 – 6%), 1.519 ha (24,4%) a la clase C (6 – 12%), 442 ha (7,1 %) a la clase D (12 – 25%) y por último 126 ha (2,02%) a la clase E (mayor a 25%). La altitud media del Carai Mí es de 345 msnm (FCA-UNA, 2015)

En la serranía (centro-sur de la unidad de conservación), en el sitio conocido como “cenizal” se encuentran tres lagunas a una cota estimada de 330 msnm, una permanente\* y otras dos, intermitentes. El caudal de éstas últimas depende de las precipitaciones ocurridas en la zona (FCA-UNA, 2015)

El PNY está regado por cursos de agua con alto valor desde el punto de vista paisajístico, ecosistémico y cultural (recreativo, educativo, entre otros) como son los más de 12 saltos de agua identificados, algunos de ellos actualmente accesibles. González (2008) identificó y mapeó 12 saltos distribuidos en las vertientes principales que cruzan el PNY, los arroyos Mina al Oeste, Corrientes y el Carai Mí al Este del parque. Cabe señalar que existen saltos que son intermitentes, en función de las lluvias (FCA-UNA, 2015)

\* Según observaciones desde Google Earth, esta laguna no contiene agua actualmente.



**Figura 5. Cuenca del Río Tebicuary.**

Fuente: Recuperado de <http://jrpa1.blogspot.com/2012/02/la-subcuenca-del-rio-tebicuary-cuenca.html>

### 2.5 Geomorfología

Gutiérrez (2001) menciona, el término “geomorfología” proviene de la palabra de la antigua Grecia geo (Tierra), morfos (forma) y logos (estudio). Esto es, por lo tanto, la ciencia de la forma de la superficie terrestre. Muchos autores limitan el alcance de la geomorfología al estudio de las superficies subaéreas, mientras que otros también incluyen la topografía submarina. Incluso los estudios de accidentes geográficos extraterrestres se han incluido recientemente en la llamada Geomorfología planetaria o extraterrestre (Baker, 1993).

La misma fuente, citando a Biiden (1968, 1997) explica que la topografía de la superficie de la Tierra es el resultado del balance entre las fuerzas endógenas y exógenas. Las fuerzas endógenas desencadenan movimientos verticales que generan grandes cinturones de montaña y depresiones, mientras que las fuerzas exógenas trabajan progresivamente para desnudar el relieve resultante. Esta interacción permanente de fuerzas se ha realizado a diferentes escalas en la superficie de la Tierra durante toda la historia geológica. Los procesos externos ocurren en una secuencia clásica de meteorización, erosión, transporte y

sedimentación. El resultado es la generación de diferentes paisajes erosivos y deposicionales, con diferentes características específicas en función del proceso dominante que trabaja en los diferentes ambientes morfogenéticos. La energía que impulsa estos procesos proviene de diferentes fuentes. La radiación solar que recibe la Tierra calienta la superficie terrestre y la atmósfera, ya que constituye la principal fuente de energía para los procesos meteorológicos.

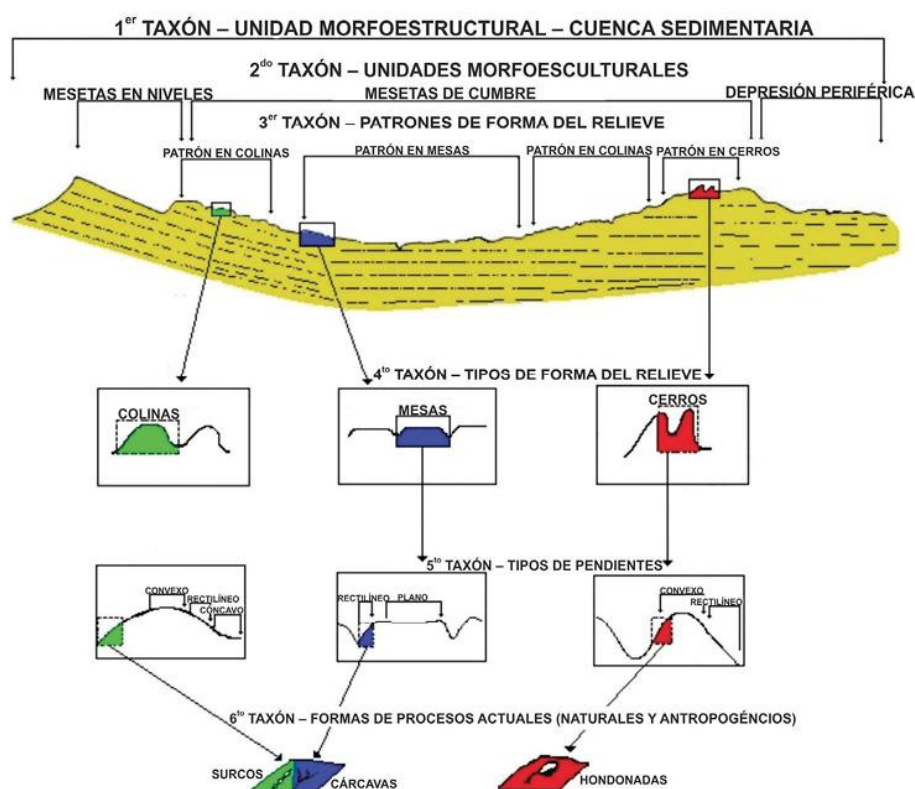
Dichos procesos controlan la erosión de las rocas, la formación del suelo, el desarrollo del relieve y también la actividad biológica de plantas y animales. Además, la energía gravitacional apoya los procesos de transporte de sedimentos y pérdida de masa. Finalmente, la energía interna del planeta es la última fuente de energía para prácticamente todos los procesos tectónicos y los movimientos corticales asociados que generan alivio.

Mescerjakov (1968) citado por Furrier (2018) establece la clasificación del relieve para el análisis geomorfológico en dos categorías principales: morfoestructura y morfoescultura. La morfoestructura se presenta con diferentes orígenes y edades, en esta clasificación se encuentran los cinturones orogénicos, las depresiones denudacionales, las depresiones tectónicas y las cuencas sedimentarias. Las morfoesculturas conciernen a fases del relieve generadas sobre las morfoestructuras, a través de procesos exógenos, es decir, el relieve es modelado por procesos ambientales que modifican las morfoestructuras, formando sobre ellas las morfoesculturas como las mesetas, las sierras, los cerros, entre otros. Por lo tanto, es una visión geomorfológica con fuerte enfoque geológico.

En la misma fuente se menciona que Ross (1992) propone una metodología para la cartografía geomorfológica, en donde establece dos niveles jerárquicos de clasificación del relieve: un primer taxón o mayor, corresponde a la morfoestructura y un segundo taxón o menor, son las unidades morfoesculturales, generadas a partir de la acción climática y la tectónica reciente a lo largo del tiempo geológico.

Para esta representación cartográfica cada unidad morfoestructural se representa con un color, y cada tonalidad de este color establece una unidad morfoescultural (Figura 3). Cada unidad morfoestructural presenta diferentes formas menores del relieve que difieren en función de su rugosidad topográfica, el índice de disección del relieve, su morfometría, e inclinación de las pendientes (Furrier, 2018)

Se presenta un tercer taxón, dentro de la unidad morfoestructural y de dimensión inferior denominado Patrones de Formas del Relieve (Figura 3), este taxón hace referencia a modificaciones por procesos morfodinámicos actuales que pueden ser percibidos. Estos Patrones de Formas de Relieve pueden ser: formas de acumulación como planicies fluviales o marinas, o formas producidas por procesos denudacionales y tectónicos recientes, como, colinas, mesetas, salto de fallas, entre otros (Furrier, 2018)



**Figura 6. Unidades taxonómicas de clasificación del relieve.**

Fuente: Modificado de Ross (1992) por Furrier (2018)

## 2.6 Geomorfología Climática

La geomorfología climática se puede definir como la disciplina que identifica los factores climáticos como la intensidad, frecuencia y duración de la precipitación, intensidad de las heladas, dirección y el poder del viento, y explica el desarrollo de paisajes bajo diferentes condiciones climáticas (Ahnert, 1996). Es de destacar que en esta definición reciente la magnitud y se tiene en cuenta la frecuencia de los procesos superficiales. Inicialmente, en el trabajo pionero de Peltier (1950) sólo dos parámetros climáticos

(temperatura media anual y precipitación total anual) fueron considerados al establecer su relación con cinco procesos geomorfológicos claves: meteorización química, acción de las heladas, erosión pluvial, movimiento de masas y acción del viento. En conjunto, distinguió dos elementos morfogenéticos diferentes, que son procesos de meteorización y los agentes de transporte de los materiales resultantes. Desde esta perspectiva, este autor postuló nueve diferentes regiones morfogenéticas, que pueden distinguirse por un conjunto característico de geo procesos mórficos. Las distinciones hechas por Peltier fueron principalmente cualitativas y muy subjetivo (Derbyshire, 1973b). Un enfoque similar fue el desarrollado por Leopold et al (1964). Wilson (1968, 1969) también desarrolló un enfoque comparable, pero cambió el gráfico de acción de las heladas para una meteorización mecánica, modificó los campos para intensidades de los procesos geomórficos definidos por Peltier, y distinguió seis regímenes denominados sistemas de procesos climáticos. Wilson subrayó la variación mensual de temperatura y precipitación (estacionalidad), así como su influencia en la actividad de los procesos geomórficos Gutiérrez (2005)

Tanner (1961) utilizó la evapotranspiración potencial en lugar de la temperatura como un factor climático variable, porque este factor nos da una idea más realista de la disponibilidad de humedad y, además, está ligado a la proporción de cobertura vegetal. Asimismo, Tanner también asumió las cuatro regiones morfogenéticas principales para ser glacial, templado, árido y selva, pero también se agregó tundra, sabana y regímenes semiáridas Gutiérrez (2005)

## **2.7 Geotectónica**

La Geotectónica es una ciencia que estudia los movimientos, estructuras y dislocaciones de las placas tectónicas y bloques en la corteza terrestre. También está relacionada con otras asignaturas como Mecánica de rocas, Ingeniería geológica y Geomorfología, entre otras. (Ramírez y Urgellez, 2011).

## **2.8 Geología Estructural y tectónica**

De acuerdo a Fossen (2010), la geología estructural y la tectónica se relacionan con la construcción y estructuras resultantes de la litósfera de la Tierra. Y a los movimientos que cambia y moldea la parte exterior de nuestro planeta.

El mismo autor menciona que una estructura geológica es una configuración geométrica de rocas, y la geología estructural lidia con la geometría, distribución y formación de estructuras.

## **2.9 Deformaciones**

La deformación es la transformación de una geometría inicial a una final por medio de traslación de un cuerpo rígido, la rotación de un cuerpo rígido, tensión (distorsión) y/o cambio de volumen (Fossen, 2010)

## **2.10 Fallas**

Una definición simple y tradicional, una falla es cualquier superficie o zona estrecha con visible desplazamiento de corte a lo largo de la zona (Fossen, 2010).

## **2.11 Lineamientos**

Fossen (2010) también explica que lineamiento es un término utilizado para describir elementos lineales que ocurren en una roca, como una cantidad de estructuras lineales primarias o tectónicas que ocurren en ambas rocas, deformadas y sin deformar.

## **2.12 Meseta Brasileña**

La Meseta Brasileña es un gran macizo o planicie cuyas elevaciones abarcan gran parte del territorio brasileño incluyendo la región oriental del Paraguay, la mesopotamia argentina, y gran parte del territorio uruguayo. Sus límites se extienden desde la llanura amazónica al norte; al este con el océano atlántico; y al sur con la llanura pampeana y el estuario del Río de la Plata, y al oeste con la llanura chaqueña y el pantanal del gran Mato Grosso (Anónimo, 2010)

Las Sierras de Ybycui es un macizo situado en el centro y este del Departamento de Paraguari, forma parte de la hoy llamada Meseta Brasileña. Se extiende desde la Cordillera de los Altos hasta la desembocadura del Rio Tebicuary Mi con el rio Tebicuary. Entre sus elevaciones se encuentran los cerros Ybycui, Simbron, Acahay, Ybytymi, entre otros. (historiaparaguaya, 2011).

## **2.13 Rift de Asunción**

El Rift de Asunción es una importante característica tectónica de la era Mesozoica – Cenozoica en el Este de Paraguay. Con un ancho de entre 25 a 40 km, esta estructura desarrollada hacia el Este, que se cree que comienza en la región de Asunción, consta de tres segmentos: el segmento occidental bien definido con rumbo NW – SE y se extiende por más

de 90km entre las localidades de Benjamín Aceval y Paraguairí; el segmento central con orientación E – W de unos 70km de extensión, que une las ciudades de Paraguairí y Villarrica; y finalmente el segmento Este menos definido, de 40km de longitud, con rumbo NW – SE, que termina en la Cordillera del Ybytyruzú (Riccomini, Velázquez, Gomes, Milan y Sallun, 2001)



**Figura 7. Localización del Rift de Asunción.**

Fuente: Riccomini *et al.* (2001)

## 2.14 ¿Qué es un SIG?

Se entiende por «Sistemas de Información Geográfica (SIG)» la conjunción de datos relacionados con el espacio físico con herramientas informáticas, es decir, con programas informáticos o software (geoinnova.org)

Así pues, un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un conjunto de componentes específicos que permiten a los usuarios finales crear consultas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio. La información geográfica va a ser aquella información que tiene algún componente espacial, es decir, una ubicación, y, además, una información atributiva que nos detalle más sobre ese elemento en cuestión. Esa ubicación se podrá definir con un nombre de una calle, por ejemplo, o con coordenadas espaciales (geoinnova.org)

Las imágenes satelitales, ahora están disponibles a cada vez más altas resoluciones y son herramientas muy valiosas para el mapeo de estructuras a escala cartográfica. Una cantidad



cada vez mayor de tales datos están disponibles en la *World Wide Web*, y puede combinarse con datos digitales de elevación para crear modelos tridimensionales. Fotografías aéreas ortorrectificadas (ortofotos) puede dar más u otros detalles, con resoluciones hasta unas pocas decenas de centímetros en algunos casos. Ambas estructuras dúctiles, como pliegues y foliaciones, y fallas frágiles y fracturas son maleables desde las imágenes satelitales y fotos aéreas. (Fossen, 2010)

### **2.15 MED, SIG y *Google Earth***

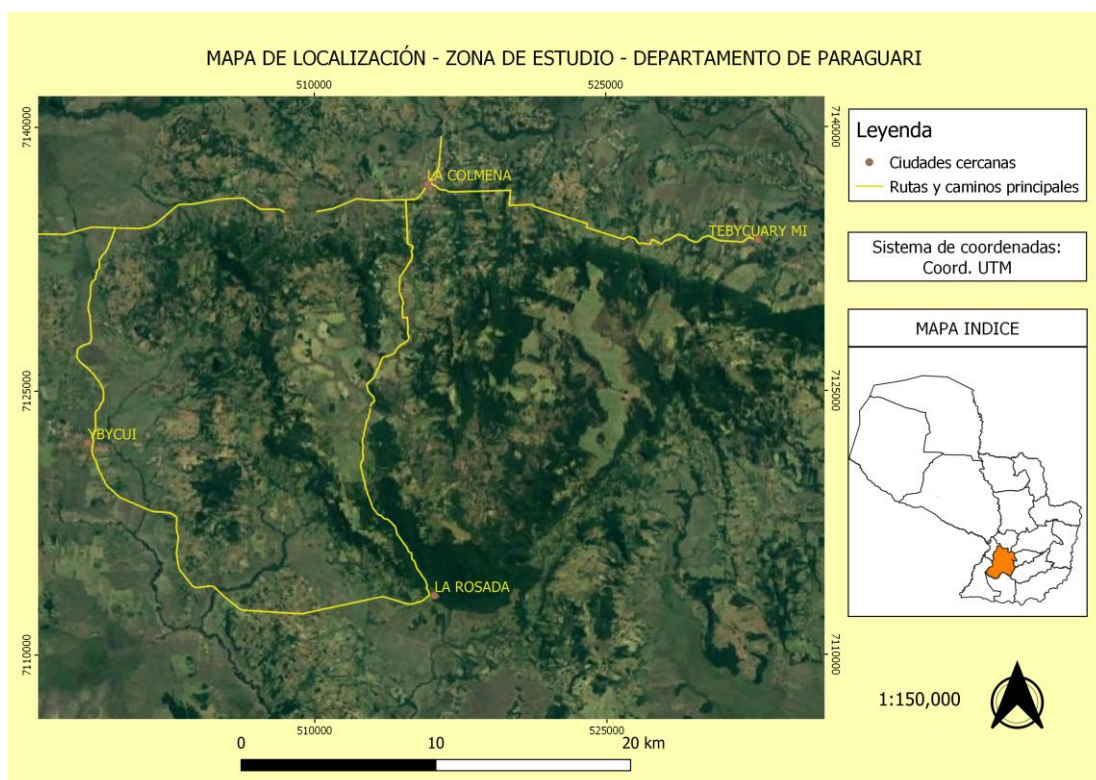
Los mapas de papel convencionales siguen siendo útiles para muchos propósitos de mapeo de campo, pero portátiles resistentes, tabletas y dispositivos de mano ahora permiten la digitalización directa de características estructurales en mapas digitales e imágenes y están siendo cada vez más importantes. Los datos de campo en forma digital se pueden combinar con datos de elevación y otros datos mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). Por medio del SIG podemos combinar observaciones de campo, diferentes mapas geológicos, fotos aéreas, imágenes satelitales, datos de gravedad, datos magnéticos, generalmente junto con un modelo de elevación digital y realizar una variación de cálculos matemáticos y estadísticos. Un Modelo de Elevación Digital (MED) es una representación digital de la topografía o la forma de una superficie, generalmente la superficie de la Tierra, pero un MED puede ser hecho por cualquier superficie geológica o interfaz que puede ser mapeado en tres dimensiones. Existen accesos baratos o gratis a información geográfica, y este tipo de dato fue revolucionado por el desarrollo de *Google Earth* en la primera década de este siglo. Los datos detallados disponibles de *Google Earth* y fuentes relacionadas de datos digitales han tomado el mapeo de fallas, contactos litológicos, foliaciones y más, a un nuevo nivel, tanto en términos de eficiencia como de precisión (Fossen, 2010)

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Características generales del área de estudio.

##### 3.1.1 Localización

El área de estudio de esta investigación se encuentra ubicada al este del Departamento de Paraguari, a aproximadamente unos 150 km de Asunción. Esta zona está rodeada por los distritos de Ybycuí, La Colmena, Tebicuary Mí y el Museo de Hierro, La Rosada. Cubre un área de aproximadamente 700 km<sup>2</sup>.



**Figura 8. Localización del área de estudio.**  
Elaborado por Mirian Almada a partir de Google Earth (2020).

### **3.1.2 Población**

Según los datos de la Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos (DGEEC) del año 2020, el Departamento de Paraguarí tiene una población total, en sus 17 municipios, de 258957 habitantes. Entre los distritos que se encuentran rodeando el área de estudio, siendo estos; Ybucuí con 25338 habitantes, La Colmena con 5855 habitantes y Tebicuary Mí con 4684 habitantes, la cantidad total de habitantes es de 35877.

### **3.1.3 Clima y Vegetación**

La Hoja San José (González *et al.*, 1998) detalla que el clima y la vegetación son característicos para áreas específicas, las zonas fisiográficamente elevadas presentan un clima más bien seco y ventoso, y una vegetación constituida principalmente de gramíneas y matorrales arbustivos. La roca desnuda y el espesor mínimo de los suelos, son las causas principales por las cuales la vegetación no puede desarrollarse. El Valle de Acahay presenta un clima más bien húmedo bañado por numerosos arroyos y el Río Tebicuary-mí, con áreas bajas inundables en épocas de lluvias. La vegetación presente en forma de remanentes boscosos, se restringe a las márgenes de los arroyos y su río principal.

A pesar de que en términos generales el clima del PNY no difiere mucho del clima regional, pueden existir variaciones de temperatura y precipitación en la unidad de conservación, con respecto al Departamento de Paraguarí, siendo la precipitación media anual de 1.400 a 1.600 mm y la temperatura media anual de 23 °C (STP 2007; Moran 2012; González 2008). En el PNY se registraron temperaturas extremas de 38 °C en enero, y 1 °C, entre junio y julio (MAG 1998). Cabe resaltar que actualmente el PNY cuenta con una Estación Meteorológica Analógica instalada en la proximidad a la Zona Histórica en el marco de la asistencia financiera no reembolsable del Gobierno de Japón, lo cual permite un registro meteorológico permanente (FCA-UNA, 2015). El verano (de diciembre a marzo) puede ser muy caluroso. El invierno (de junio a septiembre es apacible con pocos días fríos. La lluvia es más intensa en el período que va desde diciembre a marzo, en invierno son permanentes el rocío y la neblina (PDMS, 2015)

### **3.1.4 Turismo**

El Departamento de Paraguarí tiene innumerables atractivos naturales debido justamente a la geomorfología de la zona, serranías y saltos de agua asombrosos, algunos de los más famosos son el Salto Cristal en La Colmena, el Salto Mbocaruzú (que no se encuentra

habilitada al público ya que es de uso prohibido), también se encuentran varios cerros como el Cerro Perõ, Cerro Jhú, el Cerro Santo Tomás, Cerro Acaháí, Cerro Verá, Cerro Pa'û, entre muchos otros que se extienden a lo largo de esa zona. Uno de los principales lugares turísticos es el Parque Nacional de Ybycuí. Este parque ocupa toda la parte Sur de la zona de estudio, abarcando un área de 5000 ha; esta zona está cubierta por vegetación y muchos saltos de agua, entre ellos; Salto Minas, Salto Guaraní, Salto Escondido, entre otros.

### **3.2 Materiales**

Para la visita de campo se utilizó martillo, *GPS* y cámara fotográfica esencialmente. Para la elaboración de este trabajo se utilizó la herramienta SIG (*QGis* y *Google Earth*), para la elaboración de los mapas a ser descritos.

### **3.3 Métodos**

La metodología utilizada en este trabajo es de tipo descriptivo, ya que busca justamente describir las características morfoestructurales del área de estudio.

Primeramente, se realizó una revisión bibliográfica de los trabajos relacionados con el tema de investigación, y a la recopilación de información en general sobre el tema. También se hizo una revisión de todos los datos generales del área de estudio. A través de imágenes satelitales de *Google Earth* se hizo un primer reconocimiento de la zona de estudio.

Se realizó una visita al campo a modo de exploración, principalmente para realizar un reconocimiento visual del terreno.

Con la aplicación del *software QGis* y *Google Earth*, se procedió a la elaboración de los mapas, resaltando las características geomorfológicas del área de estudio, además se elaboró varios perfiles topográficos con el *software Google Earth*, necesarios para este trabajo. Posteriormente, se realizó la interpretación y descripción de dichos materiales.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

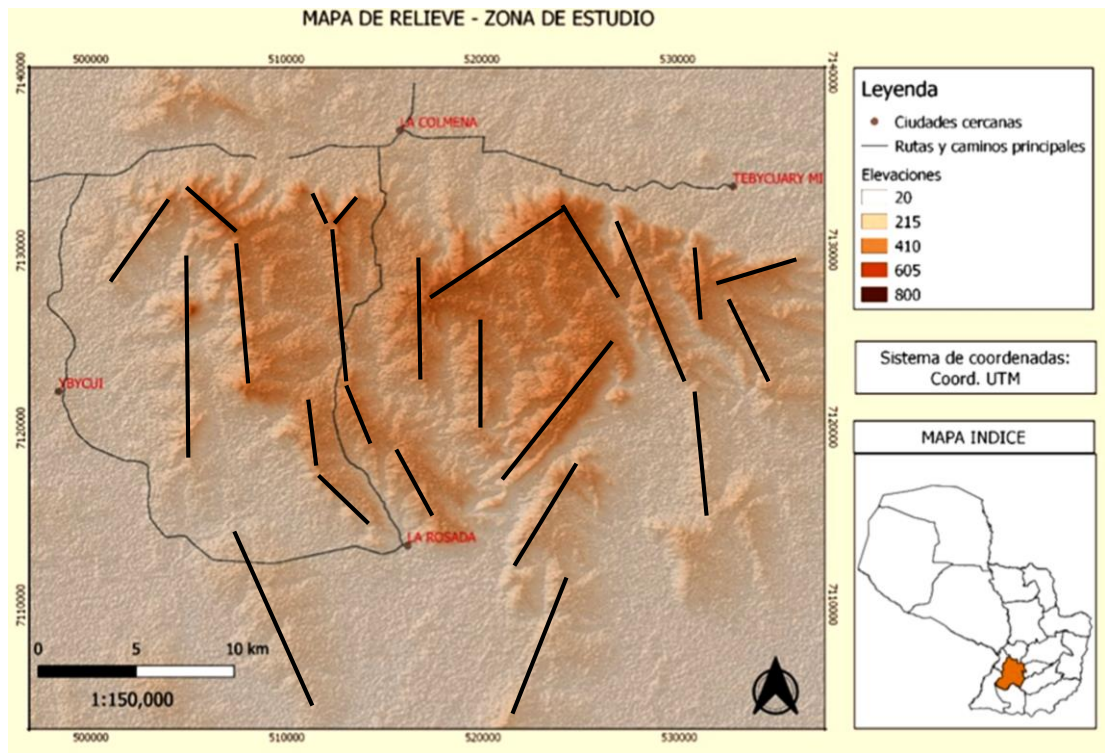
#### **4.1 Descripción del mapa de relieve y del DEM.**

En la figura 6 se muestra en el mapa el relieve del área de estudio, elaborada con el *software QGis*. Las diferentes tonalidades de naranja varían según la elevación del terreno, donde el naranja más claro representa las zonas más bajas y se hace más oscuro mientras más alto sea el terreno.

Se logra observar que la zona de estudio es notablemente más elevada que el área que la rodea, la parte más alta alcanza los 500 msnm, la más baja, menos de los 200 metros. La superficie del terreno no es homogénea, como se puede observar en la figura 6.

En la imagen se pueden distinguir los canales de drenaje, representados por las zonas más claras, ya que estas a su vez, representan las zonas más bajas.

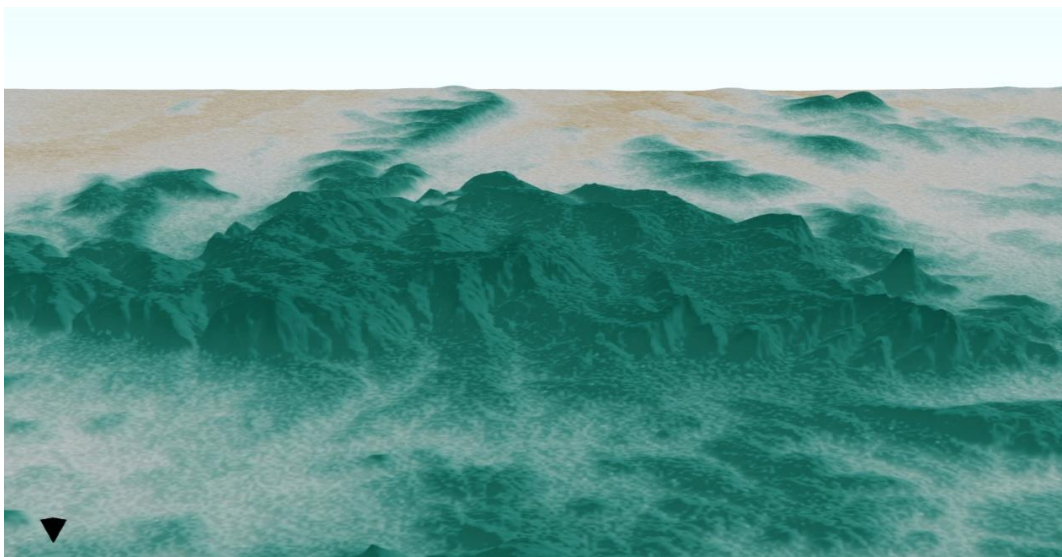
Las estructuras principales observadas se resaltan con las líneas negras y tienen las siguientes direcciones: en la parte Oeste tienen una dirección NW – SE, en la parte central de las serranías tienen una dirección N – S, en la parte Este se observan estructuras con dirección N – S, estructuras con dirección NE – SW y también algunas estructuras con dirección NW – SE, dándole a las serranías una forma particular. Según se observa en la figura, el sistema de elevaciones presenta una dirección preferencial NW.



**Figura 6: Mapa de relieve de la zona de estudio.**

Elaboración: Mirian Almada (2020)

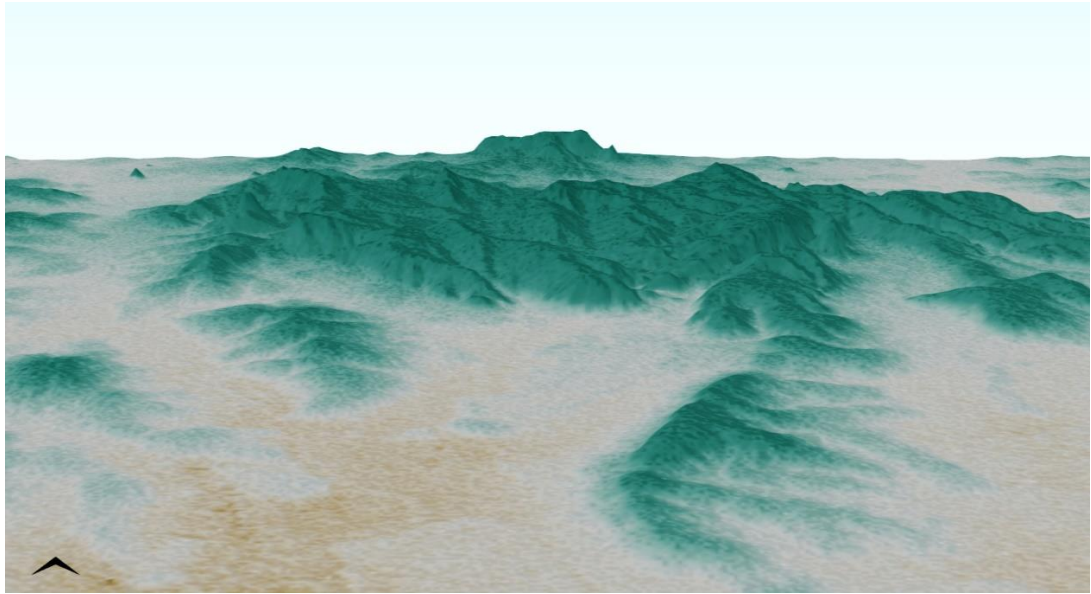
En las figuras 7, 8, 9 y 10, se presentan vistas del relieve del área de estudio desde diferentes direcciones para una mejor visualización de las formas del terreno.



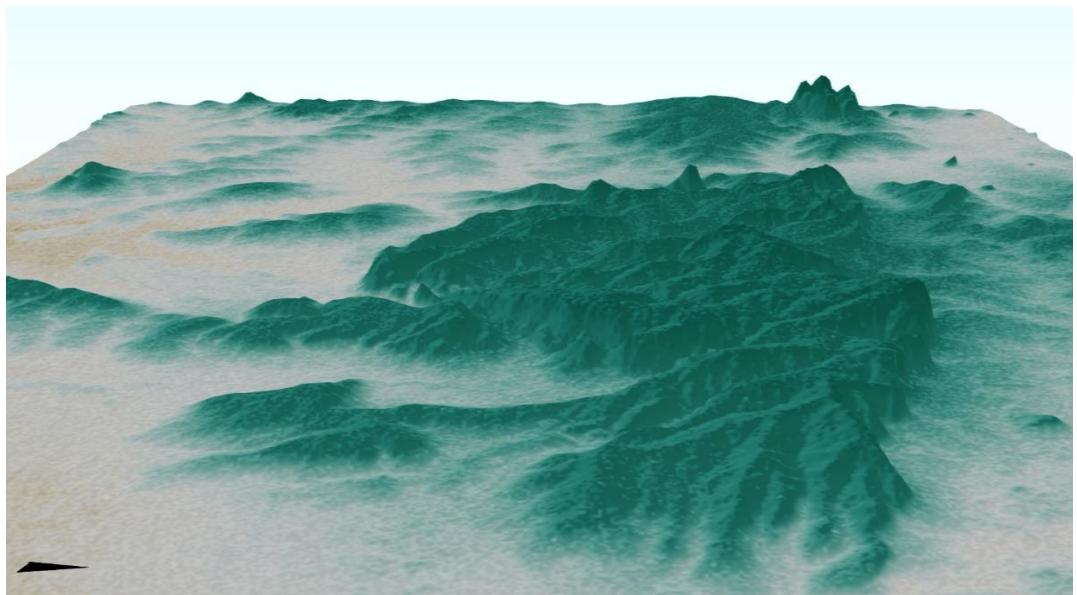
**Figura 7: Vista desde la parte Norte de la geomorfología del área de estudio.**

Elaboración: Mirian Almada (2020)

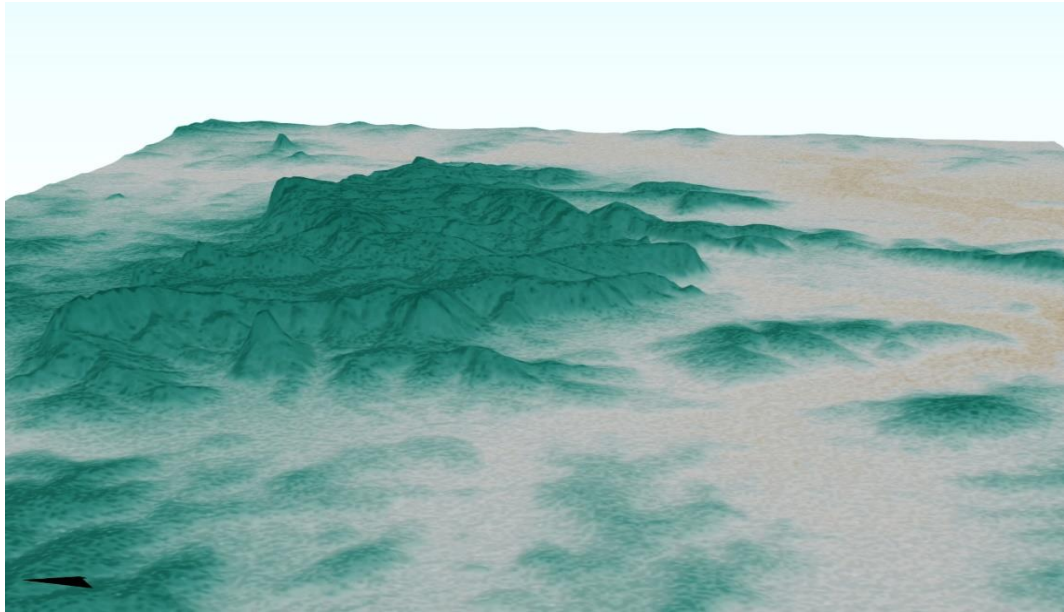




**Figura 8: Vista desde la parte Sur de la geomorfología del área de estudio.**  
Elaboración: Mirian Almada (2020)



**Figura 9: Vista desde la parte Este de la geomorfología del área de estudio.**  
Elaboración: Mirian Almada (2020)



**Figura 10: Vista desde la parte Oeste de la geomorfología del área de estudio.**  
Elaboración: Mirian Almada (2020)



## 4.2 Descripción Imagen Satelital

De la figura 11 se puede observar que la vegetación arbórea se encuentra principalmente en las zonas más altas del área, diferenciando así las elevaciones del terreno. Las plantaciones se ubican en las partes menos sinuosas del relieve.

Al Sur del área se observa el cauce del arroyo Corriente, que atraviesa por esa zona.



**Figura 11: Imagen satelital del área de estudio, tomada desde una altura de 59,60 km, en puntos rojos se señalan las ciudades circundantes.**

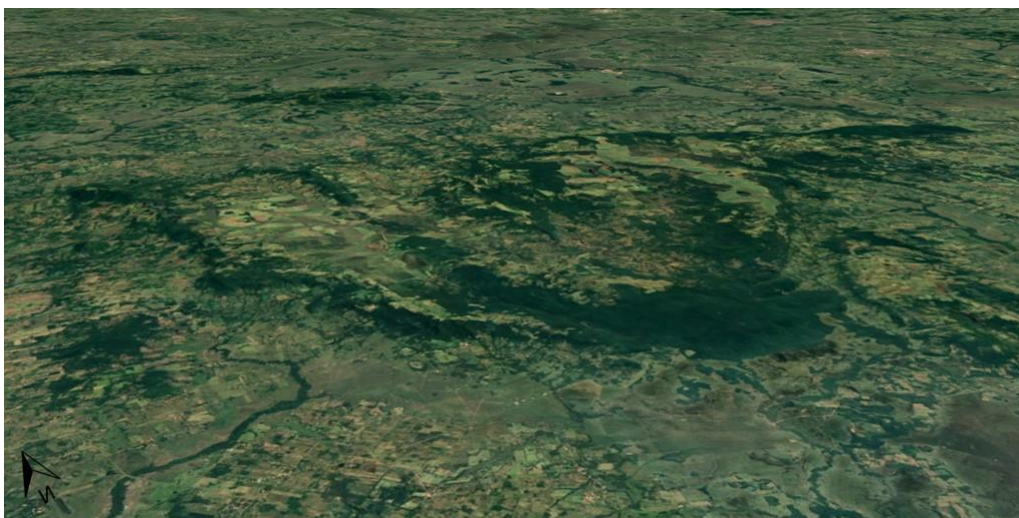
Fuente: *Google Earth*

A continuación, se muestran, en las figuras 12, 13, 14 y 15, imágenes satelitales del área de estudio, desde diferentes ángulos, obtenidas desde *Google Earth*.



**Figura 18: Vista desde la parte Noroeste del área de estudio, desde una altura de 9,38 km.**

Fuente: *Google Earth*.



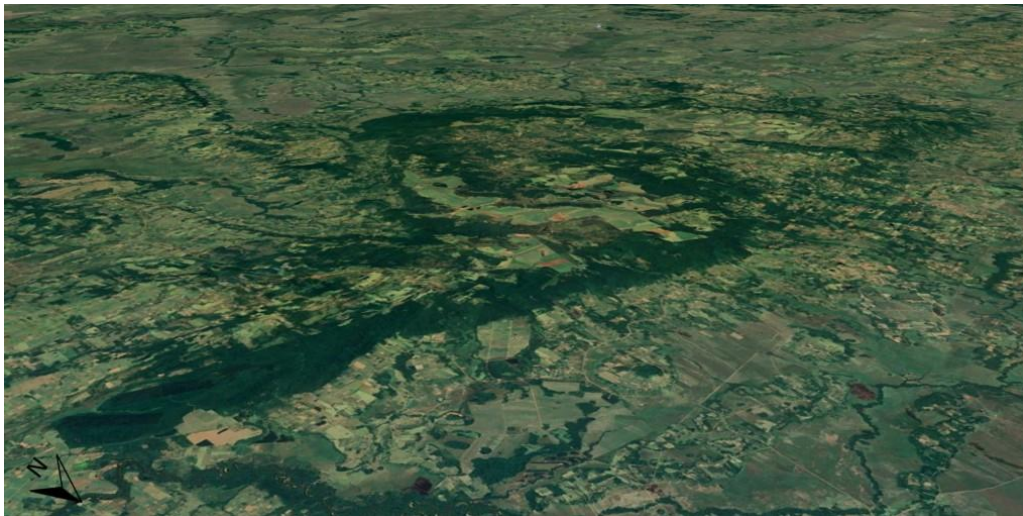
**Figura 19: Vista desde la parte Suroeste del área de estudio, desde una altura de 8,99 km.**

Fuente: *Google Earth*.





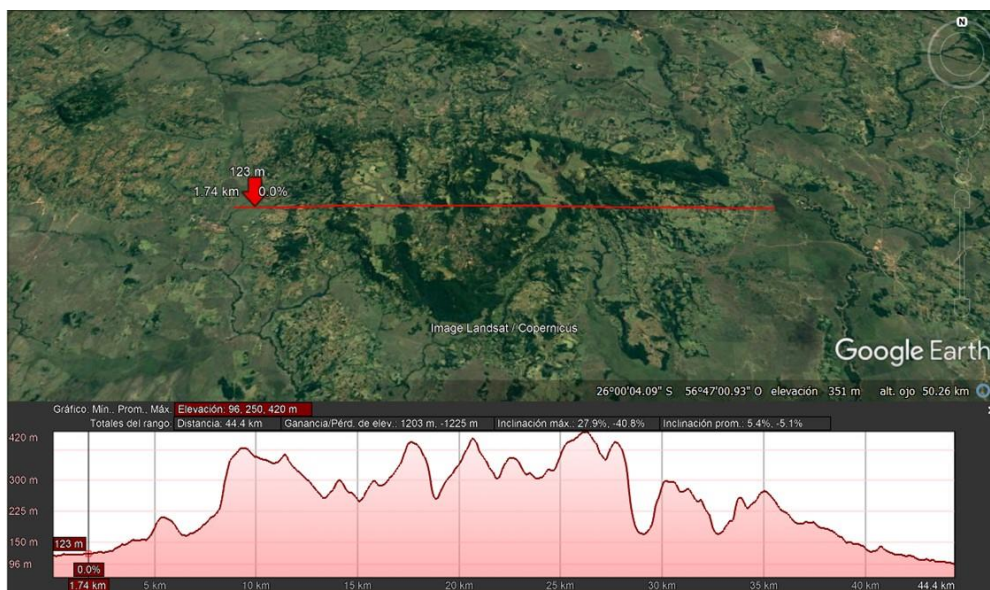
**Figura 110: Vista desde la parte Sur del área de estudio, desde una altura de 11,18 km.**  
Fuente: *Google Earth*.



**Figura 111: Vista desde la parte Noreste del área de estudio, desde una altura de 10,41 km.**  
Fuente: *Google Earth*.

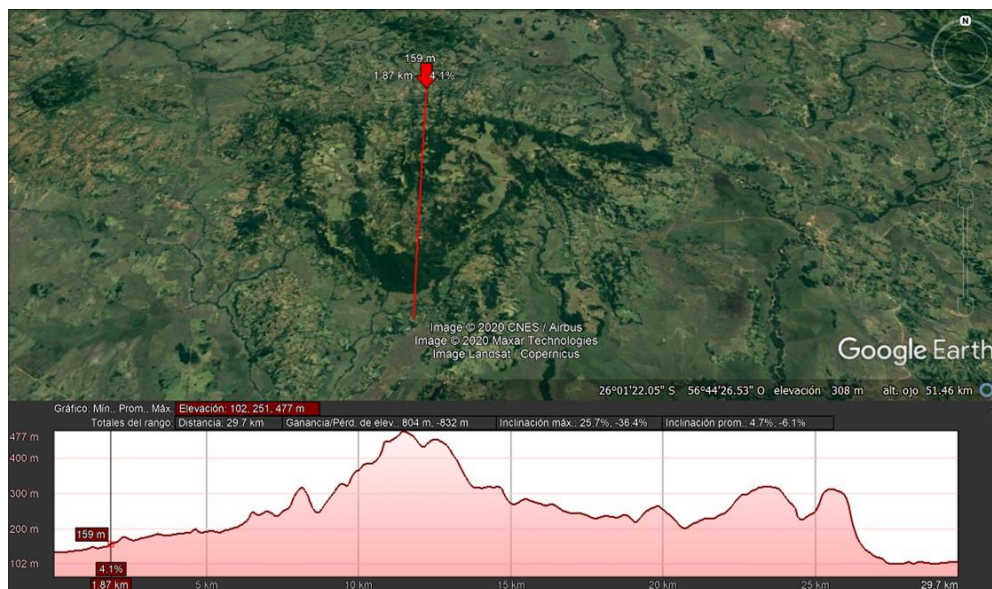
### 4.3 Perfil de elevación

En la figura 16 se puede observar el perfil de elevación de Este a Oeste de la zona de estudio. En el perfil se aprecia la diferencia en la fisiografía de la zona, donde el área más elevada alcanza una altura de 420 msnm, y la más baja, unos 96 msnm, para esta fracción por donde pasa la línea roja. De extremo a extremo del perfil medido hay una distancia de 45 km aproximadamente, como se muestra en la figura.



**Figura 112: Perfil de elevación (W - E) del área de estudio.**  
Fuente: Extraído de *Google Earth*

En la figura 17 se observa el perfil de elevación, de Norte a Sur de la zona de estudio. El perfil deja en evidencia la geomorfología de esta área, el punto más alto por donde pasa la línea roja sobre el territorio, se encuentra a unos 477 metros. En la parte Sur se observa cómo el relieve cambia bruscamente, pasando de unos 300 metros de altura a unos 100 metros aproximadamente, una diferencia considerable de 200 metros, pasando de una serranía a una planicie. De extremo a extremo del perfil hay una distancia de 30 km aproximadamente.



**Figura 17: Perfil de elevación (N - S) del área de estudio.**  
Fuente: Extraído de *Google Earth*

#### 4.4 Descripción Mapa Geológico

La litología es uno de los factores más importantes en la morfología de la superficie terrestre, ya que de esto dependerá qué tan resistente sea el terreno a la erosión y a la meteorización. También dependerá del tipo de roca cómo se comportará el terreno a las diferentes fuerzas de la Tierra, ya sea plegándose o fracturándose.

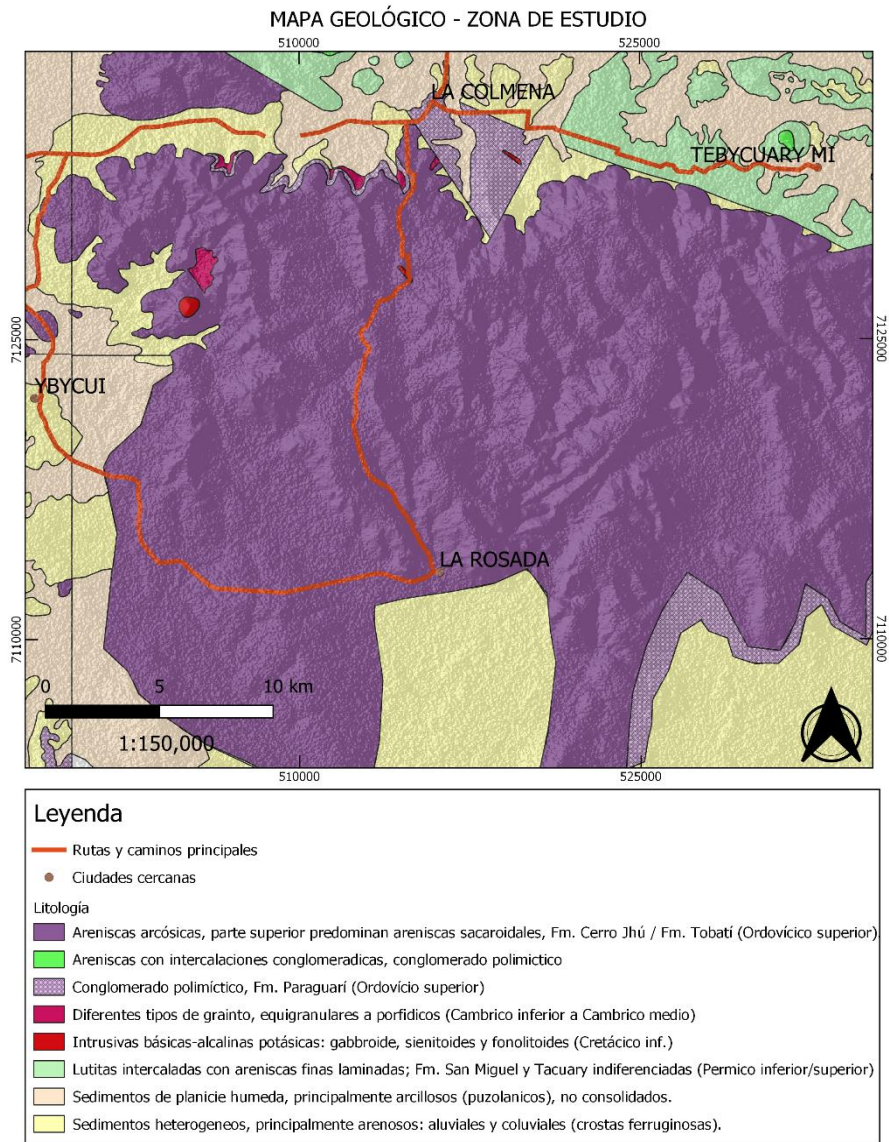
La geología del área de estudio de este trabajo, está compuesta en su mayoría por rocas sedimentarias del Ordovísico Superior (areniscas arcósicas, areniscas sacaroidales) como se observa en la figura 18.

Al Norte, al pie del Cerro Verá, se observan rocas conglomerádicas polimícticas, intercaladas con areniscas de grano grueso, con estratos de 1,67 metros de espesor y otros de tan solo algunos centímetros (Figura 19).

Al Oeste del área se encuentra el Cerro San José, un “*stock*” de rocas básicas - alcalinas potásicas: gabroide, sienitoides y fonolitoides del Cretácico Inferior, que forma parte de la Provincia Alcalina Central.

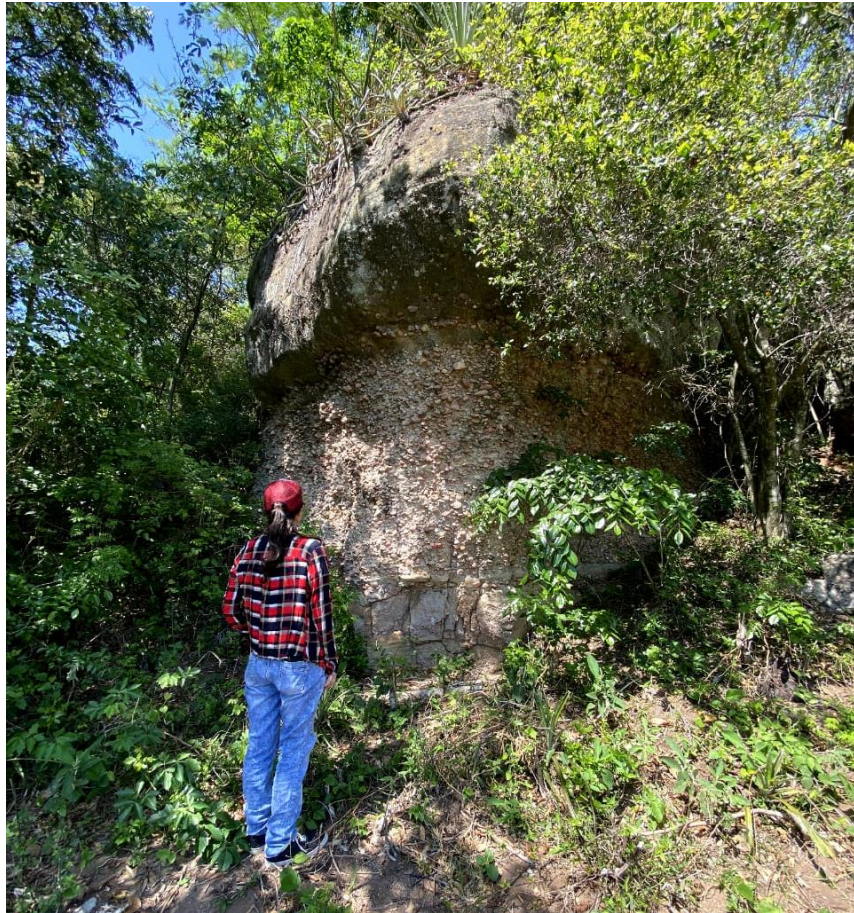
En la figura 18 también se muestra que la zona de estudio se encuentra rodeada por sedimentos de planicie húmeda, principalmente arcillosos no consolidados. Y sedimentos heterogéneos, principalmente arenosos.





**Figura 18: Mapa Geológico del área de estudio.**

Elaboración: Mirian Almada. Extraído de: Hoja Paraguari (1998), Hoja San José (1998), Hoja Villa Florida (1998) y del mapa geológico de Proyecto PAR (1986)



**Figura 19: Arenisca conglomerádica polimíctica al pie del Cerro Verá.**

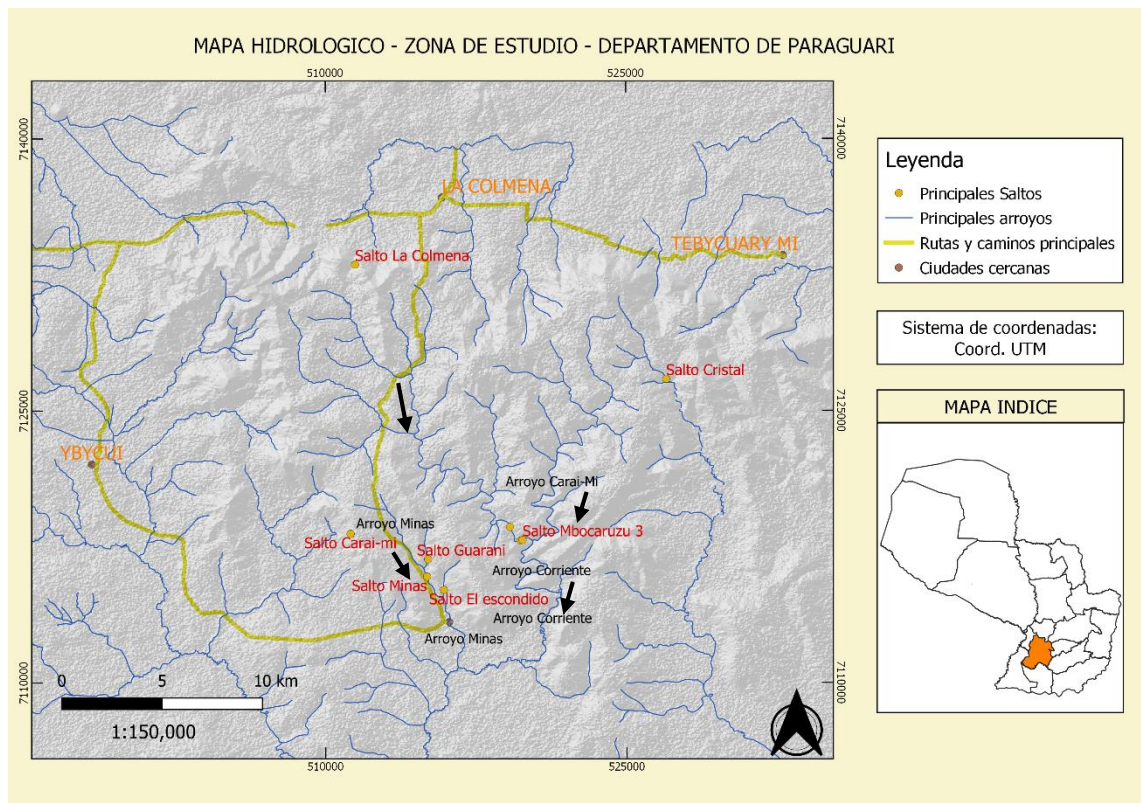
#### **4.5 Descripción Mapa Hidrológico**

Los recursos hídricos siempre se verán afectados por las formas del terreno por el que circulan, y también estos a su vez, influyen en la geomorfología, ayudando a la erosión de las rocas y transportando sedimentos.

El área de estudio se encuentra dentro de la Cuenca de Río Tebicuary y está bañada por varios cursos hídricos, como se muestra en la figura 21. Las flechas de color negro en el mapa indican la dirección de flujo de agua superficial y va de Norte a Sur. El tipo de drenaje que se observa es en general de tipo dendrítico. Los arroyos más importantes son: el Arroyo Minas, el Arroyo Corriente y el Arroyo Carai-Mi. La corriente de estos arroyos tiene gran velocidad debido a la sinuosidad del terreno y arrastran los sedimentos con gran fuerza, haciendo que los bordes de los cauces sean bien pronunciados. No todos los arroyos que figuran en el mapa son permanentes, algunos de ellos son intermitentes.



Como ya se mencionó antes, en esta zona existen una cantidad considerable de saltos de agua, debido justamente a las características geomorfológicas del área. Entre los saltos más conocidos están, el Salto Cristal (en la parte Noreste), con una caída de agua de 60 metros, el Salto Mbocharuzú 1 y 3 (al Sureste), el Salto Minas (al Suroeste), muy cerca se encuentran el Salto Guaraní y el Salto Escondido, entre muchos otros. Esto hace de la zona un lugar muy explotado turísticamente, atrayendo a personas de todas partes del país y también a extranjeros.



**Figura 20. Mapa Hidrológico de la zona de estudio.**  
Elaboración: Mirian Almada

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusión**

De acuerdo a los objetivos específicos de este trabajo, en los resultados obtenidos se evidencian las características geomorfológicas y geo-estructurales del área planteada, mostrando, a través de las imágenes satelitales, los mapas, y los Modelos de Elevación Digital, dichas características. Donde se pudieron observar las diferencias en las elevaciones de la superficie, y la sinuosidad del terreno, y también otras características como la geología, que cumple un papel muy importante en la geomorfología, la vegetación y cursos hídricos.

Con el mapa hidrológico, se pudo localizar los principales cursos hídricos que corren dentro del área de estudio, determinando así cómo se ven afectados por las formas del terreno, y cómo estos a su vez influyen en la geomorfología local, y su aprovechamiento en el turismo regional, gracias a las características geomorfológicas de la zona.

### **5.2 Recomendaciones**

El área estudiada en particular es uno de los sitios más importantes de todo el territorio paraguayo, histórica y ecológicamente hablando, por lo tanto, sería muy importante contar con más trabajos científicos sobre la misma.

Este trabajo solo se centró en las características geomorfológicas, principalmente, se podrían realizar estudios futuros sobre la correlación entre la geomorfología del área y la geología, y también su relación con otras estructuras de la región.

La utilización de imágenes satelitales del Servicio Geológico de los Estados Unidos, podrían ser de mucha ayuda para, por ejemplo, comprender mejor el comportamiento del suelo, llevar a cabo un monitoreo de la vegetación, entre muchos otros.

Todos estos estudios podrían brindar muchos más conocimientos sobre el área de estudio, importantes para un mejor manejo del territorio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA E. 2007. Teledetección y SIG aplicados a la regionalización geomorfológica en el Macizo Nordpatagónico. Anais XIII Simposio Brasileiro de Sensores Remotos, Florianópolis, Brasil.
- ANÓNIMO. 2010. Meseta Brasileña. Academic. Disponible en <https://esacademic.com/dic.nsf/eswiki/799577>
- ANÓNIMO. 2019. ¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica (SIG)? Asociación Geoinnova. Disponible en <https://geoinnova.org/cursos/que-son-los-sistemas-de-informacion-geografica-sig/>
- ARGÜELLO F. 2016. Caracterización Morfo-estructural del Valle de Ypacaraí, Región Oriental, mediante la aplicación del Sistema de Información Geográfica (SIG). Tesis de Grado. Universidad Nacional de Asunción. Carrera de Geología. Paraguay.
- COLMÁN C., GADEA M., SOUBERLICH R., VARGAS D., RÍOS S. 2019. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/337903691\\_Geomorfologia\\_de\\_la\\_Ciudad\\_de\\_Asuncion](https://www.researchgate.net/publication/337903691_Geomorfologia_de_la_Ciudad_de_Asuncion)
- DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA, ENCUESTAS Y CENSOS. 2020. Disponible en <https://www.dgeec.gov.py/>
- FCA-UNA (Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Asunción). 2015. Plan de Manejo del Parque Nacional Ybycuí 2015-2025. Asunción: SEAM/FCBT. 198 p.
- FLORES G. 2010. Interpretación de lineamientos estructurales a partir del mosaico-imagen *Landsat/TM* e información radar de la misión *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)* para la definición de Áreas Críticas o Sensibles. Disponible en <https://mundogeo.com/2000/01/01/interpretacion-de-lineamientos-estructurales-a-partir-del-mosaico-imagen-landsattm-e-informacion-radar-de-la-mision-srtm-shuttle-radar-topography-mission-para-la-definicion-de-areas-criticas-o-sen/>
- FOSSSEN H. 2010. *Structural Geology*. Cambridge University Press. Nueva York. Estados Unidos de América.

- FURRIER M. 2018. Caracterización Geomorfológica como Propuesta para la Planificación Ambiental y Territorial. Un Ejemplo de Aplicación en Brasil con Perspectiva de Aplicación en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*. Disponible en [www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/](http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/)
- GONZÁLEZ M. 1998. Mapa Geológico de la República del Paraguay Escala 1:100.000: Hoja San José 5569. MOPC-BGR. Texto Explicativo Asunción Paraguay.
- GUTIÉRREZ M. 2005. *Climatic Geomorphology*. Elsevier B. V. Ámsterdam. Países Bajos. (Obra original publicada en 2001)
- HISTORIAPARAGUAYA. 2011. Orografía. Disponible en <https://historiaparaguaya.wordpress.com/2011/11/12/orografia/>
- IRIONDO M. 2007. Introducción a la Geología. 3° Edición. Editorial Brujas. Argentina. Pág. 213
- MAPA DE LA CUENCA DEL RÍO TEBICUARY. 2012. Recuperado de <http://jrpa1.blogspot.com/2012/02/la-subcuenca-del-rio-tebicuary-cuenca.html>
- MAPA GEOLÓGICO DEL PARAGUAY. 1986. Recuperado de [geologiadelparaguay.com](http://geologiadelparaguay.com)
- MUNICIPALIDAD DE YBYCUÍ. 2015. Plan de Desarrollo Municipal Sustentable 2015-2020
- RAMÍREZ J., URGELLEZ I. 2011. La asignatura Geotectónica y su aplicación en la defensa nacional. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Cuba.
- RICCOMINI C., VELÁZQUEZ V., GOMES C., MILAN A., SALLUM A. 2011. *Tectonic Evolution of the Asunción Rift, Eastern Paraguay*. Instituto de Geociencias. Universidade de São Paulo. San Paulo, SP, Brasil.

## **ANEXOS**

### **A. Fotografías del área de estudio.**

#### **A. 1. Salto Cristal**





**A. 2. Salto Minas**



**A. 3. Vista panorámica desde el Cerro Verá**



**A. 4. Arroyo Corriente**

