



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

**EVALUACIÓN DEL RIESGO Y VULNERABILIDAD
POR FENÓMENOS DE DESLIZAMIENTO O
DERRUMBE DE LADERAS DEL CERRO PERÕ
PARAGUARÍ.**

ADRIANA MARIA GARCIA MERELES.

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

SAN LORENZO – PARAGUAY
JULIO – 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

Trabajo de Grado

**EVALUACIÓN DEL RIESGO Y VULNERABILIDAD
POR FENÓMENOS DE DESLIZAMIENTO O
DERRUMBE DE LADERAS DEL CERRO PERÕ
PARAGUARÍ.**

ADRIANA MARIA GARCIA MERELES.

Orientadora: **Prof. Dra. Ana Maria Castillo Clerici.**

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

SAN LORENZO – PARAGUAY

JULIO – 2018

EVALUACIÓN DEL RIESGO Y VULNERABILIDAD POR FENÓMENOS DE DESLIZAMIENTOS O DERRUMBES DE LADERAS DEL CERRO PERÕ PARAGUARÍ.

ADRIANA MARIA GARCIA MERELES.

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

Fecha de aprobación: 19 de julio de 2018.

COMITÉ ASESOR DE TRABAJO DE GRADO

MIEMBROS:

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

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

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

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

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

DEDICATORIA

Este trabajo va especialmente dedicado:

A mis padres, Victoria y Luis Arnaldo por su incansable apoyo en esta larga etapa de formación, superación y aprendizaje.

A mi hermano Luis Gerardo por todo su apoyo, colaboración y confianza.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mi familia, por haber sido mi fortaleza en momentos difíciles, y con quienes compartí las alegrías por cada logro obtenido. En primer lugar a mis padres, a mi hermano, a mis abuelos y a todos aquellos familiares que desde la distancia siempre me brindaron su apoyo incondicional.

Mis agradecimientos especiales van dirigidos para la Prof. Dra. Ana Maria Castillo Clerici y a la Prof. Lic. Sonia Molinas por sus valiosas orientaciones para la elaboración de este trabajo.

Agradezco también especialmente al Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín y al Prof. Lic. Juan Carlos Ovelar por su buena predisposición para la realización de los análisis requeridos en este trabajo.

Al Prof. Líder González por su gran aporte de conocimientos sobre los antecedentes y acontecimientos del área de estudio.

Al Lic. Federico Argüello y a la Lic. Noelia Benítez, a los compañeros Ariel Peralta y Ricardo Vera por su colaboración para la obtención de materiales necesarios y la elaboración de mapas requeridos en este trabajo.

A las compañeras Romina Celabe y Mirian Almada por acompañarme en cada visita a mi área de estudio. A todos los Profesores del Departamento de Geología por dar lo mejor de ellos para mi formación como profesional y, a todos y cada uno de mis compañeros y amigos que me apoyaron y alentaron para conseguir cada uno de mis propósitos.

EVALUACIÓN DEL RIESGO Y VULNERABILIDAD POR FENÓMENOS DE DESLIZAMIENTOS O DERRUMBES DE LADERAS DEL CERRO PERÕ PARAGUARÍ.

Autor: ADRIANA MARIA GARCIA MERELES.
Orientador: PROF. DRA. ANA MARIA CASTILLO CLERICI.

RESUMEN

El Cerro Perõ, ubicado en la zona urbana de la ciudad de Paraguarí en el Departamento que lleva el mismo nombre, cuenta con una elevación aproximada de ciento ochenta y siete metros, gran parte del perfil del mismo cuenta con un elevado contenido de bloques y fragmentos de rocas ígneas alteradas, especialmente en la base se observa un alto contenido del material alterado (caolinizado), en el techo sin embargo se observa un material bastante silicificado. La pronunciada pendiente en una de las laderas, la escasa vegetación en algunas partes del Cerro, y las frecuentes precipitaciones que generan escorrentías y erosión, se suman a las características litológicas mencionadas anteriormente, y hacen que el Cerro Perõ este sujeto a fenómenos de deslizamientos o derrumbes, dichos fenómenos se producen por acción de la gravedad y factores desencadenantes que rigen en la estabilidad, muchas veces ocurren de forma natural o por actividades antrópicas que alteran las condiciones normales del terreno. Los resultados obtenidos en esta investigación indican que la susceptibilidad del Cerro Perõ a experimentar fenómenos de deslizamientos o derrumbes se encuentra dentro del rango moderado, considerando todas las condiciones geológicas, geomorfológicas y climáticas del área estudiada. Por lo tanto, sabiendo que el riesgo existe y que hay comunidades vulnerables, debemos, tanto los habitantes del lugar como todos los que estudiamos este tipo de fenómenos, promover la preservación del Cerro Perõ evitando cualquier tipo de actividad que pueda significar deterioro y potenciar el riesgo.

Palabras Claves: Riesgo, vulnerabilidad, deslizamientos, derrumbes, Cerro Perõ Paraguarí.

EVALUATION OF RISK AND VULNERABILITY FOR SLOPE PHENOMENA OR DERRUMB OF HILLS OF CERRO PERÕ PARAGUARÍ.

Author: ADRIANA MARIA GARCIA MERELES.
Advisor: PROF. DR. ANA MARIA CASTILLO CLERICI.

SUMMARY

The Cerro Perõ, located in the urban area of the city of Paraguari in the Department that bears the same name, has an approximate elevation of one hundred and eighty seven meters, much of the profile of the same has a high content of blocks and fragments of altered igneous rocks, especially at the base, a high content of the altered material (kaolinised) is observed, but in the roof a very silicified material is observed. The steep slope in one of the slopes, the scarce vegetation in some parts of the Cerro, and the frequent precipitations that generate runoff and erosion, add to the lithological characteristics mentioned above, and make Cerro Perõ subject to landslide phenomena or landslides, these phenomena are produced by the action of gravity and triggers that govern stability, often occurring naturally or by anthropogenic activities that alter the normal conditions of the terrain. The results obtained in this investigation indicate that the susceptibility of Cerro Perõ to experiencing landslide or landslide phenomena is within the moderate range, considering all the geological, geomorphological and climatic conditions of the studied area. Therefore, knowing that the risk exists and that there are vulnerable communities, we must, both the inhabitants of the place and all of us who study this type of phenomena, promote the preservation of Cerro Perõ avoiding any type of activity that could mean deterioration and enhance the risk.

Keywords: Risk, vulnerability, landslides, landslides, Cerro Perõ Paraguari.

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.....	ix
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	2
1.2. Objetivos.....	3

1.2.1.	Objetivo General.....	3
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	3
1.3.	Hipótesis.....	4
2.	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1.	Antecedentes.....	4
2.1.1.	Explotación del Cerro Peró.....	5
2.2.	Geología Regional.....	8
2.3.	Clima y Vegetación del área de estudio.....	10
2.4.	Zonificación de Amenaza y Riesgo.....	10
2.5.	Aspectos geológicos y geomorfológicos relacionados a los deslizamientos.....	11
2.5.1.	Movimientos en masa.....	11
2.5.2.	Factores que influyen en los procesos gravitacionales.....	12
2.5.3.	Categorización de algunos factores detonantes de la amenaza o riesgo.....	15
2.5.4.	Deslizamientos sin desencadenantes.....	16
2.5.5.	Mecanismos de fallas de taludes por procesos antrópicos.....	16
2.5.6.	Descripción de los modelos de movimientos de taludes.....	17
2.6.	Propiedades Índices de las Rocas.....	18
2.7.	Deslizamientos en arcillas sensibles.....	20
2.8.	Evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgos.....	21
2.9.	Impacto del cambio climático en los suelos.....	22
3.	METODOLOGÍA.....	23
3.1.	Características Generales del Área de Estudio.....	23
3.1.1.	Localización.....	23
3.1.2.	Orografía.....	24
3.1.3.	Hidrografía.....	25
3.1.4.	Clima.....	26
3.2.	Materiales.....	28
3.3.	Métodos.....	28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1.	Resultados.....	30
4.1.1.	Resultados Descriptivos del Área de Estudio.....	30
4.1.2.	Resultados de las Características Climáticas.....	32

4.1.3.	Resultados de las Características de la Vegetación del Área de Estudio.....	34
4.1.4.	Resultados del Análisis Temporal del Cerro Perõ, antes y después de las Actividades de Explotación.	35
4.1.5.	Resultados del análisis del perfil de elevación y pendiente del Cerro Perõ...	38
4.1.6.	Resultados del Análisis Geotécnico. (Resistencia a la Compresión).	39
4.1.7.	Resultados del Análisis de Suelo.	40
-	Análisis Físico (Granulométrico).....	40
-	Análisis Químico (pH, Macronutrientes y Micronutrientes).	41
4.1.8.	Resultados de la delimitación de áreas que rodean al Cerro Perõ.	41
4.1.9.	Resultados de las Encuestas.....	42
4.2.	Discusión.....	44
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	47
5.1.	Conclusión.....	47
5.2.	Recomendaciones.	48
ANEXO	50
A.	Resultados de los Análisis Realizados.	50
B.	Fotografías tomadas en el área de estudio.....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	60

LISTA DE FIGURAS.

1.	Vista panorámica desde el mirador ubicado en la cima del Cerro Perõ.....	II
2.	Localización del área del estudio.....	II
3.	Principales cursos hidrográficos de Paraguari.....	II
4.	Climograma de la ciudad de Paraguari.....	II
5.	Diagrama de temperatura de la ciudad de Paraguari.....	II
6.	Vista de perfil de la sedimentación caótica en la parte este del Cerro Perõ.....	II
7.	Vista de perfil de la sedimentación caótica en la parte oeste del Cerro Perõ..	II
8.	Relicto de rocas silicificadas sobre el cual se asienta el mirador en la cima del Cerro Perõ.....	II
9.	Dirección del flujo de agua de las precipitaciones.....	II
10.	Cárcavas de erosión por escorrentía de agua de las precipitaciones.....	II
11.	Delimitación de áreas denudadas del Cerro Perõ.....	II
12.	Fotografía aérea correspondiente al Cerro Perõ del año 1965 proveída por el	

	IGM (Instituto Geográfico Militar).....	II
13.	Delimitación del área explotada del Cerro Perõ correspondiente al año 1994. Fotografía proveída por el IGM (Instituto Geográfico Militar).....	II
14.	Imagen satelital extraída de Google Earth. Perfil de mayor pendiente de la Ladera de dirección este del Cerro Perõ.....	II
15.	Imagen satelital extraído de Google Earth del perfil de elevación del Cerro Perõ.....	II
16.	Delimitación de los barrios localizados alrededor del Cerro Perõ.....	II
17.	Resultados de la pregunta 1 de la encuesta realizada.....	II
18.	Resultados de la pregunta 2 de la encuesta realizada.....	II
19.	Resultados de la pregunta 3 de la encuesta realizada.....	II
20.	Resultados de la pregunta 4 de la encuesta realizada.....	II

LISTA DE TABLAS.

1.	Categorización del factor pendiente.....	II
2.	Categorización del factor precipitación.....	II
3.	Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.....	II
4.	Resistencia a la compresión simple con módulo.....	II

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.

Cmol/kg	Centimol por kilogramos
DINAC	Dirección Nacional de Aeronáutica Civil
FCA	Facultad de Ciencias Agrarias
GPS	Global Positioning System
IGM	Instituto Geográfico Militar
INTN	Instituto Nacional de Tecnología Normalización y Metrología
Kg	Kilogramo
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
mg/kg	Miligramo por kilogramo
pH	Potencial de hidrógeno

1. INTRODUCCIÓN.

Los problemas de inestabilidad y fenómenos de derrumbe de taludes, por causas naturales, no son eventos muy comunes en Paraguay, de hecho no se tienen muchos antecedentes de la ocurrencia de los mismos, sin embargo el hecho de que no se presenten estos fenómenos frecuentemente no significa que no haya probabilidades de que ocurran, especialmente en aquellos lugares que reúnen las características de vulnerabilidad, ya sea por procesos naturales o causados por el hombre.

Un riesgo, o riesgo natural, es cualquier proceso natural que representa una amenaza para la vida humana o la propiedad. El suceso en sí no es un riesgo; más bien un proceso natural se convierte en un riesgo cuando amenaza los intereses humanos.

En un sentido restringido, los movimientos en masa se refieren a un rápido movimiento ladera abajo de rocas o suelo. Los deslizamientos ocurren en cualquier parte donde haya pendientes importantes y las áreas montañosas tienen un riesgo más elevado de deslizamientos que la mayor parte de las zonas de bajo relieve. (Keller, *et al*, 2004).

El Cerro Perõ se localiza en la Ciudad de Paraguari, tiene una elevación de 150 metros, constituye la Formación que se lleva el mismo nombre y es el afloramiento más característico de los fanglomerados del Grupo Asunción. (González & Bartel. 1998).

Teniendo en cuenta que el Cerro Perõ posee ciertas características que hacen suponer que el riesgo existe, esta investigación se centra principalmente en la posible situación de vulnerabilidad de los habitantes de los barrios San Blás II, Santa Catalina, Estación y Fátima que se encuentran rodeando el Cerro y de esta manera poner a

conocimiento de los mismos como también de las autoridades de que un fenómeno natural de derrumbe de talud podría o no ocurrir en su comunidad.

1.1. Planteamiento del problema.

El siguiente trabajo trata de la vulnerabilidad y riesgo generado por la posible inestabilidad del Cerro Perõ -Paraguarí, al estar este, expuesto a los procesos geológicos externos y atmosféricos, sin contar en parte con una cobertura vegetal necesaria que pudiese servir como soporte del suelo y a su vez fragmentos de rocas adheridos al suelo.

En caso de que se produjera un eventual derrumbe o deslizamiento, tampoco se tienen las infraestructuras correspondientes que constituyan una especie de protección, porque de hecho es un tema poco analizado por no haber antecedentes de la ocurrencia de algún fenómeno en grandes proporciones.

Esta problemática sin dudas tendría un gran impacto social ya que los alrededores del Cerro se encuentran varios barrios e incluso hay una ruta por la que continuamente se desplazan todo tipo de vehículos ya que ésta última se conecta con la ruta Paraguarí-Piribebuy.

Por todo lo mencionado anteriormente es necesario considerar ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad del Cerro Perõ de experimentar un fenómeno de deslizamiento o derrumbe? ¿Cuáles son los factores que podrían afectar la estabilidad del Cerro Perõ? ¿Cómo inciden los materiales que constituyen el Cerro Perõ en su estabilidad? Y a partir de estas interrogantes poder conocer realmente la situación en que se encuentra el Cerro Perõ en cuanto a riesgo y vulnerabilidad se refiera.

1.2. Justificación.

Los deslizamientos o derrumbes por inestabilidad de taludes son fenómenos que suceden muy frecuentemente en todos los países del mundo por lo que es siempre

una situación de riesgo muy común y de gran interés para la comunidad científica, en el ámbito ambiental y también social.

Los movimientos en masa son fenómenos propios de la naturaleza que ocurren por procesos gravitatorios y fuerzas desestabilizadoras que reducen la resistencia del suelo, sin embargo implican grandes riesgos cuando las comunidades se instalan en terrenos vulnerables a la ocurrencia de este tipo de fenómenos naturales.

No se debe dejar de mencionar también que en la mayoría de los casos la actividad antrópica influye mucho en el terreno generando aún más vulnerabilidad, desconociendo los riesgos a los cuales se exponen y en algunos casos aun conociendo esos riesgos no se los tiene en cuenta.

El propósito de este trabajo es proporcionar información y generar mayor interés en cuanto a riesgos se refiera por el impacto principalmente social que podría desencadenarse, y de esa manera planificar medidas de prevención si existiese el riesgo. Esta investigación también podría ser útil para que los riesgos provocados por procesos geológicos sean tenidos en cuenta no solo en la Ciudad de Paraguarí sino también en otros puntos del país en caso de que algún grupo de personas tenga la intención de asentarse en terrenos no aptos y vulnerables al riesgo.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

- Evaluar el riesgo y vulnerabilidad del Cerro Perõ a experimentar fenómenos de derrumbe o deslizamientos.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Identificar los factores que rigen la estabilidad del Cerro Perõ.
- Analizar la incidencia de los materiales en la estabilidad del Cerro Perõ.
- Determinar las áreas más vulnerables al riesgo de deslizamientos del Cerro Perõ.

1.3. Hipótesis.

Hi: El Cerro Perõ cuenta con todas las condiciones de riesgo y es vulnerable a la ocurrencia de fenómenos de deslizamientos o derrumbes.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Antecedentes.

Los datos e informaciones sobre riesgos de desastres de derrumbe o deslizamiento de cerros en el país son muy escasos porque en la mayoría de los casos, el uso de los mismos solo se verifica como material de construcción y no como un

cerro plausible de desmoronamiento por causas naturales o antrópicas. También porque los cerros en nuestro país carecen de mucha altura, excepto en algunas zonas rurales que en muchos casos no representan peligro. En el caso de esta investigación en particular sí pudiera representar un peligro debido a las visitas constantes de lugareños y turistas que suben a la cima del Cerro para apreciar la magnífica vista que nos regala desde lo alto del mismo.



Figura 1. Vista panorámica desde el mirador ubicado en la cima de Cerro Perõ.

2.1.1. Explotación del Cerro Perõ.

En base a la publicación del Diario Última Hora de la fecha 16 de Febrero del 2015 sobre la explotación de los cerros del Paraguay, entre ellos el Cerro Perõ, para comprobar la veracidad de dicha publicación se llevó a cabo una visita a la Municipalidad de Paraguarí que derivó la consulta al Prof. Líder González de la Casa de Cultura de Paraguarí. En conversación con el mismo, se le realizó la pregunta sobre ¿qué hay de cierto que en los años 60 aproximadamente, el Cerro Perõ haya sido

explotado? Su respuesta fue que efectivamente si el Cerro fue explotado un buen tiempo atrás con el fin de utilizar los materiales extraídos para la construcción de la Ruta N° 1 desde la Ciudad de Itá hasta la Ciudad de Encarnación y finalizó esta explotación después de que se produjo un accidente donde una de las maquinarias colapsó y los obreros resultaran afectados.

Luego del cese de la explotación el Cerro Perõ quedó bastante dañado tanto ambientalmente como en lo paisajístico, también manifestó que el lugar constituía bastante peligro por la cantidad de rocas sueltas que quedaron y por las estructuras debilitadas a causa de las detonaciones que se realizaron en el lugar. Con cada lluvia la remoción de todos los materiales de los materiales se intensificaba cada vez más y el peligro se tornaba aún mayor tanto en la cima del Cerro como en las faldas del mismo.

Según el Profesor Líder González y los mismos lugareños en el año 2008 aproximadamente, el peligro disminuyó después de la construcción de un acceso vehicular al Cerro, ubicado del lado oeste, que estabilizó un poco más la superficie que se encontraba más expuesta a la erosión.

También manifestó que todo lo relatado anteriormente por lo menos en la Casa de Cultura y en la Municipalidad no está certificado en archivos y se tiene conocimiento de todo esto por relatos de los pobladores.

Por último resaltó que el Cerro Perõ al igual que todos los demás cerros que se encuentran en la Ciudad de Paraguarí fueron declarados Reserva Natural por una Ordenanza Municipal en el año 2010.

Las pocas noticias que se conocen al respecto de los cerros que no sean científicos como los que se explotan como canteras para utilizar como material de construcción e inclusive de derrumbes, son los publicados en diarios como el del 2017 que se refirió textualmente en una publicación del Diario Ultima Hora de fecha del 20 de abril del citado año señala lo siguiente. Poco después del mediodía de ayer, el Cerro Caacupe tuvo un derrumbe gravitacional de gran magnitud, que incluso cubrió

totalmente un sector de la ruta 2 Mariscal Estigarribia, a la altura del kilómetro 46,5, jurisdicción de Ypacaraí.

Afortunadamente, ningún vehículo pasaba por el tramo en ese momento; pero las piedras caídas ocasionaron el bloqueo momentáneo del tránsito vehicular, pero no fue un caos porque la Patrulla Caminera pudo desviar a los que se dirigían a la zona.

Causas. Si bien en el momento del desprendimiento no llovía en el Departamento de Cordillera, se podría decir que las lluvias constantes pudieron haber incidido en el fenómeno, «básicamente hay algunas causas que normalmente inciden en este tipo de eventos, primero es un corte vertical que está expuesto a la gravedad», comentó el profesor Narciso Cubas, del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, quien agregó que «para remover esa parte se utilizaban explosivos que generaron fracturas adicionales, que fueron invadidas por las aguas de lluvia, lo que produjo una inestabilidad».

El experto señaló, además, que se suma el incesante desplazamiento vehicular en la zona, que producen vibraciones. «Todos estos factores contribuyeron para que esa parte colapsara», precisó Cubas.

Otra publicación del Diario "Última Hora" de fecha 16 de Febrero del 2015 se refieren a los cerros explotados como canteras con el título "Los Cerros del Paraguay borrados del mapa", en el mismo se refiere a que son noticias circunstanciales por alguna razón y estuvieron en boca de muchos, como pasa hoy en día con el Cerro León. No obstante, permanecen en la memoria de algunos que los recuerdan como una postal del pasado y de otros que los tienen presente como símbolo de la lucha a favor del medioambiente. Son los cerros que fueron explotados en nombre del progreso.

En el caso específico de Cerro Peró, objeto del presente estudio, se encuentra en el medio de la serranía que atraviesa el Departamento de Paraguari, está dentro del casco urbano de la ciudad del mismo nombre. El Cerro Peró (Pelado en castellano), como señala su toponimia guaraní fue "pelado" por la acción antrópica.

Del emblemático cerro se extrajo en la década de 1960 una gran cantidad de ripio, con el objetivo de nivelar ciertos tramos de la ruta nacional número 1.

Su altura original según datos históricos era de 250 metros de altura, y a consecuencia de los trabajos de explotación, se redujo a 240 metros. El mirador actual ubicado en la cima del cerro, refuerza con precisión su altura original.

El Cerro Perõ también sufrió los embates de la explotación ilegal, tanto que, en la década de 1990 y gracias a la presión de la ciudadanía, fue convertido en reserva ecológica, según la publicación del Diario Última Hora.

2.2. Geología Regional.

El Graben de Acahay y el Graben de Asunción conforman aparentemente brazos de una "*triple junction*", activos durante el proceso de *rifting* en el Mesozoico. El Graben de Asunción subsidie posterior a la fase magmática del Ciclo Tectónico Sudatlántico, probablemente a partir del Mesozoico Medio, atribuyendo su origen a un último pulso en la evolución del *rift*. El relleno de esta fosa es denominada Grupo Asunción.

Inicialmente estos sedimentos fueron relacionados con la Formación Misiones (Harrington, 1950, Eckel, 1959, Anónimo, 1966, The Anschutz Co., 1981, etc.). El Proyecto PAR 83/005 (1986) denomina Formación Patiño al relleno de la fosa del área de Asunción. Cabe considerar que la denominación Formación Patiño ya había sido utilizada por Spinzi (1983), haciendo referencia solamente a la secuencia fanglomerádica aflorante de los alrededores del Cerro Patiño. Por estas razones este programa de mapeo denomina a la secuencia de relleno de la fosa como Grupo Asunción. Cabe mencionar que la denominación Grupo Asunción ha sido utilizada primeramente por Gómez (1991) y luego adoptada por Bartel (1994).

El relleno de la fosa se caracteriza por constituirse de un relleno de un material de muy variada textura, debido a la rápida subsidencia de la estructura, al reducido

espacio creado para la depositación de los sedimentos y a la corta distancia de transporte, todos estos factores han sido acondicionados por una paleomorfología abrupta.

En general estas rocas se presentan poco consolidadas, friables, con escasa matriz o matriz arcillosa. Excepcionalmente se observan en el paisaje cerros testigos, que presentan alta silicificación, por efecto de intrusiones ígneas locales (Cerro Ñanduá, Cerro Yaguarón, Cerro Curupayry, etc.). La secuencia completa es poco conocida, pero se considera una madurez litológica sucesiva en dirección oeste, considerando que las rocas del Cerro Perõ constituyen los sedimentos de la base de la unidad y las rocas aflorantes al oeste y a noroeste consisten de la sedimentación superior. Los espesores del relleno son poco conocidos, pero se presume que la unidad de relleno tiene un espesor promedio aproximado de 500 metros.

La secuencia es predominantemente arenosa, pero un importante componente corresponde a fanglomerados, ubicados principalmente en el margen oriental de la estructura. Estas sedimentitas constituyen depósitos con evidencias de poco o ningún transporte de materiales. El afloramiento más característico de los fanglomerados del Grupo Asunción se localiza en el Cerro Perõ, en la ciudad de Paraguarí. El cerro con una elevación de 150 m, está constituido principalmente por rocas del tipo fanglomerádicas. Gran parte del perfil del mismo muestra un elevado contenido de bloques y fragmentos de rocas ígneas mesozoicas alteradas, que en algunos casos preservan vestigios de texturas originales. Especialmente en la base se observa un alto contenido de este material ígneo alterado (caolinizado). En el techo un notable aumento de material siliciclástico de proveniencia paleozoica completa el perfil.

En la fase fanglomerádica el diámetro de los clastos es difícil estimar, ya que contiene gran variedad de tamaños, desde gravas hasta bloques, que en algunos casos superan 1 m. La poca redondez de los mismos es evidencia clara de poco o ningún transporte, y la presencia de estratificación acanalada lateral y vertical a los lóbulos fanglomerádicos, indica depósitos de un ambiente de abanicos aluviales asociados a ríos entrelazados, en una morfología local muy abrupta. (González & Bartel. 1998).

2.3. Clima y Vegetación del área de estudio.

El clima y la vegetación son característicos para áreas específicas, diferenciándose principalmente en las zonas elevadas de los valles. En las primeras, las onduladas lomadas en los alrededores del Cerro Acahay, presentan más bien un clima seco y ventoso, y que por escases de suelo desarrolla una vegetación arbustiva y gramínea, a diferencia del Cerro Acahay, que por sus elevadas laderas presenta un microclima húmedo que da lugar al desarrollo de una vegetación arbórea.

Los valles se caracterizan por microclimas húmedos, con escasa vegetación. Los valles de Acahay e Ypacaraí normalmente húmedos desarrollan vegetación gramínea y hasta arbustiva, en casi toda su extensión. (González & Bartel. 1998).

Según datos proveídos de la DINAC la media anual de precipitaciones en el Departamento de Paraguarí es de 1502,19 mm.

2.4. Zonificación de Amenaza y Riesgo.

La ocurrencia de los deslizamientos es el producto de las condiciones geológicas, hidrológicas y geomorfológicas y la modificación de éstas por procesos geodinámicos, vegetación, uso de la tierra y actividades humanas, así como la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y la sismicidad.

La presencia de deslizamientos es un fenómeno sujeto a muchos grados de incertidumbre, debido a que éstos incluyen diferentes tipos de movimientos, velocidades, modos de falla, materiales, restricciones geológicas, etc.(Suárez Díaz, J. 2009.). Este mismo autor sugiere la importancia de los siguientes conceptos:

Riesgo. El riesgo es una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, la salud, la propiedad o el ambiente. Se mide en vidas humanas, propiedades en riesgo y daños ambientales. El riesgo generalmente, es estimado como

el producto de la probabilidad de la amenaza por las consecuencias para los elementos en riesgo.

Elementos en Riesgo. Se incluye a la población, propiedades, edificios, obras de infraestructura, actividades económicas, servicios públicos y medio ambiente, en el área potencialmente afectada por los deslizamientos.

Vulnerabilidad. El grado de probabilidad de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos dentro del área afectada por el deslizamiento, se expresa en una escala de 0 (no pérdida) a 1 (pérdida total).

2.5. Aspectos geológicos y geomorfológicos relacionados a los deslizamientos.

2.5.1. Movimientos en masa.

Son los desplazamientos de masas de suelo, causados por exceso de agua en el terreno y por efecto de la fuerza de gravedad.

Los movimientos en masa son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original sin que medie ostensiblemente medio de transporte alguno, siendo tan solo necesario que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras. Este tipo de procesos gravitatorios se interrelacionan mutuamente con las precipitaciones altas, de tal forma que frecuentemente las lluvias torrenciales son causantes y/o precursoras de los movimientos en masa, ya que aumentan las fuerzas desestabilizadoras y reducen la resistencia del suelo al deslizamiento.

Por lo general los movimientos de masa toman nombres diversos (deslizamientos, derrumbes, coladas de barro, soliflucción, hundimientos, desprendimientos y desplomes), los cuales dependen del grado de saturación del terreno, velocidad del desplazamiento, profundidad de la masa desplazada y grado y longitud de la pendiente del terreno. (Garzán, *et al.*, 2012.)

2.5.2. Factores que influyen en los procesos gravitacionales.

Cuando la fuerza de la gravedad que actúa sobre una ladera o vertiente supera la fuerza de resistencia, se produce un fallo de pendiente (proceso gravitacional). Las fuerzas de resistencia que ayudan a mantener la estabilidad de la pendiente incluyen la resistencia y cohesión del material, la cantidad de fricción interna entre granos (películas individuales de material) y cualquier soporte externo de la pendiente. Estos factores definen colectivamente la fuerza de cizalla de una pendiente.

En oposición a la fuerza de cizalla de una pendiente está la fuerza de la gravedad. La gravedad opera verticalmente, pero tiene un componente que actúa en paralelo a la inclinación, provocando así una inestabilidad. Cuanto más pronunciado sea el ángulo de una pendiente, mayor es el componente de la fuerza que actúa en paralelo a la inclinación, y mayor la posibilidad de un proceso gravitacional. El ángulo más pronunciado que puede mantener una pendiente sin derrumbarse es un ángulo de reposo. En este ángulo la fuerza de cizalla del material de la pendiente contrapesa exactamente la fuerza de la gravedad. Normalmente para el material no consolidado, el ángulo de reposo es de 25 a 40 grados. Las inclinaciones de más de 40 grados están compuestas normalmente de roca sólida no meteorizada.

Todas las pendientes están en un estado de pendiente de *equilibrio dinámico*, que significa que están ajustándose continuamente a las nuevas condiciones. Aunque tendemos a ver un proceso gravitacional como un acontecimiento perturbador o destructivo, es una de las maneras que tiene una inclinación de ajustarse a las condiciones nuevas. Siempre que se construye un edificio o una carretera en una ladera, el equilibrio de esa pendiente resulta afectado. La pendiente debe entonces ajustarse, quizá mediante un proceso gravitacional, en este nuevo conjunto de condiciones.

Existen muchos factores que pueden provocar procesos gravitacionales: un cambio en el ángulo de pendiente, debilitamiento del material por meteorización, incremento en el contenido de agua, cambios en la vegetación y sobrecarga. Aunque la mayoría de estos factores están interrelacionados, los examinaremos por separado

por mayor comodidad, pero también mostraremos como afectan, individual y colectivamente, al equilibrio de una inclinación. (Monroe, *et al.*, 2008.). Estos autores describen detalladamente cada uno de los factores como sigue:

➤ **Ángulo de Pendiente.**

El ángulo de pendiente es probablemente, la principal causa de los procesos gravitacionales. En general, cuanto más pronunciada sea la pendiente, menos estable es. Por tanto, es más probable que experimenten procesos gravitacionales las pendientes pronunciadas que las menos empinadas. Existe un cierto número de procesos que pueden sobreacentuar una pendiente. Uno de los más comunes es el debilitamiento por la acción del oleaje o corrientes. Esto elimina la base de la pendiente, aumenta el ángulo de pendiente y, por tanto, aumenta la fuerza gravitacional que actúa en paralelo a la inclinación.

➤ **Meteorización y Clima.**

Los procesos gravitacionales son más probables en pendientes con material suelto o mal consolidados que en roca firme. Tan pronto como la roca aflora en superficie de la tierra, la meteorización empieza a desintegrarla y descomponerla, reduciendo su fuerza de cizalla y aumentando su susceptibilidad a los procesos gravitacionales. Cuanto más profunda se extienda la zona de meteorización, mayor es la probabilidad de algún tipo de movimiento en masas.

Recordemos que algunas rocas son más susceptibles a la meteorización que otras y que el clima juega un papel importante en la velocidad y el tipo de meteorización. En la zona intertropical, donde las temperaturas son altas y cae una lluvia considerable, los efectos de meteorización se extienden a profundidades de varias decenas de metros, y los movimientos de masa se producen más comúnmente en la zona de meteorización profunda. En las regiones áridas y semiáridas, la zona de meteorización es considerablemente menos profunda. Sin embargo, chaparrones intensos y localizados pueden dejar caer grandes cantidades de agua en un área en poco

tiempo. Con poca vegetación para absorber esta agua, la esorrentía es rápida y con frecuencia produce coladas de barro.

➤ **Contenido de Agua.**

La cantidad de agua en la roca o suelo influye en la estabilidad de la pendiente. Grandes cantidades de agua procedentes del deshielo o de fuertes lluvias aumentan enormemente la probabilidad de fallo de pendiente. El peso adicional que añade el agua de una vertiente puede ser suficiente para provocar un movimiento de masas. Además, el agua que se infiltra a través de un material de una pendiente ayuda a disminuir la fricción entre granos, contribuyendo a una pérdida de cohesión. Por ejemplo, las vertientes compuestas de arcilla seca son, normalmente, bastante estables, pero cuando se humedecen, pierden la cohesión y fricción interna rápidamente y se convierten en un compuesto inestable. Esto sucede porque la arcilla, que puede contener grandes cantidades de agua está compuesta de partículas laminares que se deslizan fácilmente sobre otras cuando están mojadas. Por esta razón, los lechos de arcilla son frecuentemente la capa resbaladiza sobre la cual se deslizan pendiente abajo las unidades de rocas suprayacentes.

➤ **Vegetación.**

La vegetación afecta la estabilidad de una vertiente de varias maneras. Al absorber el agua de un temporal de lluvia, la vegetación disminuye la saturación de agua del material de una vertiente que, de otro modo, daría lugar a una pérdida de fuerza de cizalla. El sistema de raíces de la vegetación también ayuda a estabilizar una pendiente uniendo las partículas del suelo y sujetando el suelo a la roca firme.

La eliminación de la vegetación, ya sea por actividad natural o humana, es una causa importante de muchos movimientos de masas. Las lluvias otoñales saturan el suelo, provocando deslizamientos de barro que causan tremendos daños. Cuando las fuertes lluvias saturan el suelo, las hierbas de raíces someras no pueden mantener la pendiente en su sitio, y parte se desliza hacia abajo.

➤ **Sobrecarga.**

La sobrecarga es casi siempre el resultado de las actividades humanas y normalmente se produce por el vertido, relleno o apilamiento de material. Bajo condiciones naturales, son contactos de grano con grano los que soportan una carga de material, y es la fricción entre los granos los que mantienen la inclinación. El peso adicional creado por la sobrecarga aumenta la presión del agua dentro del material, lo que a su vez disminuye su fuerza de cizalla, debilitando así el material de la vertiente. Si se añade material suficiente, al final, la pendiente fallará, a veces con consecuencias trágicas.

2.5.3. Categorización de algunos factores detonantes de la amenaza o riesgo.

En las siguientes tablas, 1 y 2, se establecen categorías y subcategorías teniendo en cuenta los factores de pendiente y precipitación respectivamente.

Tabla 1. Categorización del factor pendiente.

Factor.	Categoría	Subcategoría.
Pendiente	0°- 3°	Muy plano
	3°- 7°	Plano
	7°- 12°	Semiondulado
	12°- 25°	Ondulado
	25°- 50°	Muy ondulado
	70°- 75°	Escarpado

Fuente: Hernández, *et al.*, 2016.

Tabla 2. Categorización del factor precipitación.

Factor.	Categoría.	Subcategoría.
Precipitación	Promedio anual <1.000 mm	Muy Bajo
	Promedio anual 1.000-1.300 mm	Bajo
	Promedio anual 1.300-1.600 mm	Medio
	Promedio anual 1.600-2.000 mm	Alto
	Promedio anual >2.000 mm	Muy Alto

Fuente: Hernández, *et al.*, 2016.

2.5.4. Deslizamientos sin desencadenantes.

¿Los procesos gravitacionales rápidos requieren siempre algún tipo de desencadenante como las fuertes lluvias o un terremoto? La respuesta es no; esos acontecimientos a veces ocurren sin ningún desencadenante apreciable. Los materiales de la pendiente se debilitan de manera gradual con el tiempo bajo la influencia de la meteorización a largo plazo, la infiltración de agua y otros procesos físicos. Al final, si la resistencia cae por debajo del nivel necesario para mantener la estabilidad de la pendiente, se producirá un deslizamiento. El ritmo de los acontecimientos de ese tipo es aleatorio y, por tanto, es imposible predecirlos con precisión. (Tarbuck,*et al.*, 2010.).

2.5.5. Mecanismos de fallas de taludes por procesos antrópicos.

Algunos de los procesos antrópicos que afectan la estabilidad de los taludes son los siguientes (Suárez, J. 2009.):

- Las excavaciones o cortes que modifican la topografía original del terreno, especialmente, los cortes en el pie de los taludes.

- Las excavaciones subterráneas (túneles), las cuales afectan la estructura y las condiciones de los esfuerzos del suelo que está encima.
- Los rellenos o depósitos de materiales sobre el talud, disposición de residuos, etc.
- La irrigación que facilita la infiltración y los cambios de humedad y la presión de poros.
- La infiltración en los canales o cuerpos de agua.
- La deforestación que produce cambios hidrológicos y afecta la resistencia del suelo, al eliminar el refuerzo de las raíces.
- Las vibraciones artificiales, tránsito de vehículos, vibraciones de maquinaria, detonaciones de explosivos, etc., las cuales generan fuerzas dinámicas y el deterioro de la estructura de los materiales.

2.5.6. Descripción de los modelos de movimientos de taludes.

Los modelos de movimientos de taludes son como sigue:(Marín Nieto, L. 1991).

- **Flujo:** Movimientos lentos (milímetros por año) a velocidad casi constante de una parte del macizo sobre otra. Se provocan por liberación de esfuerzos a causa de erosión, agrietamiento progresivo, empujes en anticlinales, movimientos de bloques en una matriz plástica, movimientos de la zona meteorizada de la roca.
- **Deslizamientos:** Movimientos rápidos (milímetros por día), *rotacional*, cuando terrenos relativamente homogéneos y blandos se forman superficies de falla muy circulares,*traslacional*, cuando movimiento a lo largo de un plano débil o estratificación del terreno, o *superficial*, cuando los desplazamientos se producen según una superficie bastante plana de la parte más meteorizada de la roca.

- **Escurrimientos:** Movimientos muy rápidos (metros por hora) ocurre en terrenos en estado viscoso y la masa se escurre a distancias muy grandes. El agua generalmente es el factor acelerante por lo que no es precisamente un movimiento gravitacional. Típico de masas de tobas y cenizas volcánicas saturadas por el deshielo durante erupciones (Se supone que algunos valles de los Andes Ecuatorianos son antiguos escurrimientos).
- **Derrumbes:** Movimientos casi instantáneos de laderas (metros por segundo) de carácter gravitacional donde una parte del terreno se separa del todo para caer libremente al pie del talud. Ocasionalmente pueden originar otros tipos de movimientos.

2.6. Propiedades Índices de las Rocas.

Según (Chávez Aguirre, J. M. 2006). Desde el punto de vista geotécnico, las propiedades relevantes de los minerales son: dureza y estabilidad (química y mecánica). La dureza de los minerales no necesariamente determinará la dureza de una roca, ya que para esta última propiedad deberán tomarse en cuenta las relaciones entre grano y grano (texturas), así como el grado de alteración de la misma.

En cuanto a la estabilidad química o mecánica, será importante conocer cuáles minerales son solubles o presentan poca resistencia al desgaste, porque influirán en la calidad mecánica de la roca. La textura interviene notablemente en el comportamiento mecánico de las rocas, e incide en su permeabilidad, resistencia y deformabilidad. (Chávez Aguirre, J. M. 2006.) Debido a la gran cantidad de propiedades de las rocas, que reflejan la variedad de estructuras, texturas y componentes, este autor hace referencia únicamente a las propiedades índice, que son relativamente fáciles de medir:

- **Porosidad**, que indica la proporción relativa entre sólidos y huecos. Es el contenido de espacios vacíos en las rocas e indica la capacidad que tiene la roca para saturarse. Puede dividirse genéticamente en dos grupos: primaria, que es la

adquirida al momento de su formación, y secundaria, que es la que se obtiene por diversos procesos (solución por ejemplo) sobre rocas ya formadas.

- **Permeabilidad**, que evalúa la interconexión de los poros.
- **Contenido de agua**, que es la cantidad de agua que contiene el macizo rocoso y se define como la relación entre el peso del agua que contiene la roca y el peso de los sólidos en la misma expresado en por ciento. Es importante en condiciones naturales, pues influye tanto en la resistencia como en la deformación de las rocas.
- **Grado de saturación**, definido como la relación entre volumen de agua y el volumen de vacíos de una roca.
- **Durabilidad**, prueba de duración que mide la resistencia de la roca al debilitamiento y desintegración cuando se sumerge en agua.
- **Índice de absorción**, permite conocer qué cantidad de agua penetra a una muestra en un determinado tiempo.
- **Alterabilidad**, que es el potencial de las rocas para intemperizarse con el transcurso del tiempo. Esta propiedad es función de la estabilidad mineral (mecánica y química) de los constituyentes de las rocas, el grado de fisuramiento, de los agentes agresivos y del tratamiento mecánico a que estarán sometidas.
- **El peso volumétrico**, consecuencia del contenido mineralógico de una roca y es definido como el peso de la misma por unidad de volumen. Esta propiedad junto con otras ayudará a estimular la resistencia y deformabilidad de una roca y permitirá su comparación con otras.
- **Dureza**, que indica la tendencia a la ruptura de los componentes o estructuras al aumentar la degradación de la roca.

- **Resistencia**, que determina la capacidad de la roca para mantener unidos sus componentes.

Según Chávez Aguirre, J. M. 2006., Las propiedades ingenieriles de las rocas se examinan desde tres puntos de vista generales: Roca intacta o fresca (roca competente), Roca alterada, Roca descomprimida o fracturada.

- **Roca competente.**

En la nomenclatura ingenieril se denomina roca sana o competente a la roca intacta, fresca, sin intemperismo, libre de discontinuidades y que reacciona como una masa sólida a la aplicación de esfuerzos.

- **Roca alterada.**

La descomposición por intemperismo aumenta la permeabilidad de la roca y la debilita. Si el grado de alteración avanza, afectando las partes intactas y las discontinuidades, las propiedades de la roca se aproximan a las de un suelo. El producto final y su espesor son relativamente cercanos a la composición mineral de la roca original.

- **Roca descomprimida o fracturada.**

Las discontinuidades o defectos representan planos de debilidad en el macizo, y controlan las propiedades ingenieriles dividiendo la roca en bloques separados por estructuras como fallas, fracturas, planos de foliación, crucero, clivaje o exfoliación y estratificación.

2.7. Deslizamientos en arcillas sensibles.

Cuando el cuerpo de un talud contiene material arcilloso, su estabilidad depende en gran medida de la presencia de agua. Los suelos arcillosos modifican su consistencia por una secuencia de estados físicos: sólidos en suspensión, semisólido y

sólido en función de la pérdida de agua de los poros del material térreo y la consecuente consolidación que la afecta. Al proseguir la pérdida paulatina de agua, del interior del suelo, se genera una reducción progresiva de sus oquedades y se dice que el material arcilloso está en proceso de litificación. Durante éste, las partículas de arcilla se unen para formar una roca. Sin embargo cuando el material arcilloso se encuentra nuevamente en contacto con el agua, éste ejerce sobre aquel un reblandecimiento importante, acompañado de variaciones volumétricas.(Chávez Aguirre, J. M. 2006).

2.8. Evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgos.

Una evaluación de amenazas y vulnerabilidad conlleva un conjunto de procedimientos que por lo general están implícitos en el concepto de análisis del riesgo, el cual es el aspecto central del proceso de evaluación del riesgo, y que consiste en proporcionar información relativamente objetiva y técnica, a partir de la cual puedan proyectarse los niveles de riesgo.

El objetivo en la evaluación de las amenazas radica en establecer la probabilidad de que ocurra una amenaza específica en un período de tiempo determinado, así como su intensidad y área de impacto. La evaluación de la vulnerabilidad, es el complemento indispensable de la evaluación de las amenazas, y generalmente se han centrado en la evaluación de los aspectos físicos de la vulnerabilidad, principalmente en relación con las amenazas más convencionales tales como las tormentas, terremotos e inundaciones. Para analizarlos habitualmente se utiliza la superposición de las zonas de amenaza con la ubicación de elementos de infraestructura urbana.(Vega, J. A. 2013).

Tabla 3. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.

Grado de Susceptibilidad.	Criterio.
Muy Alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurran.

Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta y moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Moderada	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados donde no han ocurrido deslizamientos pero no existe completa seguridad de que ocurran.
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
Muy Baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún indicador de que puedan ocurrir deslizamientos.

Fuente: Kanungo, D. P., 1993.

2.9. Impacto del cambio climático en los suelos.

El cambio climático se refiere a las variaciones en el clima de una región en específico, por lo tanto las estaciones secas y lluviosas ha cambiado y los cambios son de una manera brusca. Cincuenta años atrás un agricultor podía determinar con gran facilidad la estación lluviosa para sembrar, hoy en día es difícil que ese mismo agricultor lo determine a causa de las variaciones de precipitación.

Los cuatro impactos del cambio climático en el suelo son: captura de CO₂, erosión, mineralización de carbono orgánico y la salinización; todos estos se relacionan con los cambios de temperatura. (Díaz, L. F. 2016).

Este autor describe en detalle todos los impactos del cambio climático, pero en este caso se resalta a la erosión como sigue:

La erosión se conoce como la pérdida de suelo, ya sea por corrientes de agua o aire. En la actualidad se registran largas temporadas lluviosas, como consecuencia del cambio climático, esto ocasiona que el suelo no filtre lo suficiente y provoca escorrentías, la cual erosiona el suelo y con ello se pierde la materia orgánica y los nutrientes.

El cambio climático no es un tema que solo les debe interesar a los ambientalistas o a personas que sólo se dedican a esa área, sino que debe ser un tema de interés para todos, por el simple hecho de que vivimos en el mundo. (Díaz, L. F. 2016).

3. METODOLOGÍA.

3.1. Características Generales del Área de Estudio.

3.1.1. Localización.

En cuanto a la ubicación geográfica el Departamento de Paraguari está situado al suroeste de la región Oriental, entre los paralelos 25°25' y 26°35' de latitud sur y los meridianos 56°35' y 57°40' de longitud oeste. Son departamentos lindantes al norte Cordillera y Caaguazú, al sur Misiones, al este Guairá y Caazapá, y al oeste Central y Ñeembucú. Es el que posee mayor cantidad de departamentos limítrofes del país. (Atlas Censal del Paraguay).

El Cerro Perõ propiamente se localiza en la zona céntrica del distrito de Paraguari, distando a 65 km de la Ciudad de Asunción. Al norte de Paraguari se encuentra la Ciudad de Pirayu, al sur la Ciudad de Carapegua, al noroeste la ciudad de Yaguarón y a Este la Ciudad de escobar.

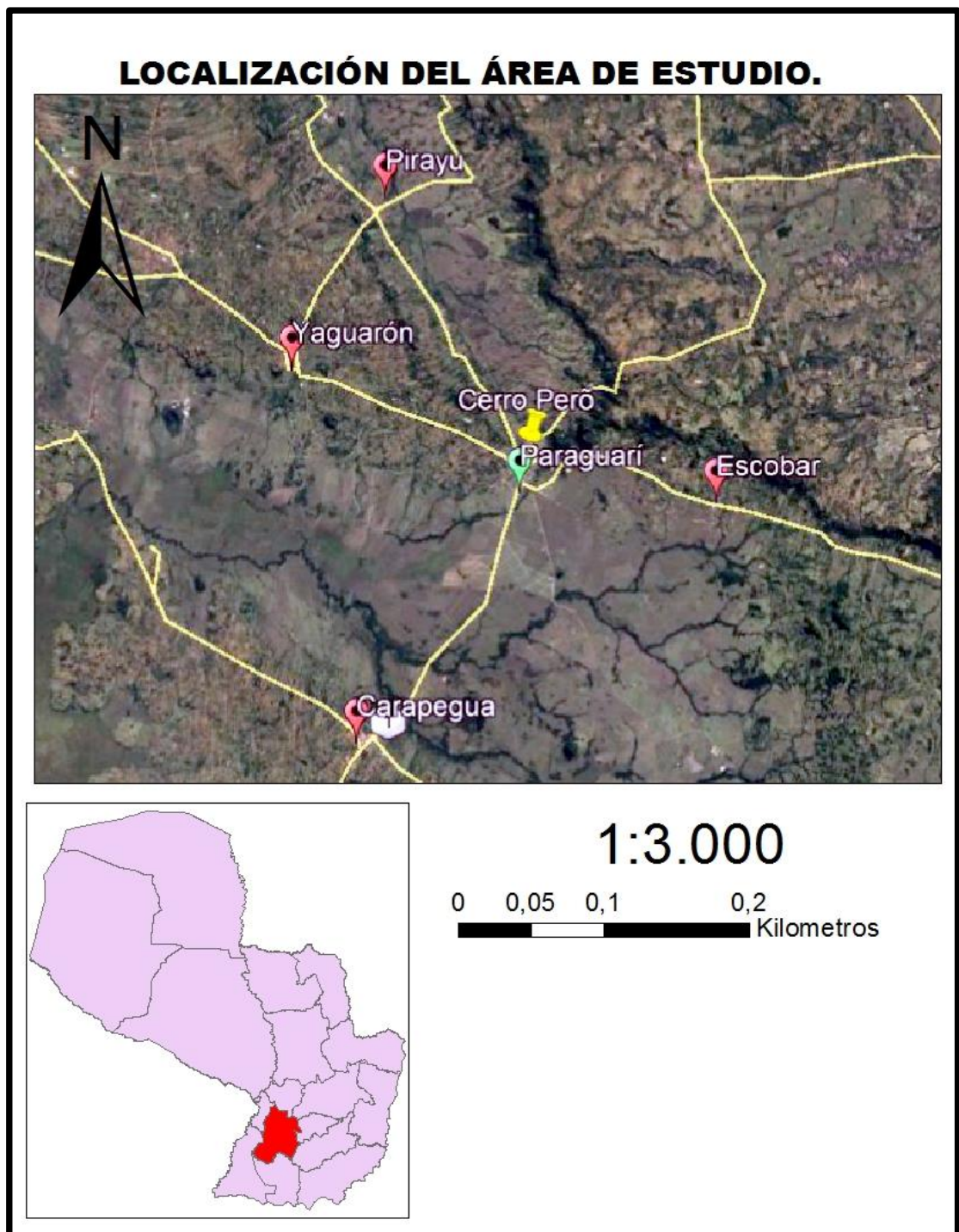


Figura 2. Localización del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Orografía.

Forma parte de la orografía del departamento un tramo de la cordillera de los Altos. Los principales cerros son Pirayú, Verá, León, Paraguairí, Mbatoví, Santo Tomás e Yhú.

Elevaciones dispersas se extienden al sur de las vías del ferrocarril. Las más conocidas son Moñai, Yaguarón, Costa Pucú, Cerro Porteño, Verde y los cerros de Yvytymí .En el distrito de Acahay se encuentra el cerro con el mismo nombre y el Tatú-cuá, el más elevado de la zona; otros están dispersos en Carapeguá, Roque González de Santa Cruz, Quiindy, y existe también una "cordillerita" en el distrito de Caapucú.(Atlas Censal del Paraguay).

3.1.3. Hidrografía.

Los cursos de agua pueden agruparse en dos vertientes principales: la del río Tebicuary, con sus afluentes Tebicuary-mí, río Negro y arroyo Mbuyapey, y la vertiente del oeste, formada por los arroyos Caañabé, Aguaiy y sus numerosos afluentes que se unen al Lago Ypoá y a la Laguna Verá, formando esteros y carrizales.(Atlas Censal del Paraguay).

En la figura 3 se puede observar en el mapa los principales cursos hidrográficos o aguas superficiales que se encuentran dentro del área de estudio.

Según CLIMATE-DATA.ORG El clima es templado y cálido en Paraguari. La precipitaci3n en Paraguari es significativa, con precipitaciones incluso durante el mes m1s seco. El clima aqu3 se clasifica como Cfa por el sistema K3ppen-Geiger. La temperatura media anual en Paraguari se encuentra a 22.2 3C. Hay alrededor de 1457 mmde precipitaciones.

En las figuras 4 y 5 se pueden observar el gr1fico del climograma y diagrama de temperatura de Paraguari.

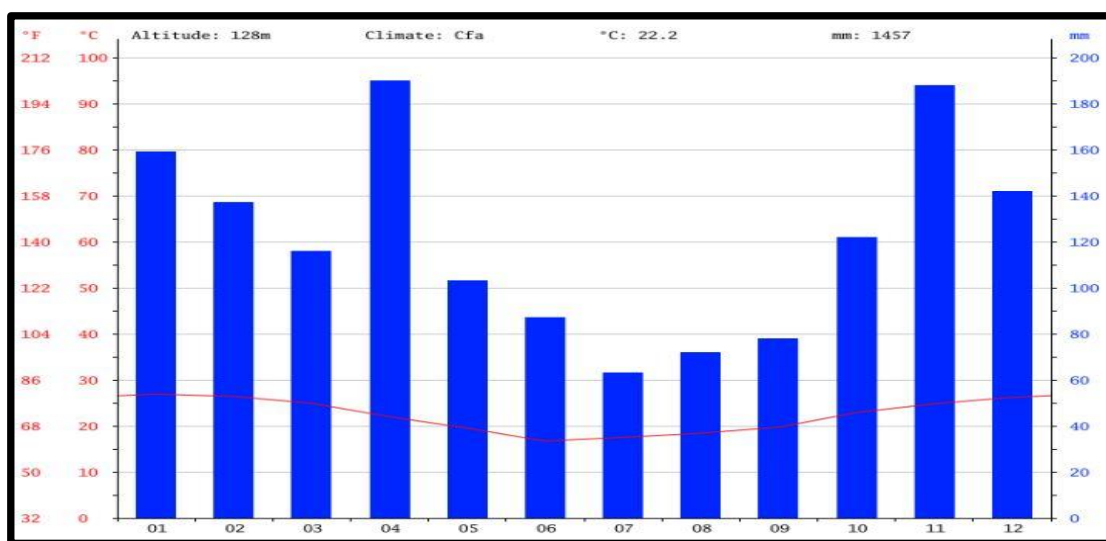


Figura 4. Climograma de la Ciudad de Paraguari.

Fuente: CLIMATE-DARA.ORG.

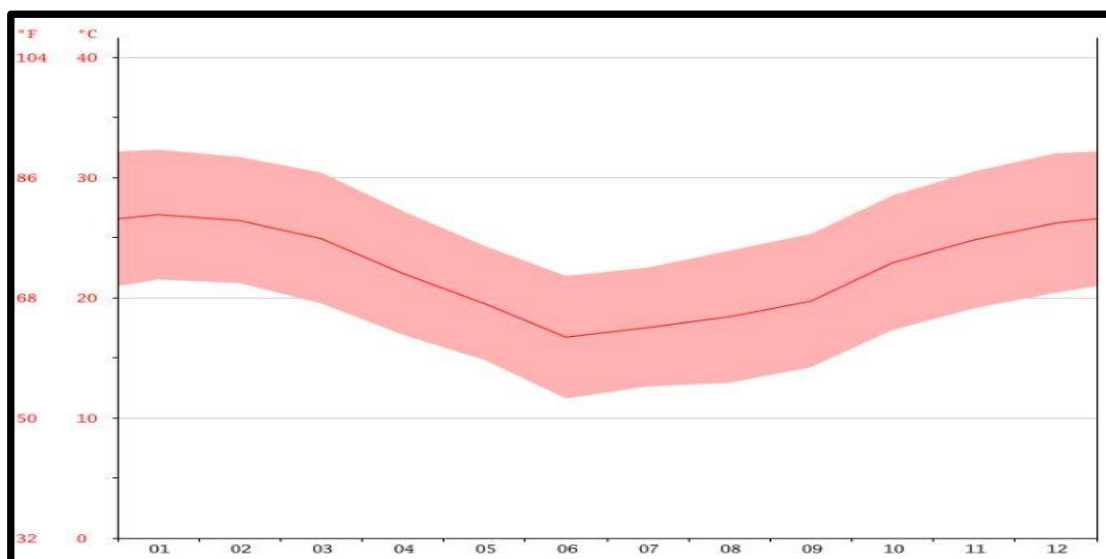


Figura 5. Diagrama de temperatura de Paraguari.

Fuente: CLIMATE-DARA.ORG.

3.2. Materiales.

En ésta investigación fueron utilizadas herramientas de informática como Google Earth y ArcGis para la elaboración de los distintos mapas que se encuentran en distintas secciones de este trabajo. También materiales cartográficos como el mapa y la carta de la Hoja Paraguari Escala 1:100.000, y materiales electrónicos como GPS y cámara fotográfica

3.3. Métodos.

El tipo de investigación realizado es mixto-no experimental, con diseño transeccional/descriptivo, para el cual se tomaron muestras como ser; cantidad de viviendas, textura de suelo, macro y micro nutrientes de suelo, resistencia a la compresión de roca y respuestas desde el punto de vista de la percepción de las personas.

Este trabajo fue dividido en varias etapas como sigue:

Etapas 1: Planificación de la recopilación de datos.

Esta etapa fue de nuevo dividida en dos apartados; primario y secundario.

Primario: Los enfoques de la Investigación se basaron en entrevistas, encuestas y observaciones. Como métodos de contacto se llevaron a cabo visitas al campo y realización de preguntas. El plan de muestreo fue del tipo intencional, tanto de rocas como de suelo. La instrumentación de investigación consistió en instrumentos mecánicos y materiales para la recolección de muestras (suelo y roca).

Secundario: En esta parte se llevó a cabo un trabajo descriptivo a partir de lo realizado en la parte primaria, específicamente se realizaron revisión de datos y recopilación de toda la documentación obtenida en las instituciones responsables (Casa de la Cultura y Municipalidad de Paraguari).

Todo lo mencionado fue realizado durante tres campañas.

Etapa 2: Realización de análisis y ensayos correspondientes.

Las muestras de rocas recolectadas fueron llevadas al Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología (INTN) para el análisis de resistencia a la compresión. Para este análisis las muestras primero fueron cortadas en forma de cubo para luego ser introducidas a un cilindro de dimensiones 15x30. Cada muestra fue comprimida por una carga para luego realizar la lectura del valor de la carga que soportan hasta romperse. Para obtener el resultado final se utiliza una la ecuación matemática $x=Carga/Superficie\ de\ Carga$.

Por otro lado las muestras de suelo fueron llevadas al Laboratorio de Suelos de la FCA (Facultad de Ciencias Agrarias) de la UNA(Universidad Nacional de Asunción) para el análisis químico y físico (granulométrico), este último fue realizado por el método de Bouyouco. Tanto las rocas y el suelo fueron muestreados de dos lugares distintos, una de la parte Este del Cerro Peró y la otra de la parte Oeste utilizando esas mismas simbologías para el etiquetado.

Etapa 3: Realización de cálculos y elaboración de mapas correspondientes.

Utilizando la carta topográfica de la zona de Paraguairí, se realizó el cálculo del ángulo de la pendiente de la parte Este del Cerro Peró. También en esta etapa se llevó a cabo la elaboración de mapas ilustrativos utilizando las herramientas de Google Earth y ArcGis.

Etapa 4: Análisis de la encuesta realizada y procesamiento general.

Se analizaron cada una de las preguntas realizadas en la encuesta para expresar las respuestas en gráficos ilustrativos, las preguntas fueron hechas a un total de 30 personas, para tener conocimiento de su percepción acerca del tema abordado.

Por último etapa se llevó a cabo el análisis y procesamiento general de todo lo recabado en las etapas anteriores para obtener los resultados y de esa manera poder llegar a los objetivos trazados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

1.1. Resultados.

1.1.1. Resultados Descriptivos del Área de Estudio.

Geomorfológicamente el Cerro Perõ es una pequeña elevación en comparación con los otros cerros que se encuentran en sus alrededores como el Cerro Jhú y el Cerro Santo Tomás, de sus laderas, una de ellas presenta un ángulo pendiente mayor que es la que se encuentra en dirección Este. La cima comprende una planicie que aparentemente y según los antecedentes que se tienen fue el resultado de las modificaciones creadas por las actividades de explotación.

En la figura 6 se muestra que, litológicamente, en el lado Este del Cerro se observan fragmentos de rocas ígneas alteradas y mayormente materiales sueltos de cantos rodados, cuarcitas y areniscas muy silicificadas además de un suelo rojo característico de lateritas. Por otra parte la figura 7 muestra que en el lado Oeste se observa en la base del Cerro un perfil de brechas fanglomerádicas de rocas de distintos orígenes y edades que constituyen las unidades litológicas de los alrededores, como por ejemplo rocas ígneas alcalinas alteradas y clastos de areniscas silicificadas y, por el tamaño y forma de los materiales se puede decir que no tuvieron ningún tipo de transporte y que se trata de una zona bastante tectonizada.



Figura 6. Vista del perfil de la sedimentación caótica de la encosta Este del Cerro Perõ.



Figura 7. Vista del perfil de la sedimentación caótica de la encosta Oeste del Cerro Perõ.

En la figura 8 se observa que en la cima sin embargo se encuentra un relicto de arenisca silicificada con una altura aproximada de 10 metros sobre el cual fue construido un mirador con fines turísticos.



Figura 8. Relicto de rocas silicificadas sobre el cual se asienta el mirador en la cima del Cerro Peró.

En el Cerro Peró la meteorización afecta en gran medida a los materiales, allí se encuentra una gran cantidad de detritos producidos por la meteorización mecánica y otros que hasta presentan características de suelo por el alto nivel de alteración que se genera por la meteorización química. Es preciso resaltar que tanto la meteorización física y química se da en rocas de distinta naturaleza y composición. Sin embargo entre tanta cantidad de materiales meteorizados también se debe mencionar que se encuentran rocas muy compactadas y silicificadas resistentes al intemperismo.

1.1.2. Resultados de las Características Climáticas.

Muy relacionado a lo anterior está el clima y la frecuencia de precipitaciones, ya que el flujo de agua intensifica la remoción de materiales no consolidados y fragmentos de rocas sueltas y alteradas, especialmente en pendientes pronunciadas como la que se encuentra en la ladera del lado Este del Cerro Peró. Según datos estadísticos la media anual de precipitaciones en la Ciudad de Paraguari es de 1502,19 mm. En la figura 9 se observa una representación de la dirección del flujo de escorrentías en la parte este del Cerro Peró.



Figura 9. Dirección del flujo de agua de las precipitaciones.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 10 se observan las cárcavas de escorrentías producidas por las precipitaciones, en donde se comprueba que el flujo de agua de estas precipitaciones es más intensa en la parte este del Cerro Peró como se encuentra representado en la figura anterior.



Figura 10.Cárcavas de erosión por escorrentía de agua de las precipitaciones.

1.1.3. Resultados de las Características de la Vegetación del Área de Estudio.

Como se muestra en la figura 11, en una parte la cobertura vegetal del Cerro Perõ es escasa, especialmente en la base del lado Este, sólo se observa una vegetación herbácea y pequeños arbustos. El lado Oeste del Cerro es mucho más arbóreo y se puede observar una vegetación más variada. La cima también se encuentra muy poca cobertura vegetal salvo algunos árboles que fueron cultivados.

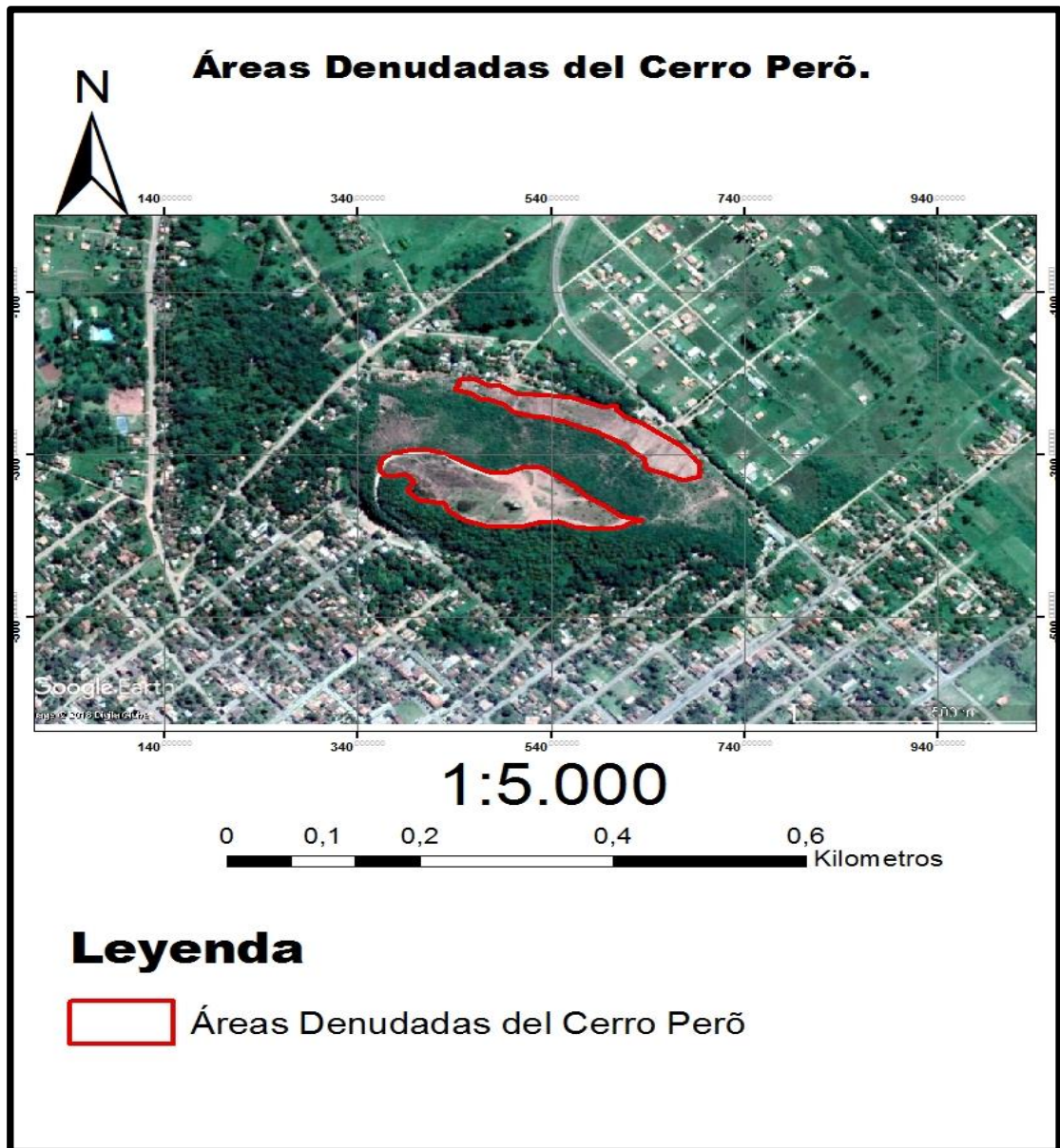


Figura 11. Delimitación de áreas denucladas del Cerro Perõ.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.4. Resultados del Análisis Temporal del Cerro Perõ, antes y después de las Actividades de Explotación.

En cuanto a este tipo de actividades se tienen datos de que el Cerro Perõ fue explotado hace muchos años atrás pero desde el año 1994 hasta la actualidad ya no se realizan dichas actividades. Con la figura 12 y la figura 13 se puede realizar la comparación y observar las diferencias entre los años 1965 y 1994.

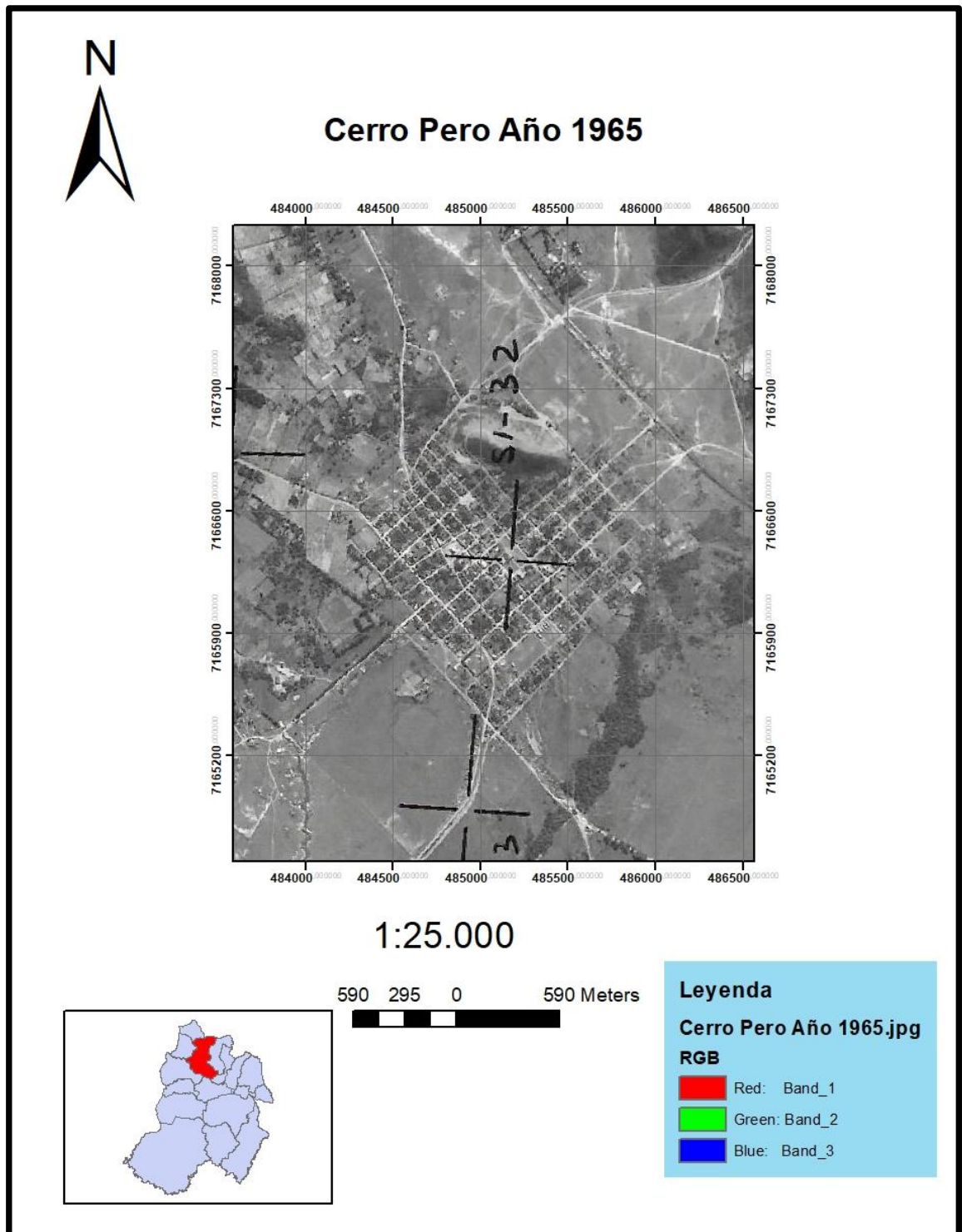


Figura 12. Fotografía aérea correspondiente al Cerro Peró del Año 1965 proveída por el IGM (Instituto Geográfico Militar).

Fuente: Elaboración propia.

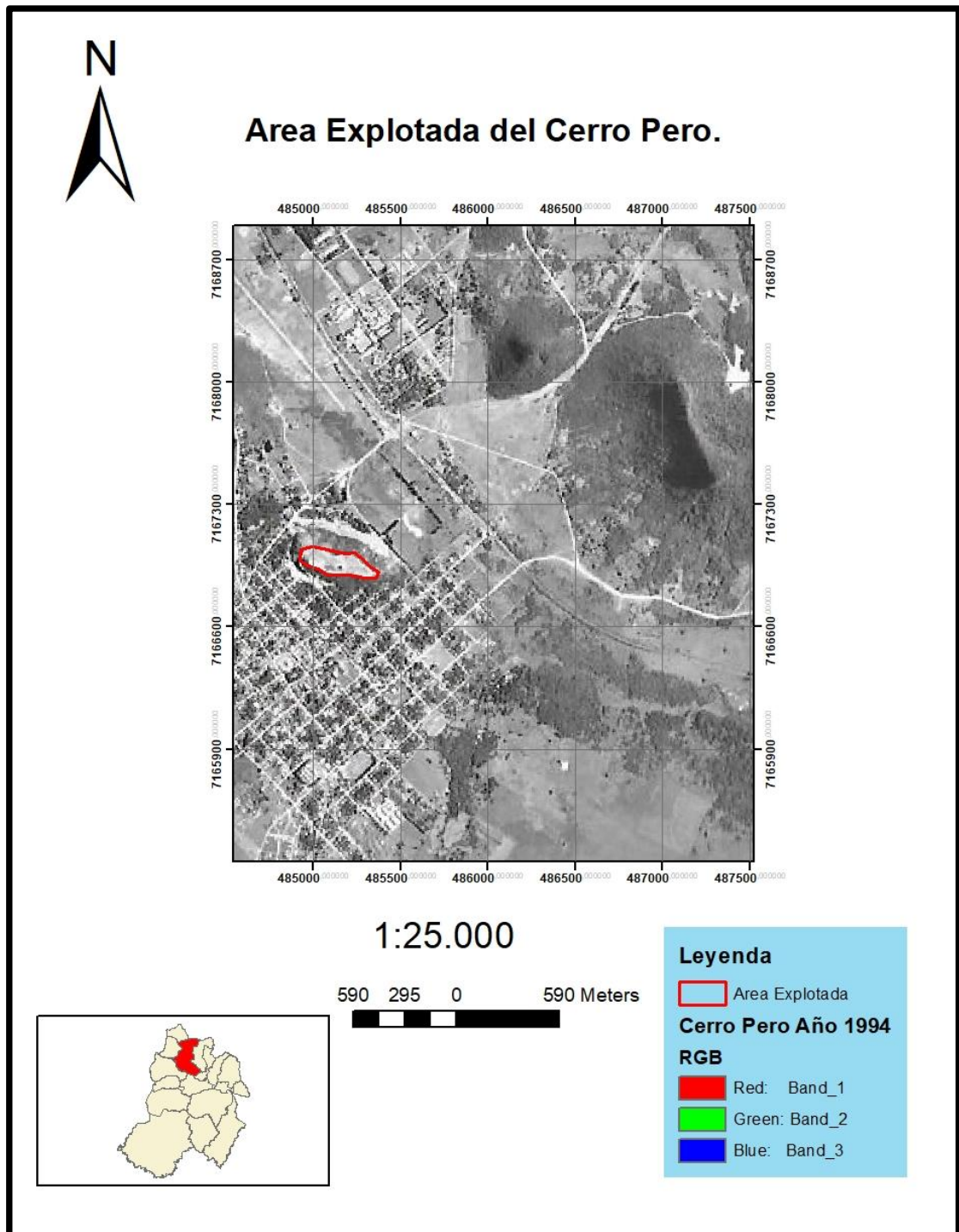


Figura 13. Delimitación del Área Explotada del Cerro Perú. Fotografía correspondiente al Año 1994 proveído por el IGM (Instituto Geográfico Militar).

Fuente: Elaboración propia.

1.1.5. Resultados del análisis del perfil de elevación y pendiente del Cerro Perõ.

Según los cálculos realizados el Cerro Perõ cuenta con una elevación de 187 metros y una pendiente de 73°, pueden observarse en la figura 14 y en la figura 15 respectivamente.



Figura 14. Imagen satelital extraído de Google Earth, perfil de mayor pendiente de la ladera de dirección Este del Cerro Perõ.

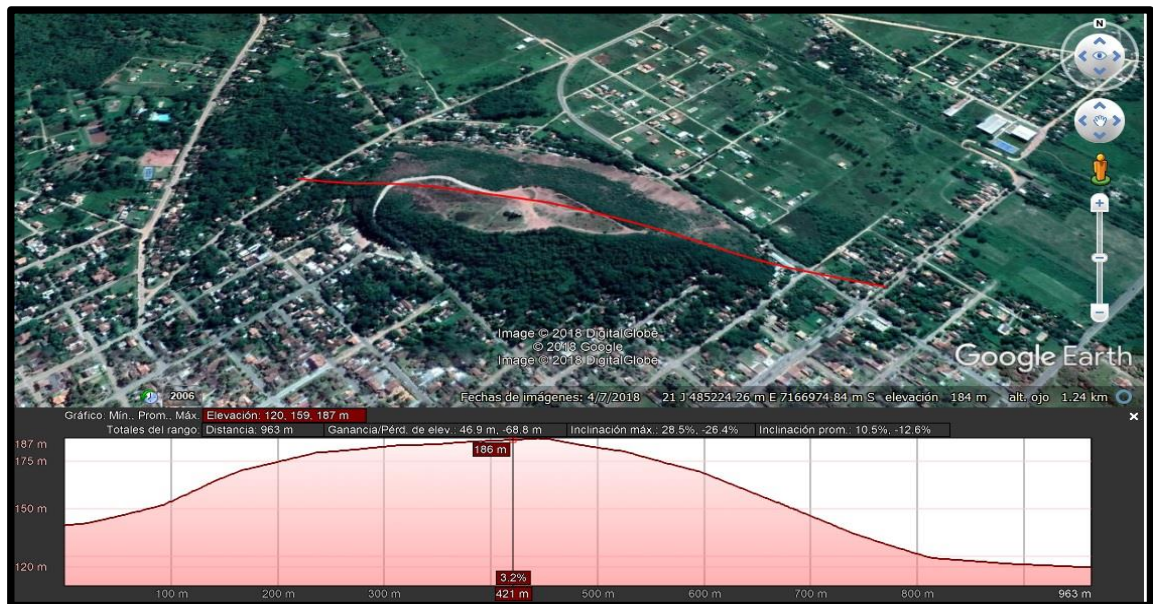


Figura 15. Imagen satelital extraído de Google Earth, perfil de elevación del Cerro Peró.

1.1.6. Resultados del Análisis Geotécnico. (Resistencia a la Compresión).

En el INTN (Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología) se realizaron análisis de Resistencia a la Compresión a dos muestras de roca maciza extraídas del Cerro Peró, cuyos resultados fueron los siguientes:

- De la Muestra 1 (Tomada del lado E del Cerro Peró) se obtuvo una resistencia de 500 kg/cm^2 , soportando una carga de 12.500 kg.
- De la Muestra 2 (Tomada del lado W del Cerro Peró) se obtuvo una resistencia de 653 kg/cm^2 , soportando una carga de 32.000 kg.

Tabla 4. Resistencia a la compresión simple con módulo.

Resistencia (Kg/cm^2)	Condición	Descripción
50 a 200	Muy débil	Rocas sedimentarias alteradas y débilmente compactadas.

200 a 400	Débil	Rocas sedimentarias y esquistos débilmente cementados.
400 a 800	Resistencia media	Rocas sedimentarias competentes e ígneas cuarzosas de densidad un poco baja.
800 a 1600	Resistencia alta	Rocas ígneas competentes, metamórficas y algunas areniscas de grano fino.
1600 a 3200	Resistencia muy alta	Cuarcitas y rocas ígneas densas de grano fino.

Fuente: Chávez, J. M. 2006. (ST informe ISRM, Comité LDP, 1973, ASTM D3148-86).

1.1.7. Resultados del Análisis de Suelo.

Para el análisis de suelo, realizado en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, en las muestras que fueron tomadas se utilizaron las simbologías Lado E y Lado W.

- Análisis Físico (Granulométrico).

En el análisis físico o granulométrico se expresan porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en cada muestra.

La muestra con la simbología LadoE contuvo un 30% de arena, 10% de limo y 60% de arcilla resultando una textura Arcillosa y color del suelo Marrón Rojizo Opaco.

La muestra con simbología LadoW contuvo 59% de arena, 20% de limo y 21% de arcilla, resultando una textura Franco Arcillo Arenosa y color del suelo Marrón Opaco.

- Análisis Químico (pH, Macronutrientes y Micronutrientes).

De la muestra con simbología *LadoE* se obtuvo un pH= 4,20. De los micronutrientes se obtuvo: Cu= 0,30 ppm, Zn= 0,65 ppm, Fe= 20 ppm y Mn=6,00 ppm. Mediante la utilización de la tabla de interpretación se pudo observar que los valores de Cu, Fe y Mn corresponden a un nivel Alto mientras que el valor de Zn a un nivel Bajo. De los macronutrientes se obtuvo: K= 0,08 Cmol/kg, P= 6,36 mg/kg, Ca= 0,20 mg/kg, Na= 0,12 Cmol/kg y Mg= 0,10. Todos estos valores corresponden a un nivel Bajo en la tabla de interpretación.

De la muestra con simbología *LadoW* se obtuvo un pH= 4,60. De los micronutrientes se obtuvo: Cu= 0,90 ppm, Zn= 0,75 ppm, Fe= 15 ppm y Mn=4,00 ppm. Mediante la utilización de la tabla de interpretación se pudo observar que los valores de Cu, Fe y Mn corresponden a un nivel Alto mientras que el valor de Zn a un nivel Bajo. De los macronutrientes se obtuvo: K= 0,05 Cmol/kg, P= 9,74 mg/kg, Ca= 0,60 mg/kg, Na= 0,08 Cmol/kg y Mg= 0,39. Todos estos valores corresponden a un nivel Bajo en la tabla de interpretación.

1.1.8. Resultados de la delimitación de áreas que rodean al Cerro Peró.

En la figura 16 se puede observar la delimitación de los barrios que se encuentran rodeando al Cerro Peró y la cantidad de viviendas que hay en cada barrio. Los barrios más cercanos son: Barrio Estación con un total de 85 viviendas, Barrio Fátima con un total de 52 viviendas, Barrio San Blas II con un total de 199 viviendas y el Barrio Santa Catalina con un total de 197 viviendas. Esta delimitación fue realizada con la herramienta ArcGis.

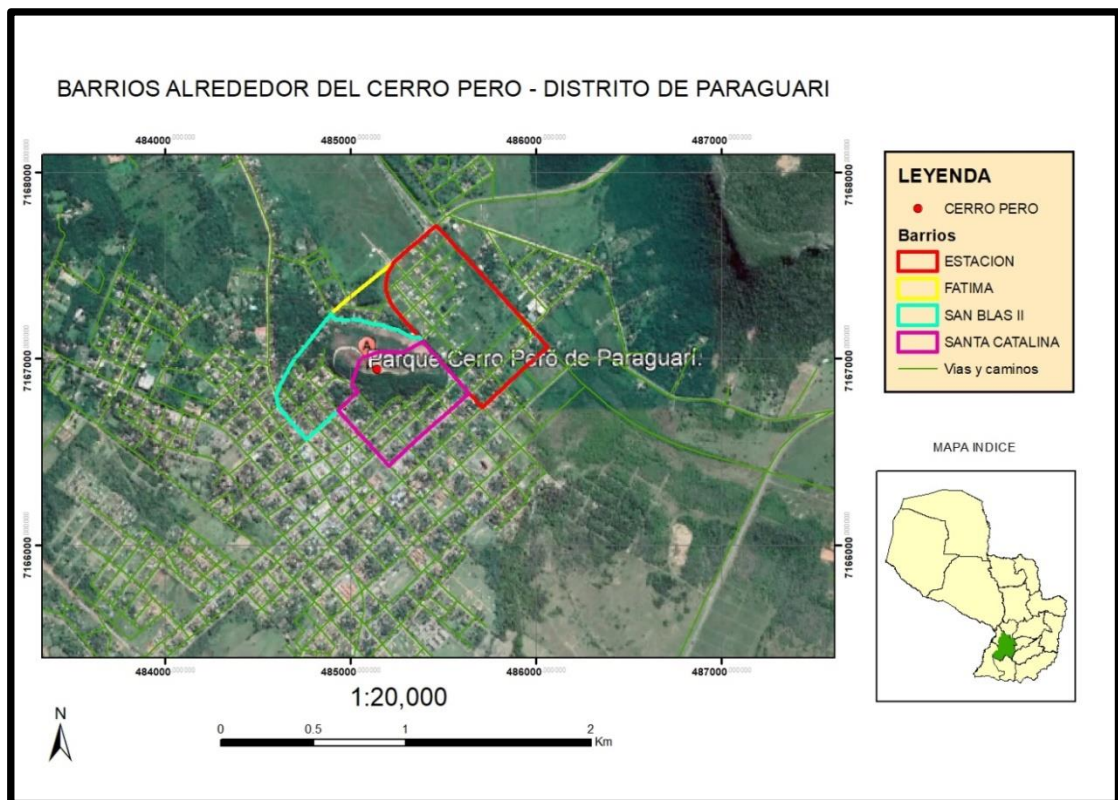


Figura 16. Delimitación de barrios localizados alrededor del Cerro Peró.
Fuente: Elaboración propia.

1.1.9. Resultados de las Encuestas.

Se realizó una encuesta a 30 (treinta) personas que residen entre los barrios San Blas 2, Santa Catalina, Fátima y Estación de la Ciudad de Paraguarí que son los más próximos al Cerro Peró, con el fin de conocer la percepción de los mismos en cuanto a la estabilidad del Cerro, datos históricos y de la preocupación de las autoridades en mantener el cuidado del Cerro.

Las personas a encuestar fueron elegidas al azar y mediante la predisposición de los mismos a responder las preguntas planteadas.

Los resultados obtenidos son como sigue:

Según su conocimiento ¿Alguna vez se produjo un fenómeno de derrumbe o deslizamiento de rocas después de fuertes lluvias?

■ SI ■ NO

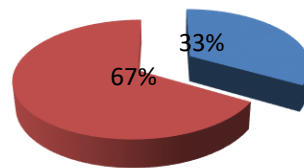


Figura 17. Resultados de la pregunta 1 de la encuesta realizada.

¿Tiene conocimiento de que el Cerro Peró alguna vez fue explotado?

■ SI ■ NO

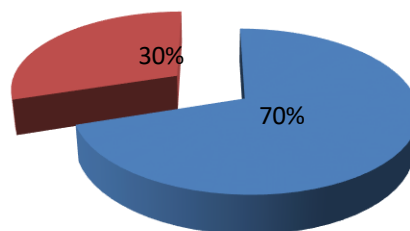


Figura 18. Resultados de la pregunta 2 de la encuesta realizada.

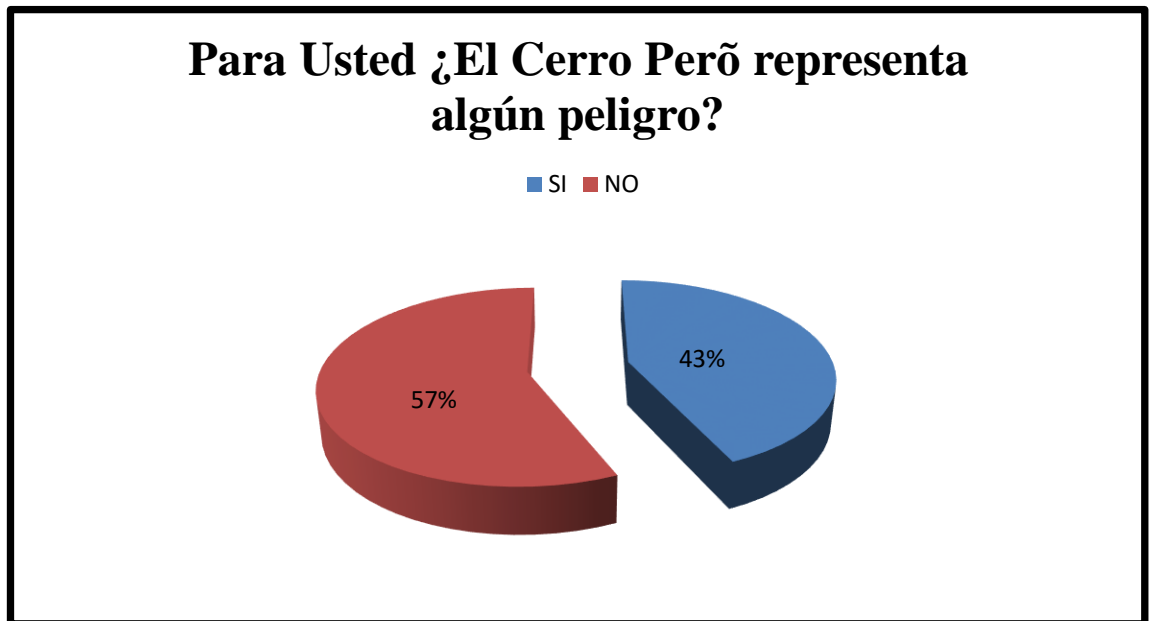


Figura 19. Resultados de la pregunta 3 de la encuesta realizada.

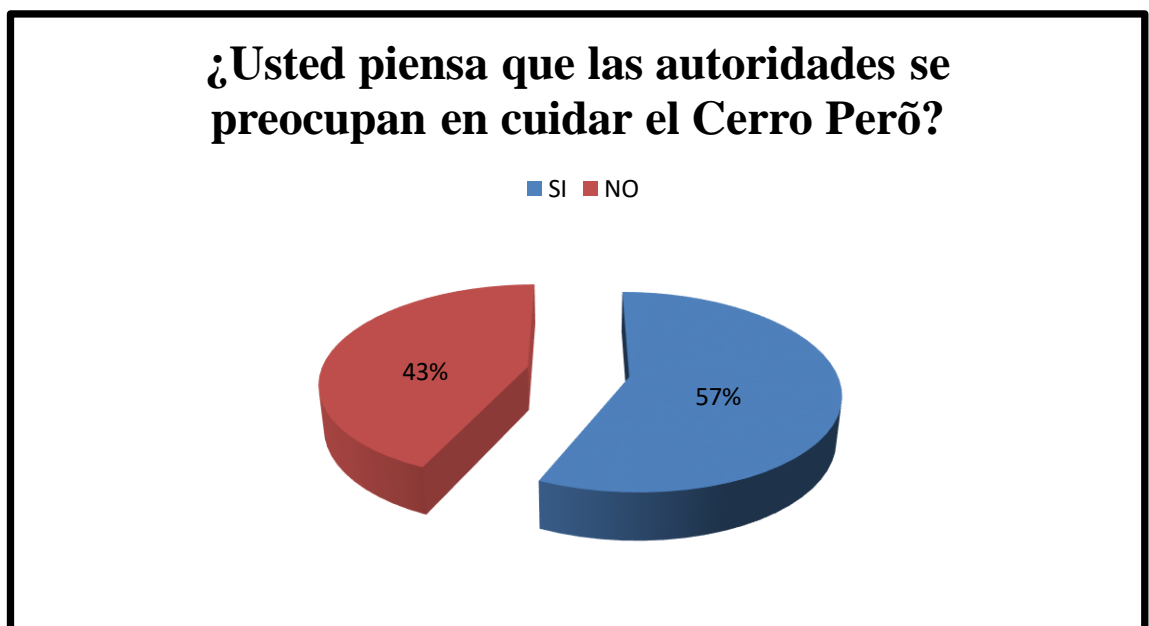


Figura 20. Resultados de la pregunta 4 de la encuesta realizada.

1.2. Discusión.

Teniendo en cuenta los antecedentes e investigaciones realizadas sobre la estabilidad de terrenos, especialmente los terrenos elevados, se sabe que este depende de una serie de factores que lo afectan directamente y se relacionan entre sí. Dichas investigaciones apuntan a que es importante analizar las características del terreno como la inclinación de la pendiente, la meteorización cuya velocidad también es

dependiente del clima, la vegetación y por supuesto no se puede obviar las actividades antrópicas que de alguna manera también tienen su grado de afectación.

En una de las laderas del Cerro Perõ, específicamente la que se encuentra hacia la dirección Este, existen mayormente materiales rocosos sueltos y escasa cobertura vegetal en la base por lo que la pendiente que tiene un ángulo de inclinación importante (73°), hace que dichos materiales, junto con los agentes erosivos que actúan sobre él, estén sujetos a una intensa actividad de remoción pendiente abajo. En este caso el principal factor desencadenante son las escorrentías de agua producidas por las precipitaciones que fluyen con mayor velocidad sobre la superficie inclinada.

Las pendientes también influyen en la formación del suelo, ya que en donde éstas son pronunciadas tienen poco o ningún suelo, porque los materiales meteorizados se erosionan más rápido que los procesos de formación del suelo. (Monroe, *et al.*, 2008).

Otro factor que es muy importante es la vegetación que a su vez está relacionada a las características del suelo, ya que este consta de micro y macronutrientes que necesitan las plantas para crecer. Micronutriente es el nombre con el cual se indica que la planta lo requiere en cantidades muy pequeñas (Porta *et al.*, 2008), por lo tanto son de los macronutrientes que más requieren las plantas.

Los valores obtenidos del análisis de suelos que fueron tomados de las dos encostas del Cerro Perõ, Este y Oeste, resultaron con un bajo nivel en el contenido de macronutrientes por lo que con ello podría explicarse el motivo de la escasa vegetación en ciertas partes del área de estudio. También se debe tener en cuenta que otra gran parte del Cerro Perõ sí cuenta con una variedad de vegetación por lo que se puede asumir que no todas las especies de las plantas dependen de estos macronutrientes para prosperar.

Tanto el material rocoso, macizo y alterado, como también el suelo inciden directamente en el tema abordado, puesto que del comportamiento de dichos

materiales ante la acción de todos los agentes mencionados anteriormente depende de la estabilidad. La muestra de suelo del lado Este del Cerro Perõ según el análisis realizado presenta una textura arcillosa y la muestra del lado Oeste una textura franco arcillo arenosa. Los suelos arcillosos resultan bastante compactos y resistentes en épocas de pocas precipitaciones pero en épocas del año en que las lluvias son frecuentes resultan muy inestables debido a que retienen toda el agua caída por falta de porosidad y permeabilidad. Por tanto se puede asumir que el suelo de la ladera del lado Este es más inestable que el suelo del lado Oeste ya que en este último se tiene una fracción arenosa que le da un carácter más resistente a la erosión por su capacidad de absorber el agua entre sus poros.

Por su parte de las muestras de roca maciza, no alteradas, que fueron analizadas resultaron valores que corresponden a la de una resistencia media según(Chávez, J. M. 2006.), (observada en la tabla 4) en cuanto a su capacidad de soportar la carga generada por las rocas sueltas y el suelo que yacen sobre él.

De todo lo mencionado se puede rescatar entonces que en el Cerro Perõ el suelo es bastante erosionable, tanto por sus características texturales como también por la frecuencia de precipitaciones, por el mismo motivo la gran cantidad de rocas alteradas tienden a alterarse aún más e ir adoptando prácticamente el comportamiento de un suelo, pero no sucede lo mismo con las rocas silicificadas que poseen resistencia media.

A todo esto es importante sumar el hecho de que el Cerro Perõ fue explotado años atrás, que se comprueba comparando las fotografías aéreas de los años 1965, 1994, dentro de lo que las actividades humanas afectan en el terreno desde el punto de vista ambiental, paisajístico y también social. La superficie terrestre se ve siempre afectado por eventos que se producen naturalmente que van modificando sus condiciones, pero es sabido que todas las modificaciones generadas por actividades antrópicas aceleran la ocurrencia de dichos eventos.

En los alrededores del Cerro se encuentra una población considerable distribuida en cuatro barrios, según las encuestas realizadas un 33% afirma que suelen producirse caídas de rocas del Cerro después de las fuertes lluvias, el 67% restante respondió que no. Un 70% de los encuestados tiene conocimiento de que el Cerro Perõ fue explotado en el pasado, el 30% restante desconoce dicho acontecimiento. Para el 43% de los encuestados el Cerro Perõ representa un peligro en cuanto a la inestabilidad, para el 57% restante no. Por último el 57% de los encuestados piensa que las autoridades si se preocupan en el cuidado del Cerro y el 43% piensa que no.

Apesar de que se dan la mayoría de las características que señalan que el Cerro Perõ es vulnerable al riesgo, y muchos de los pobladores de los alrededores tienen ese conocimiento, ellos no consideran la posibilidad de ocurrencia de algún fenómeno que pudiese afectarlos y expresan que el Cerro Perõ es de importancia tanto para las autoridades, para ellos mismos y para todos los turistas que acuden allí para realizar actividades de recreación y esparcimiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

2.1. Conclusión.

En la investigación realizada se identificaron los factores que rigen la estabilidad del Cerro Perõ constatando que la más influyente es la cantidad de precipitaciones características de área estudiada y lo que este a su vez desencadena, como ser la meteorización generalizada y la saturación de los suelos, especialmente el de textura arcillosa que resulta bastante inestable cuando se encuentra saturada.

Por otro lado se analizó la incidencia de los materiales constituyentes, si bien los macizos rocosos resultaron medianamente resistentes, existen demasiadas rocas alteradas y sueltas, y como hay que considerar a estos materiales como un conjunto se

puede decir que la cantidad de rocas meteorizadas excede a las rocas de alta resistencia, por ende de acuerdo a los criterios de susceptibilidad de (Kanungo, D. P., 1993), el Cerro Perõ encaja en un nivel de susceptibilidad moderada.

Otro punto importante fue la comprobación de la explotación del Cerro Perõ muchos años atrás que sin duda afectó de sobre manera no solo en la estabilidad sino también en lo paisajístico y ambiental.

La determinación de las áreas vulnerables, que son cuatro barrios con numerosas viviendas, propone que ante todo lo mencionado, se debería considerar éstos criterios y de esa manera reconocer la importancia del estudio de riesgos y vulnerabilidad no sólo en el caso del Cerro Perõ sino también en todo aquel que reúna estas características en cualquier punto del país.

2.2. Recomendaciones.

En este trabajo se evalúa el riesgo y la vulnerabilidad del Cerro Perõ a experimentar fenómenos de deslizamientos o derrumbes, en atención a los factores característicos que son determinantes en su estabilidad, y la gran cantidad de viviendas que se asientan en sus alrededores distribuidos en distintos barrios.

Sabiendo ya que se trata de una zona vulnerable al riesgo, se debería poner a conocimiento de los habitantes cuales son las prácticas que se deben evitar, tanto para la preservación del Cerro como también para no desestabilizarla aún más.

A pesar de que la actividad de explotación cesó hace muchos años, es una de las cosas que ya no se debería realizar en el futuro, ya que esto desencadena denudación del terreno, y se tiene bien sabido que la presencia de vegetación es fundamental como aporte de contención del suelo.

En definitiva se debería trabajar en la conservación del Cerro Peró como medio ambiente natural y que las autoridades traten de que las actividades turísticas y culturales a la larga no lo deterioren y, finalmente por supuesto, se debería seguir realizando investigaciones más minuciosas y detalladas sobre riesgo y vulnerabilidad para tener mejores perspectivas acerca del tema.

ANEXO

A. Resultados de los Análisis Realizados.



Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias

Área de Suelos y Ordenamiento Territorial
Laboratorio de Suelos

Resultados de análisis químico y físico

Prop. Adriana María García Meriles
Departamento: Paraguari

Fecha: 06/06/18

N°	Lab.	Código	Prof. cm.	pH	Mat.Org. %	P mg/kg	Ca ⁺⁺ mg/kg	Mg ⁺⁺ mg/kg	K ⁺ cmol/kg	Al ⁺⁺⁺ +H ⁺ cmol/kg	Sat.Al %	Na cmol/kg	C.E dS/m	Clase Textural	Color	
															Munsell	Descripción
		M1 Lado E	0-30	4,20	0,79	6,36	0,20	0,10	0,08	0,69	85,12	0,12	-	Arcilla	5 YR 5/3	Marrón Rojizo Opaco
		M2 Lado W	0-30	4,60	1,17	9,74	0,60	0,39	0,05	0,58	35,90	0,08	-	Franco Arcilla arenosa	4YR6/4	Marrón oscuro

N°	Lab.	Cu ppm	Zn ppm	Fe ppm	Mn ppm
-	-	0,30	0,65	20,00	6,00
-	-	0,90	0,75	15,00	4,00

Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura	Color	Descripción
36	19	66	Arcilla	5 YR 5/3	Marrón Rojizo Opaco
59	20	21	Franco Arcilla arenosa	4YR6/4	Marrón oscuro



Q.A. Mg. Doralicia Zacarias Servin
Responsable de los analisis





Prof. Lic. Geól. MSc. Higinia Moreno Resquin
Jefe de Laboratorio

La siguiente tabla le ayudará a interpretar los resultados

Nivel	Mat. Org.	P	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al+H ⁺	pH
Bajo	< 1,2	< 12	< 2,51	< 0,4	< 0,17	< 1,5	< 0,4	> 5,5 Acido
Medio	1,2 - 2,8	12 - 30	2,51 - 6,0	0,4 - 0,8	0,17 - 0,37	1,5 - 7,0	0,4 - 0,9	5,4 - 6,4 Lig. Acido
Alto	> 2,8	> 30	> 6,0	> 0,8	> 0,37	> 7,0	> 0,9	6,5 - 7,4 Neutro
								> 7,4 Alcalino

Nivel	Cu	Zn	Fe	Mn
Muy bajo	< 0,1	< 0,6	< 2,5	< 0,8
Bajo	0,1 - 0,2	0,6 - 0,8	2,5 - 4,5	0,8 - 1,2
Medio	0,2 - 1,2	1,2 - 4,5	4,5 - 8,0	1,2 - 1,6
Alto	> 1,2	> 4,5	> 8,0	> 1,6

0 - 2	Normal
2 - 4	Ligeramente Salino
4 - 8	Salino
8 - 16	Fuertemente Salino
> 16	Extremadamente Salino

Observación: Los resultados analíticos corresponden a las muestras recibidas en nuestro laboratorio

Tel.: (595-21) 585 606/10 | Fax: (595-21) | E-mail: info@agr.una.py | Web: www.agr.una.py
Casillas de Correos 1618 | Ruta Mcal. José Félix Estigarribia, Km. 10º Campus UNA - San Lorenzo, Paraguay

Resultados del análisis físico y químico del suelo.

A1. Resultados del Análisis Geotécnico.



INTN
Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología
Avda. Artigas 3973 y Gral. Roa / C.C. 967
Teléf.: 290 160 / 290 266 Fax: 290 873
e-mail: intn@intn.gov.py
Asunción - Paraguay



TETÁ REKUÁI
GOBIERNO NACIONAL
Jajape hände raperá ko'ága guive
Construyendo el futuro hoy

INFORME DE ENSAYO

CONS N°: 0516/2018

Solicitante: Luis Arnaldo García Martínez	Entrada N°: 185948/2018
Dirección: Avda. Mariscal López Esq. Machuca	Dpto. Ejecutor: Materiales de Construcción - ONI

Fecha de recepción: 29-05-2018	Fecha de inicio del servicio 05-06-2018
--------------------------------	---

Descripción de los ítems de ensayo: 1 (Una) Muestra De Piedra Bruta Para resistencia a la Compresión
Cantera: Cerro Pero~

Determinaciones 2	Unidades	Método	Resultados
			2
Resistencia a la compresión	Kg/cm ²	ASTM C-170	500
Resistencia a la compresión	Kg/cm ²	ASTM C-170	653

Abreviaturas
Ítem: Muestra ensayada
ASTM: American Society for Testing Materials

NOTAS:

- Los resultados obtenidos se refieren exclusivamente a la muestra suministrada por el solicitante.
- Este informe solo puede ser reproducido en forma completa con autorización del laboratorio.



Técnico
Lic. Juan Carlos Ovelar
Dpto. Materiales de Construcción
INTN





Jefe de Departamento
Al Wilfrido Ramirez
Jefe de Dpto. Materiales de
Construcción - INTN

Fin del Informe

FOR-ONI-34 Versión

Página 1 de 1

- **MISIÓN:** Servir a la sociedad: consumidores, industrias, comercio y servicios mediante investigación y asistencia técnica, normalización, certificación y metrología, con un enfoque de responsabilidad social y sostenibilidad.
- **VISIÓN:** Ser una institución innovadora y competitiva, reconocida nacional e internacionalmente por la calidad de sus servicios, la excelencia profesional y humana de su gestión y su contribución a la sociedad.

B. Fotografías tomadas en el área de estudio.



Perfil del conjunto de rocas que encuentra en la base el Cerro Peró en la dirección Oeste.

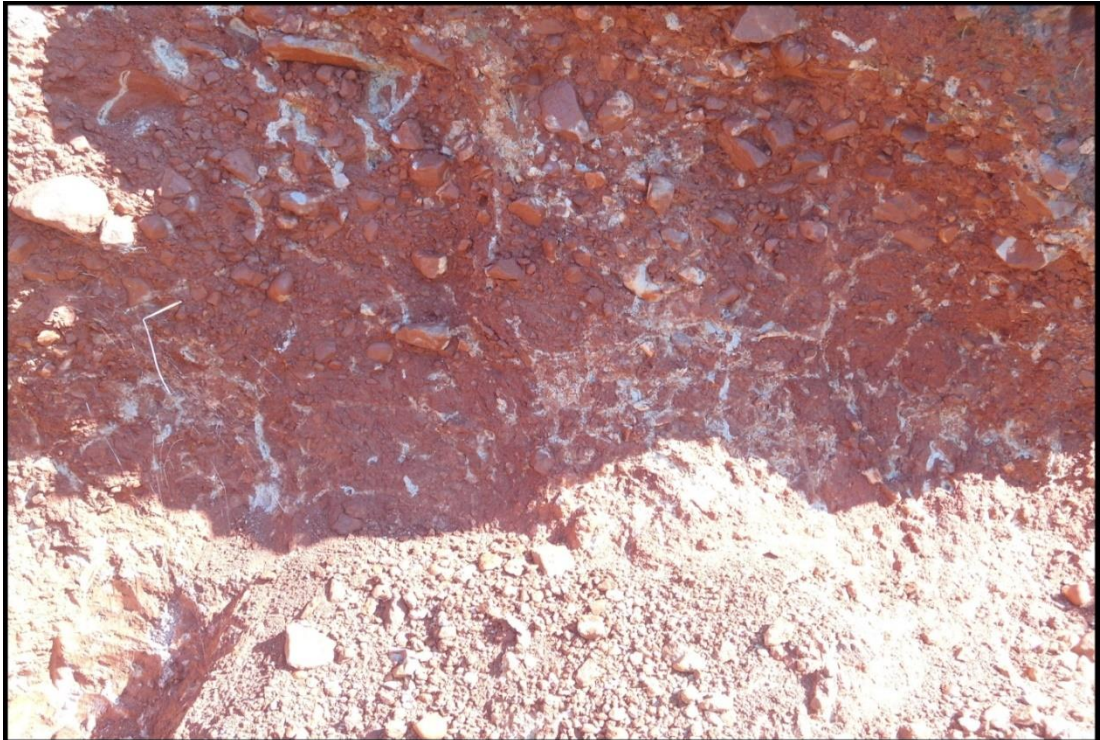
B1. Perfil de rocas mayormente alteradas en la base del Cerro Peró en la dirección Oeste.



B2. Perfil del conjunto de materiales que se encuentran en la base del Cerro Perõ en la dirección Este.



B3. Material altamente alterado y formación de suelo arcilloso.



B4. Fragmento de roca ígnea alterada.



B5. Material con matriz alterada y clastos meteorizados.



B6. Perfil con rocas de distintos tamaños y con presencia de vegetación.



B7. Material silicificado ubicado en la cima del Cerro Perõ.



B8. Realización del corte de las muestras en el INTN.



B9. Muestras con los cortes terminados.



B10. Muestras introducidas a un cilindro para ser ensayados a compresión.



B11. Acceso vehicular y peatonal a la cima del Cerro Perõ.



B12. Vista panorámica del Cerro Perõ de la encosta de dirección Este.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ATLAS CENSAL DEL PARAGUAY. Disponible en:
file:///E:/12%20Atlas%20Paraguari%20censo.pdf
- CENAPRED. 2001. Fascículo Inestabilidad de Laderas. México. D. F. 39p.
- CHÁVEZ, J. M. 2006. Geotecnia. 1^{ra} ed. México. Unidad de Servicios Editoriales. 381p.
- CLIMA DE PARAGUARÍ. Disponible en: <https://es.climate-data.org/location/3864/>
- DÍAZ, L. F. 2016. Impacto del Cambio Climático en los Suelos. Publicación Científica. Honduras: Universidad Zamorano en Honduras.
- DINAC. Proyecto: Medidas Mensuales y Anuales Estación Paraguay: Periodo de Análisis 1970-2010.
- GARZÁN, J. M., VALENCIA, E., MUÑOZ, J. A. 2012. Evaluación de la Vulnerabilidad y Consecuencias por deslizamientos en la Conexión Vial ALBURRA-RÍO CAUCA entre las Abscisas km 04+000 y 39+000. Trabajo de Grado. Medellín: Universidad de Medellín. 109p.
- GONZÁLEZ, M., BARTEL, W. 1998. Mapa Geológico de la República del Paraguay Escala 1:100.000: Hoja Paraguarí 5469. MOPC-BGR. Texto Explicativo Asunción Paraguay.
- HERNÁNDEZ, Y., RAMÍREZ, H. 2016. Evaluación del Riesgo Asociado a Vulnerabilidad Física por Taludes y Laderas en la Microcuenca CAY, IBAGUÉ, TOLIMA, COLOMBIA. Ciencia e Ingeniería en Neograndina, 26 (2), pp 111-128, DOI.
- KARUNGO, D. P., 1993. "Studies on slopes, landslides and mass movements in Himalaya, India", Seventh International Conference and field workshop on Landslides in Czech and Slovak Republics, pp 35-41.
- KELLER, E. A., BLODGETT, R.H. 2004. Riesgos Naturales: Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes. Trad. Por Pilar Gil Ruíz. 1^{ra} ed. Madrid España: PEARSON Prentice Hall. 448p.

- MARIN, L. 1991. Mecánica de Suelos. 5^{ta} ed. Guayaquil. 198p. Publicación Científica de la Universidad de Guayaquil.
- MONROE, J. S., WICANDER, R., POZO, M. 2008. Dinámica y Evolución de la Tierra. Trad. Por Traducciones Vox Populi, S.L. 4^{ta} ed. Madrid España: Paraninfo CENGAGE Learning. 726p.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M., POCH, R. M. 2008. Introducción a la Edafología: Uso y Protección del Suelo. Madrid: Ediciones Mundi- Prensa. 451p.
- ROA LOBO, J., KAMP, ULRICH. 2012. Revista Geográfica Venezolana. Uso del Índice Topográfico de Humedad. (VE). 53 (1): 111-112.
- SUÁREZ, J. 2009. Deslizamientos: Análisis Geotécnico. 1^{ra} ed. Bucaramanga Colombia: División de Publicaciones UIS. 1V.
- TARBUCK, E.J., LUTGENS, F. K. 2010. Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física. Trad. Por AMR Traducciones Científicas. 8^{va} ed. Madrid: UNED PEARSON Prentice hall. 2V.
- VEGA, J. A. 2013. Estimación del Riesgo por Deslizamiento de Laderas Generados por Eventos Sísmicos en la Ciudad de Medellín Usando Herramientas de la Geomática. Tesis de Maestría. La Plata. Universidad nacional de la Plata. 169p.