

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN**

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Departamento de Geología**

**Trabajo de Grado**

**ESTUDIO LITOLÓGICO DEL SENDERO TURÍSTICO  
DEL CERRO TRES KANDÚ, CORDILLERA DEL  
YBYTYRUZÚ, EUGENIO A. GARAY, GUAIRÁ,  
PARAGUAY**

**VICTORINO ADÁN GONZÁLEZ HERRERA**

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

**SAN LORENZO – PARAGUAY  
JULIO – 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN**

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Departamento de Geología**

**Trabajo de Grado**

**ESTUDIO LITOLÓGICO DEL SENDERO TURÍSTICO  
DEL CERRO TRES KANDÚ, CORDILLERA DEL  
YBYTYRUZÚ, EUGENIO A. GARAY, GUAIRÁ,  
PARAGUAY**

**Autor:** VICTORINO ADÁN GONZÁLEZ HERRERA

**Orientador:** MSc. MOISÉS ALEJANDRO GADEA VILLALBA

**Co-orientador:** MSc. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DÍAZ

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

**SAN LORENZO – PARAGUAY**

**JULIO – 2024**

**ESTUDIO LITOLÓGICO DEL SENDERO TURÍSTICO DEL CERRO TRES  
KANDÚ, CORDILLERA DEL YBYTYRUZÚ, EUGENIO A. GARAY,  
GUAIRÁ, PARAGUAY**

**Autor:** VICTORINO ADÁN GONZÁLEZ HERRERA  
**Orientador:** MSc. MOISES ALEJANDRO GADEA VILLALBA  
**Co-Orientador:** MSc. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DÍAZ

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

Fecha de aprobación: 25 de Julio del 2024

**MESA EXAMINADORA DE TRABAJO DE GRADO**

**MIEMBROS:**

**Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruíz Díaz** .....

*Universidad Nacional de Asunción, Paraguay*

**Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba** .....

*Universidad Nacional de Asunción, Paraguay*

**Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín** .....

*Universidad Nacional de Asunción, Paraguay*

## **DEDICATORIA**

*Con gran aprecio a mi hermano Javier González y a su amada esposa Karen Martínez*

## AGRADECIMIENTOS

Deje mi frase al último como todas mis tareas, pues lo único que sabía de las clases era a qué hora acababan. La mitad del semestre fue no hacer nada, lo demás fue salvarlo.

Por sobre todo eso, agradezco a Dios por la salud que me ha dado, para no rendirme en esta batalla, agradezco al sol por brillar intensamente, por los días nublados y uno que otro lluvioso.

A mis familiares, tíos, primos y amigos por el gran apoyo moral y emocional, por creer en mí cuando ni siquiera yo estaba seguro de lo que estaba haciendo.

A mi madre Graciela, por ser como es, por las noches de insomnio y por las bendiciones que me brindaba en cada plegaria. A mi padre Juan, por los años de lucha y por nunca dejarnos solos.

A mis hermanos Ángel y Gabriela, que desde lejos siempre me brindaron la mejor de la suerte, a mi hermana Lila, por ser como una segunda mamá para toda la familia. A Cristhian, un gran hermano y por sobre todo padre de familia, que lucha incansablemente por sacar adelante a sus hijos, pues parte de su niñez lo ha empleado en trabajar de sol a sol por el pan de cada día.

A mi hermano Rolvideer, el mejor profesor de Química, Física y Matemática de la Universidad Nacional de Asunción. Gracias por no dejar de creer en mí, por todos estos años que me ayudó a seguir con mis estudios, por la cantidad de veces que he fallado y aun así seguía apostando en que llegaría a este punto de mi vida.

A su amada esposa Karen, por estar siempre tanto en las buenas como en las malas. No hay mejor sincronización en el mundo de la que tienen ellos.

A mi Tía Mirna, por brindarme asilo durante tanto tiempo y siempre haberme apoyado en mis decisiones.

A mi novia, por no bajar los brazos y siempre creer en mí. Mujer sin igual.

A la Lic. Yennifer Sarubbi, por la confección de las láminas, a los profesores: MSc. Moisés Gadea gran amigo y tutor, el cerebro de este trabajo, al MSc. Narciso Cubas por la orientación, a la MSc. Sonia por encaminar este proyecto.

Y, por último, como no agradecer a todos mis compañeros por haberme acompañado durante todo el proceso de mi formación. Me gustaría nombrar a cada uno de ustedes, pero no quisiera dejar de lado a ninguno de ellos.

**ESTUDIO LITOLÓGICO DEL SENDERO TURÍSTICO DEL CERRO TRES  
KANDÚ, CORDILLERA DEL YBYTYRUZÚ, EUGENIO A. GARAY,  
GUAIRÁ, PARAGUAY**

**Autor:** VICTORINO ADÁN GONZÁLEZ HERRERA  
**Orientador:** MSc. MOISÉS ALEJANDRO GADEA VILLALBA  
**Co-Orientador:** MSc. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DÍAZ

**Resumen**

En el sendero turístico del cerro Tres Kandú, ubicado en el flanco Sur de la Cordillera del Ybytyruzú, del Departamento de Guairá, distrito General Eugenio Alejandrino Garay, cuyo reconocimiento de las litologías se clasifica como basaltos toleíticos, relacionado al magmatismo de la Suite Alto Paraná de edades entre 127 a 108 Ma. La roca es de color oscura a pardo rojizo, la plagioclasa y el piroxeno son sus minerales principales con una textura ofítica a porfírica y ocasionalmente vidrio en los intersticios. Presenta una típica secuencia de coladas que se da de la siguiente manera: amigdaloidal - vesicular, amigdaloidal y vidrio intersticial puede ser apreciado en microscopio. Las cavidades se encuentran rellenas por minerales arcillosos, producto de la alteración de algunos minerales máficos.

Palabras claves: Textura ofítica, cerro Tres Kandú, Cordillera del Ybytyruzu, Magmatismo, Suite Alto Paraná.

**LITHOLOGICAL STUDY OF THE TOURIST TRAIL OF CERRO TRES  
KANDÚ, YBYTYRUZÚ CORDILLERA, EUGENIO A. GARAY, GUAIRÁ,  
PARAGUAY**

**Autor:** VICTORINO ADÁN GONZÁLEZ HERRERA  
**Orientador:** MSc. MOISÉS ALEJANDRO GADEA VILLALBA  
**Co-Orientador:** MSc. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DÍAZ

**Summary**

On the tourist trail of Tres Kandú Hill, located on the southern flank of the Ybytyruzú Mountain Range, in the Department of Guairá, General Eugenio Alejandrino Garay district, whose lithology recognition is classified as tholeiitic basalts, related to the magmatism of the Alto Paraná Suite ages between 127 to 108 Ma. The rock is dark to reddish brown in color, plagioclase and pyroxene are its main minerals with an ophitic to porphyritic texture and occasionally glass in the interstices. It presents a typical sequence of castings that occurs as follows: amygdaloidal - vesicular, amygdaloidal and interstitial glass can be seen under a microscope. The cavities are filled with clay minerals, a product of the alteration of some mafic minerals.

Keywords: Office texture, Tres Kandú Hill, Ybytyruzú Mountain Range, Magmatism, Alto Paraná Suite.

## ÍNDICE

	<b>Páginas</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN-----</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema-----	1
1.2 Preguntas de investigación -----	2
1.3 Objetivos-----	2
1.3.1 Objetivo general -----	2
1.3.2 Objetivos específicos-----	2
1.3.3 Justificación -----	3
1.3.4 Viabilidad-----	3
1.3.5 Hipótesis -----	3
1.3.6 Variables -----	4
1.3.7 Variable independiente-----	4
1.3.8 Variable dependiente -----	4
<b>2 MARCO TEÓRICO -----</b>	<b>5</b>
2.1 Geología -----	5
2.1.1 Geología regional-----	5
2.1.2 La margen Occidental de la Cuenca del Paraná -----	5
2.1.3 Relaciones entre el magmatismo alcalino y toleítico de la Cuenca del Paraná-----	7
2.1.4 Provincias alcalinas y basaltos toleíticos -----	8
2.1.5 Graben Asunción-Sapucaí-Villarrica (ASV)-----	10
2.1.6 Evolución del concepto de provincia alcalina -----	12
2.1.7 Provincia de Alto Paraguay -----	12
2.1.8 Provincia de Río Apa-----	13
2.1.9 Provincia de Amambay -----	13
2.1.10 Provincia Central-----	13
2.1.11 Provincia de Misiones -----	14
2.1.12 Provincia de Asunción -----	14
2.2 Lavas basálticas de Serra Geral. Triásico superior o Jurásico-----	14
2.3 Comparación con edades de rocas volcánicas del sistema Paraná-Angola-Etendeka -----	17
2.4 Petrografía-----	19
2.4.1 Clasificación, Petrográfica y Petroquímica de las rocas magmáticas-----	19
2.5 Vegetación-----	20
2.6 Geología de la Cordillera del Ybytyruzú-----	22
2.6.1 Grupos y formaciones asociadas a la Cordillera del Ybytyruzú-----	23
2.7 Geología regional del Ybytyruzú-----	26



2.8	Estratigrafía -----	28
2.9	Geología local-----	28
2.9.1	Magmatismo toleítico. -----	28
2.9.2	Rocas magmáticas -----	29
2.9.3	Suite magmática Alto Paraná -----	29
2.10	Tectónica -----	30
<b>3</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO -----</b>	<b>31</b>
3.1	Enfoque o abordaje-----	31
3.2	Nivel de investigación -----	31
3.3	Área de estudio -----	32
3.3.1	Localización y vías de comunicación -----	32
3.3.2	Población del Distrito -----	33
3.3.3	Población -----	35
3.3.4	Muestra-----	35
3.3.5	Unidad de análisis -----	35
3.3.6	Muestreo -----	35
3.3.7	Instrumentos para la recolección de datos -----	35
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA -----</b>	<b>36</b>
4.1	Trabajo de gabinete -----	36
4.2	Trabajo de campo-----	36
4.3	Elaboración de mapas-----	37
4.4	Análisis de laboratorio-----	37
4.5	Petrografía-----	37
<b>5</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----</b>	<b>40</b>
5.1	Descripción del afloramiento -----	40
5.2	Descripción macroscópica -----	43
5.2.1	Muestra 1 (842 msnm)-----	43
5.2.2	Muestra 2 (815 msnm)-----	44
5.2.3	Muestra 3 (790 msnm)-----	45
5.2.4	Muestra 4 (750 msnm)-----	46
5.2.5	Muestra 5 (640 msnm)-----	48
5.2.6	Muestra 6 (450 msnm)-----	49
5.3	Descripción microscópica -----	50
5.3.1	Muestra 4 (450 msnm)-----	50
5.3.2	Muestra 5 (640 msnm)-----	51
5.3.3	Muestra 6 (450 msnm)-----	52
5.4	Interpretación de la rozeta geológica -----	54

5.4.1	Tabla de resultados	54
5.4.2	Tectónica	55
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>58</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>61</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>1</b> Medidas de rumbo de las fracturas que se encuentran en las rocas presentes en el sendero turístico del cerro Tres Kandú. ....	54

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>1</b> Evolución de lavas en relación a su potencia y área de cobertura. ....	8
<b>2</b> Mapa geológico del Graben Asunción-Sapucái-Villarrica. En la siguiente figura se aprecia la distribución de fallas en el área del graben.....	11
<b>3</b> Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.....	32
<b>4</b> Diferenciación entre vías de acceso entre 5 y 10 km .....	33
<b>5</b> Diagrama en porcentaje de pobladores del Distrito General Eugenio Alejandro Garay en el rango de sexo .....	34
<b>6</b> Mapa topográfico del área de estudio del cerro Tres Kandú .....	34
<b>7</b> Etapa final de elaboración de láminas delgadas. Se observa en la figura el grosor ideal aproximado que es de 30 $\mu\text{m}$ .....	38
<b>8</b> Observación de lámina delgada a través de microscopio petrográfico de la marca Leica.....	39
<b>9</b> Mapa geológico, indicando punto de partida (255 msnm) y final (842 msnm) del sendero turístico del cerro Tres Kandú .....	40
<b>10</b> a) Afloramiento a los 842 msnm. b) Bloque de basalto a los 255 msnm.....	41
<b>11</b> a) Gran afloramiento de basalto a los 450 msnm atravesada por un curso hídrico a un costado del sendero turístico del cerro Tres Kandú. b) Basaltos sumamente fracturados a unos 700 msnm.....	42
<b>12</b> Muestra 1. Basalto toleítico alterado y sumamente fracturado .....	43
<b>13</b> a) Basalto toleítico alterado con cavidades amigdalóides rellenas de arcilla y algunos. b) Basalto toleítico alterado y oxidado observado en lupa con aumento 20x .....	44
<b>14</b> Basaltos toleíticos aflorantes en el sendero turístico del cerro Tres Kandú con fracturas.....	44
<b>15</b> a) Basalto toleítico alterado con cavidades amigdalóides rellenas de arcilla y algunos. b) Basalto toleítico alterado y oxidado observado en lupa con aumento 20x .....	45
<b>16</b> Afloramiento de basalto toleítico con textura afanítica .....	45
<b>17</b> a) Muestra de mano de basalto. b) Basalto toleítico con textura afanítica observado en lupa con aumento 20x.....	46
<b>18</b> Afloramiento de basaltos toleíticos altamente erosionados y cubierto de musgos	46
<b>19</b> a) Muestra de mano de basalto. b) Basalto toleítico con textura afirica. Observado con lupa 20x .....	47
<b>20</b> Afloramiento de basalto toleítico en el sendero turístico del cerro Tres Kandú ...	48
<b>21</b> a) Muestra de mano de basalto. b) Basalto toleítico con pequeños bandeamientos de cuarzo observado con lupa 20x .....	48
<b>22</b> Basalto toleítico aflorante en el sendero turístico del cerro Tres Kandú .....	49
<b>23</b> a) Muestra de mano con oquedades rellenas de arcilla. b) Basalto toleítico con oquedades rellenas de material arcilloso. Observado en lupa 20x.....	49
<b>24</b> Sección delgada de basalto toleítico: a) LPNA, b) LPA. Se observa la presencia de fenocristales de augita (alta birrefringencia), plagioclasa, inclusiones de calcedonia, minerales opacos y cavidades veciculo-amigdaloides .....	50

<b>25</b> Sección delgada de basalto toleítico: a) LPNA, b) LPA. Se observa vidrio intersticial, plagioclasas con textura intergranular, pequeño cristal de olivino, cuerpos opacos y varias vesículas	51
<b>26</b> Sección delgada de basalto toleítico. a) LPNA, b) LPA. Se observa en varias secciones de la lámina cavidades vesiculares (Ves), hematita (Hem), de alta birrefringencia, plagioclasa sumamente alterada (Pl alt), piroxeno alterado (Au alt) y minerales opacos .....	52
<b>27</b> Mapa geológico del cerro Tres Kandú y alrededores.....	53
<b>28</b> Mapa geológico del área de estudio.....	53
<b>29</b> Diagrama de rozeta geológica. Direcciones preferenciales en basaltos toleíticos aflorantes en el sendero turístico del cerro Tres Kandú.....	55

## ANEXOS

	<b>Páginas</b>
<b>1</b> Basaltos toleíticos meteorizados. ....	61
<b>2</b> Sendero turístico del cerro Tres Kandú.....	62
<b>3</b> Sendero turístico del cerro Tres Kandú. Basalto toleítico fuertemente meteorizado. .....	63
<b>4</b> Meteorización por agentes biológicos.....	64
<b>5</b> Medición de rumbo en fracturas presentes en basaltos toleíticos. ....	65
<b>6</b> Afloramientos basálticos en el punto más alto del cerro Tres Kandú.....	66

## LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>SGF</b>	Formación Serra Geral
<b>SCLM</b>	fusión por deshidratación del manto litosférico subcontinental heterogéneo
<b>Ma</b>	Millones de años
<b>ASV</b>	Asunción-Villarrica-Sapucai
<b>ASU</b>	Graben Asunción-Sapucai
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>m</b>	Metros
<b>MOPC</b> Comunicaciones	Ministerio de Obras Públicas y
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística
<b>MORB</b>	Basaltos de las dorsales medio-oceánicas
<b>UTM</b>	Universal Transverse Mercator
<b>µm</b>	Micrón
<b>Ar</b>	Argón
<b>NW - SE</b>	Noroeste - Sureste
<b>NE - SW</b>	Noreste - Suroeste
<b>ENE-WSW</b>	Este noreste - Oeste suroeste
<b>NNW- SSE</b>	Nor noroeste - Sur sureste
<b>N</b>	Norte
<b>S</b>	Sur
<b>E</b>	Este
<b>W</b>	Oeste
<b>NO</b>	Noroeste
<b>NE</b>	Noreste
<b>°C</b>	Grados centígrados

**TiO<sub>2</sub>**

**Ti**

Dióxido de Titanio

Titanio



# 1 INTRODUCCIÓN

En el Departamento Guairá, al sur de la imponente Cordillera del Ybytyruzú, se encuentra el Cerro Tres Kandú con una altura de 842 metros sobre el nivel del mar (msnm), punto más alto de Paraguay, con un acceso único denotado como sendero turístico, por medio del cual permite explorar de cerca la litología de esta región. Este sendero ofrece una oportunidad sin igual para abordar el estudio de las formaciones rocosas que componen este paisaje. El área de estudio se encuentra ubicado en el Distrito de General Eugenio Alejandrino Garay (más conocido como Eugenio A. Garay), Departamento de Guairá, específicamente en el cerro Tres Kandú; una porción que representa a la Cordillera del Ybytyruzú (Bartrina, 2007).

La presente investigación se enfoca en realizar el estudio litológico del sendero turístico de dicho cerro, con el cual se pretende contribuir con la geología local, fomentar trabajos a futuro y la conservación de dicho patrimonio.

## 1.1 Planteamiento del problema

La litología de la Cordillera del Ybytyruzú se encuentra constituida por sedimentos del Cuaternario, rocas alcalinas de la Suite Magmática Sapucaí, basaltos toleíticos de la Suite Magmática Alto Paraná y areniscas de la Formación Misiones (González & Cubas, 2001). Según Presser (2014), en la porción Septentrional de la Cordillera del Ybytyruzú, debido al intenso magmatismo alcalino se dieron a conocer rocas volcánicas conocidas como lamproítas, de afinidad ultra-potásica. A pesar de que varios estudios han sido abordados exhaustivamente en la geología de la Cordillera del Ybytyruzú, los autores decidieron hacerlo dividiéndolo en porciones, sectores específicos a fin de entender mejor la geología del lugar. Sin embargo, existe una notoria falta de investigación del sendero turístico del Cerro Tres Kandú el cual pertenece a la porción meridional de la Cordillera del Ybytyruzú, que también espera ser desglosado para la comprensión de su origen.

## **1.2 Preguntas de investigación**

¿Cuál es la composición litológica del cerro Tres Kandú, a lo largo del flanco Sur del sendero turístico de la Cordillera del Ybytyruzú, en el Departamento del Guairá, Paraguay?

¿Cuál es la dirección preferencial de las fracturas presentes en las rocas que forman parte del sendero turístico del cerro Tres Kandú, Cordillera del Ybytyruzú?

¿Cuál es la relación entre la litología del sendero turístico del cerro Tres Kandú y la geología local?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Identificar la composición litológica del Cerro Tres Kandú, en el flanco Sur del sendero turístico de la Cordillera del Ybytyruzú en el Departamento del Guairá, Paraguay.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Describir las rocas del cerro Tres Kandú, en el sendero turístico del flanco Sur de la Cordillera del Ybytyruzú, Departamento del Guairá, Paraguay.
- Identificar la dirección preferencial de las fracturas presentes en las rocas que forman parte del sendero turístico del cerro Tres Kandú, Cordillera del Ybytyruzú.
- Comparar la relación entre la litología del sendero turístico del flanco Sur del cerro Tres Kandú con la geología local de la Cordillera del Ybytyruzú.

### **1.3.3 Justificación**

La presente investigación busca ampliar el conocimiento geológico de la Cordillera del Ybytyruzú, una región bastante amplia que debe seguir siendo estudiada de manera minuciosa para caracterizarla litológicamente.

Al estudiar la composición mineralógica y textural del cerro Tres Kandú, lugar muy utilizado para senderismo, se generarán datos relevantes para la comprensión de la evolución geológica del área y contribuir con los trabajos realizados por otros autores en la misma área. El trabajo se centra en enriquecer la base de datos litológicos y estructurales, que, entre otros aspectos, podría servir para la conservación del patrimonio geológico.

### **1.3.4 Viabilidad**

Para la realización de este proyecto se cuenta con materiales bibliográficos de años anteriores realizados sobre la geología de la Cordillera del Ybytyruzú, las Provincias Alcalinas y la Cuenca del Paraná.

El acceso al área de trabajo no demanda un permiso como tal, pero se abona cierto monto para el ingreso, ya que se considera una zona turística visitada por muchas personas durante todo el año.

Desarrollar tal trabajo requiere más que disponibilidad de tiempo, gran rendimiento físico debido a la gran altitud y pendiente del cerro Tres Kandú para la recolección de muestras y descripción de campo.

En las instalaciones de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, en el Departamento de Geología, se ve favorecida la investigación gracias a la disponibilidad de equipos y herramientas especializadas en los laboratorios.

### **1.3.5 Hipótesis**

El sendero turístico del cerro Tres Kandú, ubicado en el flanco Sur de la Cordillera del Ybytyruzú está compuesto por basaltos toleíticos de la Suite Alto Paraná.

### **1.3.6 Variables**

#### **1.3.7 Variable independiente**

- Las rocas del sendero turístico del cerro Tres Kandú
- Dirección preferencial de las fracturas en las rocas presentes en el sendero turístico

- Tipo de minerales presentes en las muestras recolectadas

#### **1.3.8 Variable dependiente**

- Composición mineralógica de las rocas a lo largo del sendero
- Factores tectónicos, estructurales, mineralógicos y ambientales
- Tipo de rocas analizadas

## **2 MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Geología**

#### **2.1.1 Geología regional**

La Región Oriental del Paraguay, se encuentra situada entre los paralelos 22° y 28° de latitud S y meridianos 54° y 58° de longitud O, con un área total de 159.827 km<sup>2</sup>. Simplificando, comprende rocas Precámbricas, depósitos del Paleozoico Inferior, Medio y Superior, seguido de sedimentos Mesozoicos y Cenozoicos, tales como "*sills*", "*flows*", diques básicos y alcalinos que vienen asociados a "*stocks*" alcalinos posicionados entre el Neo-Pérmico y el Terciario. Estratigráficamente se destacan dos unidades Precámbricas, una Norte y otra al Sur (Orué, 1996).

Según Fulfaro (1996), la Región Oriental del Paraguay forma parte del límite occidental de la Cuenca del Paraná, una cuenca cratónica de 1.200.000 km<sup>2</sup> ocupando parte de Brasil, Uruguay y Paraguay. Sólo en Paraguay la Cuenca cubre un área de 110.000 km<sup>2</sup>.

El mismo autor menciona que, comúnmente, el marco geotectónico del este del Paraguay registra la existencia de varios polos de actividad tectónico-magmática, que posibilitaron la aparición de varios focos alcalinos distribuidos en diferentes provincias. Una de ellas es el del Alto Paraguay que reúne rocas sieníticas saturadas e insaturadas y tiene una edad de alrededor de 250 Ma., Amambay y Central se relacionan con rocas de preferencia potásica y presentan una edad de aproximadamente 130 Ma, mientras que el más joven (61 -39 Ma) contiene varios cuerpos de rocas ultrabásicas de naturaleza sódica.

#### **2.1.2 La margen Occidental de la Cuenca del Paraná**

Aproximadamente dos tercios del Paraguay Oriental están formados por la constancia de las series estratigráficas reconocidas en el Brasil. Se relaciona a las Series Gondwana del dicho sistema Santa Catarina yacentes casi horizontalmente. Las series del Gondwana empiezan por el Carbonífero glacial y flubioglacial (Pensilvaniano), continuando por el Pérmico Inferior y medio, de origen continental; posteriormente son superpuestos por areniscas Triásicas y los derrames de los basaltos

del tipo *trapp* de edad Pos-Triásica (probablemente Jurásica), salvo en algunos puntos se encuentran vestigios del Cretácico Inferior (areniscas de Caiuá) y con mucho menos periodicidad restos del cretácico Superior, como areniscas conglomeráticas de Baurú (Putzer, 1962).

También menciona que varias intrusivas eruptivas alcalinas han separado el complejo cristalino y su techo post metamórfico en diversos lugares, formando *stocks*, filones y derrames. Esta actividad plutónica y volcánica ocurrió posiblemente a finales del cretácico (100 a 66 Ma).

De acuerdo al trabajo realizado por Comin-Chiaramonti (1997), el este de Paraguay estuvo sometido a una extensión de la corteza con tendencia NE-SW durante el Mesozoico Tardío de ~130 Ma, posiblemente relacionada con la ruptura de Gondwana occidental y la iniciación de la apertura del Atlántico Sur. Las expansiones de fallas NW-SE, consistentes con la predominada orientación de los diques alcalinos y toleíticos mesozoicos, muestra este tipo de estructura. Se encuentran atravesados por lineamientos NE-SW figuradamente relacionados con estructuras de basamento Precámbrico-Cámbrico (542 Ma) reactivadas y realizadas por eventos del Cretácico Inferior (100 Ma).

Desde el comienzo del Mesozoico (251 Ma), eventos magmáticos principales han ocurrido en el este del Paraguay. El más antiguo (Provincia de Alto Paraguay), constituido por complejos de anillos de sienitas nefelinas a granitos alcalinos y sus equivalentes efusivos, datados en el Pérmico Tardío-Triásico Temprano (240–250 Ma). Este magmatismo está muy extendido en el lado más meridional del Cratón de Guaporé. El segundo evento está representado por las toleítas de inundación de la Formación Alto Paraná, es decir, la Formación Serra Geral (SGF), de Brasil. Las dataciones  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  de toleítas de inundación SGF, obtenidas de especímenes distribuidos en toda la Cuenca del Paraná, arrojaron un rango de 127-137 Ma (Comin-Chiaramonti & Gomes, 1996).

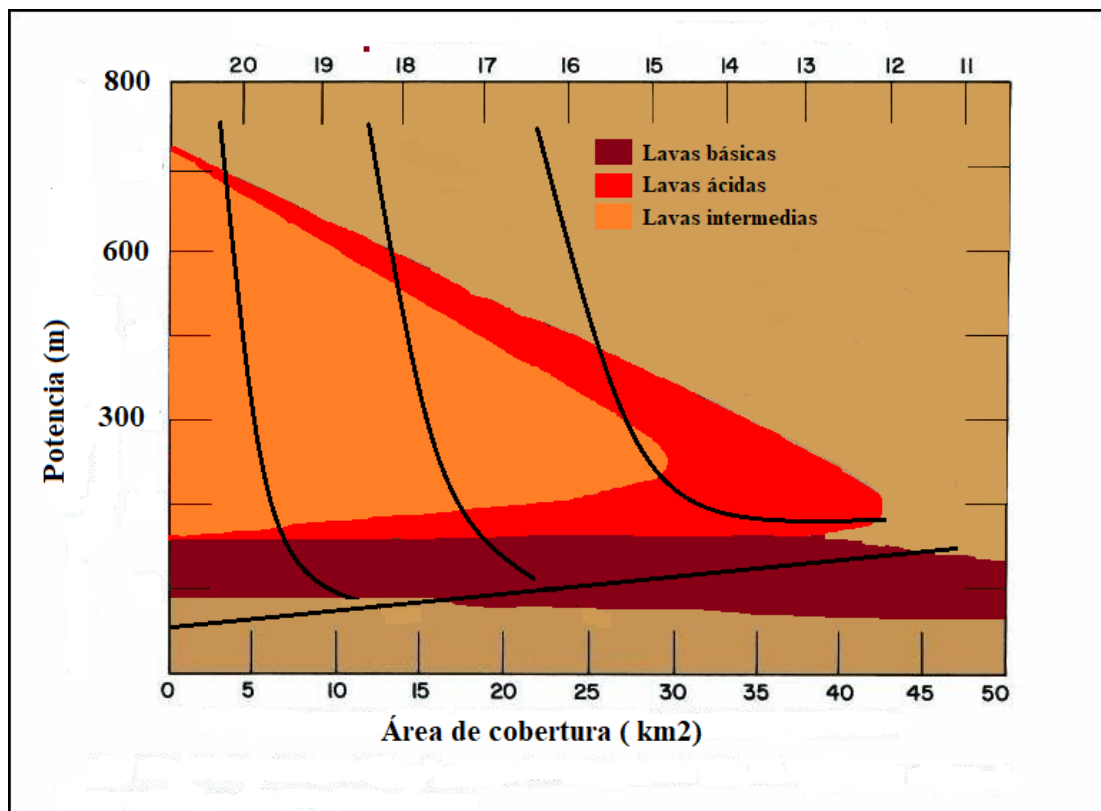
El mismo sugiere que el tercer evento magmático, representado básicamente por rocas potásicas (137-118 Ma), de edad Cretácica fue antes de las toleítas (SGF en las regiones de Río Apa y Amambay (NE de Paraguay)), y después de las mismas en

el Graben Asunción-Sapucaí (ASU). Al fin y al cabo, el magmatismo más joven registrado desde el Cretácico Inferior al Oligoceno, pero es más representativo en el Eoceno (70–32 Ma), está constituido por rocas sódicas ultra-alcalinas conteniendo xenolitos del manto, tapones fonolíticos y diques tefríticos a fonolíticos, a orillas de la ciudad de Asunción.

El ASU en el Centro Este de Paraguay ha sufrido un intenso magmatismo desde principios del Cretácico Inferior (100 Ma) hasta el Oligoceno (34 a 23 Ma). Comenzó hace 127 a 137 Ma, con la proyección de toleítas de inundación, sucesivo de flujos alcalinos, diques e intrusiones con afinidad potásica en etapas tempranas (Cretácico inferior) de actividad y naturaleza sódica en las etapas tardías. Estas últimas rocas alcalinas sódicas (nefelinitas, ankatatritas) están ubicados principalmente en las cercanías de Asunción, (Comin-Chiaramonti, 1993).

### **2.1.3 Relaciones entre el magmatismo alcalino y toleítico de la Cuenca del Paraná**

Con respecto al origen geoquímico de los basaltos de inundación de Gondwana, Comin-Chiaramonti (1993), sugiere que está relacionada con la fusión parcial variable de una pluma del manto ascendente o manto litosférico con una sección astenosférica variable, con diferentes niveles de contaminación de la corteza, la fusión por deshidratación del manto litosférico subcontinental heterogéneo (SCLM), provocada por el calor emitido por una pluma del manto subyacente, con la combinación de magmas picríticos provenientes de penachos con magmas de alta concentración de potasio y composición lamproítica y con la mezcla de picritas toleíticas tipo basaltos de las dorsales medio-oceánicas (MORB) de una pluma del manto con fundidos potásicos con alto y bajo contenido de Ti derivados de SCLM, seguida de contaminación de la corteza terrestre ( Figura 1).



**Figura 1** Evolución de lavas en relación a su potencia y área de cobertura.

**Fuente:** Modificado de Carracedo (2015).

#### 2.1.4 Provincias alcalinas y basaltos toleíticos

En medio de las extensas provincias ígneas sub-aéreas del mundo, la Provincia Basáltica Cretácea de Colada Continental (*Trapp*) Paraná-Etendeka se ubica como la segunda mayor, sólo superada por las del *Trapp* de Siberia en la Cuenca Tunguska. El origen del *Trapp* del Paraná-Etendeka se relaciona con la apertura del Océano Atlántico Sur, pero los obstáculos de los eventos volcánicos son objeto de controversia, así como en otras provincias de *Trapps*. Se considera que el proceso de activación y la fuente de calor son percibidos como el punto caliente (*hot spot*) de Tristan da Cunha por algunos; pero, sin embargo, otros aportes niegan la influencia de *hot spot* en los eventos volcánicos (Presser, 2014).

El Paraguay Oriental representa la franja más occidental de cúmulos de lavas de toleítas del *Trapp* Paraná-Etendeka, o simplemente *Trapp* del Paraná (139–127.5 Ma). Coladas que fueron acompañadas de *sills* y enjambres de diques de la misma composición. Al conjunto petrológico magmático e intrusivo del Cretáceo Inferior se



lo refiere como Suite Magmática Alto Paraná, en Paraguay. Se interpreta que los esfuerzos transmitidos en la placa Sudamericana, como consecuencia de la abertura del Atlántico Sur, posiblemente definirían un conjunto de las fracturas extensionales de propagación continental; fracturas que se estima hayan sido conductos para la intrusión de magmas de composición toleítica y/o alcalina. La edad temprana (145 Ma) elevada en las rocas alcalinas del N de Paraguay y los primeros diques en enjambre de rumbo NE-SW (310-320 Ma) (Suite Magmática Alto Paraná) del Paraguay Oriental (139 Ma) posiblemente definirían, entre Paraguay-Brasil-Uruguay-Argentina, la edad de la abertura inicial de las fracturas extensionales de propagación continental (Presser, 2014).

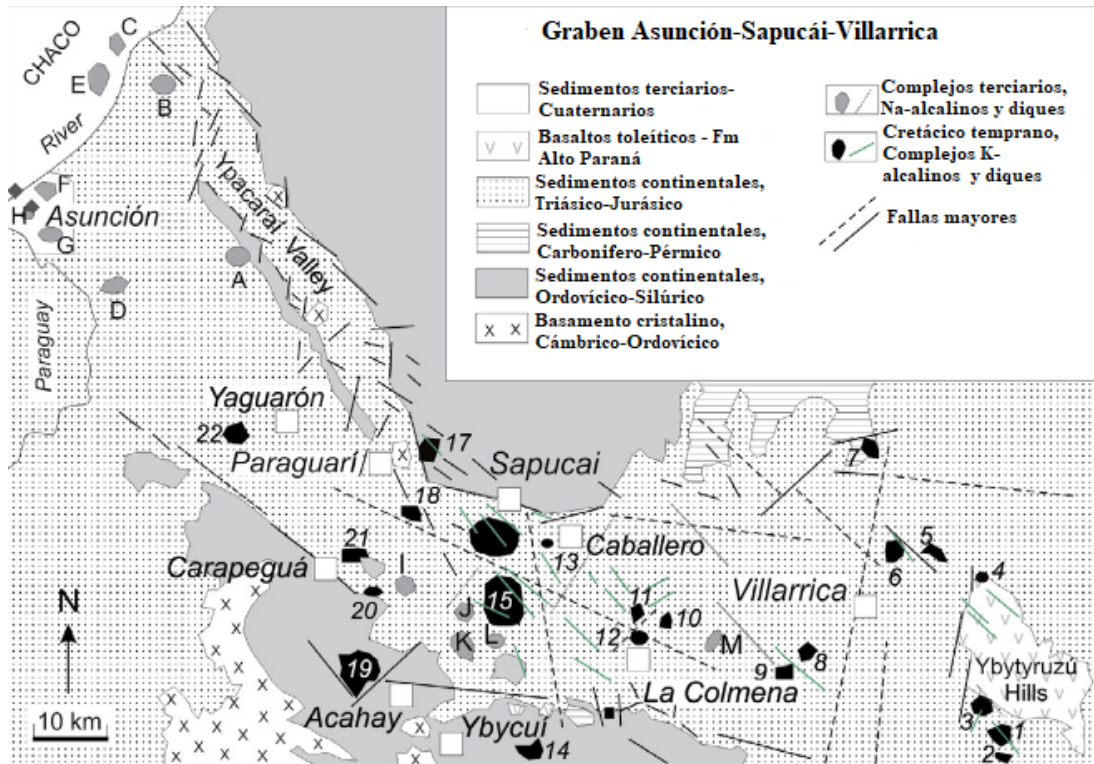
También afirma que parte de la actividad del “escenario de magmatismo alcalino mesozoico”, en la región Oriental del Paraguay ocurren Lamproítas”, mayormente, en el Departamento del Guairá al este de la ciudad de Villarrica (555733.74 m E y 7148281.27 m S), a orillas de la Cordillera del Ybytyruzú. Las “Lamproítas” atraviesan a sedimentos clásticos (marinos someros a continentales del Grupo Independencia y/o continentales de origen eólico de la Formación Misiones) y Basaltos Mesozoicos de la Suite Alto Paraná. Acumulación de sedimentos y lava que superponen a un inferido espeso y frío basamento cratónico, Craton/manto litosférico cratónico arconte Rio de la Plata, al que se le asigna edad del Arqueozoico. Ocurrencia de “lamproítas” al E del rift de Asunción, en sectores de un ambiente de Craton-Arconte, entre 20 a 60 Km del borde.

Presser (2014), habla de la ocurrencia de cuerpos de diques “lamproíticos” y lamprofidicos, principalmente, como enjambre de diques sub-métricos menos frecuente que unos 10 metros de espesor (con rumbo NW-SE ~310-325°) y *sills* en la porción norte de la Cordillera del Ybytyruzú. Diques que se encuentran profundamente alterados al ser expuestos. En resumen, la porción boreal de la Cordillera del Ybytyruzú, según la composición de tres diferentes tipos de rocas volcánicas como dique, *sill* y brecha intrusiva de conducto, se confirma la existencia de lamproítas que contienen olivino: leucita (seudomorfizada)-lamproítas y flogopita-lamproítas.

El evento tectono-magmático en los bordes de la Cuenca del Paraná, especialmente a lo largo de su flanco occidental, en la región sudoccidental de Brasil, Mato Grosso do Sul y Oriental del Paraguay, se distingue por la presencia, desde el Pérmico Superior, de varias áreas alcalinas. En el Cretácico Inferior, la parte centro-oriental del Paraguay fue afectada por manifestaciones ígneas, principalmente efusivas, de carácter toleítico. No obstante, en el Jurásico Superior al Cretácico Inferior, especialmente en el último período, la actividad alcalina ganó mayor intensidad, generando varios cuerpos intrusivos y efusivos que se concentraron principalmente en las regiones central y nororiental del país. Posteriormente, en el Cenozoico, tras un período geológico relativamente tranquilo, en un ambiente marcadamente sedimentario tuvo lugar la última manifestación magmática, responsable de la intrusión de rocas alcalinas ultrabásicas con afinidad sódica y portadoras de nódulos de manto, que emergen principalmente en los alrededores de la ciudad de Asunción, (Comin-Chiaramonti, 1996).

### **2.1.5 Graben Asunción-Sapucaí-Villarrica (ASV)**

El graben ASV es la estructura de *rifting* dominante en el Este de Paraguay, vinculada a vectores extensionales NE-SW, y se caracteriza por una anomalía gravitatoria con tendencia N30-45W cerca de los municipios de Asunción. El graben, casi simétrico y definido por fallas importantes a lo largo de cada margen, puede subdividirse en tres segmentos: (1) la parte NW, entre los municipios de Asunción y Paraguarí, indicado también por el *rifting* intra graben Ypacaraí y por la presencia de tapones máfico-ultramáficos sódicos-alcalinos portadores de xenolitos del manto (Provincia de Asunción; edad entre 66 y 39 Ma); (2) un área central, definida entre los municipios de Paraguarí y La Colmena, caracterizada por diques y complejos alcalinos potásicos (edad promedio 127 Ma) y por diques y complejos alcalinos sódicos subordinados (edad alrededor de 127 Ma y 66–60 Ma respectivamente); (3) la parte oriental, entre La Colmena y los cerros Ybytyruzú, caracterizada por complejos K-alcalinos y diques (edad alrededor de 130-125 Ma) y por lavas y flujos toleíticos con edad de alrededor de 133-130 Ma como se observa en la figura 2 (Comin-Chiaramonti, 2013).



**Figura 2** Mapa geológico del Graben Asunción-Sapucá-Villarrica. En la siguiente figura se aprecia la distribución de fallas en el área del graben.

**Fuente:** Modificado de Comin-Chiaramonti (2013).

A su vez, describe que los resultados de geología y gravedad indican que el graben ASV se extiende hasta 100 km dentro de la Cuenca del Chaco y gira hacia una tendencia N80W entre los municipios de Paraguari y Villarrica, en el área marcada por una anomalía de baja gravedad que aumenta hacia el E. Las rocas sódicas terciarias, que transportan xenolitos del manto, se encuentran principalmente en un área caracterizada por una gravedad relativamente alta, mientras que los complejos potásicos y los diques se encuentran en un cinturón de baja gravedad caracterizado por fallas de bloques. Finalmente, un sistema de fallas con tendencia NS limita el lado occidental de los cerros Ybytyruzú, cerca de varias intrusiones alcalinas al E de Villarrica.

### **2.1.6 Evolución del concepto de provincia alcalina**

Varios autores se preocuparon por tratar el magmatismo alcalino del Paraguay dentro de un contexto más amplio. El primer trabajo en ofrecer esta visión fue el de Putzer (1962), donde se hace una breve descripción y enumeración de los principales cuerpos conocidos hasta entonces de lo que denominó magmatismo alcalino post - Triásico en las regiones oriental y occidental del Paraguay (Comin - Chiaramonti, 2013).

Con el tiempo, el conocimiento sobre este magmatismo se acumuló y condujo al descubrimiento de nuevos sucesos. Hoy en día, la literatura cuenta con información que permite distinguir sus rasgos más generales, posibilitando incluso valorar con mayor claridad las asociaciones petrográficas, las características geoquímicas y las diferencias cronológicas existentes. Por todo esto, se considera importante realizar una revisión del tema, con el fin de desarrollar el concepto de provincia alcalina en el Paraguay. Dentro de esta perspectiva, se presenta aquí una propuesta más actualizada para agrupar estas ocurrencias, basada principalmente en sus aspectos geocronológicos, geoquímicos y petrográficos.

### **2.1.7 Provincia de Alto Paraguay**

Este nombre fue utilizado por primera vez por Livieres & Quade (1987), para agrupar rocas que afloran en las localidades de San Carlos y Cerro Buena Vista, además de los ácidos ignimbricos de Fuerte Olimpo (hoy conocido como Precámbrico), en la zona norte del país. En este trabajo sólo se incluyen ocurrencias ubicadas geográficamente en el límite del Estado de Mato Grosso do Sul con Paraguay y centradas a lo largo del Río Paraguay, principalmente en las cercanías de las localidades de Puerto Coeyu (Paraguay) y Porto Murtinho (Brasil).

Allí emergen como pequeñas cepas, tapones y en forma de verdaderos cuerpos intrusivos con carácter de anillo, caso particular de los complejos Cerro Siete Cabezas (Paraguay) y Pan de Azúcar (Brasil), representando este último el rasgo topográfico más expresivo en la región.

De acuerdo a Comin-Chiaramonti (2013), en relación a los estudios previos de otros autores realiza la descripción de las siguientes provincias a continuación:

### **2.1.8 Provincia de Río Apa**

Las rocas alcalinas pertenecientes a la Provincia de Río Apa afloran al norte del Departamento de Concepción, en dos áreas diferenciadas. En la porción occidental se pueden distinguir rocas predominantemente máficas, que incluyen afinidad carbonatítica y lamprofírica. Se presentan en San Lázaro, cerca de Puerto Vallemí, cerca de los pueblos llamados Cerro Santa Elena y Cerro Vallemí. Los diques tienen una orientación preferente hacia el NE y tienen como material de cerramiento una secuencia de rocas carbonatadas, con términos clásticos subordinados, de Grupo Itapucumí. equivalente al grupo Corumbá en Brasil. Por otro lado, hacia la zona central, hasta el momento se han reconocido dos sucesos, Fuerte San Carlos, las orillas del río Apa y Cerro Buena Vista. Se encuentra aproximadamente a 10 km al norte de la Estancia San Luis.

### **2.1.9 Provincia de Amambay**

Los complejos muestran una enorme diversidad litológica. El cerro Chiriguelo se describe como una estructura ígnea circular, donde las rocas y las incrustaciones estaban intensamente silicificados por un cuerpo carbonático central responsable de la fenitización. La presencia de un cuerpo carbonatado de carácter soviético bordeado por rocas feníticas, estando el conjunto rodeado por sienitas nefelinas.

### **2.1.10 Provincia Central**

Esta actividad engloba un gran número de cuerpos, ocupando casi siempre las partes más altas de la región, y topográficamente se presentan en forma de cerros, con una altura entre 100 y 500 m, o pequeños cerros. Su ocurrencia es muy variada, y es posible distinguirla desde pequeños diques, tapones, cepo, lavas, hasta verdaderas masas intrusivas con características anulares (e.g. Cerro Acahay: diámetro 5 km, borde saliente y depresión central). Tectónicamente, están vinculados al rift de Asunción, una estructura orientada NO-SE que se extiende aproximadamente 200 km de largo y de 35 a 40 km de ancho.

### **2.1.11 Provincia de Misiones**

En la región suroeste del país, junto al Departamento de Misiones, cerca de las localidades de Estancia Guavira'y, Estancia Ramírez y Cerro Ca'a Jhovoy, existen pequeños tapones y diques de rocas alcalinas asociadas discordantemente con areniscas triásicas de la Formación Misiones. Los tapones tienen un diámetro de 0,3 a 0,8 km<sup>2</sup> y una altura promedio no mayor a 50 m; a su vez, el dique tiene aproximadamente 10m de ancho y está orientado al NO.

### **2.1.12 Provincia de Asunción**

La mayoría de los afloramientos se encuentran alrededor de la ciudad de Asunción. En total reúne 11 cuerpos principales, en forma de tapones, cuellos, lavas y diques, entre los que destacan los cerros Ñemby y Tacumbu, actualmente explotados como canteras. Tectónicamente están asociados al *rift* de Asunción, concentrándose en su porción occidental. La aparición de estas rocas en la región marca una importante actividad tectono-magmática durante el Cenozoico con edades que van desde los 65,5 Ma hasta la actualidad.

## **2.2 Lavas basálticas de Serra Geral. Triásico superior o Jurásico**

Según Eckel, (1959), todo el lado Este y Sureste del Paraguay está cubierto de lavas basálticas. En el Triásico inferior o Jurásico, estas rocas constituyen la franja occidental del gran campo basáltico de la cuenca del Paraná, que cubre una superficie de 800.000 km<sup>2</sup> Está en Brasil, Paraguay, Argentina y Uruguay, y es casi tan grande como la meseta de Deccan y Columbia, campos de lava combinados.

Frank, H. T., Gomes (2009), atribuyen a las lavas de la Serra Geral un área aún mayor, 1.200.000 km<sup>2</sup> de los cuales 900.000 m<sup>2</sup> se encuentran en Brasil.

Las lavas de Serra Geral son basaltos típicos de tipo meseta, sin características piroclásticas conocidas ni otras evidencias de actividad explosiva; el consenso parece ser que el magma subió lentamente a lo largo de fisuras en varias partes de la cuenca. Posiblemente estén relacionados con los diques, flujos y otros cuerpos de rocas ígneas alcalinas básicas que se encuentran en otras partes del Paraguay. Aún más

probablemente, pueden estar estrechamente relacionados con las rocas diabásicas intrusivas que se conocen en varios lugares (Eckel, 1959).

El mismo autor menciona que las únicas exposiciones de lavas de Serra Geral se encuentran en el valle del Río Paraná, cerca de la ciudad de Foz de Iguazú en el lado brasileño del Paraná. Esta pequeña ciudad portuaria es la puerta de entrada al Parque Nacional de Iguazú de Brasil, que rodea las espectaculares cataratas del Río Iguazú y que también se llaman Foz de Iguazú en algunos mapas. Los ejemplares recogidos en Foz de Iguazú muestran un carácter toleítico que posiblemente sea una característica excepcional de las lavas de Serra Geral. La distribución de las lavas es probablemente más precisa que la de la mayoría de las otras unidades cartográficas porque las corrientes que drenan las áreas cubiertas de lava siguen cursos angulares que casi con certeza están controlados por dos o más sistemas de juntas que se cruzan en el basalto subyacente.

A su vez menciona que las lavas de Serra General alguna vez se extendieron hacia el oeste y el sur de sus afloramientos actuales en la pampa del norte de Argentina. Así lo demuestra su descubrimiento en varias perforaciones profundas en las provincias de Santiago del Estero y Santa Fe. Sin embargo, dentro de Paraguay parece probable que las lavas nunca se extendieron mucho más al oeste de lo que indica su distribución actual, teniendo en cuenta los pocos valores atípicos que se encuentran al W del cuerpo principal que nunca llegaron a la región del Gran Chaco lo indica claramente la ausencia de basalto o derrames basálticos en cualquiera de los cinco pozos exploratorios que se perforaron allí. Además, aunque las lavas están bastante erosionadas en las tierras altas al W del río Paraná, son mucho más resistentes a la erosión que la mayoría de las rocas sedimentarias. Parece razonable suponer, entonces, que, si alguna vez cubrieran esas rocas al W de su afloramiento actual, las habrían protegido de la erosión hasta el día de hoy.

Las lavas, denominadas *trapp*, dolerita, basalto, diabasa, *melaphyr* y otros términos por diversos autores, van desde andesita y augita hasta la típica limburgita con abundante olivino. En Paraguay, a juzgar por los relatos publicados, el basalto con poco o nada de olivino (basalto toleítico) parece ser el tipo predominante. Los flujos

individuales varían entre menos de 1 a 4 metros de espesor; en las cataratas del Iguazú, a pocos kilómetros al este de la ciudad, algunas corrientes tienen 10 o más metros de espesor. Las rocas en los diferentes flujos varían mucho en apariencia, pero esto se debe más a diferencias en estructura y porosidad que a composición. Muchos, si no la mayoría, de los flujos son fuertemente amigdaloides, otros son masivos y unos pocos muestran estructuras de flujo arremolinadas que se asemejan a estructuras de almohada (Eckel, 1959).

Indica que todos los flujos vistos son de color marrón oscuro a negro y son de vidrio denso con pequeños fenocristales oscuros y escasos. Los empastes amigdaloides y las vetillas discontinuas irregulares consisten en clorita de color verde opaco a brillante y varios tipos de cristales de calcedonia de sílice, ágata, cornalina, ópalo y cuarzo de amatista de claro a pálido. Otros autores también han registrado minerales de calcita, zeolitas, cobre nativo y carbonato de cobre en las amígdalas. Hay pocas dudas de que en algunos lugares se encuentran minerales de cobre en los basaltos, pero también parece probable que la mayoría de los informes recurrentes sobre descubrimientos de ricos depósitos de cobre en las partes cubiertas de lava del sudeste de Paraguay se basen en la identificación errónea de la clorita verde que caracteriza muchos flujos.

De acuerdo a Gomes *et. al.* (2017), los estudios geofísicos muestran que el este de Paraguay está cortado por dos conjuntos de fallas importantes a escala de la corteza terrestre, un conjunto más antiguo de tendencia NE heredado del Precámbrico y un conjunto más joven de tendencia NO. Este último define al menos cuatro sistemas de graben con tendencia NO o cuencas controladas por fallas que se formaron a finales del Mesozoico como respuesta a la extensión directa y la evolución continua del NE-SW, entrando en el Terciario superior.

Saca a relucir que en el área del ASV, los flujos toleíticos de la Cordillera Mesozoica del Ybytyruzú ocurren junto a complejos alcalinos potásicos y diques de la misma edad, así como taponos alcalinos de Na más recientes y diques subordinados.

Por otro lado, Presser et al. (2014), basado en composiciones minerales, ha clasificado algunas rocas volcánicas de Ybytyruzú y Mbocayaty (un complejo alcalino



que se encuentra -cerca de la Cordillera) con fenocristales de olivino, flogopita, diópsido, opacos y ocasionalmente leucita como flogopita y lamproítas de leucita. Sin embargo, debido a que Comin-Chiaramonti y Gomes (1996) no reconocieron ningún tipo de roca con afinidad lamproítica en todo el graben ASV Se consideró conveniente examinar con mayor detalle la ocurrencia de la Cordillera del Ybytyruzú y el dique Mbocayaty.

### **2.3 Comparación con edades de rocas volcánicas del sistema Paraná-Angola-Edendeka**

Los basaltos de inundación continentales del sistema Paraná-Angola-Edendeka cubren un área de más de  $1,5 \times 10^6$  km<sup>2</sup>. La provincia Paraná- Angola-Edendeka tiene dos principales enjambres de diques toleíticos asociados, uno con tendencia NW-SE y el otro aproximadamente paralelo a la costa, es decir, con tendencia N-S y con actitud ENE-WSW. Los diques de Ponta Grossa, con orientación NW-SE, están confinados a América del S y son paralelos a las cuencas controladas por el *rift* mesozoico. Estas cuencas reflejan una importante extensión NE-SW en el Mesozoico que no es evidente en el sur de África, aunque el arco de Moçâmedes puede considerarse, hasta cierto punto, la expresión simétrica noreste-suroeste de la Ponta. Arco de Grossa (Comin-Chiaramonti, 2013).

Las edades <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar de las toleítas basálticas de inundación de Paraná-Angola- Edendeka y del enjambre de diques de Ponta Grossa sugieren que la actividad máxima toleítica ocurrió entre 133 y 130 Ma. Una generación ligeramente posterior de magmatismo toleítico, es decir, 129-119 Ma, está representada por enjambres de diques paralelos a la costa, lo que indica una tendencia a un magmatismo toleítico más joven. Los diques toleíticos se concentran hacia los márgenes continentales durante las etapas finales del rifting principal inmediatamente anterior a la apertura del Océano Atlántico S. Cabe destacar que estos últimos diques toleíticos más jóvenes tienen una edad cercana a la edad del magmatismo potásico Asunción- Sapucaí Villarrica que es de 126,4 Ma (Comin-Chiaramonti, 2013).

Harrington (1950), señaló que, durante la segunda mitad del Pérmico, probablemente hubo un suave levantamiento de la cuenca que causó una nueva erosión. Este movimiento, que fue responsable de la inclinación y plegamiento de las formaciones del Paleozoico Inferior de edad 541 Ma, lo más seguro es que haya estado acompañado de fallas a lo largo del borde occidental de la cuenca del Paraná que desarrollaron las principales características del graben de Ypacaraí. La etapa de erosión que se dio posteriormente fue relativamente corta, aunque los lechos del Pérmico (298 a 254 Ma) fueron parcial o totalmente devastados en algunos sitios, y la erosión llegó incluso a las rocas del Devónico Inferior (419 Ma). Durante el Pérmico Tardío (298 a 254 Ma) la formación Independencia, con depósitos exclusivamente continentales, se acumularon sobre una superficie penillanura a lo sumo en valles, atravesando tanto las formaciones del Pérmico Inferior (298 Ma) como las del Devónico Inferior (419 Ma). Por lo tanto, muestran relaciones discordantes y de sobreposición con las formaciones subyacentes.

También menciona que durante el Triásico tardío (251 Ma), un reciente y sumamente significativo período de erosión desapareció extensas áreas de los depósitos de Independencia y formaciones subyacentes hasta el Precámbrico, que una vez más quedó al descubierto en el sur de Paraguay. La denudación más fuerte se produjo a lo largo del borde occidental de la cuenca del Paraná, debido al levantamiento diferencial. En tanto a la parte central de la cuenca, al este de Paraguay en los estados brasileños de Mato Grosso y Paraná, permaneció casi estacionaria, su borde occidental fue fuertemente elevado y posteriormente erosionado.

En las últimas etapas del Triásico se depositó la arenisca de Misiones sobre la nueva superficie de erosión. Estos depósitos son de origen continental y principalmente fluviales, pero son frecuentes las intercalaciones eólicas en la parte superior. Posiblemente, durante el Triásico tardío, una gran cantidad de derrame basáltico fueron extruidos en la parte central de la cuenca del Paraná, formando las llamadas eruptivas de Serra Geral. Durante un período desconocido, pero presumiblemente todavía en el Mesozoico medio, la actividad volcánica de tipo respiradero central originó las rocas alcalinas básicas ahora expuestas en cuellos

dispersos entre Asunción y Villarrica. Tiempo después, probablemente durante el Terciario Superior, se experimentaron nuevos movimientos tectónicos a lo largo del borde occidental de la cuenca. Estos movimientos originaron la estructura actual del graben de Ypacaraí y del *hörst* de Asunción-Itauguá que bordea las amplias llanuras del Chaco (Harrington, 1950).

## **2.4 Petrografía**

### **2.4.1 Clasificación, Petrográfica y Petroquímica de las rocas magmáticas**

Comin-Chiaramonti (2013), establece a las rocas ASV una textura de grano fino, incluidas las variantes intrusivas. El 4% de los diques tienen afinidad toleítica, sills, flujos de lava y diques, tanto en variantes de alto como de bajo Ti, se extienden a ambos lados de los campos de basaltos toleíticos olivinos y andesita-basaltos, mientras que el 17% son de composición sódica y el 79% de composición potásica. La distribución de las rocas potásicas muestra que la variación de los diques es consistente con la de las rocas intrusivas y volcánicas asociadas.

Son evidentes dos linajes principales para los tipos de rocas potásicas: (1) un linaje subsaturado de sílice que va desde basanita hasta fonolita y fonolita peralcalina y (2) un linaje saturado de sílice que van desde basalto alcalino hasta traquifonolita y traquita. En resumen, los tipos de rocas toleíticos, rocas Potásico-alcálicas y Sodio-alcálicas están muy extendidas en un área relativamente estrecha representada por el graben ASV (Comin-Chiaramonti, 2013).

Toleítas. Las rocas toleíticas son principalmente flujos de lava (cerro Ybytyruzu) y sills que generalmente ocurren cerca del municipio de Ybycuí. Las texturas son porfiríticas a afaníticas (flujos de lava y diques) y de equi a subequigranulares, caracterizadas por la presencia de dos clinopiroxenos (augita y pigeonita) y por variaciones pronunciadas de TiO<sub>2</sub> y elementos incompatibles. Estas variaciones son similares a las comunes a los basaltos toleíticos de la Cuenca del Paraná que están dominados por contenidos bajos y altos de TiO<sub>2</sub>. Los conjuntos minerales (augita, pigeonita, olivino, plagioclasa, magnetita e ilmenita) muestran

temperaturas de cristalización de alrededor de 1200-1000 °C (Comin-Chiaramonti, 2013).

Según González & Cubas (2001), la roca es de color oscuro, maciza de grano fino a medio y presenta textura ofítica a subofítica a ligeramente porfirítica, a veces con vidrio y microlitos en la mesostasis, presentando estructura hialopilitica, es decir, matriz vítrea con incrustaciones de pequeños cristales minerales. Su composición mineral del mismo es Clinopiroxeno (augita +- pigeonita) y plagioclasa (labradorita), en proporciones menores olivino alterado a serpentina, iddingsita y hierro-residual, y como accesorio se encuentran magnetita, feldespato alcalino, apatito y vidrio básico. Como minerales opacos, minerales secundarios y/o alteración se forman presentan geodas de minerales de cuarzo, calcedonia, epidota, sericita-clorita, hierro residual, zeolita, carbonato y cobre nativo.

## **2.5 Vegetación**

De acuerdo a González & Cubas (2001), en la región Oriental del Paraguay, la vegetación de la Cordillera del Ybytyruzú se caracteriza por la presencia de formaciones vegetales directamente relacionadas a la morfología, los suelos y el clima. El terreno es irregular, los diferentes tipos de suelos son originarios de una gran variedad de rocas y combinados a los microclimas predominantes son los componentes esenciales para la proliferación de una u otra especie de vegetal. De tal modo, las llanuras suavemente onduladas y asociadas a suelos provenientes de rocas arenosas altamente fiabes desarrollan bosques sub húmedos, dispersas y con especies propias. mientras que hacia la cima de las serranías se encuentran lateríticas provenientes de la alteración de basaltos; este sustrato constituye un hábitat especial para el desarrollo de bosques húmedos y densos.

Actualmente, solo restos de la vegetación primitiva se encuentran preservados, debido a la alta deforestación los cuales se hallan principalmente restringidos a áreas de difícil acceso, márgenes de Los Arroyos y especialmente en las orillas del Río Tebicuary-mí. Bosques dispersos se desarrollan principalmente en los terrenos relativamente planas con una gran variedad de gramíneas y palmares. Las

gramíneas pueden ser pastizales naturales o cultivados para la alimentación animal. La extensión actual de los palmares es reducida, pero avanzan rápidamente debido a la descomposición de los suelos. Una notable variación en el paisaje son los humedales y las áreas temporales inundadas por la elevación de niveles de agua del Río Tebicuary-mí y sus afluentes, que desarrollan vegetación acuática- palustre en periodos de inundaciones y pastizales en periodos de sequías (González & Cubas, 2001).

Según Wood (2014), la vegetación de la Cordillera del Ybytyruzú se presenta en forma boscosa, aunque, debido a acciones antrópicas y procesos de erosión, el terreno va presentando cierta denudación. Estos bosques se definen como templado húmedo, Subtropical a tropical, de acuerdo a la descripción de diferentes autores. Otros lo denominan como el Bosque Atlántico del Alto Paraná o Selva Central.

La vegetación se caracteriza por la presencia de especies de árboles que conservan sus hojas incluso en invierno, lo que hace que durante todo el año permanezcan siempre verdes. En estos últimos tiempos, la tala en exceso ha estado deteriorando constantemente dicha flora. También se presentan suelos mayormente desnudos, conocido como campos del Ybytyruzu, estos representan a las zonas herbáceas cubiertas por agua la mayor parte del tiempo. Ocurre mayormente en zonas bajas, lo que implica la formación de grandes pastizales debido a la saturación de agua (Wood, 2014).

## 2.6 Geología de la Cordillera del Ybytyruzú

Gomes *et al.*, (2017), establece que el Este de Paraguay representa la franja más occidental de las toleítas de inundación del Cretácico Inferior del Paraná: la Formación Serra Geral (SGF), también conocida como Formación Alto Paraná, en territorio paraguayo, con una edad de 130 -134 Ma.

Ha sido sitio de múltiples episodios de magmatismo alcalino de composición sódica y potásica ocurridos durante el Triásico, Cretácico Inferior (antes y después de las rocas volcánicas SGF) y Paleoceno. La región de la Cordillera del Ybytyruzú en el Centro-Este de Paraguay está formada predominantemente por flujos de lava toleítica del Cretácico Inferior (130-134 Ma) cortados por diques K-alcinos y cuerpos intrusivos de entre 125 y 127 Ma. Los estudios petroquímicos centrados en 14 muestras de diques de la región muestran una aparente afinidad con las rocas del tipo Provincia Romana y una total coherencia con la asociación petrográfica general del graben Asunción-Sapucaí-Villarrica (ASV). Se distinguen dos conjuntos potásicos principales: B-P (basanita-tefrita-fonotefrita-fonolita) y AB-T (basalto alcalino-traquibasaltos-traquiandesita-traquifonolita/traquita). Hasta el momento no se ha confirmado la presencia de rocas lamproíticas en la zona (Gomes *et al.*, 2017).

La Cordillera del Ybytyruzú comprende una zona alta de flujos toleíticos de Paraná, con intrusiones locales de diques alcalinos K. Las rocas volcánicas forman una espesa secuencia de hasta 800 m de altura de varias decenas de coladas de lava con pequeñas intercalaciones de arenisca roja (sedimentos de la formación Misiones). Según determinaciones de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  y datos paleomagnéticos, el mejor período de origen para las rocas basálticas en general es entre 130 y 134 Ma. Algunos complejos alcalinos K como cerro Santa Elena, cerro km 23 y Cerro San Benito, afloran en los márgenes suroeste de la Cordillera (Gomes *et al.*, 2017).

### **2.6.1 Grupos y formaciones asociadas a la Cordillera del Ybytyruzú**

De acuerdo a Proyecto PAR (1986), los grupos y formaciones relacionados a la Cordillera del Ybytyruzú están conformados de la siguiente manera:

#### ➤ **Carbonífero**

##### ● **Formación Coronel Oviedo**

Aflora en el Paraguay Oriental en dirección NNW- SSE, al S de la falla del Jejuí/ Aguaray Guazú hasta el área meridional del Alto Caapucú, al S de la ciudad de San Juan Bautista posee una zona de exposición entre 5 y 35 km de ancho, frecuentemente interrumpidas por sedimentos del Cuaternario (1,8 Ma).

La formación Coronel Oviedo posee gran extensión y comprende un área de 3177 km<sup>2</sup>, litológicamente se caracteriza por la presencia de diamictitas, lutitas, areniscas y ritmitas del tipo varbitas. Algunos niveles de diamictitas, como en el afloramiento distante a 12 km de Coronel Oviedo, rumbo a Carayao, indican sedimentación de origen en *tills* Supra- glaciales con una matriz de granulación fina, cantos distribuidos al azar y lentes de areniscas. Estos afloramientos parecen reflejar un período de sedimentación en ambiente glacial.

#### ➤ **Pérmico**

##### ● **Grupo independencia**

El grupo Independencia está compuesto por las formaciones San Miguel y Tacuary, de edad pérmica, que aflora en el Paraguay Oriental en un área de 7996 km<sup>2</sup>. Aflora manteniendo la dirección de las denominadas capas gondwánicas, N-S/NNW-SSE, con buzamiento hacia el E, a menudo en áreas falladas. Las formaciones del grupo Independencia se correlacionan con las unidades de los grupos Guatá y Passa Dois, de la Cuenca del Paraná, en Brasil.

##### ● **Formación San Miguel**

Aflora en faja de N a S, hasta la región de Yuty. No aflora como tal en la porción S, pero se posee registros a profundidad en los pozos perforados Asunción N.º 1 y 2. Litológicamente se caracteriza por la presencia de areniscas, lutitas, diamictitas

depositadas en concordancia con los sedimentos de la formación Coronel Oviedo, más antigua. El límite entre las dos formaciones es difícil de ser mapeado, en parte por causa de los afloramientos pobres y también, debido al contacto de transición entre las dos unidades. En el área de Mbocayaty y Colonia Independencia, en la subida de la cuesta, la formación San Miguel aflora en una sección arenosa, donde la base de la cuesta del Arroyo Itá hasta su contacto con la falla Jejuí/Aguaray Guazú, con las areniscas de la formación Misiones, 3 km más adelante.

- **Formación Tacuary**

La formación Tacuary está constituida por una secuencia rítmica de siltitas, lutitas, arenisca de grano fino y calcáreos, generalmente oolíticas con gran variedad de colores. Aflora de forma continua desde San Estanislao, al N, hasta el S de Yuty, en la región Oriental del Paraguay, con una dirección de N - S y ángulo de 20° a 30° de inclinación hacia el E.

- **Mesozoico**

- **Consideraciones Generales**

Los continuos movimientos tectónicos, relacionadas a la ruptura del supercontinente de Pangea, poseen un reflejo, en el interior continental, caracterizado por levantamientos acentuados de los bordes de las cuencas intracratónicas. En el Triásico inferior, toda esta área del Alto Apa en la Cuenca del Paraná, asciende con la remoción, por erosión de las secuencias estratigráficas del Pérmico. Relacionado a este alzamiento, la sumersión del bajo de San Pedro conserva casi la totalidad de la misma columna estratigráfica de la Cuenca del Paraná, en la región oriental. En esta Cuenca, las condiciones endorreicas causadas por el alzamiento de los arcos marginales, resultan en la deposición de areniscas en condiciones semiáridas.

La separación entre las placas Sudamericana y africana y la presencia de un Domo térmico asociado al basamento de la Cuenca del Paraná, resultan de un intenso volcanismo, teniendo lugar al inicio del Jurásico superior por intrusión de complejos alcalinos en los límites del bajo de San Pedro. Estas intrusiones siguen hasta el



Cretácico, con el recubrimiento de aproximadamente 800,000 km<sup>2</sup> de la cuenca, por coladas de lavas basálticas en el Cretácico inferior (128 a 140 Ma).

- **Formación Misiones**

La formación Misiones se encuentran aflorando en el Paraguay Oriental, según la misma dirección estructural de las unidades Gondwánicas anteriores, abarcando un área de 36,197 km<sup>2</sup>, aunque en la región Occidental del Paraguay, en el departamento de Alto Paraguay presenta pequeñas áreas de exposición. El contacto basal es por discordancia erosiva con las unidades carboníferas y del pérmico. Litológicamente se caracteriza por la presencia de areniscas esencialmente maciza, localmente con estratificación cruzada, granulación fina a media y láminas arcillosas intercaladas. Existen niveles conglomeráticos o brechas con clastos de arcilla, sillita y pizarras, con pequeña continuidad lateral de los Cuerpos arenosos.

Se encuentran atravesadas por intrusiones alcalinas del jurásico Superior (cerro Yaguaron). Se establece para esta formación, una edad Triásica - Jurásica. En el frente de las escarpas cubiertas por la formación alto Paraná (Basaltos), como en la región N (área de Pedro Juan caballero y Capitán Bado) y central (área de la Cordillera de Ybytyruzú), la denudación que continúa en el frente de la escarpa proporciona una gran cantidad de granos de arena en esta formación, que va a depositarse en el área baja adyacente, haciendo que se forme una extensa cobertura arenosa frecuentemente confundida, en trabajos de mapeamiento, con la formación misiones.

- **Suite Sapucaí**

Las intrusivas alcalinas de la Suite Sapucaí poseen una edad que va del Jurásico Superior (201 Ma) al Cretácico Inferior (128 a 140 Ma). Se agrupa frecuentemente, en áreas profundamente tectonizadas y pertenecientes a grandes alineamientos estructurales, como el borde meridional del Apa y la zona del Alto del Asunción. Las grandes intrusiones del cerro Cora se encuentran al N, al igual que cerro Sarambí y cerro Guazú. En el centro del Paraguay oriental se manifiestan intrusiones alcalinas de Acahay, Sapucaí, Ybytyruzú, Aruaí, Aguapety y Mbocayaty. Estas intrusiones comprenden áreas de 685 km<sup>2</sup> en el Paraguay oriental y 7 km<sup>2</sup> en la región occidental.

La porción Septentrional está constituida por rocas cristalinas de grano grueso, en la región meridional la unidad está compuesta por basaltos alcalinos, basaltos nefelínicos, tefritas, traquitas, fonolitas, tufas de brechas riolíticas y brechas con matriz intrusiva. La región N es menos básica que la del S, con un mayor contenido de carbonatitas y cantidad significativa de fenitas. El área meridional posee un menor contenido de finitas y solamente algunas vetas de carbonatitas en Ybytyruzú.

Durante el Triásico superior y el Jurásico inferior, un proceso de levantamiento comenzó a formar áreas regionales, donde la erosión eliminó unidades sedimentarias de la era Gondwanica. Una prueba de este movimiento es la intrusión conocida como Pão de Azúcar, que se extiende hacia el borde este del Chaco y data de hace 210 millones de años. Otra evidencia es la erosión de las unidades sedimentarias del Pérmico en el Alto del Apa, que ocurrió antes de la deposición de la Formación Misiones, entre el Triásico y el Jurásico.

En el Jurásico Superior/ Cretácico Inferior ocurre una reactivación de estos arcos con intrusiones y extrusiones de rocas alcalinas, asociadas con manifestaciones de carácter “*rift*”. Durante el Cretácico Inferior, entre 128 a 140 Ma, ocurren las intrusiones de las rocas alcalinas del N y del S, en las regiones de los arcos, y al E de los arcos, en la margen W de la Cuenca del Paraná. Las últimas intrusiones alcalinas se dan en el Cretácico Superior (65 a 103 Ma) en el área N y en el Oriente de la Cuenca del Paraná, en Brasil. Estos eventos de intrusiones alcalinas fueron separados por periodos de derrames basálticos, relacionados en la edad de los derrames más antiguos de la Cuenca del Paraná y en el área de Sapucaí.

Las lavas de Sapucaí poseen una edad de 251 a 100 Ma, la que coincide con la edad de los más antiguos basaltos de la Cuenca. En el Paraguay, las rocas basálticas de la formación Alto Paraná establecen edades entre 108 y 127 Ma.

## **2.7 Geología regional del Ybytyruzú**

Según González & Cubas (2001), el área de exposición abarca una pequeña parte del margen occidental de la Cuenca del Paraná. El contenido de esta porción de la Cuenca abarca una sucesión de sedimentitas Gondwánicas, dispuestas en discordancia sobre rocas más antiguas, circundantes y limítrofes. Estas se encuentran

cubiertas e intruídas por rocas volcánicas y plutónicas de eventos magmáticos posteriores.

También menciona que el cratón del río Tevicuary se encuentra ubicado al SW de esta hoja, compuesto por un conjunto de rocas metamórficas derivadas de ígneas y sedimentarias de edad Proterozoico Inferior y hasta más antiguo. Además de rocas meta-sedimentarias de edad Proterozoico Medio a Superior, e ígneas ácidas a intermedias, volcánicas y plutónicas de edad Cámbrica, finalizando su evolución al término del Ciclo Brasileño. El registro sedimentario Gondwánico de la Cuenca del Paraná en el margen del Cratón Río Tebicuary, constituye una serie de secuencias sedimentarias depositadas a partir del Ordovícico Superior, en un paleoambiente evolutivo y cambiante, donde el nivel relativo del mar, el origen sedimentario y las condiciones climáticas juegan un rol importante en las características de cada una de ellas. Este conjunto sedimentario se dispone en una sucesión cronológica desde el cratón hacia el E, de esta manera la secuencia clásica Ordovícico/ Silúrico se dispone en discordancia sobre rocas Precámbricas, seguida por la secuencia Devónica, Permocarbonífera y Triásica.

La unidad Permocarbonífera se encuentra en discordancia sobre rocas sedimentarias de las secuencias del Paleozoico Inferior. Esta unidad sedimentada en ambiente marino costero, contiene rocas plásticas agrupadas en la formación Coronel Oviedo como base y el grupo de independencia como techo. Debido a la interrupción en la secuencia estratigráfica sobre la secuencia permocarbonífera, las rocas plásticas depositadas en un ambiente continental, constituyen las areniscas de la formación Misiones (González & Cubas, 2001)

Sugiere que el evento tectónico Sudatlántico, a partir del Triásico y principalmente en su etapa de apogeo, durante el Cretácico reestructuró las características evolutivas de la Cuenca, orientando la sedimentación en dirección General NW y sus conjugadas NE, así como las efusiones de lavas basálticas de la Suite Magma Alta Paraná. Esta actividad tectónica en el margen occidental de la Cuenca es la responsable de la formación del rift de Asunción y la intrusión de rocas magmáticas alcalinas de la Suite Sapucaí, en su etapa de apogeo. El evento tectónico

del Cretácico y erosiones posteriores son los causantes de la configuración morfológica actual del área de la Hoja Villarrica, indicando en el paisaje una serranía central rodeada de lomadas redondeadas, en contraste con el Valle del Río Tebicuarymí, cubiertos con sedimentos recientes.

## **2.8 Estratigrafía**

Las rocas permocarboníferas han sido objeto de numerosos estudios en toda la Cuenca del Paraná, ya que su importancia económica proviene principalmente de su característica como roca reservorio de hidrocarburos. La formación San Miguel, compuesta de areniscas porosas y permeables es la unidad más favorable para la prospección de los mismos. Las zonas emergentes cratónicas ubicados al N y S, y las rocas del paleozoico inferior al W, comprenden durante el permocarbonífero las áreas de origen para los depósitos sedimentarios de las formaciones Coronel Oviedo, San Miguel, Tacuary y Misiones (González & Cubas, 2001).

## **2.9 Geología local**

### **2.9.1 Magmatismo toleítico.**

Desde el punto de vista estratigráfico, la edad del magmatismo toleítico en el este de Paraguay está bien limitada, siendo inferior a 138 Ma (Provincia de Amambay, noreste de Paraguay, donde basaltos de inundación toleíticos, variantes con alto contenido de Ti, cubren parcialmente el complejo alcalino-carbonatítico cerro Chiriguelo, fechado en 138,5 Ma ), y con más de 126-128 Ma (Provincia Central, donde el complejo alcalino de S. Helena, fechado en 126 Ma, invade los flujos toleíticos, variantes de bajo Ti, en el altiplano de Ybytyruzú (Comin-Chiaramonti et al., 2007).

En una revisión relativa a las antiguas edades radiométricas disponibles para los basaltos de inundación del Paraná, sugirieron que la fase eruptiva principal ocurrió entre 135 y 130 Ma., estudiando las lavas del S de Brasil (edades  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ ), concluyeron que el magmatismo de Paraná comenzó en  $133\pm 1$  Ma y duró menos de un millón de años, para esta región. Por otro lado, sugirieron que las lavas del Paraná entraron en erupción durante un intervalo más largo (~10 millones) entre 137 Ma y 127 Ma (Comin-Chiaramonti et al., 2007).

En resumen, valores que varían entre 134 y 130 Ma pueden considerarse como el mejor intervalo de edad para el magmatismo toleítico de Serra Geral de Paraguay, basándose principalmente en las determinaciones de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de «alta calidad» de las «muy muestras frescas», sobre los resultados paleomagnéticos y sobre los datos cristalográficos. Este resultado se acerca al pulso principal del magmatismo toleítico que ocurrió entre 133 y 129 Ma. en todo el sistema Paraná-Angola-Namibia (Comin-Chiaramonti et al., 2007).

### **2.9.2 Rocas magmáticas**

Las rocas magmáticas observadas en la hoja Villarrica están representadas principalmente por basaltos toleíticos de la Suite Magmática Alto Paraná y rocas alcalinas potásicas de la Suite Magmática Sapucaí (Comin-Chiaramonti et al., 2007).

### **2.9.3 Suite magmática Alto Paraná**

La presencia de extensos derrames de lavas basálticas, cubriendo una franja de dirección N-S a lo largo del río Paraná al este de la región oriental, que fueron correlacionadas con los asaltos de la Cuenca del Paraná (Formación Serra Geral en Brasil). Los basaltos toleíticos de la Suite magmática alto Paraná afloran en el área de la hoja, principalmente en la Cordillera del Ybytyruzú, ocupando las  $\frac{3}{4}$  parte del mismo. Estos reposan e instruyen a las areniscas de la formación Misiones (Comin-Chiaramonti et al., 2007).

El mismo sugiere que otros afloramientos menores ocurren en la localidad de Paso Yobai al este y en la cantera Bolas Cuá al norte de la hoja. Los mismos se presentan en forma de mantos de lava, filón capa (*sills*) en disposición subhorizontal y diques discordantes. Los basaltos de la Suite se hallan expuestas en varios sectores de la Cordillera del Ybytyruzú, como ejemplo, la cantera del MOPC (compañía Zorrilla Cué), mientras que otros afloramientos se pueden encontrar en los arroyos Amambay, Capii, y Librada, Tacuara y en los cerros Acati, Itá azul, tororó y otros.

Generalmente forma grandes *sills* y se caracteriza macroscópicamente por su estructura masiva, color oscuro, textura afanítica (de grano fino a medio). En cambio, las rocas efusivas presentan estructuras típicas de lavas, conteniendo cavidades en forma de vesículas y amígdalas rellenas con minerales secundarios de calcedonia,

amatista, carbonato, zeolita, nontronita y cobre nativo diseminado. Variedad de basalto toleítico con textura porfirítica, con fenocristales de feldespatos alcalinos ocurre en el cerro Muy Muy y en los alrededores del cerro Acati. Este tipo de basalto corresponde a la variedad subsaturada en SiO<sub>2</sub> y contiene minerales secundarios de carbonato y zeolita (Comin-Chiaramonti et al., 2007).

## **2.10 Tectónica**

El ciclo tectónico sudatlántico reestructura la Cuenca del Paraná a partir del Triásico, como consecuencia de la apertura del Atlántico S. Este evento tectónico reactiva la estructuración del rift de Asunción, en forma de un complejo sistema extensional, con direcciones generales NW/SE. Esta estructura es el elemento tectónico principal de la hoja, ya que la misma conforma un juego de direcciones que basculan los bloques y controlan la intrusión de diques y *sills* del evento magmático del ciclo. trabajos recientes sugieren que el *Rift* fue generado bajo un régimen tectónico transcurrente dextral, cuyo binario posee orientación este-oeste. El ciclo tectónico andino en el paleógeno no está directamente evidenciado en el área, pudiendo haber reactivado estructuras anteriores y definido regionalmente la morfología actual de la zona (Comin-Chiaramonti et al., 2007).

### **3 DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Enfoque o abordaje**

Para la elaboración de este proyecto, la investigación utilizó un enfoque cualitativo, para la comprensión del entorno geológico desde una perspectiva general. Durante la recolección de datos, se tuvo en cuenta todas las características que se podían apreciar durante la observación, sin incluir valores numéricos.

En el trabajo realizado por Sampieri (2014), Grinnell (1997), menciona que “El enfoque cualitativo, a veces referido como investigación naturalista, fenomenológica, interpretativa o etnográfica, es una especie de "paraguas" en el cual se incluye una variedad de concepciones, visiones, técnicas y estudios no cuantitativos”.

Entonces, se trata de comprender la realidad desde la perspectiva de los sujetos; este deseo de comprensión se traduce en los objetivos de la investigación, que reflejan la intención de lograr un conocimiento integral de la situación o el fenómeno que se investiga.

#### **3.2 Nivel de investigación**

No experimental – Descriptivo, en relación al enfoque y a lo que se pretende hacer durante el desarrollo del proyecto. Caracterizar el área de estudio, orientado a la identificación de propiedades o composición del fenómeno.

De acuerdo a Sampieri (2014), la investigación descriptiva recoge datos de manera independiente sobre las variables analizadas sin establecer relaciones entre ellas.

Este nivel comprende las condiciones fundamentales en relación al desarrollo del trabajo. Un abordaje a la investigación donde no se manipulan variables cuantitativas, más bien en la recolección de datos y la observación de fenómenos o acontecimientos tal y como se dan en su contexto natural. No se establece ninguna construcción, más bien se realizan los estudios con situaciones ya existentes.

### 3.3 Área de estudio

#### 3.3.1 Localización y vías de comunicación

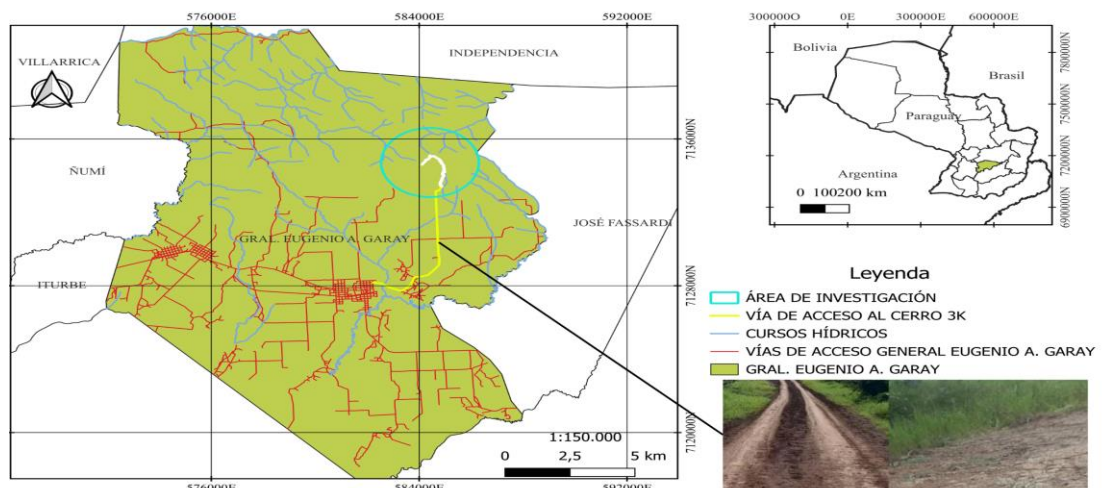
El área de estudio se encuentra ubicado en el sendero turístico del Cerro Tres Kandú, porción S de la Cordillera del Ybytyruzú, localizado dentro de los límites del Distrito de General Eugenio Alejandrino Garay del Departamento de Guairá, Paraguay.

Este Cerro dista unos 9 kilómetros del casco urbano de este municipio, cuenta con un área de aproximadamente 1500 m<sup>2</sup>. El Distrito de General Eugenio Alejandrino Garay, según datos del INE (2012), se encuentra al S de la capital departamental y limita al N con la Cordillera del Ybytyruzú, que lo separa de Colonia Independencia; al S con el Departamento de Caazapá, al E con Fassardi, y al W con Iturbe y Ñumí con un área de 160 km<sup>2</sup>.

Dentro de las coordenadas geográficas 25°45'00''S, 56°25'59''O podemos ubicar el Distrito de General Eugenio Alejandrino Garay.

Se accede al municipio a través de la ruta N°8 “Blas Garay” seguido por la ruta Nacional PY18. Una vez adentrado en la zona urbana, se accede por una vía secundaria de nombre “Camino al 3 Kandú” para llegar al área de estudio, como se observa en la figura 4.

MAPA DE UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO



**Figura 3** Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

**Fuente:** Elaboración propia a través del *software Qgis* y *shapefile* de distritos del INE, 2012.



El camino que lleva al Cerro Tres Kandú se encuentra cubierto por sedimentos arcillosos de color rojizo durante los primeros 5 kilómetros, hasta alcanzar afloramientos de rocas como vía de acceso (Figura 4).

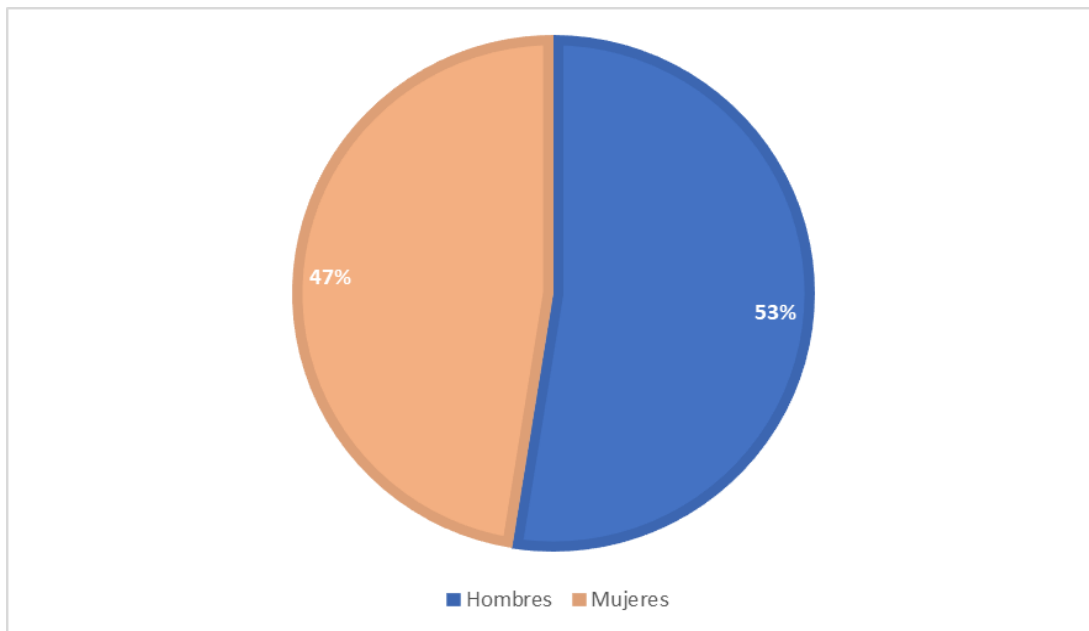


**Figura 4** Diferenciación entre vías de acceso entre 5 y 10 km.

### **3.3.2 Población del Distrito**

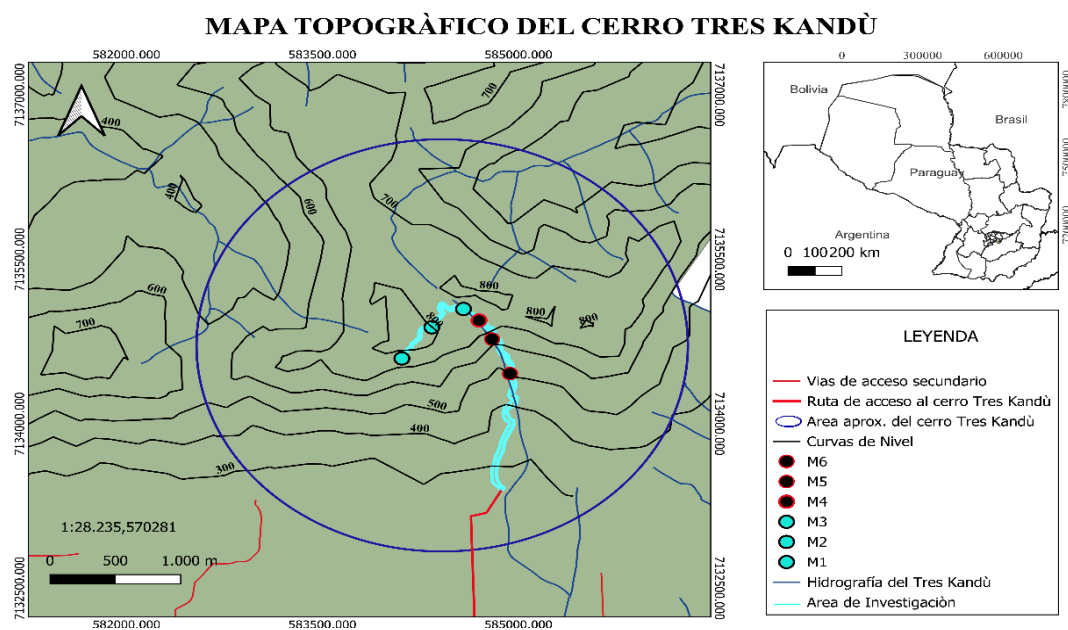
Según las estimaciones del INE (2012), se estima que en el año 2023 la cantidad de habitantes en el Distrito de General Eugenio Alejandrino Garay sería de 7.567 personas, representado en el diagrama circular de la figura 5.

- **Proyecciones de la Dirección de Estadística y Censo para la población de General Eugenio Alejandrino Garay en el año 2023.**



**Figura 5** Diagrama en porcentaje de pobladores del Distrito General Eugenio Alejandrino Garay en el rango de sexo.

**Fuente:** Elaboración propia en base a los datos del INE, 2012.



**Figura 6** Mapa topográfico del área de estudio del cerro Tres Kandù

**Fuente:** Elaboración propia con *software Qgis y shapefile* de Distritos de la INE, 2012

### **3.3.3 Población**

La población para la realización de este trabajo comprendió todas las características geológicas de la Suite Magmática Alto Paraná, teniendo en cuenta el tipo de roca, los eventos tectónicos ocurridos durante el periodo que abarca dicha formación y los eventos magmáticos correspondiente a la Cordillera del Ybytyruzú.

### **3.3.4 Muestra**

6 muestras recolectadas al azar en el sendero turístico del Cerro Tres Kandú, porción perteneciente a la Cordillera del Ybytyruzú.

### **3.3.5 Unidad de análisis**

Las 6 muestras de rocas recolectadas al azar en el sendero turístico del Cerro Tres Kandú, ubicado en la porción sur de la Cordillera del Ybytyruzú, conforman la unidad de análisis de este proyecto.

### **3.3.6 Muestreo**

El muestreo para la presente investigación es del tipo aleatorio simple, es decir, que cada muestra perteneciente o que se encuentre dentro de la población tiene la misma probabilidad de ser elegida.

La selección de muestras se realizó al azar, siendo escogidas como representativas aquellas rocas menos alteradas y más aflorantes en la trayectoria del sendero turístico de la Cordillera del Ybytyruzú, el cual fue área de estudio para la elaboración de este proyecto.

### **3.3.7 Instrumentos para la recolección de datos**

Para la recolección de datos, fueron necesarios instrumentos como: Brújula del tipo Brunton, martillos geológicos, lupa de mano de la marca Maped, una libreta de campo, dispositivos GPS, lápices de dureza, un lápiz magnético, cámara fotográfica, bolsas de plástico para recolectar las muestras, cinta de papel para etiquetarlas y equipos de protección.

## **4 METODOLOGÍA**

### **4.1 Trabajo de gabinete**

Para abordar la primera etapa de este trabajo se recurrió a delimitar el área el cual será objeto de estudio, revisar y analizar las revisiones bibliográficas disponible del área de estudio, como artículos científicos, las vías de acceso a la zona, los aspectos físicos, la geología regional y local, a fin de comprender los aspectos generales en relación a la zona de estudio.

La interpretación de los datos, los análisis petrográficos, el uso de *software* para la elaboración de mapas, tablas y gráficos con la intención de expresar, o mejor dicho plasmar los resultados de la investigación.

### **4.2 Trabajo de campo**

Para el trabajo de campo, primeramente, se realizó la descripción de los afloramientos, teniendo en cuenta todas las características más relevantes para luego proceder con el levantamiento geológico tradicional descrito por Echeveste, H. J. (2018), que consiste en actividades de observación, reconocimiento del área, descripciones y recolección de muestras al azar de acuerdo a los afloramientos para luego ser analizadas en el laboratorio.

Con ayuda de un dispositivo GPS de la marca GARMIN, pudo ser posible identificar la ubicación del punto de muestreo e indicar el trayecto del sendero turístico del Cerro Tres Kandú midiendo las coordenadas de acuerdo a las rectas y/o curvas que presentaba la misma.

Por último, usando una brújula tipo Brunton, se llevó a cabo la medición de las fracturas de las rocas aflorantes en el sendero turístico; teniendo en cuenta el rumbo que posteriormente será representada en una rosa de los vientos, gráfica rosácea o rozeta geológica, *software* inventado por Bruno Cardeñosa & Silvia Casasola en 1997.

### **4.3 Elaboración de mapas**

Para la elaboración de mapas, tanto geográfico, geológico y topográfico se tuvo en cuenta la delimitación del área de estudio, georreferenciando las coordenadas UTM ( *Universal Transverse Mercator*) medidas para la elaboración del sendero y los puntos de muestreo, además de representar las curvas de nivel del cerro Tres Kandú, todo esto utilizando el *software Qgis* en conjunto con *Google Earth Pro* y los *shapefile* de Distritos y Departamentos proporcionados por el INE, 2012.

### **4.4 Análisis de laboratorio**

Para esta etapa, de las 6 muestras recolectadas se escogieron 3, las más representativas y menos alteradas para su posterior estudio en el laboratorio de petrología.

Para la elaboración y observación de láminas delgadas en microscopio es necesario disponer de muestras que no han sido alterado por procesos químicos. Las rocas muy alteradas proporcionan resultados alterados, es decir, la mineralogía cambia y/o se modifica. Por eso se recomienda la selectividad antes de realizar los análisis en el laboratorio.

### **4.5 Petrografía**

La metodología petrográfica utilizada para este proyecto es la misma utilizada por Madsen (2018), para el estudio de los basaltos de la formación Serra Geral de las provincias de Corrientes y Entre Ríos.

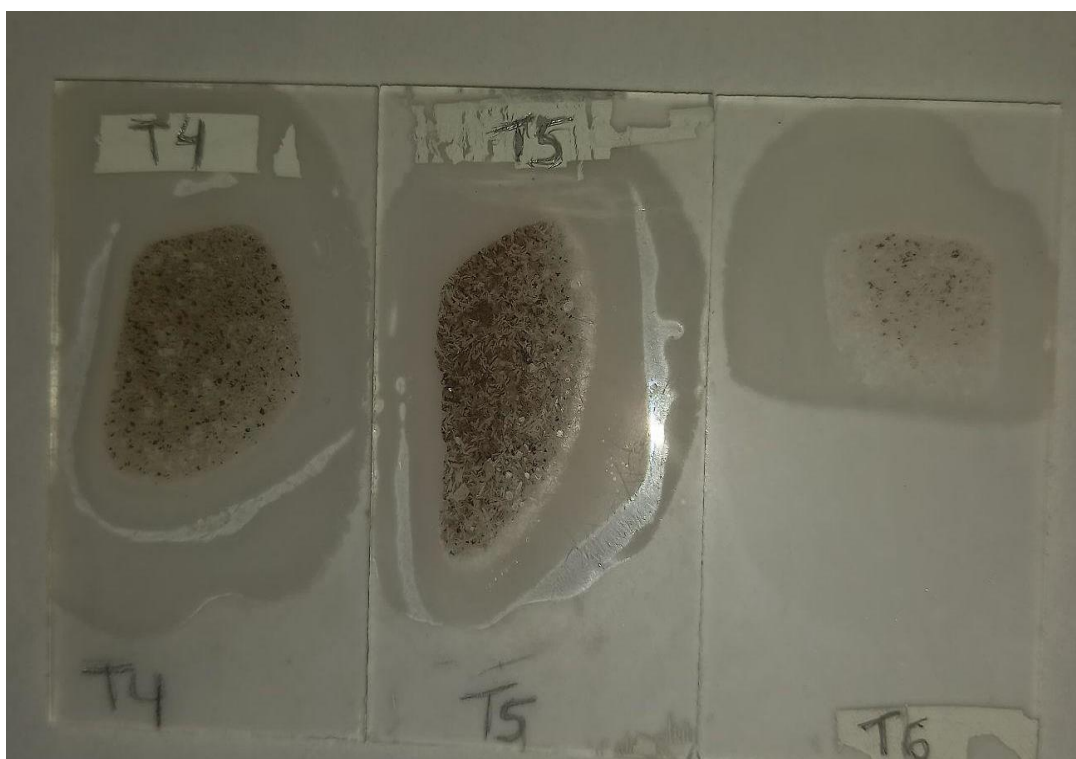
La elaboración de las láminas delgadas de las muestras seleccionadas se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, en el laboratorio de Petrología del Departamento de Geología.

Según Ques, J., & Tritlla, J. (1997), para la elaboración de las láminas delgadas se tuvo en cuenta la siguiente secuencia:

Se realiza un corte en la muestra con un disco de corte de manera que la roca tome la forma de un prisma, luego se lo fija a una lámina de vidrio o portaobjetos con resina epóxica conocido como Bálsamo del Canadá, tomando las medidas adecuadas

para evitar la formación de burbujas para luego dejar secar en un ambiente cálido, posteriormente, con la ayuda de un equipo de pulido metalográfico se reduce la muestra sujeta al portaobjetos hasta lograr un espesor de aproximadamente 300  $\mu\text{m}$  (micrón), para luego someterla a otra etapa de pulido, utilizando abrasivos (carburo de silicio) con variadas granulometrías, hasta obtener el espesor de unos 30  $\mu\text{m}$ . Normalmente ese es el espesor que se estipula para la elaboración de una sección delgada.

Confeccionada la lámina delgada, se procedió a realizar la observación del mismo bajo un microscopio de luz transmitida para su descripción, teniendo en cuenta su mineralogía, textura y estructura al momento de clasificarla. El microscopio de luz transmitida consiste en proporcionar una fuente de luz que atraviesa a la muestra iluminándolo y así obteniendo la imagen requerida.



**Figura 7** Etapa final de elaboración de láminas delgadas. Se observa en la figura el grosor ideal aproximado que es de 30  $\mu\text{m}$ .

La observación, identificación mineralógica, las características texturales, la interpretación y la conclusión se llevó a cabo gracias al instrumental que se encuentra en el Laboratorio de Petrografía del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, entre ellas un microscopio polarizante de la marca Leica.

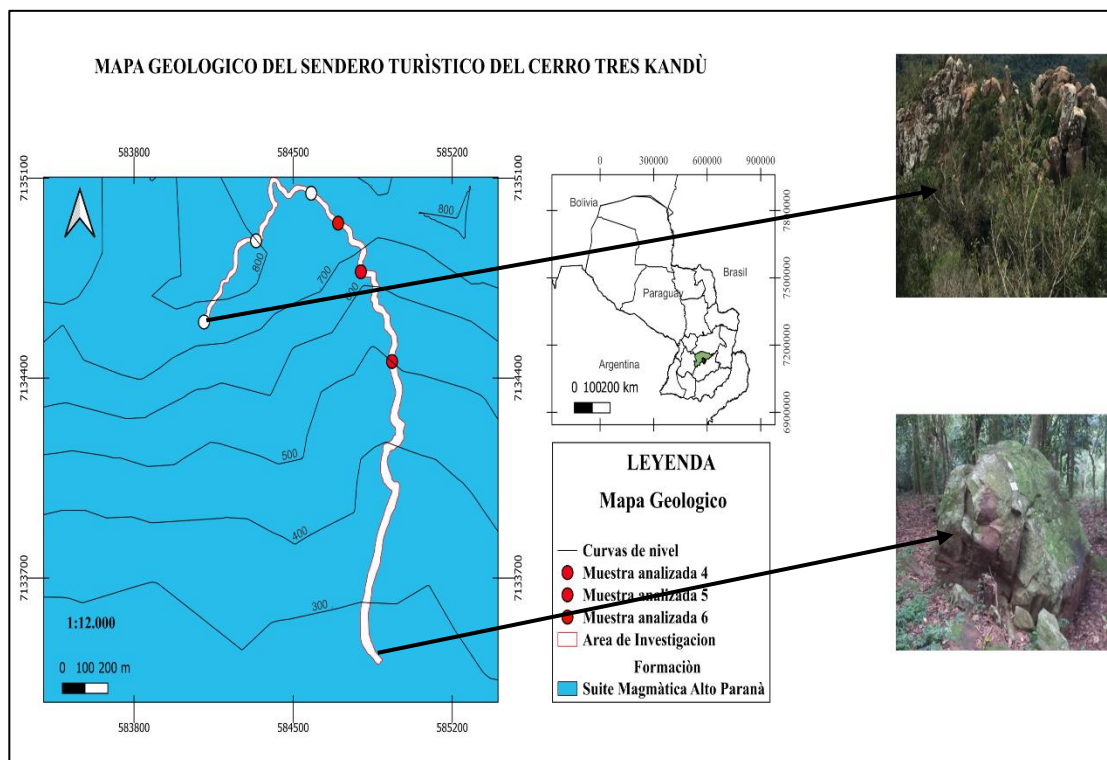


**Figura 8** Observación de lámina delgada a través de microscopio petrográfico de la marca *Leica*.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Descripción del afloramiento

El sendero Turístico del cerro Tres Kandú posee al menos 3 kilómetros de largo y unos 8 metros de ancho en dirección N - S. La predominancia de las rocas es de origen ígneo, basaltos toleíticos con grandes fracturas e intensamente alterados cubren la mayor parte de este sendero. Se extiende desde una altitud mínima de 255 msnm hasta alcanzar su punto más alto que es de 842 msnm aproximadamente.



**Figura 9** Mapa geológico, indicando punto de partida (255 msnm) y final (842 msnm) del sendero turístico del cerro Tres Kandú.

**Fuente:** Elaboración propia con *software Qgis y shapefile* de Distritos de la INE, 2012



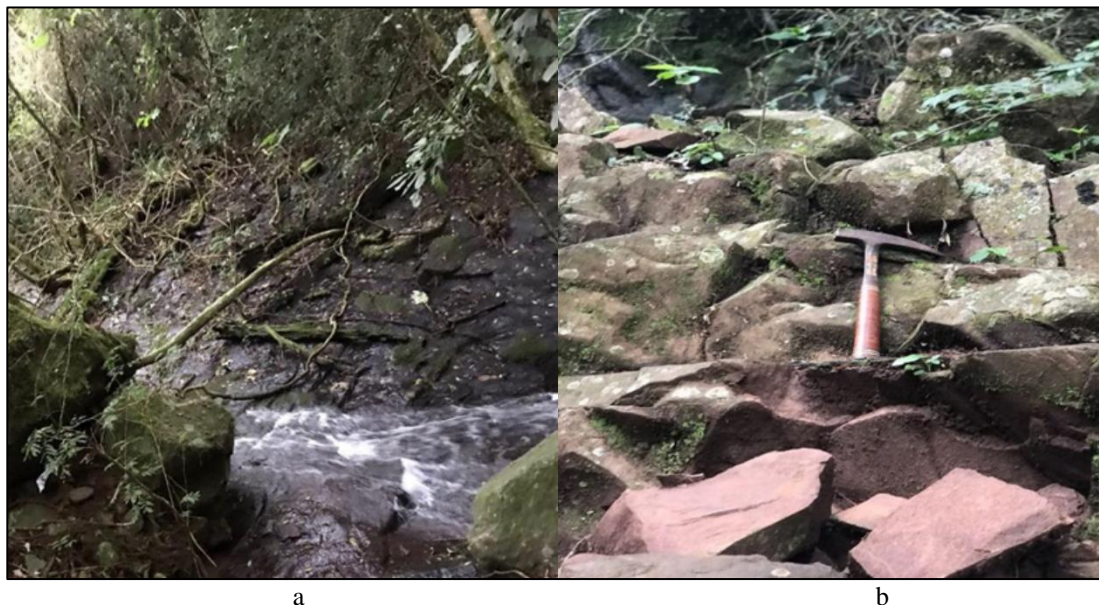
Las rocas son densas, de color oscuro y superficie muy fracturado, compuesto por pequeñas vesículas rellenas de mineral arcilloso y cubiertas por musgos debido al ambiente húmedo en el que se presenta.



**Figura 10** a) Afloramiento a los 842 msnm. b) Bloque de basalto a los 255 msnm.

Separando en secciones, desde los 255 metros hasta aproximadamente 400 msnm no se observan afloramientos, solo rocas sueltas y muy meteorizadas (Anexo 3).

Más adelante, entre los 400 a 700 msnm, se observan enormes bloques sueltos de basaltos y afloramientos de gran extensión. Estas rocas se encuentran altamente fracturadas en diversas direcciones. Muchas de estas fracturas son causadas por agentes biológicos.



**Figura 11** a) Gran afloramiento de basalto a los 450 msnm atravesada por un curso hídrico a un costado del sendero turístico del cerro Tres Kandú. b) Basaltos sumamente fracturados a unos 700 msnm.

Entre los 500 y 750 metros el terreno se vuelve escarpado, luego más plano hasta llegar al punto más alto.

## 5.2 Descripción macroscópica

Para la descripción macroscópica se procedió a reconocer todas las características que presenta la roca como el color, la textura, el tamaño de los minerales con ayuda de una lupa de la marca Maped y otras propiedades físicas como la dureza. En relación al color, no se utilizó la tabla de colores de Munsell. Otras propiedades de estas rocas a ser descritas son las oquedades que quedan después de liberar gases durante que el magma se enfríe de manera rápida.

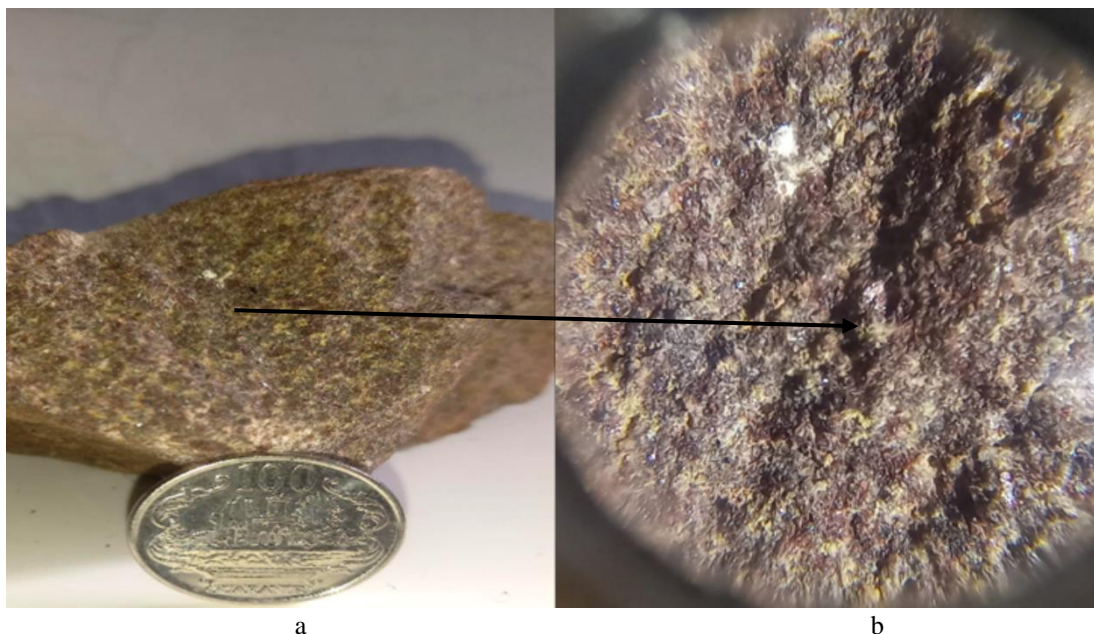
### 5.2.1 Muestra 1 (842 msnm)

La primera muestra de basalto toleítico corresponde al punto más elevado (Figura 11) del sendero turístico del cerro Tres Kandú.



**Figura 12** Muestra 1. Basalto toleítico alterado y sumamente fracturado.

La roca es de color marrón rojizo, debido a la alteración y oxidación de sus minerales máficos. El tamaño de sus minerales varía de medio (1-5 mm) a fino (<0,1-1 mm) con una textura porfirítica y algunos fenocristales de plagioclasa. Cavidades amigdaloides y vesiculares se encuentran con frecuencia rellenas de arcilla de color verde amarillento, producto de la alteración de los minerales de silicatos.



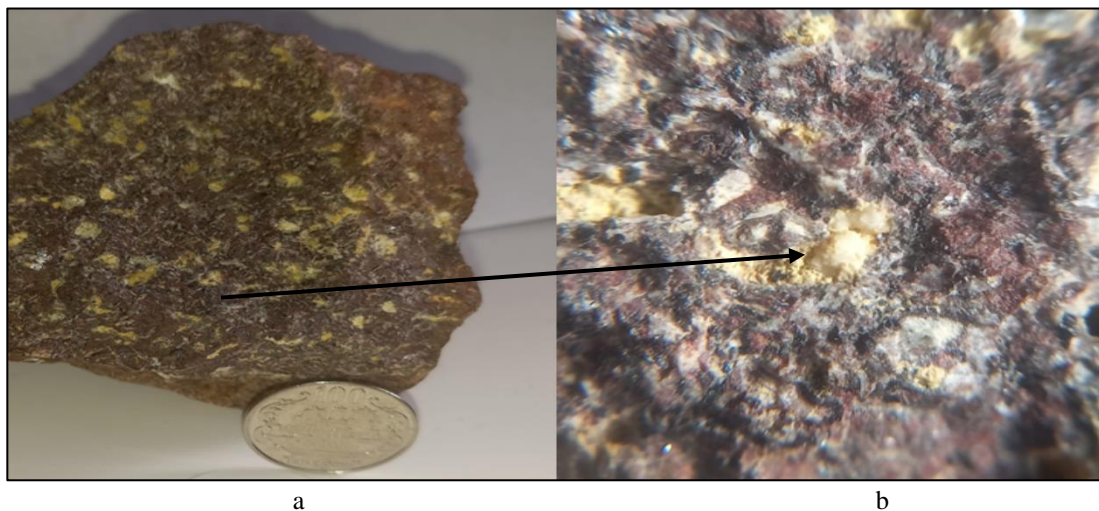
**Figura 13** a) Basalto toleítico alterado con cavidades amigdalóides rellenas de arcilla y algunos. b) Basalto toleítico alterado y oxidado observado en lupa con aumento 20x.

### 5.2.2 Muestra 2 (815 msnm)



**Figura 14** Basaltos toleíticos aflorantes en el sendero turístico del cerro Tres Kandú con fracturas.

Los minerales son más finos y las oquedades son del tipo amigdaloides, mucho más pronunciados que la muestra anterior, también rellenas por montmorillonita. La roca es de color morrón rojizo, con intensa alteración y oxidación de los minerales máficos.



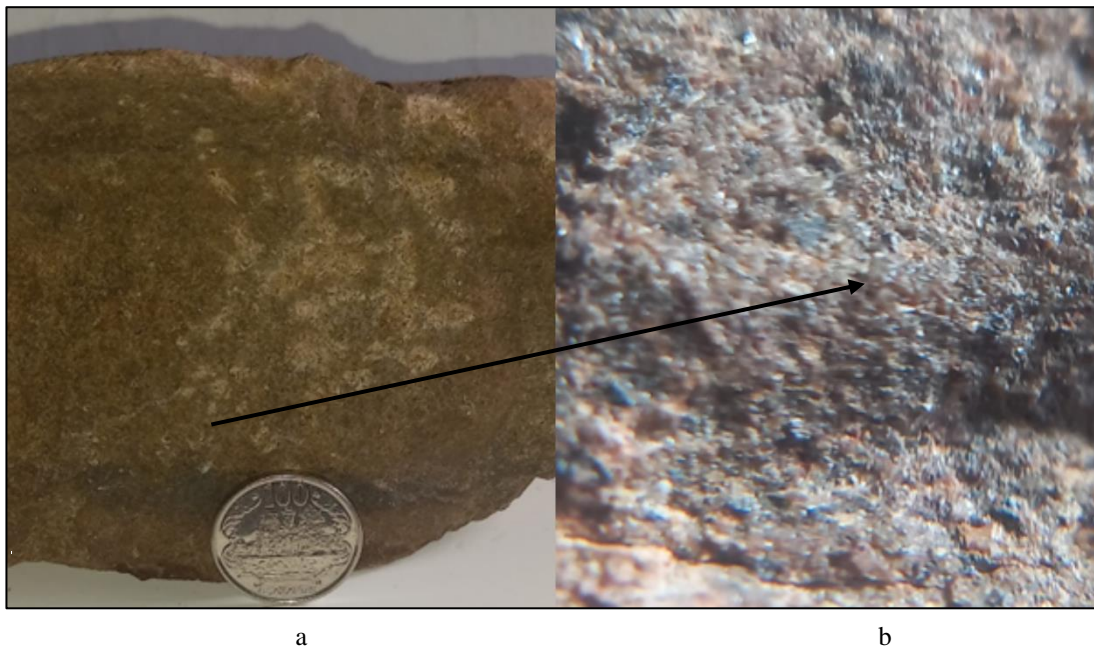
**Figura 15** a) Basalto toleítico alterado con cavidades amigdalóides rellenas de arcilla y algnos. b) Basalto toleítico alterado y oxidado observado en lupa con aumento 20x.

### 5.2.3 Muestra 3 (790 msnm)



**Figura 16** Afloramiento de basalto toleítico con textura afanítica.

A unos 50 metros del punto de muestreo anterior (Figura 27) la roca cambia drásticamente sus características, presentando una textura afanítica con minerales finos a muy finos lo que dificulta su observación incluso con la lupa 20x. La roca es de color gris oscuro, de alta dureza y superficie lisa con cavidades vesicular



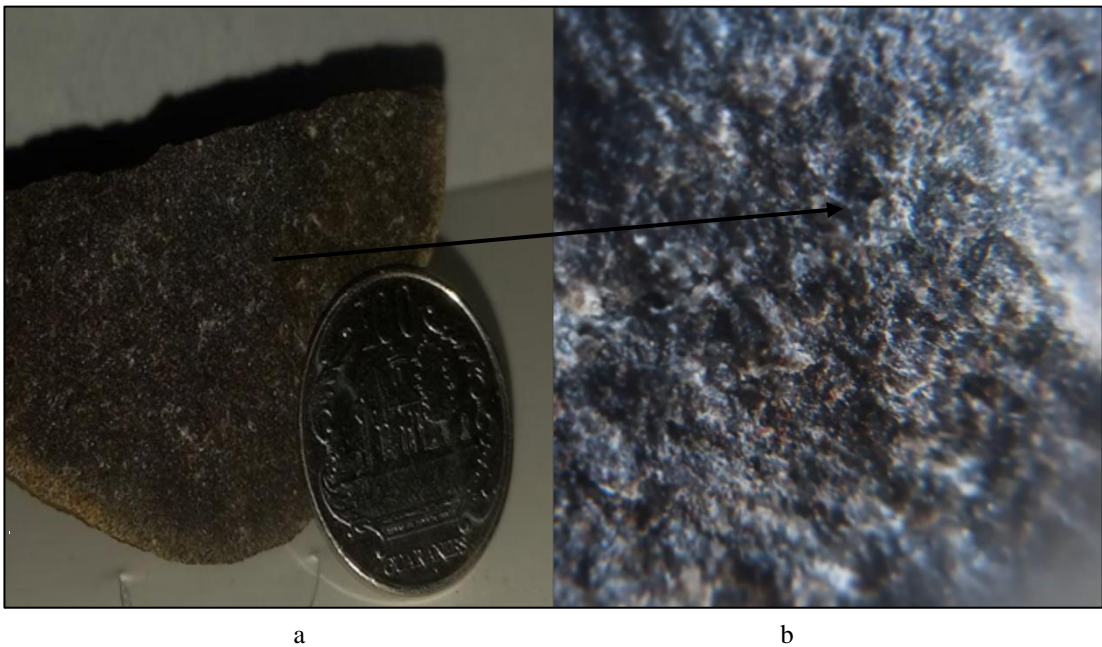
**Figura 17** a) Muestra de mano de basalto. b) Basalto toleítico con textura afanítica observado en lupa con aumento 20x.

#### 5.2.4 Muestra 4 (750 msnm)



**Figura 18** Afloramiento de basaltos toleíticos altamente erosionados y cubierto de musgos.

La muestra de este punto en particular (Figura 18), comparando con la anterior varía en el tamaño de sus minerales. Presenta una textura afirica, característica de rocas ígneas que no presentan fenocristales en su estructura pero que con una lupa de aumento 20x pueden ser observados. Son visibles minerales como la plagioclasa. La roca es muy compacta y de color gris oscuro a negro. Se aprecian vesículas amigdalóides en proporciones menores.



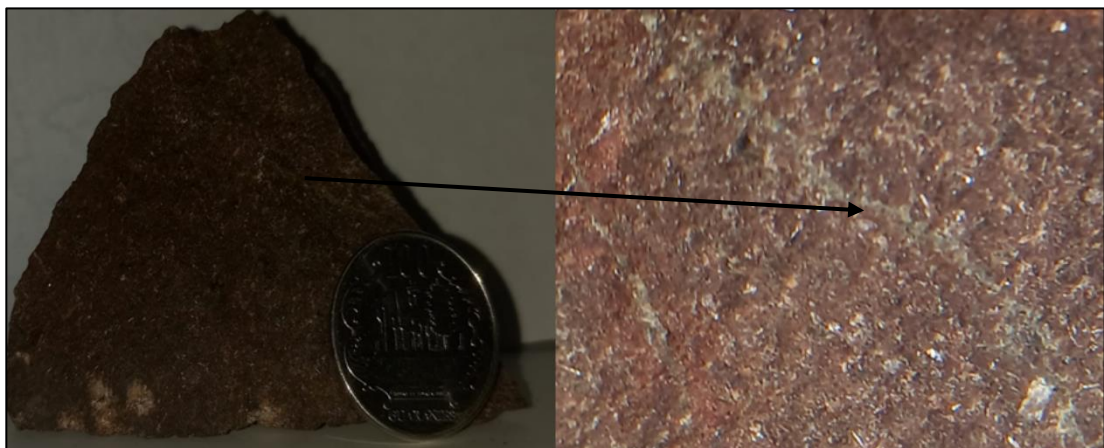
**Figura 19** a) Muestra de mano de basalto. b) Basalto toleítico con textura afirica. Observado con lupa 20x.

### 5.2.5 Muestra 5 (640 msnm)



**Figura 20** Afloramiento de basalto toleítico en el sendero turístico del cerro Tres Kandú.

El basalto toleítico es de color marrón rojizo, mucho más claro que la muestra 4 (Figura 19), con textura porfirítica y alta dureza. Fenocristales de plagioclasa y pequeños bandeamientos de cuarzo en menor proporción pueden ser apreciados en la roca. Se puede apreciar minerales secundarios de lo que podría ser Hematita según Ozán, 2020, compuesto de óxido férrico y muy característico debido al color rojizo en el que se presenta su raya. Cavidades amigdalóides se encuentran presentes en casi toda la roca, con inclusiones, producto de alteración o desequilibrio magmático.



**Figura 21** a) Muestra de mano de basalto. b) Basalto toleítico con pequeños bandeamientos de cuarzo observado con lupa 20x.



### 5.2.6 Muestra 6 (450 msnm)



**Figura 22** Basalto toleítico aflorante en el sendero turístico del cerro Tres Kandú.

La última muestra presenta una textura porfirítica de color gris claro en fracturas frescas, siendo en general pardo-rojizo o marrón pardo debido a alteraciones de minerales máficos y óxidos de hierro en abundancia. Las amígdalas son abundantes, de dimensiones variables. El relleno de las mismas son arcillas de color verde. La roca es compacta y mineralógicamente se aprecian fenocristales de plagioclasa,



a

b

**Figura 23** a) Muestra de mano con oquedades rellenas de arcilla. b) Basalto toleítico con oquedades rellenas de material arcilloso. Observado en lupa 20x.

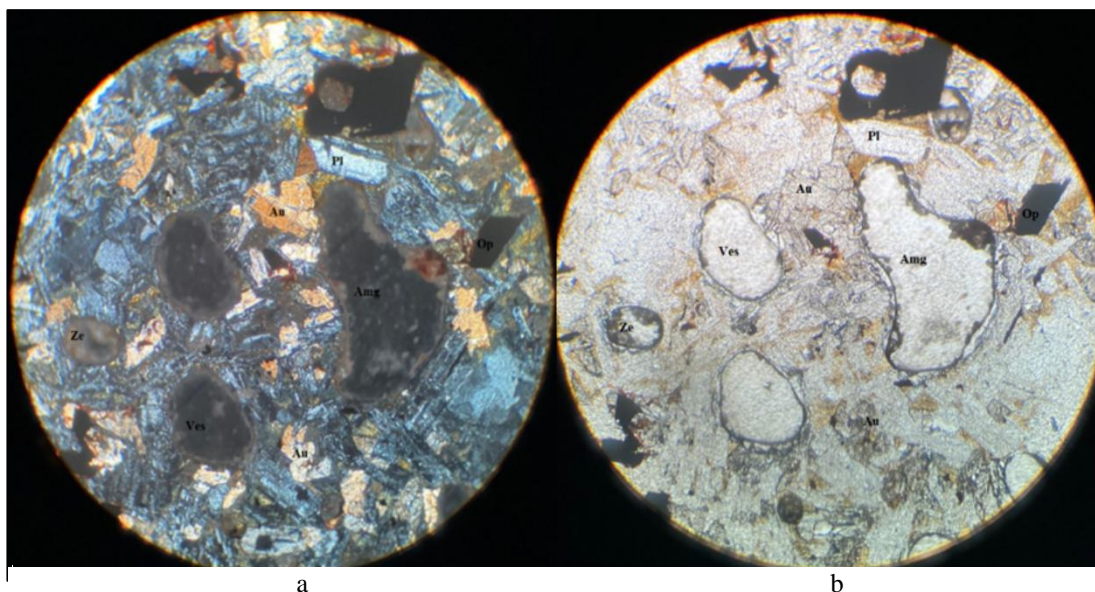
### 5.3 Descripción microscópica

La descripción microscópica consiste en la identificación de los minerales tanto en luz paralela como en luz polarizada, así como su distribución, su disposición y la textura que presentan. Se analiza el modo de ocurrencia y las asociaciones entre ellas.

#### 5.3.1 Muestra 4 (450 msnm)

El basalto toleítico de la muestra 4 presenta una textura intergranular a equigranular. Minerales como plagioclasa de hábito prismático y maclas polisintéticas ricas en calcio son observadas con luz paralela y polarizada que rodean a fenocristales de augita. A esta característica en particular se le denomina textura ofítica, que engloba a las mencionadas anteriormente.

Numerosas vesículas-amigdaloides con inclusiones de calcedonia como mineral accesorio y diversos cuerpos opacos.

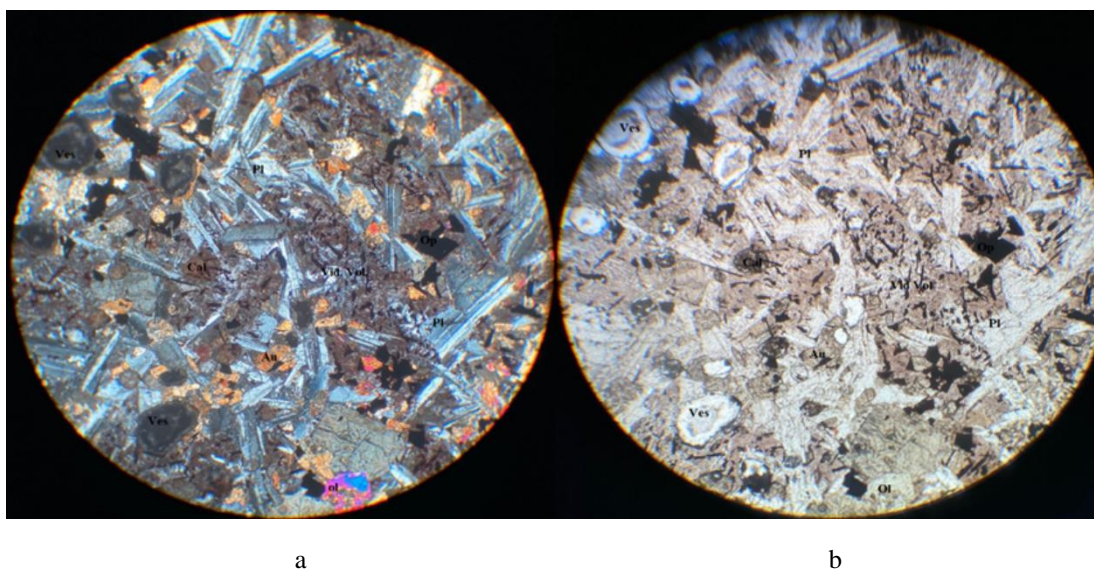


**Figura 24** Sección delgada de basalto toleítico: a) LPNA, b) LPA. Se observa la presencia de fenocristales de augita (alta birrefringencia), plagioclasa, inclusiones de calcedonia, minerales opacos y cavidades veciculo-amigdaloides.

### 5.3.2 Muestra 5 (640 msnm)

Para la siguiente muestra se presentan 2 texturas diferentes:

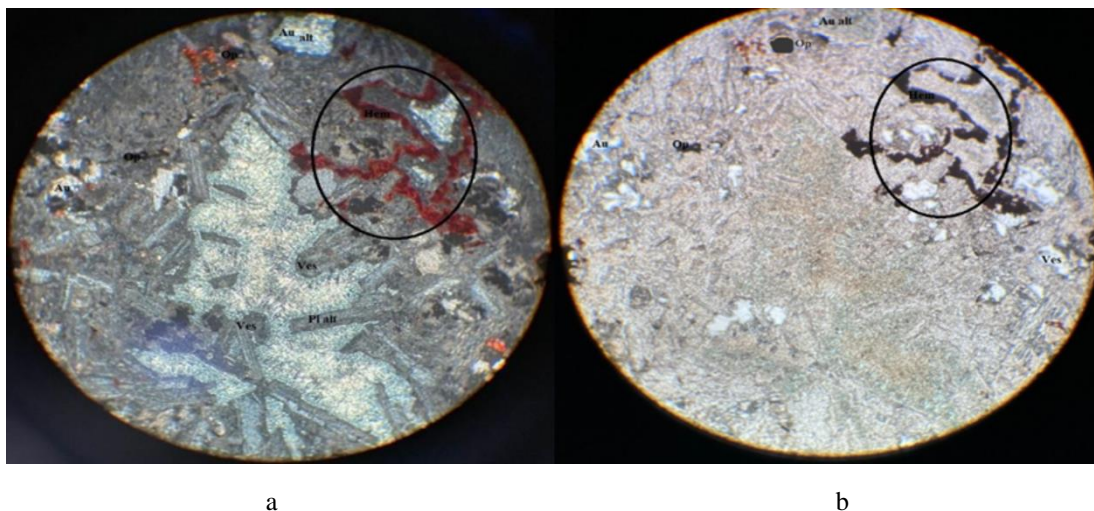
Una de las texturas es intergranular, donde minerales de plagioclasa se encuentran distribuidos en forma de red y los espacios vacíos son ocupados por cristales de piroxeno (en general augita), olivino y minerales opacos. La otra textura es la intersertal, con material intersticial muy escaso. En algunas secciones de la lámina delgada se observan cierta alineación de minerales de plagioclasa. Además de plagioclasa, piroxeno y en cantidades menores de olivino se observa vestigios de vidrio volcánico, minerales opacos y cavidades vesiculares.



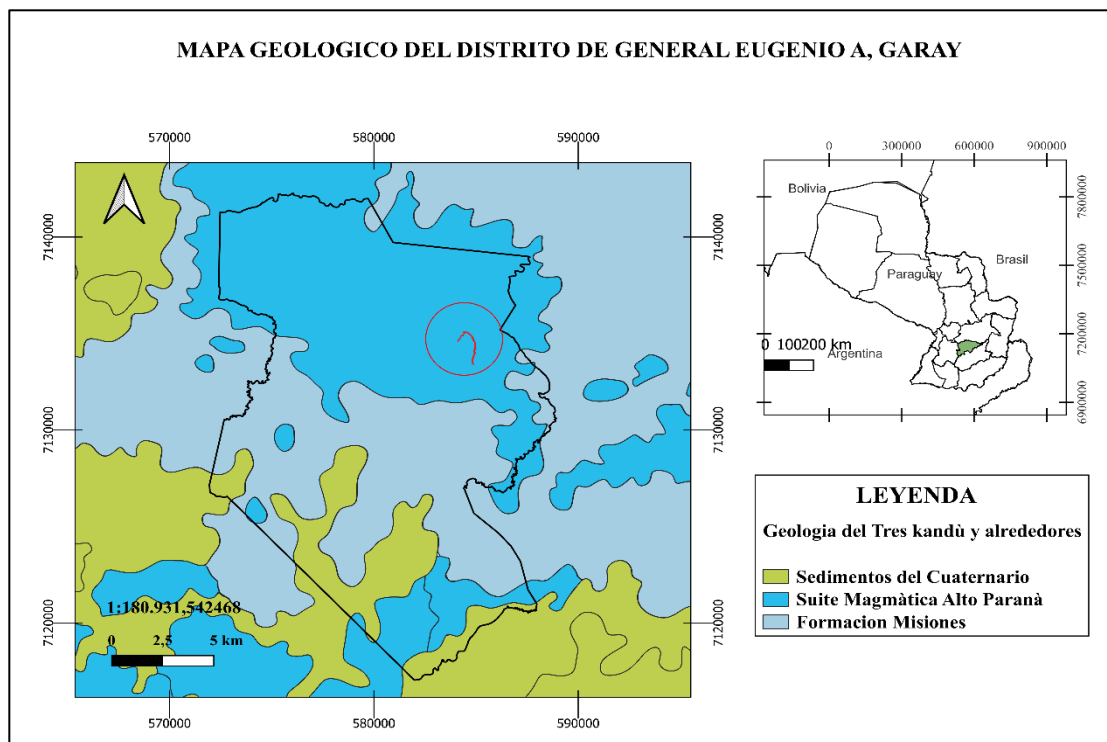
**Figura 25** Sección delgada de basalto toleítico: a) LPNA, b) LPA. Se observa vidrio intersticial, plagioclasas con textura intergranular, pequeño cristal de olivino, cuerpos opacos y varias vesículas.

### 5.3.3 Muestra 6 (450 msnm)

En la última lámina delgada se observa una textura equigranular y ofítica, con minerales de plagioclasa alterados intensamente, augita alterada, minerales opacos y venillas de hematita. Cantidades considerables de cavidades vesiculares se aprecian en varias secciones. La matriz es bastante fina por lo que se podría considerar una textura hipocristalina.

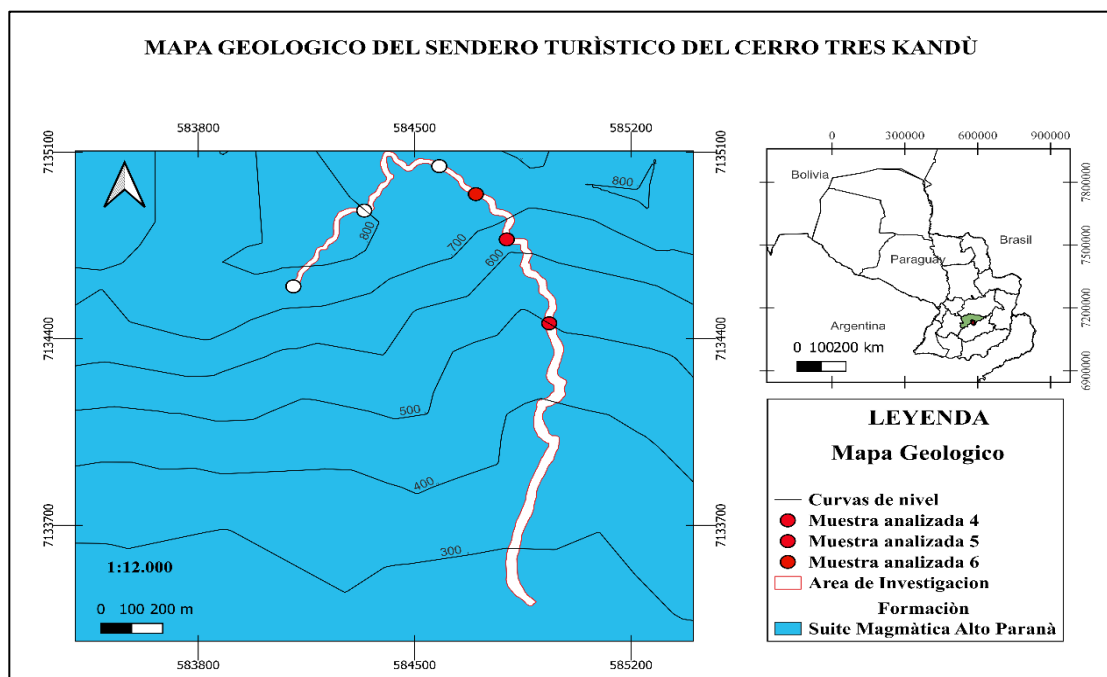


**Figura 26** Sección delgada de basalto toleítico. a) LPNA, b) LPA. Se observa en varias secciones de la lámina cavidades vesiculares (Ves), hematita (Hem), de alta birrefringencia, plagioclasa sumamente alterada (Pl alt), piroxeno alterado (Au alt) y minerales opacos.



**Figura 27** Mapa geológico del cerro Tres Kandù y alrededores.

**Fuente:** Elaboración propia a través de *software Qgis* y *shapefile* de distritos de la INE, 2012.



**Figura 28** Mapa geológico del área de estudio.

**Fuente:** Elaboración propia a través de *software Qgis* y *shapefile* de distritos de la INE, 2012.

## 5.4 Interpretación de la rozeta geológica

### 5.4.1 Tabla de resultados

**Tabla 1** Medidas de rumbo de las fracturas que se encuentran en las rocas presentes en el sendero turístico del cerro Tres Kandú.

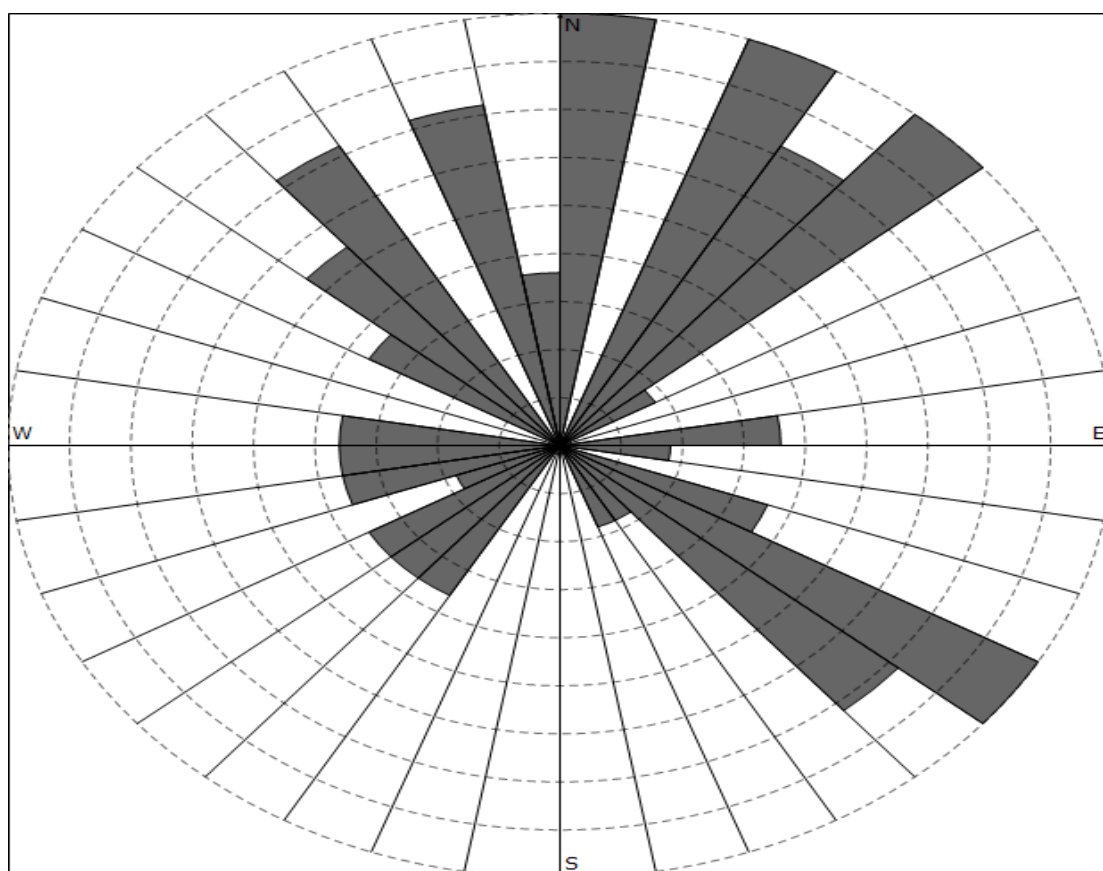
1. S46'W	17. S10'E	33. N68'E	49. S87'E
2. S8'W	18. S30'W	34. N58'E	50. S45'E
3. S35'W	19. S50'E	35. N72'E	51. N44'E
4. S5'W	20. S15'E	36. N55'W	52. N68'E
5. S15'W	21. S8'E	37. S32'W	53. S9'E
6. N40'W	22. N35'W	38. N56'E	54. N62'W
7. S5'W	23. N38'W	39. S48'W	55. N84'W
8. S2'W	24. S85'W	40. N42'E	56. S85'W
9. S28'W	25. N45'W	41. N44'W	57. N53'W
10. S50'E	26. S42'W	42. N59'W	58. N83'E
11. N57'W	27. S38'W	43. S47'W	59. N43'W
12. S25'W	28. S50'W	44. S55'W	60. S44'E
13. S3'W	29. N86'E	45. S39'E	61. S35'E
14. S22'W	30. N80'E	46. N36'E	62. S82'E
15. S30'W	31. N31'E	47. S37'W	63. S39'E
16. S28'W	32. N50'E	48. S45'W	64. S13'E

### 5.4.2 Tectónica

El sendero turístico del cerro Tres Kandú se compone principalmente de rocas basálticas de afinidad toleítica intensamente fracturadas. Dichas fracturas guardan relación con el Graben ASV debido a que las direcciones preferenciales plasmadas e interpretadas en la figura 27, coinciden con la estructura del rifting dominante de la región este del Paraguay, con vectores extensionales NE – SW.

También se interpreta direcciones NW – SE y N – S, relacionados a la evolución de la cuenca del Paraná y las características de fallas normales predominantes hacia el Oeste del Valle de Ypacaraí respectivamente.

Según Comin-Chiaramonti (1999), estas direcciones preferenciales pueden llegar a evidenciar la gran tectónica extensional desarrollada en el Mesozoico que condicionaron a las rocas alcalinas del Paraguay.



**Figura 29** Diagrama de rozeta geológica. Direcciones preferenciales en basaltos toleíticos aflorantes en el sendero turístico del cerro Tres Kandú.

## 6 CONCLUSIONES

En resumen, llevar a cabo la exploración litológica del sendero turístico del cerro Tres Kandú ha dejado conocer a su paso los diversos eventos transcurridos durante la formación de las rocas y estructuras, la necesidad de profundizar el estudio de la geología de este lugar. De acuerdo al planteamiento del trabajo, las metodologías aplicadas, los objetivos que se han trazado y la hipótesis que se ha formulado se llegó a la conclusión de que, basaltos toleíticos afloran en el sendero turístico del cerro Tres Kandú, Cordillera del Ybytyruzu, unas más alteradas que las otras debido a las condiciones climáticas y el ambiente en donde reposan.

De acuerdo a los análisis petrográficos, las rocas presentan una textura ofítica, característica de los basaltos toleíticos, fenocristales de plagioclasa con maclas polisintéticas ricas en calcio, piroxenos como la augita se dan en abundancia, olivino en cantidades menores y cavidades vesiculares rellenas por mineral arcilloso, producto de la alteración de ciertos minerales máficos.

Para comprender el origen de los basaltos de afinidad toleítica, las observaciones de campo, las direcciones preferenciales de las fracturas y los análisis petrográficos resultaron ser de gran ayuda en el momento de identificación de los minerales, las ocurrencias del mismo y como yacen en el terreno, del por qué las intensas alteraciones y diversas fracturas. La intensa oxidación y alteración de los minerales máficos corresponde a un magmatismo básico.

Las fracturas presentes en las rocas del sendero turístico del cerro Tres Kandú se encuentran alineados o distribuidos en dirección NW – SE, NE – SW y N – S con menos frecuencia. Los basaltos toleíticos y las direcciones de fracturamiento se encuentran directamente relacionadas a alineaciones mayores característicos del origen del *rift* continental, debido a su formación en ambientes distensionales, la evolución de la Cuenca del Paraná y la orogenia triásica.

Grandes coladas basálticas son observadas en dicho sendero, por donde circulan aguas cristalinas. La mayor parte del sendero no presenta afloramientos como



tal, más bien se compone de bloques sueltos, transportados desde puntos más altos, erosionados y meteorizados por agentes químicos, mecánicos y biológicos.

En conclusión, basaltos toleíticos del Paraná se manifiestan en la porción Sur de la Cordillera del Ybytyruzu, en el sendero turístico del cerro Tres Kandú, con fracturas de ambientes distensionales, oquedades rellenas por alteración de ferromagnesianos y la secuencia de formación de coladas basálticas en relación al tipo de enfriamiento, la deposición y el origen del magma. Se asocia de manera directa las rocas presentes en el área de estudio con las mencionadas en la Suite Alto Paraná de edad 201 a 100 Ma.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carracedo, J. C., & Perez-Torrado, F. J. (2015). Peligros asociados a las coladas de lava. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23(1), 49-49.

Comin-Chiaramonti, P., Cundari, A., Piccirillo, E. M., Gomes, C. B., Castorina, F., Censi, P., ... Velázquez, V. F. (1997). Potassic and sodic igneous rocks from Eastern Paraguay: their origin from the lithospheric mantle and genetic relationships with the associated Paraná flood tholeiites. *Journal of Petrology*, 38(4), 495-528.

Comin-Chiaramonti, P., Cundari, A., DeGraff, J. M., Gomes, C. B., & Piccirillo, E. M. (1999). Early Cretaceous–Tertiary magmatism in Eastern Paraguay (western Paraná basin): geological, geophysical and geochemical relationships. *Journal of Geodynamics*, 28(4-5), 375-391.

Comin-Chiaramonti, P., De Min, A., Cundari, A., Girardi, V. A., Ernesto, M., Gomes, C. B., & Riccomini, C. (2013). Magmatism in the Asuncion-Sapucaí-Villarrica Graben (Eastern Paraguay) revisited: Petrological, geophysical, geochemical, and geodynamic inferences. *Journal of Geological Research*, 2013(1), 590835.

Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C. B., Censi, P., Rotolo, S. G., & Velázquez, V. F. (1993). Geoquímica do magmatismo pós-paleozóico no Paraguai Centro-Oriental. *Geochimica Brasiliensis*, 7(1).

Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C. B., De Min, A., Ernesto, M., Marzolie, A., & Riccomini, C. (2007). Eastern Paraguay: an overview of the post-Paleozoic magmatism and geodynamic implications. *Rendiconti Lincei*, 18(3), 139-192.

Comin-Chiaramonti, P., Marzoli, A., Gomes, C., Milan, A., Riccomini, C., Velázquez, V. F., ... & Vasconcelos, P. M. (2007). The origin of post-Paleozoic magmatism in eastern Paraguay.

Comin-Chiaramonti, P., Marzoli, A., Gomes, C., Milan, A., Riccomini, C., Velázquez, V. F., Mantovani, M.S., Tassinari, G.C., Renne, P. ... & Vasconcelos, P. M. (2013). The origin of post-Paleozoic magmatism in eastern Paraguay.

Eckel, E. B. (1959). *Geology and Mineral Resources of Paraguay- A Reconnaissance*. Geological Survey Professional Paper 327.

Echeveste, H. J. (2018). Manual de levantamiento geológico. Series: Libros de Cátedra.

FRANK, H. T., GOMES, M. E., & FORMOSO, M. L. (2009). Revisão da extensão areal e do volume da formação Serra Geral, Bacia do Paraná, América do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 36(1), 49-57.

- Fúlfaro, V. J. (1996). *Geología del Paraguay Oriental*. Recuperado de: <https://www.geologiadelparaguay.com.py/Geolog%C3%ADa-del-Paraguay-Oriental.pdf>.
- González, M. E., & Cubas, N. (2001). Hoja Villarrica 5669. TEXTO EXPLICATIVO.
- Gomes, C. B., Comin-Chiaramonti, P., & Velazquez Fernandez, V. (2013). A synthesis on the alkaline magmatism of Eastern Paraguay. *Brazilian Journal of Geology*, 43(4), 745-761.
- Gomes, C. B., Comin-Chiaramonti, P., Velázquez, V. F., & Orué, D. (1996). Alkaline magmatism in Paraguay: a review. Alkaline magmatism in central-eastern Paraguay. Relationships with coeval magmatism in Brazil, 31-56.
- Gomes, C., Clerici, A. M. C., Fernandez, V. V., De Min, A., & Comin-Chiaramonti, P. (2017). The dykes in the western fringe of the Ybytyruzú Hills, central-eastern Paraguay región.
- Harrington, H. (1950). *Geología del Paraguay Oriental*. Contribuciones Científicas Serie E Geología.
- Instituto Nacional de Estadística. (2012). *Proyección de población para el Distrito de General Eugenio. Garay*. INE.
- Instituto Nacional de Estadística. (2020). *Compendio Estadístico Ambiental*. INE.
- Madsen, L., Marfil, S., & Maiza, P. (2018). Geoquímica y petrografía de los basaltos de la Formación Serra Geral de las provincias de Corrientes y Entre Ríos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 75(4), 559-571.
- Orué, D. (1996). *Síntese da geologia do Paraguai Oriental, com ênfase para o magmatismo alcalino asociado*. Tesis de Maestría. Recuperado de: <https://www.geologiadelparaguay.com.py/tesis.htm>.
- Ozán, I. L., Oriolo, S., L'heureux, G. L., & Schmidt, B. (2020). Minerales para los muertos: yeso y hematita en entierros prehispánicos de Patagonia meridional.
- Proyecto PAR. (1986). Texto Explicativo del Mapa Geológico del Paraguay
- Putzer, H. (1962). *Die Geologie von Paraguay*. Gebruder Borntraeger.
- Presser, J. L. B., Bitschene, P. R., & Vladykin, N. V. (2014). Comentarios Sobre La Geología, La Petrografía y La Química Mineral De Algunas Lamproítas De La Porción Norte De La Cordillera Del Ybytyruzú, Paraguay Oriental. *Bol. Mus. Nac. Hist. Nat. Parag*, 18(1), 24-61.

Ques, J., & Tritlla, J. (1997). Introducción a las técnicas de preparación de láminas delgadas. Atlas de Asociaciones Minerales en Lámina Delgada, JC Melgarejo (ed.). Barcelona. Publicaciones de la Universidad de Barcelona y Fundació Folch, 33-37.

Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. RH Sampieri, Metodología de la Investigación, 22.

Wood, K. A., Lavilla, E. O., & Garcete Barrett, B. R. (2014). Anuros de la reserva de recursos manejados Ybyturuzú. Un enfoque sobre su estado de conservación.

## 8 ANEXOS



**Anexo 1** Basaltos toleíticos meteorizados.



**Anexo 2** Sendero turístico del cerro Tres Kandú.



**Anexo 3** Sendero turístico del cerro Tres Kandú. Basalto toleítico fuertemente meteorizado.



**Anexo 4** Meteorización por agentes biológicos.





**Anexo 5** Medición de rumbo en fracturas presentes en basaltos toleílicos.



**Anexo 6** Afloramientos basálticos en el punto más alto del cerro Tres Kandú.