

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

Trabajo de Grado

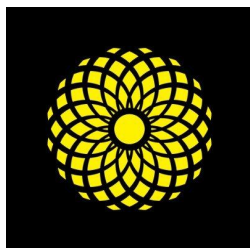
**SUSCEPTIBILIDAD DE OCURRENCIA DE FENÓMENO DE
MOVIMIENTO EN MASA DEL TALUD DEL CERRO CAACUPÉ,
DEL DISTRITO DE YPACARAI-PARAGUAY**

JORGE CANTERO CANTERO

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

SAN LORENZO – PARAGUAY

DICIEMBRE – 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

Trabajo de Grado

**SUSCEPTIBILIDAD DE OCURRENCIA DE FENÓMENO DE
MOVIMIENTO EN MASA DEL TALUD DEL CERRO CAACUPÉ,
DEL DISTRITO DE YPACARAI-PARAGUAY**

JORGE CANTERO CANTERO

Orientadora: **Prof. Dra. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI**

Co Orientadora: **Prof. MSc. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DIAZ**

Co Orientadora: **Lic. ROMINA MARIEL CELABE GAONA**

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

SAN LORENZO – PARAGUAY

DICIEMBRE – 2020

**SUSCEPTIBILIDAD DE OCURRENCIA DE FENÓMENO DE
MOVIMIENTO EN MASA DEL TALUD DEL CERRO CAACUPÉ,
DEL DISTRITO DE YPACARAI-PARAGUAY**

JORGE CANTERO CANTERO

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

Fecha de aprobación: 02 de diciembre de 2020

COMITÉ ASESOR DE TRABAJO DE GRADO

MIEMBROS:

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

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

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

DEDICATORIA.

A mi abuela Evangelista Cantero por
darme tanto amor y confiar siempre en mi.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos especiales van dirigidos para la Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici, la Prof. MSc. Sonia Mabel Molinas Ruiz Díaz y la Lic. Romina Mariel Celabe Gaona por sus valiosas orientaciones para la elaboración de este trabajo.

A la Dirección de Servicio Geográfico Militar (DISERGEMIL), y al Cnel. DCEM Claudio René Román Alvarenga, Director del Servicio Geográfico Militar por proveer las fotografías aéreas y ortofotocartas necesarias para la realización del trabajo.

Al Prof. Lic. Juan Carlos Ovelar por su buena predisposición para la realización de los análisis requeridos en este trabajo

Al Prof. MSc. Moisés Gadea, por transmitirme la pasión por la Geología y por el permanente espíritu de colaboración y buena predisposición.

Al Prof. Hugo Morínigo, por la buena predisposición de siempre y por facilitarme los materiales requeridos para este trabajo.

Al Centro de desarrollo tecnológico vial y al Ing. Jorge Becker por proveer los resultados de análisis de abrasión y la buena predisposición.

Al Lic. Ricardo Vera, por ser un gran amigo y compañero de estudio y por la buena predisposición de siempre.

A la Lic. Diana Insfran y Mirian Almada, por el apoyo de siempre y por proveer las herramientas necesarias para la elaboración de este trabajo.

Al Tte. 1° Ing. Albert David Martínez Da Silva, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo y la buena predisposición de siempre cuando fue requerido su ayuda.

A la Lic. María Campaya, por el apoyo brindado y la buena predisposición siempre.

Al MSc. Néstor Salinas, por su colaboración para toma de datos en el campo y la buena predisposición.

A mis amigos y futuros colegas Clara Velázquez, A Claudia Carrillo y Albert Martínez, por el apoyo incondicional, la paciencia y las valiosas ayudas brindadas para la elaboración de este trabajo.

A la Lic. Liz Britez por su colaboración en la toma de las fotografías de los ensayos realizados en el INTN.

Al Ing. Cesar Fernández por ser un gran amigo ante que nada y por el apoyo incondicional de siempre.

A Francisco Jara, por apoyarme siempre, alentarme a continuar y ser un gran amigo.

A Julio Ayala, por proveer la información requerida para la elaboración de este trabajo y por ser un excelente amigo.

Al Pr. Gualdir Domínguez, por su apoyo incondicional, la buena predisposición de siempre y por ser un gran amigo.

A todos mis amigos y amigas, por haberme ayudado ya sea de manera directa o indirecta para realizar este trabajo de la mejor manera.

Al Departamento de Geología, profesores, compañeros y amigos de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, por el apoyo que me brindaron durante mi formación.

SUSCEPTIBILIDAD DE OCURRENCIA DE FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA DEL TALUD DEL CERRO CAACUPÉ, DEL DISTRITO DE YPACARAI-PARAGUAY

Autor: JORGE CANTERO CANTERO

Orientadora: PROF. DRA. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI

Co Orientadora: Prof. MSc. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DIAZ

Co Orientadora: Lic. ROMINA MARIEL CELABE GAONA

RESUMEN

El Cerro Caacupé objeto de estudio del presente trabajo se encuentra en la compañía Pedrozo del distrito de Ypacaraí perteneciente al departamento Central; la misma cuenta con una elevación de 243 m y está constituido por areniscas arcósicas de grano medio a fino en la base con intercalaciones de capas de arcillas que se encuentran fracturadas. La pronunciada pendiente del talud del margen derecho del carril de descenso del Cerro en estudio, la escasa cobertura vegetal de la pendiente, como también las frecuentes precipitaciones en la zona que generan escorrentías y erosión, a todo esto se suma las características litológicas y estructurales mencionadas anteriormente, y hacen que el talud del Cerro Caacupé esté sujeto a fenómenos de movimiento en masa, dichos fenómenos se generan por la acción de la gravedad y factores desencadenantes que rigen la estabilidad. Los resultados obtenidos en esta investigación indican que la susceptibilidad del talud del Cerro Caacupé a experimentar fenómenos de movimiento es masa se encuentra dentro del rango Alto, considerando todas las condiciones geológicas, geomorfológicas, estructurales y climáticas del área estudiada.

Palabras Claves: Susceptibilidad, movimientos en masa, talud, Cerro Caacupé, Central.

**SUSCEPTIBILITY OF OCCURRENCE OF MASS MOVEMENT
PHENOMENON OF THE SLOPE OF CERRO CAACUPÉ, YPACARAI
DISTRICT - PARAGUAY**

Author: JORGE CANTERO CANTERO

Advisor: PROF. DRA. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI

Co Advisor: Prof. MSc. SONIA MABEL MOLINAS RUÍZ DIAZ

Co Advisor: Lic. ROMINA MARIEL CELABE GAONA

SUMMARY

The Cerro Caacupé object of study of the present work is in the Pedrozo company of the Ypacaraí district belonging to the Central department; it has an elevation of two hundred and forty-three meters and is made up of arcose sandstones of medium to fine grain at the base with intercalations of layers of clays that are fractured. The steep slope of the right margin of the descent lane of the Cerro under study, the scarce vegetation cover of the slope, as well as the frequent rainfall in the area that generates runoff and erosion, to all this is added the lithological and structural characteristics mentioned previously, and cause the slope of Cerro Caacupé to be subject to mass movement phenomena, these phenomena are generated by the action of gravity and triggering factors that govern stability. The results obtained in this research indicate that the susceptibility of the Cerro Caacupé slope to experiencing mass movement phenomena is within the High range, considering all the geological, geomorphological, structural and climatic conditions of the studied area

Keywords: Susceptibility, mass movements, slope, Cerro Caacupé, Central.

ÍNDICE

Página

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general.	2
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4. Hipótesis.....	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes	4
2.1.2 Construcción de la Ruta PY02	5
2.2 Talud o ladera.....	6
2.2.1 Elementos constitutivos de un talud o ladera	6
2.2.2 Factores que Afectan la estabilidad de los taludes.....	7
2.2.2.1 Litología o Formación Geológica	7
2.2.2.3 Estructura Geológica	8
2.2.2.3.1 Planos de estratificación.....	9
2.2.2.3.2 Planos de foliación o esquistosidad.....	9
2.2.2.3.3 Fracturas.....	9
2.2.2.3.4 Tectónica y Fracturación.....	9
2.2.2.5 Estado de Meteorización	9
2.2.2.6 Pendiente y Relieve.....	10
2.2.2.7 Clima y Hidrología.....	11
2.2.2.8 Cobertura Vegetal	12
2.2.2.9 Efecto Antrópico	12
2.3. Movimientos en masa	13
2.3.1 Tipos de movimientos de masa	13
2.3.1.1 Caídas	15
2.3.1.2 Deslizamientos	16
2.3.1.3 Propagación o expansión lateral.....	16
2.3.1.4 Flujos.....	16
2.3.1.5 Complejos	17
2.3.2 Principales causas de los movimientos en masa	17
2.4.1.2 Susceptibilidad	18
2.4.3 Mitigación de los peligros de movimientos de masa	19
2.4.3.1 Medidas correctivas	20
2.5 Geología Regional.....	20
2.5.1 Estratigrafía	21
2.5.1.1 Suite Magmática Caapucú.....	21
2.5.1.2 Grupo Caacupé.....	21
2.5.1.2.1 Formación Paraguari	21

2.5.1.2.2 Formación Cerro Jhu.....	22
2.5.1.2.3 Formación Tobatí	22
2.5.1.3 Grupo Itacurubi	23
2.5.1.3.1 Formación Eusebio Ayala	23
2.5.1.3.2 Formación Vargas Peña	24
2.5.1.3.3 Formación Cariy.....	24
2.5.1.4 Grupo Asunción	24
2.5.1.4.1 Sedimentos de planicie.....	25
2.5.2 Geotectónica.....	25
2.5.3 Geomorfología del área de estudio	25
2.6. Marco Legal	26
2.6.1 Política Nacional de Gestión y Reducción de Riesgos (PNGR).....	27
3. METODOLOGÍA	28
3.1 Características generales del área de estudio	28
3.1.1 Localización del área del Estudio	28
3.1.3 Clima y Vegetación.....	30
3.1.4 Suelo.....	30
3.1.5 Actividades Económicas	31
3.2 Materiales	31
3.3 Métodos.....	31
3.3.1 Trabajo de Gabinete	32
3.3.2 Trabajo de Campo	33
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1.1 Resultados del Análisis Geotécnico. (Resistencia a la Compresión).....	43
4.1.2 Resultados de desgaste por abrasión los ángelos	44
4.1.3. Resultado determinación de densidades.....	45
4.1.3. Resultado determinación de Absorción de agua	46
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1 Conclusiones	49
5.2 Recomendaciones.....	49
6. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	51
ANEXOS	54

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Clasificación de Pendiente.	11
Tabla 2. Principales causas de los movimientos en masa.	17
Tabla 3. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.	19
Tabla 4. Resultado de determinación de resistencia a la compresión.	44
Tabla 5. Resistencia a la compresión simple con módulo.....	44
Tabla 6. Abrasión los ángeles utilizando Referencia: NP N° 193/5.7-1980	45
Tabla 7. Resultado de determinación de densidades.....	46

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Un desprendimiento / deslizamiento de rocas que se produjo en la ladera del Cerro Caacupé, en 2017, cerró tramo de la Ruta PY 02 al tráfico durante varias horas.	4
Figura 2. Fotografía de la década de los 70 de la Ruta PY02 tramo carril de acenso Cerro Caacupé.	5
Figura 3. Esquema de talud de corte y talud de terraplén.	6
Figura 4. Esquema de elementos constitutivos de Talud y Ladera.....	7
Figura 5. Clasificación para los tipos de movimientos gravitacionales según Varnes (1978) modificado por Corominas y Yagüe (1997); Highland y Bobrowsky (2008).14	
Figura 6. Esquema de un desprendimiento de rocas.....	15
Figura 7. Relieve del área de estudio	26
Figura 8. Mapa de Localización del área de estudio, escala 1:50.000.....	29
Figura 9. Mapa de hidrología del área de Estudio	30
Figura 10. Toma de datos en el Cerro Caacupé	33
Figura 11. Perfil de talud en la que se puede observar las capas de arcillas en forma de cuñas de hasta 35cm de espesor y pequeñas capas intercaladas con la arenisca... 35	
Figura 12. Cuñas de arcilla que se encuentran intercaladas con las areniscas de la Fm. Cerro Jhú en el talud del Cerro Caacupé.	35
Figura 13. Fotografía tomada con el <i>drone</i> , vista al carril de descenso del Cerro Caacupé y del talud.	36
Figura 14. Bloque de roca en la cima del talud del Cerro Caacupé.....	36
Figura 15. Vista panorámica del talud del Cerro Caacupé.	37
Figura 16. Areniscas de grano medio a fino localizado a la base del talud del cerro Caacupé correspondiente a la Formación Cerro Jhú.....	37
Figura 17. Arenisca de grano grueso a medio correspondiente a los bloques que se encuentra en la cima del talud.....	37
Figura 18. Relación de tamaño de granos del bloque de arenisca de la cima (superior) y arenisca perteneciente a la base y pendiente del talud (inferior).....	38
Figura 19. Esquema composición del talud correspondiente al margen derecho del carril de descenso del Cerro Caacupé.	38

Figura 20. Anomalías de precipitaciones de los meses de enero a junio del año 2017	39
Figura 21. Dirección de flujo de agua de precipitaciones.....	40
Figura 22. Cobertura vegetal en la cima del Cerro Caacupé	41
Figura 23. Cobertura vegetal en el pie y pendiente del Talud del Cerro Caacupé....	41
Figura 24. Cobertura vegetal al borde del talud del Cerro Caacupé año 2017 y 2020.	41
Figura 25. Diagrama de roseta mostrando la dirección fracturas del talud del cerro Caacupé.	42
Figura 26. Fracturas en la cima del talud	42
Figura 27. Fracturas (líneas rojas) y capa de arcilla (líneas amarillas) en la pendiente del talud.....	43

LISTA DE ANEXOS

	Página
A1. Análisis de abrasión 2017 MOPC	54
A2. Análisis de ensayos INTN.....	57
B1. Decreto N 1402 Gestión y reducción de riesgos (PNGR).....	59
C1. Norma IRAM 1533 Proveído por el INTN	61
D1. Cerro Caacupé 1994	67
D2. Cerro Caacupé 2020	67

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

<i>ASTM</i>	:	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
DGEEC	:	Dirección General de Estadísticas, Encuesta y Censo.
DINAC	:	Dirección Nacional de Aeronáutica Civil.
DISERGEMIL	:	Dirección de Servicio Geográfico Militar.
<i>GPS</i>	:	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamiento Global)
M. S. N. M.	:	Metros sobre el nivel del Mar.
NE	:	Noreste.
NW	:	Noroeste.
MOPC	:	Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones.
<i>USGS</i>	:	<i>United States Geological Survey</i> (Servicio Geológico de los Estados unidos).
kg/cm²	:	Kilogramo por centímetro cuadrado.
kg/m³	:	Kilogramo por metros cubico.
%	:	Porcentaje
IRAM	:	Instituto Argentino de Normalización

1. INTRODUCCIÓN

En las carreteras, es común observar mallas de contención sobre las laderas, así también que a veces se corten los accesos a los caminos debido a lo que se conoce comúnmente como “caída del cerro”. Todos estos eventos están relacionados y se denominan conjuntamente “movimiento en masa”. Estos son procesos de transporte de material de determinado volumen de suelo y/o roca en diversas proporciones, de carácter descendente y que pueden ser detonados por diversos factores (Moreno & Lépez, 2018).

El mismo autor menciona que en todos los casos de movimiento en masa existen factores desencadenantes que detonan el fenómeno. Estos factores en general corresponden a lluvias intensas, sismos, temperatura y tipo de suelo o roca, pero también existen otros factores, por ejemplo, los intensos incendios forestales entre otros.

El Cerro Caacupé objeto de estudio del presente trabajo se encuentra en la compañía Pedrozo del distrito de Ypacaraí perteneciente al departamento Central; la misma cuenta con una elevación de 243 metros.

Teniendo en cuenta las características geológicas y los antecedentes que predominan en el Cerro Caacupé podemos suponer que existe el riesgo de que se vuelva a producir dicho evento, debido a que la misma se encuentra constituida por areniscas muy friables y a su vez están intercaladas con capas de arcilla.

Esta investigación se centra principalmente en la posible situación de susceptibilidad de ocurrencia de fenómeno de moviendo en masa del talud del cerro Caacupé y para la amenaza que representa dicho evento para todos los pobladores y personas que circulen por la zona.

1.1 Planteamiento del Problema

Los fenómenos de movimientos en masa son riesgos geológicos poco frecuentes en nuestro país, pero existen antecedentes por la cual es necesario comprender su alcance y la peligrosidad que estas representan debido a la ubicación.

En el Paraguay existen registros de la ocurrencia de fenómenos de derrumbes; tal es el caso del ocurrido en el Cerro Caacupé en el año 2017, donde toda la ladera del cerro se derrumbó ocasionando caos en el tránsito tal como se menciona en publicaciones del periódico HOY, y otro mas reciente que data del 2019, de menor magnitud ocurrido en la ladera del cerro Ybyturuzu, donde cayeron bloques de rocas de considerado tamaño sobre la ruta según la publicación del periódico ABC Color, las mismas representan un peligro mortal para los automovilistas que día a día transitan por esos lugares.

1.2 Justificación

Los fenómenos de deslizamientos o derrumbes por inestabilidad de taludes son muy frecuentes en todos los países del mundo, dada esta situación y a la existencia de antecedentes de deslizamiento en el área de estudio es de suma importancia realizar una investigación a profundidad de los factores asociados con dicha actividad.

El propósito de este trabajo es determinar la susceptibilidad de fenómenos de movimiento en masa del talud del cerro Caacupé, en vista a que el mismo se encuentra al borde de una de las rutas principales con mayor circulación de automovilistas y ocasionales peatones siendo esta la Ruta PY02 “Mariscal José Félix Estigarribia”, por lo que los transeúntes se encuentran expuestos a la probabilidad de ocurrencia de dicho evento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

- Conocer la susceptibilidad a los fenómenos de movimientos en masa del Cerro Caacupé.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los factores asociados con movimientos en masa en el talud de arenisca constituido para la ruta José Félix Estigarribia de la Compañía Pedrozo, del cerro Caacupé.
- Determinar la incidencia del material constituyente en la susceptibilidad a movimientos en masa del talud del margen derecho del carril de descenso del Cerro Caacupé.

1.4. Hipótesis.

Hi: El Cerro Caacupé cuenta con todas las condiciones de susceptibilidad de ocurrencia de fenómeno de movimiento en masa.

Ho: El Cerro Caacupé no cuenta con todas las condiciones de susceptibilidad de ocurrencia de fenómeno de movimiento en masa.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Según publicaciones del diario Hoy, que data del 20 de abril del 2017, menciona que Informes preliminares del MOPC indican que el cerro socavó y que esto produjo el desprendimiento de una parte importante de las rocas. Se presume que la vibración provocada por el tráfico vehicular también contribuyó al hecho.

El ingeniero Rodolfo Segovia, director de caminos vecinales del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) en dicha publicación explicó que el desmoronamiento del cerro Caacupé fue técnicamente un desprendimiento de las rocas que conforman el núcleo y se debió a la socavación de la base, señaló que las piedras ya no son muy sanas lo cual terminó facilitando que las bases se vayan carcomiendo y desemboquen en el deslizamiento de la estructura.



Figura 1. Un desprendimiento / deslizamiento de rocas que se produjo en la ladera del Cerro Caacupé, en 2017, cerró tramo de la Ruta PY 02 al tráfico durante varias horas.
Fuente: Fotografía del Periódico Hoy

2.1.2 Construcción de la Ruta PY02

La Ruta N° 2 que antes del año 2019 iba de Asunción hasta Coronel Oviedo inició su construcción a través de la Compañía Hebbard durante el gobierno del General Higinio Morínigo. Hasta principios de la década de los '60, el asfalto llegaba hasta el distrito de Eusebio Ayala, en el Departamento de Cordillera. Posteriormente el asfalto llegó hasta Coronel Oviedo (Bejarano, 1963)

El 11 de julio de 2019, el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones dio a conocer la nueva clasificación y recategorización de las rutas nacionales. La última actualización data del año 1962. Desde esa fecha la Ruta 2 pasa a denominarse Ruta PY02, y el tramo Coronel Oviedo-Ciudad del Este (195 km.) también pasa a formar parte de la Ruta PY02 (MOPC, 2019).



Figura 2. Fotografía de la década de los 70 de la Ruta PY02 tramo carril de ascenso Cerro Caacupé.

Fuente: Fotografía extraída del grupo de Facebook Fotos Antiguas de Paraguay.

2.2 Talud o ladera

Tal como postula Poblete (2006) en Toro (2014), un talud o ladera es una masa de tierra, roca o ambos que cuentan con una pendiente, se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y ese perfil no es horizontal. A veces se omite el calificativo de natural porque se da por sobreentendido y talud cuando se conformó artificialmente como por ejemplo un perfil conseguido tras una excavación (talud en desmonte) o terraplenado (talud en terraplén) y que no necesariamente tiene que ser vertical, sino con cierto ángulo con la horizontal ($\leq 90^\circ$), llamado ángulo de talud. Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.

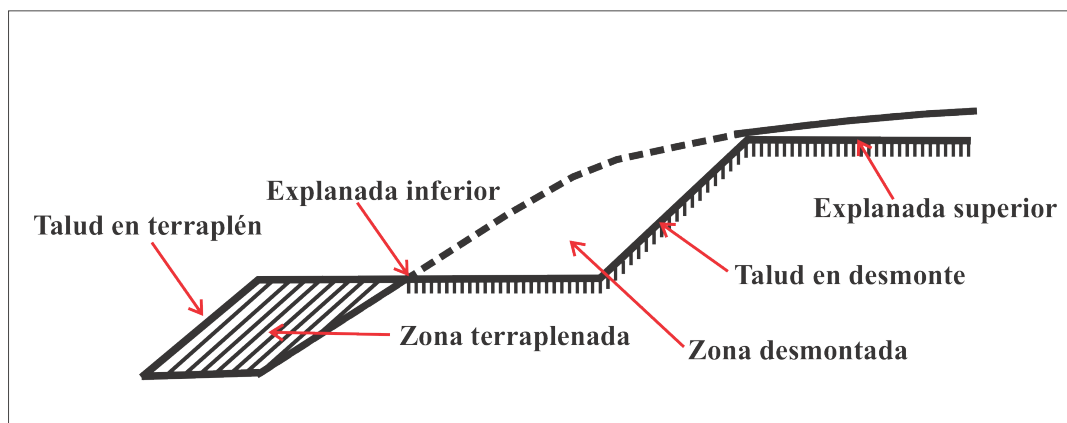


Figura 3. Esquema de talud de corte y talud de terraplén.

Fuente: Modificado de Poblete (2006) en Toro (2014)

2.2.1 Elementos constitutivos de un talud o ladera

Tal como señala Toro (2014), en el talud o ladera se definen los siguientes constitutivos:

- **Altura:** Es la distancia Vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de señalar en laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior del talud o ladera.

- **Cabeza o escarpe:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- **Altura de nivel freático:** Es la distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida. La altura del nivel freático se acostumbra medirla debajo de la cabeza del talud.
- **Pendiente:** Es la medida de inclinación de la superficie del talud o ladera, puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m:1.

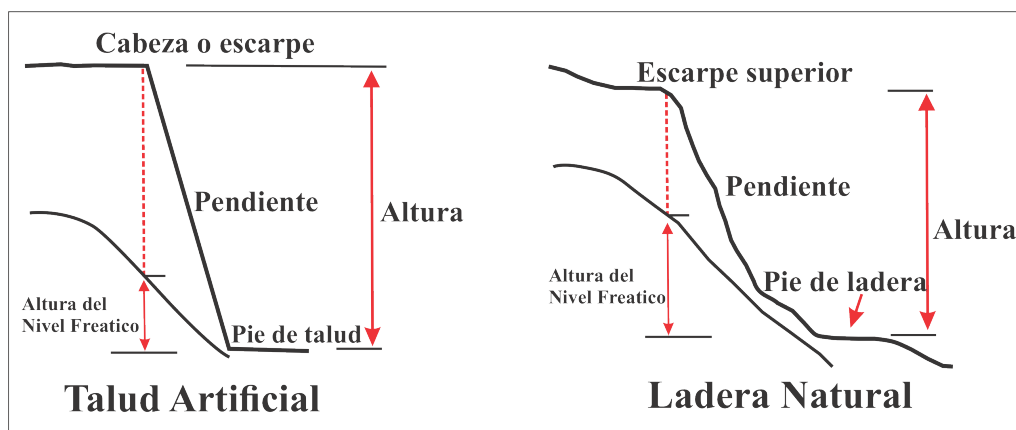


Figura 4. Esquema de elementos constitutivos de Talud y Ladera
Fuente: Modificado de Poblete (2006) en Toro (2014)

2.2.2 Factores que Afectan la estabilidad de los taludes

Tal como postula Suarez (2009) los procesos que ocurren en un talud son generalmente complejos y dependen de gran cantidad de factores, los cuales interactúan entre ellos para definir un comportamiento. A continuación, se presenta una descripción de algunos de los factores fundamentales que afectan la estabilidad de los taludes.

2.2.2.1 Litología o Formación Geológica

Cada litología o formación geológica posee un determinado patrón de comportamiento. Por ejemplo: Un granito y una caliza bajo condiciones similares, desarrollan características diferentes de perfil geotécnico y presentan un comportamiento diferente de los taludes como resultado de las diversas características de los materiales (permeabilidad, potencial de meteorización, erosividad, etc.)

Si el material que conforma el talud es homogéneo, el modelo conceptual es relativamente sencillo y fácil de interpretar; sin embargo, cuando el talud está formado por varios tipos de roca o suelo, el comportamiento geotécnico del conjunto es diferente al de cada material por separado. Este es el caso de los suelos residuales donde el material completamente descompuesto, tiene un comportamiento muy diferente al del material menos descompuesto, el saprolito o la roca.

En los taludes donde aparecen varios materiales diferentes se debe elaborar un modelo que incluya todos los materiales, cada cual con su comportamiento característico, pero al mismo tiempo, se debe analizar el comportamiento conjunto de los diversos materiales. Por ejemplo, un material permeable sobre otro menos permeable, puede generar niveles de agua colgados, los cuales pueden afectar la estabilidad del conjunto de materiales.

Un suelo duro puede fallar al cortante o deslizarse al deformarse un material subyacente menos duro. Generalmente, en una formación geológica se encuentran varios tipos de material y varios patrones de estructura, los cuales conjuntamente, determinan las características de los deslizamientos.

Generalmente, cada formación geológica tiene unos patrones típicos que se repiten en los diferentes taludes.

2.2.2.3 Estructura Geológica

Es común que los deslizamientos ocurran a lo largo de las superficies de debilidad existentes en el suelo o la roca. A estas superficies de debilidad se las conoce como la “estructura geológica” la cual está conformada por las discontinuidades, fracturas, planos de estratificación o superficies de debilidad del macizo o talud. Los elementos de estructura geológica que más comúnmente afectan los deslizamientos son:

2.2.2.3.1 Planos de estratificación.

Corresponden a los planos de cambio de litología del material, propios de las rocas sedimentarias. Estos planos son muy importantes para la ocurrencia de deslizamientos, especialmente cuando el cambio de estratificación es brusco. Por ejemplo, capas de arenisca (duras) sobre capas de arcillas (blandas).

2.2.2.3.2 Planos de foliación o esquistosidad.

Son planos de microestructura comunes en las rocas metamórficas. Estos planos representan superficies de debilidad para la ocurrencia de deslizamientos en los esquistos; y por esta razón, los esquistos son muy susceptibles a los deslizamientos.

2.2.2.3.3 Fracturas.

Son planos de separación o rotura, los cuales se encuentran presentes en la mayoría de formaciones rocosas. La fracturación está relacionada con los procesos tectónicos y otros factores propios de la evolución de la corteza terrestre. Estas fracturas son muy importantes cuando se encuentran abiertas o rellenas con materiales de baja resistencia.

2.2.2.3.4 Tectónica y Fracturación

La tectónica produce dos efectos: fallamiento y fracturación. Las discontinuidades juegan un papel importante en el deslizamiento de los materiales residuales. Si se encuentran abiertas actúan como conductores de agua y activadores de presiones de poro. El agua, al hacerse presente dentro de la junta, produce meteorización de sus paredes, debilitándolas. Adicionalmente, se depositan materiales blandos dentro de la junta.

2.2.2.5 Estado de Meteorización

En los ambientes tropicales dominados por altas las temperaturas y cambiantes y por lluvias abundantes, la meteorización de los materiales es muy fuerte y se caracteriza por la descomposición rápida de feldespatos y minerales

ferromagnesianos, la concentración de óxidos de hierro y aluminio y la remoción de sílice y de las bases de $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$ y MgO (Gidigasú, 1972). Los feldespatos se meteorizan inicialmente, a caolinita, óxidos de hierro y óxidos de aluminio pero los compuestos más resistentes como las partículas de mica y cuarzo, permanecen intactos.

→A medida que el proceso de meteorización continúa, los contenidos de caolinita disminuyen y se alteran los demás compuestos a Fe_2O_3 y Al_2O_3 . Existen investigaciones que demuestran la disminución de los contenidos de caolinita, con el aumento del promedio anual de lluvias (Lohnes y Demirel, 1973).

Entre los factores que se deben tener en cuenta para el análisis de los procesos en los taludes, están la profundidad de la meteorización, la intensidad y el tipo de meteorización. Por ejemplo, se debe analizar si la meteorización termina en arcillas, arenas o limos. La meteorización afecta la susceptibilidad a los deslizamientos, al disminuir la resistencia al cortante o al cementar las partículas con óxidos o silicatos.

2.2.2.6 Pendiente y Relieve

Al aumentar la pendiente, generalmente se aumentan las fuerzas que tratan de desestabilizar el talud y disminuyen los factores de seguridad al deslizamiento. Los taludes de alta pendiente son muy susceptibles a la ocurrencia de inclinaciones, caídas y flujos de residuos. Además de la pendiente, es muy importante la curvatura de la superficie.

Todos los movimientos que se efectúan sobre una vertiente son más o menos en función de su inclinación, según Jaque (1995) y Araya (2002) para conocer a qué niveles de pendiente se pueden producir fenómenos, es necesario hablar de una pendiente crítica o umbral de pendiente.

Tabla 1. Clasificación de Pendiente.

Pendiente en Grados:	Pendiente en %:	Conceptos:	Umbral Geomorfológico:
0 - 2	0 - 4,5	Horizontal.	Erosión nula a Leve.
2 - 5	4,5 - 11,0	Suave.	Erosión Débil, difusa. Sheet wash. Inicio de regueras. Soliflucción fría.
5 - 10	11,0 – 22,0	Moderada.	Erosión moderada a fuerte. Inicio de erosión lineal. Rill wash o desarrollo de regueras. Presencia de flujo atenuado. Deslizamientos (7° en margas).
10 - 20	22,0 – 44,5	Fuerte.	Erosión intensa. Erosión lineal frecuente. Cárcavas incipientes. Deslizamientos (15° en arcillas).
20 - 30	44,5 - 67	Muy Fuerte a moderadamente Escarpada.	Cárcavas Frecuentes. Movimientos en masa. Reptación > a 25° flujos, deslizamientos (20° en arenas).
30 - 45	67,0 - 100	Escarpada.	Coluvionamiento. Soliflucción intensa. Inicio de derrubiación.
+ de 45	+ de 100	Muy Escarpada a Acantilada.	Desprendimientos y derrumbes. Corredores de derrubios frecuentes.

Fuente: Araya Vergara & Börgel (1972), Joung (1975), Pedraza (1996) y Jaque (1995) en Elmes (2006)

2.2.2.7 Clima y Hidrología

El clima y en especial la precipitación juegan un papel determinante en la estabilidad de los taludes. La presencia o ausencia de agua y temperatura, definen las condiciones para los procesos de meteorización física y química. De igual manera, las

variaciones en el clima afectan los procesos. Los taludes bajo diferentes condiciones climáticas forman perfiles diferentes que se comportan de forma diferente. Las fuerzas que actúan dentro de un talud cambian al modificarse las condiciones ambientales. Por ejemplo, las anomalías climáticas permiten la ocurrencia de lluvias excepcionales en zonas semiáridas que generan problemas acelerados de deslizamientos y avalanchas. Las precipitaciones pueden ser de tipo convectivo estas son muy fuertes pero de corta duración y afectan principalmente, a los taludes de materiales permeables de alta capacidad de infiltración y de poco espesor de suelo, también pueden ser de tipo estratiforme las cuales producen lluvias menos intensas pero generalmente, de mayor duración que las convectivas ya que afectan fácilmente los taludes de materiales arcillosos y los de perfil profundo de meteorización Suárez, J. (2009).

2.2.2.8 Cobertura Vegetal

Según Suárez (2009) la vegetación cumple efectos protectores importantes, en la mayoría de los taludes protege contra la erosión y afecta los procesos de evapotranspiración e infiltración de agua. Las condiciones hidrológicas de un talud son afectadas directamente por la vegetación. La vegetación también cumple un efecto de estabilización por el refuerzo del suelo (la acción de las raíces) y por la producción de materia orgánica, la cual puede ayudar a cementar las partículas del suelo. En general, todo el proceso ecológico (flora, fauna, microfauna, uso del suelo, etc.) debe considerarse como un modelo conceptual por su influencia sobre el comportamiento del talud.

2.2.2.9 Efecto Antrópico

El hombre induce cambios en el medio ambiente de un talud pues las actividades humanas tienen una gran influencia sobre su comportamiento y especialmente, sobre la activación de los deslizamientos. Las actividades antrópicas como el uso de la tierra, las prácticas de agricultura, la construcción de carreteras y la irrigación, entre otras, son factores determinantes en la ocurrencia de deslizamientos Suárez, J. (2009).

2.3. Movimientos en masa

Tal como se menciona en la revista Obras urbanas (2017), el movimiento en masa de diferentes materiales ya sea de tierra y/o fragmentos rocosos, se produce debido a la atracción de la gravedad, o el hundimiento rápido o gradual de la superficie terrestre del suelo en una dirección predominantemente vertical, actualmente el término movimiento de masas incluye procesos de pérdida de masa y hundimiento de áreas confinadas de la superficie terrestre.

2.3.1 Tipos de movimientos de masa

Según la literatura descrita por Cruden & Varnes, (1996) existen diversos tipos de movimientos de masa; cada uno de ellos se establece teniendo en cuenta la posible velocidad del movimiento, el volumen probable del desplazamiento, la distancia a la que terminará y el tipo de material en cuestión.













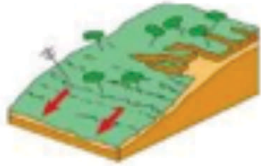
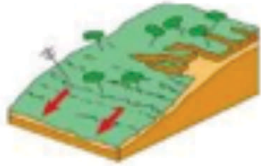
TIPO DE MOVIMIENTO	VARIANTES	ROCAS	SUELOS
Caidas	Desprendimientos		
	Vuelcos		
Deslizamientos	Rotacionales		
	Traslacionales		
Expansión lateral			
Flujos	Corriente de derrubios		
	Colada fangosa		
	Reptación		
Complejos		Combinación de dos o más tipos de movimientos	

Figura 5. Clasificación para los tipos de movimientos gravitacionales según Varnes (1978) modificado por Corominas y Yagüe (1997); Highland y Bobrowsky (2008).

Fuente: Recuperado de <https://geobookgeologia.wordpress.com>

2.3.1.1 Caídas

Teniendo como base el trabajo de Highland *et al* (2008), una caída comienza con un desprendimiento de suelo o roca, o ambos, en una pendiente pronunciada o acantilado, la separación ocurre a lo largo de discontinuidades tales como fracturas, estratificaciones, planos de debilidad y el movimiento ocurre por caída libre, rebote o balanceo. Las caídas están fuertemente influenciadas por la gravedad, la meteorización mecánica y la presencia de agua intersticial. Las variantes de las caídas son los desprendimientos de rocas, los cuales se refieren a movimientos descendientes bruscos de roca, tierra o ambos, que se desprenden de laderas empinadas o acantilados. El material que cae suele golpear el talud inferior en un ángulo menor que el ángulo de caída, lo que hace que rebote. La masa que cae se puede romper en el impacto, puede empezar a rodar en las pendientes más pronunciadas, y puede continuar hasta que el terreno se aplana (Highland & Bobrowsky, 2008). La segunda variante son los vuelcos que hace referencia a la rotación de una masa de material (ya sea roca o suelo) hacia el exterior de una ladera, la rotación ocurre alrededor de un eje localizado por debajo del centro de gravedad de la masa desplazada. La inestabilidad de la ladera se genera principalmente por efectos de la gravedad ejercida por el material ladera arriba de la masa desplazada, por la fuerza ejercida de los fluidos presentes en grietas o por el terreno adyacente (Tapasco, Galvis & Franco, 2019).

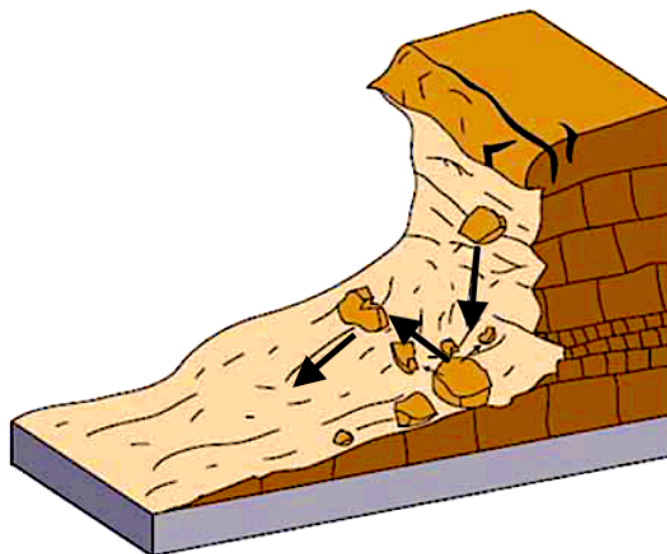


Figura 3. Esquema de un desprendimiento de rocas
Fuente: Modificado de Cruden & Varnes 1996).

2.3.1.2 Deslizamientos

Según Highland & Bobrowsky (2008) es un movimiento descendente de roca o suelo, o ambos, que ocurre en la superficie de ruptura, la misma puede ser curva (deslizamientos rotacionales) o plana (deslizamientos traslacionales), tal como menciona Cruden & Varnes (1996), en el caso del deslizamiento rotacional son movimientos a lo largo de una superficie de rotura curvilínea y con la concavidad hacia arriba. El terreno experimenta un giro, según un eje imaginario situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada. Si la superficie de rotura es circular o cicloidal en perfil, la cinemática determina que la masa desplazada se mueva sin apenas deformación interna; en el caso de los deslizamientos traslacionales el mecanismo que inicia el movimiento es una rotura por cizalla, que se produce a lo largo de una o más superficies planas o muy poco onduladas. La trayectoria que describe el movimiento es eminentemente rectilínea.

2.3.1.3 Propagación o expansión lateral

Según Vargas Cuervo (2000), la expansión lateral se refiere a desplazamientos de terreno (rocas, suelos, detritos) en sentido lateral o casi horizontal, en donde subyacen masas rocosas fracturadas y materiales de composición arcillosa. Los mismos se relacionan con los fenómenos de licuación o movimientos plásticos de los materiales por la actividad sísmica. En general estos tipos de movimientos en masa, son lentos, de características complejas y de difícil apreciación sobre el terreno.

2.3.1.4 Flujos

Son movimientos relativos de material litológico de textura fina y gruesa que se desplazan a lo largo de una superficie de falla bien definida, generalmente de orden planar, la cual sigue una discontinuidad formada por un cambio litológico (contacto suelo - roca), una estructura geológica (plano de estratificación), una característica geotécnica (contacto roca fresca - roca meteorizada), etc. Aunque comúnmente los flujos están caracterizados como movimientos rápidos y compuestos por lodos, también pueden ser lentos, compuestos por rocas y suelos no saturados. En general,

estos movimientos se caracterizan por la forma alargada y estrecha del contorno del mismo. Se diferencian de los deslizamientos por su morfología de conjunto en lámina sobre una pendiente o por el encauzamiento sobre un drenaje o cauce.

2.3.1.5 Complejos

En base al planteamiento de Vargas Cuervo (2000), cuando se presentan diferentes tipos de mecanismos de ruptura o de falla y la combinación de dos o más movimientos en masa, estamos ante un movimiento complejo en masa.

2.3.2 Principales causas de los movimientos en masa

De acuerdo con Vargas Cuervo (2000) en la formación y detonación de un movimiento en masa intervienen conjuntamente varios factores. Terzaghi (1950) y Brunsden (1979), establecen dos categorías: factores internos y externos.

Tabla 2. Principales causas de los movimientos en masa.

Factores	Agente detonante	Efecto
Externos	Cortes del terreno	Cambios de la morfología del terreno por cortes no tecnificados.
	Efectos Climáticos	Precipitaciones, cambios bruscos de temperatura, vientos huracanados, etc.
	Sobrecarga	Obras civiles, tránsito vehicular, descarga de material, etc.
	Choques y vibraciones	Explosiones a cielo abierto o subterráneas por explosivos, impactos de meteoritos, etc.

Internos	Características texturales y mineralógicas de los materiales	Las rocas o suelos presentan diferentes grados de estabilidad debido a estas propiedades, las cuales favorecen o reducen la resistencia al corte.
	Grado de alteración y meteorización	Entre más alterado o meteorizado se presente un material litológico, más susceptible es para originar fenómenos de remoción en masa.
	Grado de fracturamiento	Entre más fracturado se encuentre un material litológico, más susceptibles a desarrollar movimientos en masa.
	Aumento en la presión de poros	Puede producir la saturación del material litológico y originar movimientos en masa. El aumento de la presión de poros puede ser consecuencia de las lluvias o del incremento del nivel freático.

Fuente: Elaboración a partir de Vargas Cuervo, (2000)

2.4.1.2 Susceptibilidad

La Susceptibilidad es definida como una medida cualitativa o cuantitativa de la magnitud y distribución espacial de un fenómeno que sea existente o potencial en un área determinada. La determinación de la misma se basa en el análisis y evaluación de factores intrínsecos, los cuales son responsables de la manera en la cual se materializan dichos fenómenos. En el caso de los movimientos en masa, los factores intrínsecos, corresponden a las condiciones geográficas, geológicas y ambientales, entre otras (SGC, 2013 en Ospina, 2018). Entonces, la susceptibilidad esta referida a la mayor o menor predisposición de la ocurrencia de un evento sobre un determinado espacio geográfico.

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 a 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 en García (2018)

2.4.3 Mitigación de los peligros de movimientos de masa

En regiones del mundo con pendientes escarpadas de rocas y acantilados es común los movimientos de masa. Éstas suelen ser regiones montañosas o mesetas, ya sea en las zonas costeras o entre rocas aisladas. Los movimientos de masa causan numerosas pérdidas, sobre todo al obstaculizar el transporte y el comercio debido al

bloqueo de las carreteras y las vías navegables, en casos más extremos puede incluso acabar en pérdidas humanas, al producirse víctimas directas de las caídas de rocas. Muchas comunidades colocan avisos de peligro alrededor de zonas donde hay un elevado riesgo de movimientos de masa. Algunos métodos de mitigación del riesgo incluyen zanjas de captación, bancos, raspado y corte, cable y malla, concreto lanzado, anclas, pernos, pasadores y explosiones controladas (Highland & Bobrowsky, 2008).

2.4.3.1 Medidas correctivas

Se pueden utilizar cortinas de rocas u otras cubiertas de las laderas, cubiertas de protección sobre los caminos, muros de contención que impidan la rodadura o el rebote, la voladura con explosivos de las zonas de peligro para eliminar la fuente, la remoción de rocas u otros materiales de las carreteras y los ferrocarriles. Los pernos de roca u otros tipos similares de anclaje utilizados para estabilizar los acantilados, así como el raspado, pueden disminuir el riesgo. (Highland & Bobrowsky, 2008).

2.5 Geología Regional

El área de trabajo se encuentra al norte del Cratón del Río Tebicuary, constituida por rocas antiguas metamórficas de edad precámbrica inferior y hasta más antigua, que afloran desde San Juan Bautista hasta Villa Florida (Cubas et al. 1998). Discordantemente sobrepuesta a las rocas del Complejo del Río Tebicuary se encuentran los metasedimentos del Grupo Paso Pindo, probablemente de edad Proterozoico Medio. Las unidades anteriormente mencionadas son intruidas y cubiertas por rocas magmáticas ácidas de la Suite Magmática Caapucú, de edad Eocámbrico (Bitschene & Lippolt 1986), Cubas *et al.* (1998).

La unidad sedimentaria paleozoica se halla constituida por una secuencia clástica, depositadas en ambiente fluvial costero a marino. La depositación de estos sedimentos se inicia a partir del Ordovícico Superior al Silúrico inferior (Proyecto PAR 83/005 (1986)).

2.5.1 Estratigrafía

2.5.1.1 Suite Magmática Caapucú

La Suite Magmática Caapucú se caracteriza por un conjunto de rocas ígneas ácidas intrusivas y efusivas de edad Eocámbrico-Cámbrico. Los afloramientos más representativos de la Suite, se hallan localizados en la ciudad de San Bernardino y Pirayu, en donde granitos de color gris a rosado de textura porfirítica (San Bernardino) y riolita de color generalmente oscuro, de textura afanítica (Pirayu), se encuentran en contactos discordantes con rocas del Grupo Caacupé (Dionisi, 1999).

2.5.1.2 Grupo Caacupé

El Grupo Caacupé aflora al NE de Asunción, en la Cordillera de los Altos, desde el valle de Ypacaraí hasta la ciudad homónima. Al sur de Asunción existe una extensa faja de afloramiento, desde Roque González de Santa Cruz hasta Quiindy, Quyquyhó y Mbuyapey. El grupo está dividido en tres formaciones: Fm. Paraguari, Fm. Cerro Jhú y Fm. Tobatí y su deposición empieza probablemente en el Ordovícico Superior (Proyecto PAR 83/005 (1986)).

2.5.1.2.1 Formación Paraguari

La Formación Paraguari constituye la secuencia basal del Grupo Caacupé y está distribuido por todo el borde de la cuenca Silúrica. El afloramiento más representativo se encuentra en la base de la Cordillera de los Altos, en las proximidades de la ciudad de Paraguari, y en la región adyacente al valle de Ypacaraí. Está constituido por sedimentos de grano grueso y capas conglomeráticas que pasan gradualmente a areniscas arcósicas. Estas areniscas presentan estratificaciones cruzadas y plano paralelas con pequeñas intercalaciones de lutitas. La unidad no supera los 20 metros de espesor. El contacto inferior, con rocas del basamento Precámbrico, es por discordancia angular (Proyecto PAR 83/005 (1986)).

El ambiente deposicional de estos sedimentos, se le atribuye un régimen fluvial del tipo entrelazado (“braided rivers”) en sitio deposicional con fuerte control tectónico (Proyecto PAR 83/005 (1986)).

2.5.1.2.2 Formación Cerro Jhu

La Formación Cerro Jhu se halla constituida esencialmente de areniscas feldespáticas, homogéneas de colores claros, de granos redondeados y escaso cemento, localmente se hallan intercaladas con lutitas y siltitas. La secuencia de estratos cruzados que muestran en su inicio tiene una granulometría más gruesa con una disminución en dirección al techo y al contacto con otras secuencias. Hay flujos fluviales con decrecimiento de energía, que producen en cada capa una disminución de granulometría hacia la parte superior (Proyecto PAR 83/005 (1986)).

En su contacto basal la Formación muestra areniscas de grano grueso, en las secuencias de estratos cruzados con 4 metros de ancho y 1 a 1,5 metros de espesor.

La parte basal, en contacto transicional con los conglomerados de la Formación Paraguairí, indican aún una fuerte influencia fluvial que va cambiando a un ambiente marino litoral, que se demuestra por la fábrica grano/grano (“*winnowing*”) que confiere a estas areniscas su aspecto “sacaroides” (Proyecto PAR 83/005 (1986)).

2.5.1.2.3 Formación Tobatí

La Formación Tobatí está constituida por areniscas friables, llamado por esa razón “sacaroidal”, a veces un poco carbonáticas, en forma de capas aparentemente macizas. En detalle presenta estratificación en láminas, frecuentemente parte de las estratificaciones cruzadas son de gran tamaño y con ángulo bajo como puede observarse en las proximidades de la ciudad de Tobatí. Las areniscas presentan granulación bien seleccionadas, pero poco redondeadas. Según Degraff (1982), la formación posee un espesor de 200-250 m al E del Valle de Ypacaraí y un mínimo de 80 m al W de la misma depresión (Proyecto PAR 83/005 (1986)).

En los afloramientos estas areniscas presentan fuerte silicificación, lo que causa resistencia a la erosión. La infiltración del agua superficial pasa por la fractura permitiendo la separación de bloques y la formación de escarpas. Otro aspecto muy característico de la alteración de estas areniscas es la presencia de placas en forma de

escamas, lo que confiere un aspecto rugoso a los afloramientos (Proyecto PAR 83/005 (1986)).

El contacto basal es concordante y transicional con la Formación Cerro Jhú y lo mismo pasa en su contacto superior con la Formación Eusebio Ayala, del Grupo Itacurubí.

El ambiente deposicional atribuido a esta formación es marino somero.

El contacto transicional con la Formación Eusebio Ayala, con amplio contenido fosilífero marino, constituye una prueba de su ambiente deposicional y también de su edad (Llandoveryano) (Proyecto PAR 83/005 (1986)).

2.5.1.3 Grupo Itacurubi

El Grupo Itacurubi aflora en una faja de dirección NW-SE paralela a la orientación de los afloramientos del Grupo Caacupé. Se encuentra dividido en tres formaciones: Fm. Eusebio Ayala, Fm. Vargas Peña y Fm. Cariy.

2.5.1.3.1 Formación Eusebio Ayala

La formación Eusebio Ayala se encuentra constituida por areniscas en capas de 10 a 15 cm de espesor y lutitas en alteración rítmica. Estas areniscas presentan granulometría fina, frecuentemente micáceas. Las capas de lutitas están constituidas por una mezcla entre limo y arcilla en proporción variada. Las capas de areniscas próximo al contacto basal con la formación Tobatí, debido al carácter transicional del contacto, presentan aspectos “sacaroides”. El contacto superior con la Formación Vargas Peña es igualmente transicional. Esta unidad posee 200 m de espesor (Proyecto PAR 83/005 (1986)).

La abundancia de micas en las areniscas de grano fino, la alternancia rítmica con las capas de lutitas, los fósiles marinos y la presencia de facies fluviales intercaladas, atribuyen a esta unidad un ambiente de posicional marino cerca de la línea de costa, en bahías o golfos.

2.5.1.3.2 Formación Vargas Peña

La formación Vargas Peña presenta pobre y escasos afloramientos. Teniendo como localidad tipo la cantera de Vargas Peña, cerca la ciudad de Itauguá, al W del valle de Ypacaraí, esta formación se caracteriza por presentar lutitas micáceas blancas a veces teñidas de amarillo, pardo y rojo. El máximo espesor de esta formación es de 80 m al W del valle de Ypacaraí, esta formación posee una gran cantidad de fósiles marinos. El contacto inferior es transicional con la Formación Eusebio Ayala y el superior al igual con la Formación Cariy (Proyecto PAR 83/005 (1986).

La asociación de graptolites y trilobites atribuye a esta formación un origen en ambiente marino somero, próximo a la orilla del mar, con lagunas, barras de arena y sedimentación costera (Alvarenga, 1985) en (Proyecto PAR 83/005 (1986).

2.5.1.3.3 Formación Cariy

La formación Cariy se encuentra constituida por areniscas cuarzosas y feldespáticas de grano fino a medio, en capas macizas con estratificación cruzada e intercalaciones de lutitas y areniscas micáceas de grano fino. Su contacto inferior es transicional con la Formación Vargas Peña y el superior esta presumiblemente en discordancia erosional con las capas sedimentarias de edad carboníferas. El espesor máximo de esta unidad es de 100m al E de la depresión de Ypacaraí y 180 m al W. Posee abundantes fósiles marinos del Silúrico Inferior (Proyecto PAR 83/005 (1986).

La asociación fosilífera, presente en esta secuencia sugiere un ambiente marino somero, nerítico proximal a la orilla del mar, en ensenadas y golfos, con fuerte influencia continental (Proyecto PAR 83/005 (1986).

2.5.1.4 Grupo Asunción

La depositación de los sedimentos del Grupo Asunción es caótica, caracterizada por la presencia de depósitos de taludes de monte, abanicos aluviales, arenas fluviales y hasta eólicas, presenta sedimentación mal seleccionada en la base, inmadura, debido a la rápida subsidencia de la estructura y el abrupto paisaje diseñando

para el mismo. Las litologías dominantes de este grupo son fanglomerados, conglomerados y areniscas conglomerádicas y areniscas (Dionisi, 1999).

2.5.1.4.1 Sedimentos de planicie

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

Las Planicies y las cuencas más significativas son formadas por los ríos y arroyos que riegan la zona y la del lago Ypacaraí. El espesor de estos sedimentos va de centímetros a aproximadamente 10m (Dionisi, 1999).

2.5.2 Geotectónica

La estructura tectónica de mayor destaque en el área es el Rift de Asunción, el cual es una fosa tectónica en el Oeste de la Región Oriental del Paraguay, en algunas zonas de este posee un relleno aproximado de hasta 300 m de sedimento, con un ancho que varía de entre 25 a 50 kilómetros, es una estructura dominante del tipo Rifting, el cual se encuentra ligado a vectores extensionales con dirección NW-SE y se caracteriza por anomalías gravitacionales en las cercanías de Asunción. El graben casi simétrico el cual se encuentra delimitado por grandes fallas a lo largo de cada uno de sus márgenes, se puede subdividir en tres segmentos principales Ypacarai NW-SE, Sapucaí W-E, Guaira NW-SE (Comin- Chiaramonti, 2013).

Este aspecto de tectónica local puede ser el responsable de que los bloques del Ordovícico-Silúrico esté levantado en una faja continua de la misma dirección NW-SE del Rift de Asunción.

2.5.3 Geomorfología del área de estudio

La serranía de los Altos sirve de límite con los departamentos Central y Paraguarí, desde el lago Ypacaraí en toda la extensión oeste del departamento. Los

cerros más conocidos son Caacupé, Atyrá y Altos, encontrándose también otros menores como Aguary, Porarú, Aguaity.

En la figura 6 se puede observar el relieve correspondiente al área de estudio.

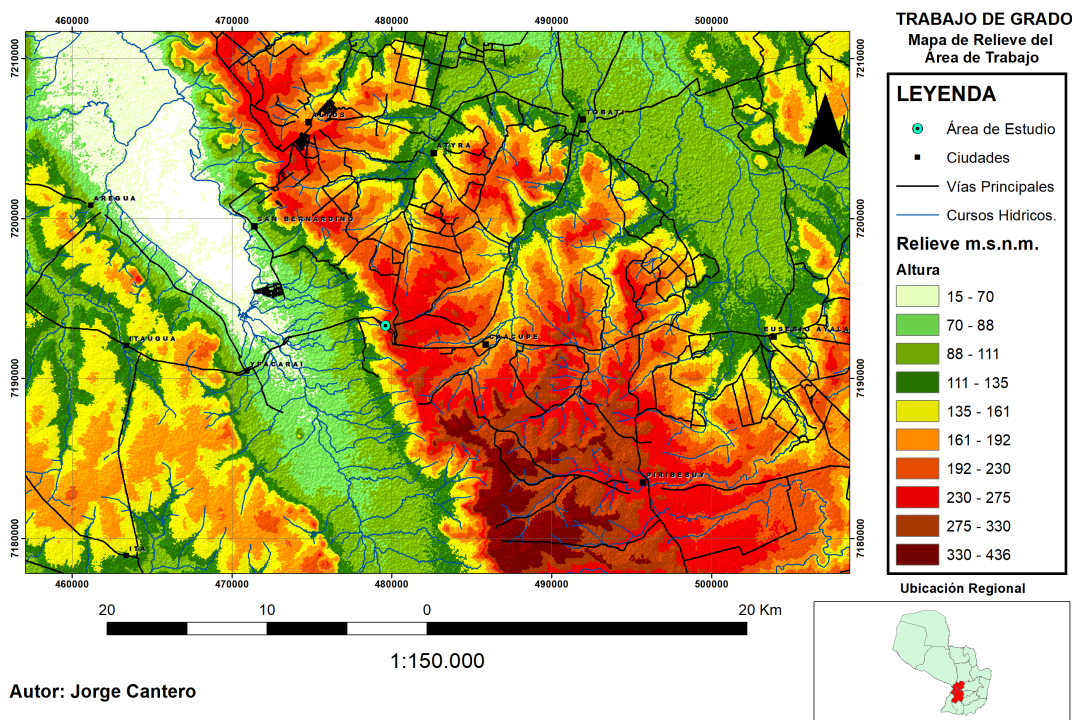


Figura 7. Relieve del área de estudio

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Marco Legal

El organismo competente a nivel nacional encargado de la gestión y reducción de riesgos, en el marco del desarrollo sostenible y ambiental de nuestro país es la Secretaría de Emergencia Nacional (SEN) la cual tiene como misión gestionar y reducir íntegramente los riesgos de desastres en el Paraguay, mediante el diseño y la ejecución de políticas, planes, programas y proyectos sumando a instituciones públicas, privadas, gobiernos subnacionales y comunidades, las organizaciones y la sociedad en general, a través la educación, comunicación, participación ciudadana, gestión del conocimiento y tecnología, en articulación con países, socios humanitarios y plataformas nacionales y regionales en el marco del desarrollo sostenible, con profesionalidad, transparencia y rendición de cuentas (SEN, s/f).

2.6.1 Política Nacional de Gestión y Reducción de Riesgos (PNGR)

El 28 de septiembre del 2010 se conformo la Plataforma Nacional de Reducción de Riesgo a Desastres en seguimiento a las prioridades de acción del Marco de Acción de Hyogo (MAH), teniendo el liderazgo la SEN, con el apoyo de la Estrategia internacional de reducción de desastre (EIRD) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) a través del Decreto N° 5243/10.

El Marco de Acción de Hyogo (MAH) es el instrumento global de referencia para la implementación de la reducción del riesgo de desastres y que ha sido adoptado por 168 Estados miembros de las Naciones Unidas en la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres que se celebró en Kobe, Hyogo, Japón, del 18 al 22 de enero de 2005.

3. METODOLOGÍA

3.1 Características generales del área de estudio

Breve descripción de las características más resaltantes del área de estudio. Tales como la localización del área de investigación, hidrografía, clima y vegetación, suelo y actividades económicas.

3.1.1 Localización del área del Estudio

El Departamento Central está ubicado en el área centro-occidental de la región Oriental, y su posición geográfica está dada por los paralelos 25° 07' y 26° 00' de latitud sur y los meridianos 57° 45' y 57° 10' de longitud oeste. Al norte limita con Presidente Hayes, separado por el río Paraguay, al noreste con Cordillera, al este con Paraguarí, y al sur con Ñeembucú; al oeste el río Paraguay lo aparta de la República Argentina (Atlas Censal del Paraguay, 2002).

El Cerro Caacupé ubicado sobre la Ruta PY 02, a la altura del kilómetro 47, se encuentra en la compañía Pedrozo del distrito de Ypacarai perteneciente al departamento Central.

El área de estudio se localiza al margen superior derecho de la compañía Pedrozo limitando con el Barrio Jhugua Jhu ambos perteneciente al distrito de Ypacarai (Figura 10.).

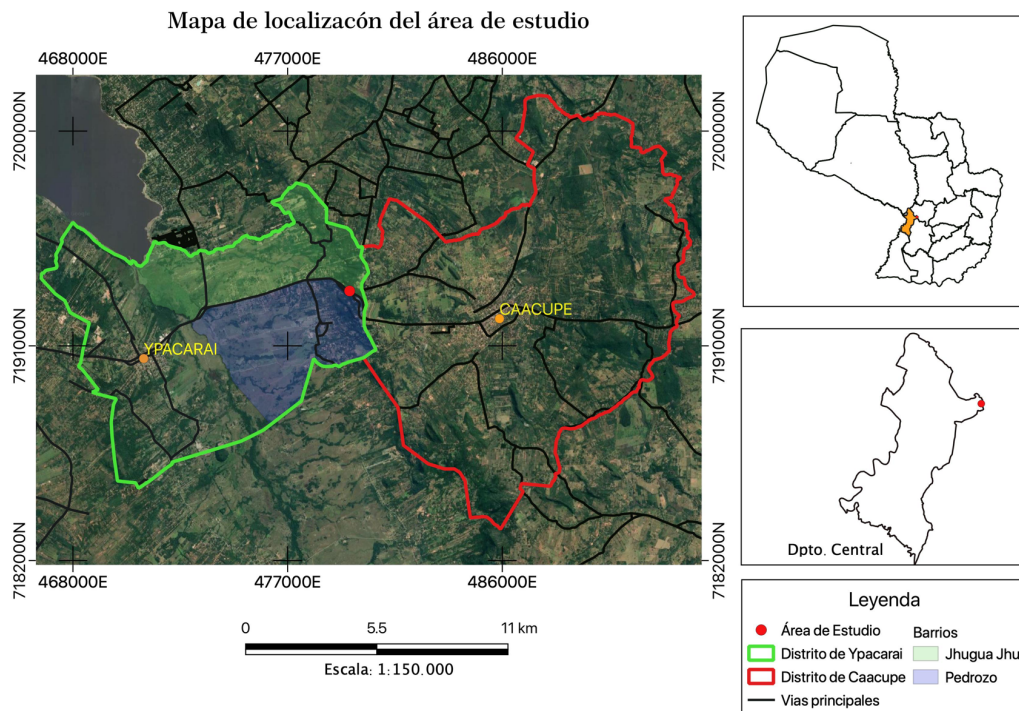


Figura 8. Mapa de Localización del área de estudio, escala 1:50.000
Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Hidrografía

El principal curso de agua es el río Paraguay, y son afluentes que riegan la zona el río Salado, el lago Ypacaraí, y los arroyos Itay, Ytororó, Avay y Paray. Se ubican también en este departamento el lago Ypoá y la laguna Cabral. Vierten sus aguas en el lago Ypacaraí el arroyo Yuquyry, el Caañabé y sus afluentes. Los arroyos Yyquyty y el Ñanduá confluyen en los esteros del Ypoá (Atlas Censal del Paraguay, 2002).

Mapa de Hidrología del Área de Estudio

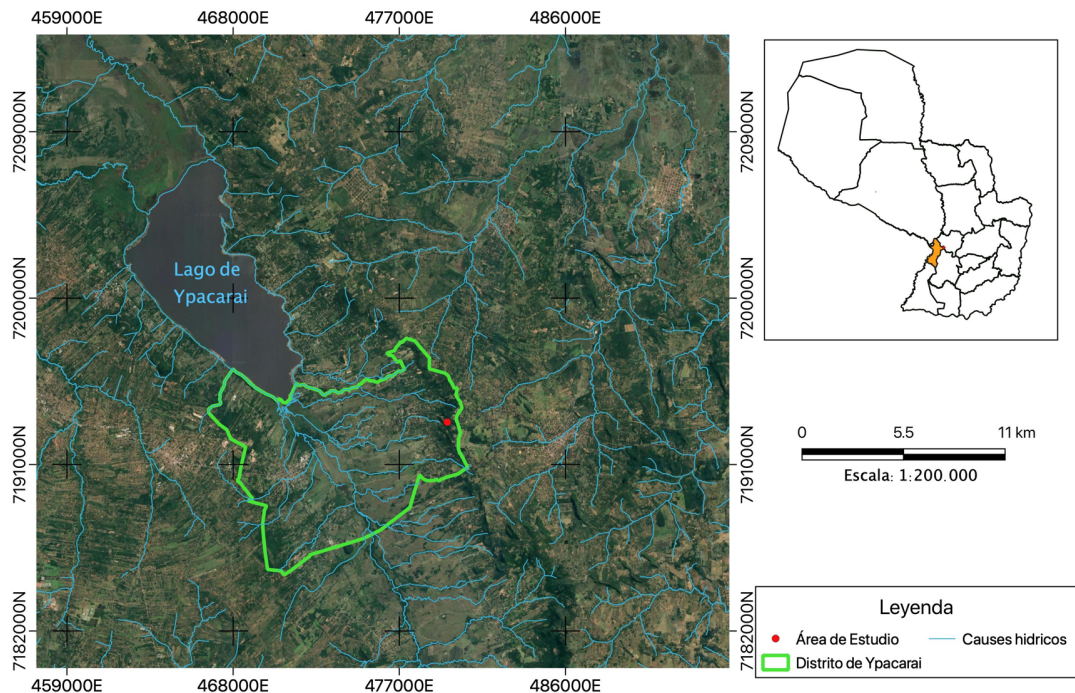


Figura 9. Mapa de hidrología del área de Estudio

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Clima y Vegetación

El clima de la región es subtropical húmedo, con temperatura media anual del aire de 28°C y precipitación media anual de 1.800 mm, siendo los meses de octubre a mayo el periodo de mayor precipitación pluvial, según datos del Boletín Climatológico de la Dirección de Aeronáutica Civil y la Dirección de Meteorología e hidráulica (Dionisi, 1999).

Las zonas elevadas desarrollan una vegetación arbórea a arbustiva, en partes se presenta como densos bosques, especialmente cerca de los cursos de agua, desarrollando una vegetación en galería (Dionisi, 1999).

3.1.4 Suelo

En relación al suelo en el área se pueden distinguir 2 zonas, diferenciadas por sus caracteres morfológicos, la primera al NE, donde alternan topografías planas con numerosos esteros, los cuales son en general aptos para la ganadería y la segunda

zona se extiende a lo largo de la Cordillera de los Altos, presentando un terreno ondulado apropiado para la agricultura. (Dionisi, 1999)

3.1.5 Actividades Económicas

Según el Atlas Censal del Paraguay (2002), la Población Económicamente Activa (PEA), compuesta por 567.420 personas, ha mantenido su ritmo de crecimiento en las últimas décadas. La composición de la PEA por sectores económicos revela la preponderancia del terciario (comercio y servicios), que absorbe al 67% de la mano de obra del departamento Central. En cuanto a producción agrícola, la caña de azúcar se destaca en el departamento. Por otro lado, se puede percibir en la evolución de los cultivos el desplazamiento de la actividad agrícola ante el avance de la urbanización y la explotación fruti-hortícola. El Departamento Central, a pesar de no ser un departamento ganadero, tiene algunas producciones pecuarias, principalmente vacunas y porcinas (Atlas Censal del Paraguay, 2002).

3.2 Materiales

En esta investigación se dispuso de softwares como *Qgis*, *Global Mapper*, *Surfer* y *Google Earth* para la elaboración de mapas que se encuentran en distintas secciones de este trabajo, también se empleó el *software Rozeta* para la realización de diagrama de roseta.

Para el trabajo de campo fue utilizado materiales cartográficos como el mapa y la carta de la Hoja Caacupé Escala 1:100.000, también se empleó el uso de libreta de campo, martillo geológico, bolsa para muestras, brújula *Brunton*, cinta métrica y materiales electrónicos como *GPS*, *Drone* y cámara fotográfica.

3.3 Métodos

Con base en Sampieri, Fernández & Baptista (2006), el tipo de investigación realizado en este trabajo es mixto-no experimental, con diseño transversal/descriptivo, para el cual se tomaron mediciones como ser; rumbo y buzamiento de los estratos, muestras para ensayos y análisis tales como resistencia a la compresión de roca,

abrazión los ángeles, absorción de agua y densidades, el mismo se ha basado en las siguientes etapas descriptas a continuación.

3.3.1 Trabajo de Gabinete

Para la elaboración del presente trabajo se procedió a la recopilación de datos e informaciones bibliográficas, así como antecedentes relacionados al tema del trabajo y al área de estudio.

Se obtuvieron datos como fotografías aéreas antiguas y ortofotocartas del servicio geográfico militar para la elaboración de mapas.

Para la realización de mapas de localización, se accedió a datos del Servicio Geológico de Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (*United States Geological Survey*) y *Google Earth* que luego se procesó con el software *Qgis*.

Con los datos de mediciones de fracturas obtenidas en el campo se realizó la elaboración del diagrama de roseta utilizando el *software* Rozeta.

3.3.2 Trabajo de Campo

En esta etapa se efectuó viajes hasta la zona de estudio para la toma de datos, fotografías, anotación de coordenadas, medición de fracturas, rumbo y buzamiento de los estratos, como así también se tomaron muestras de roca para la realización de análisis y ensayos, se realizó un vuelo con *drone* para visualizar con mayor detalle la morfología del terreno.



Figura 10. Toma de datos en el Cerro Caacupé
Fuente: Elaboración propi

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados Descriptivos del Área de Estudio.

Desde el punto de vista geomorfológico el cerro Caacupé corresponde a un sistema elevaciones denominado cordillera de los Altos en conjunto con otros cerros como el de Emboscada, León, Mbatoví, Santo Tomás, Chololó, Paraguari, y otros.

El talud ubicado al NE del carril de descenso del cerro Caacupé cuenta con las siguientes dimensiones; 120m de largo, 11m de altura y 79° de pendiente, la cual corresponde a areniscas arcósicas de grano grueso a medio, redondeado a sub-redondeado de color amarillento a ocre perteneciente a la formación Cerro Jhú que presenta estratificación cruzada y está intercalada con cuñas de arcillas que en partes llega a alcanzar 35cm de espesor, la dirección preferencial de los estratos es de N40°-50°E (Figura 11).

Así mismo, en la cima del cerro objeto de estudio se encuentran bloques de rocas que según Tarbuck & Lutgens (2005) se definen como una masa de roca que tiene un diámetro superior a 25,6 cm, la misma se encuentra a escasos cm del borde del talud como se puede observar en la (figura 14).



Figura 11. Perfil de talud en la que se puede observar las capas de arcillas en forma de cuñas de hasta 35cm de espesor y pequeñas capas intercaladas con la arenisca.
Fuente: Elaboración propia

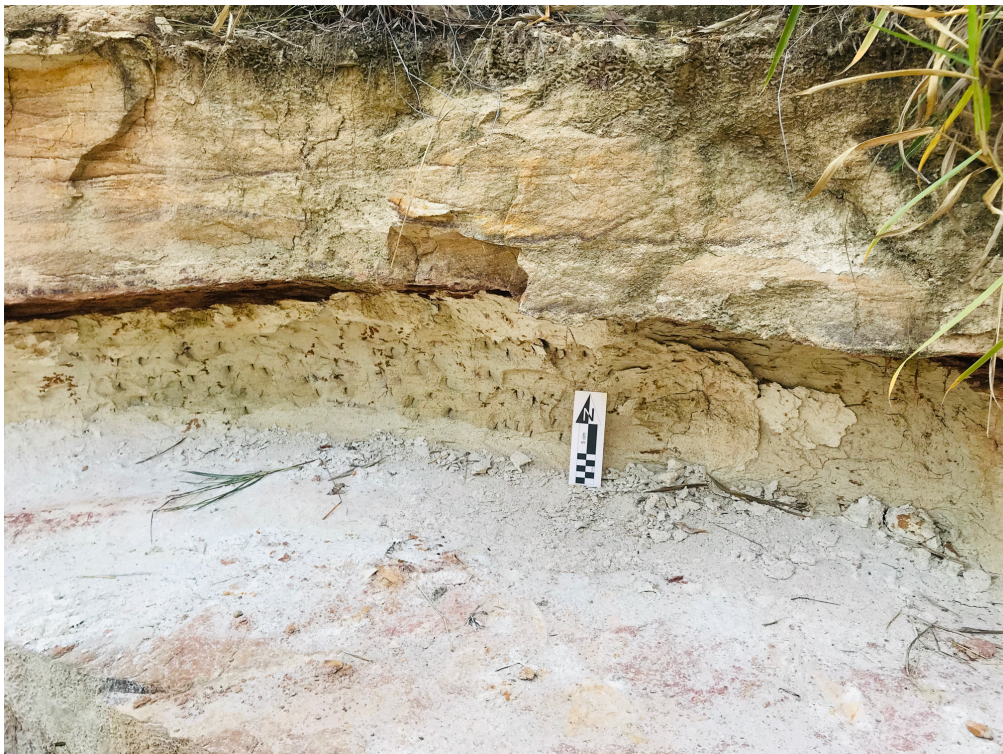


Figura 12. Cuñas de arcilla que se encuentran intercaladas con las areniscas de la Fm. Cerro Jhú en el talud del Cerro Caacupé.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Fotografía tomada con el *drone*, vista al carril de descenso del Cerro Caacupé y del talud.

Fuente: Elaboración propia



Figura 14. Bloque de roca en la cima del talud del Cerro Caacupé

Fuente: Elaboración propia



Figura 15. Vista panorámica del talud del Cerro Caacupé.
Fuente: Elaboración propia

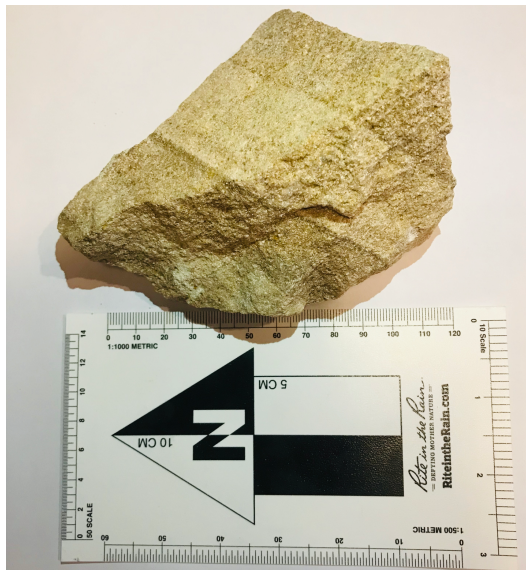


Figura 16. Areniscas de grano medio a fino localizado a la base del talud del cerro Caacupé correspondiente a la Formación Cerro Jhú.
Fuente: Elaboración propia



Figura 17. Arenisca de grano grueso a medio correspondiente a los bloques que se encuentra en la cima del talud
Fuente: Elaboración propia.

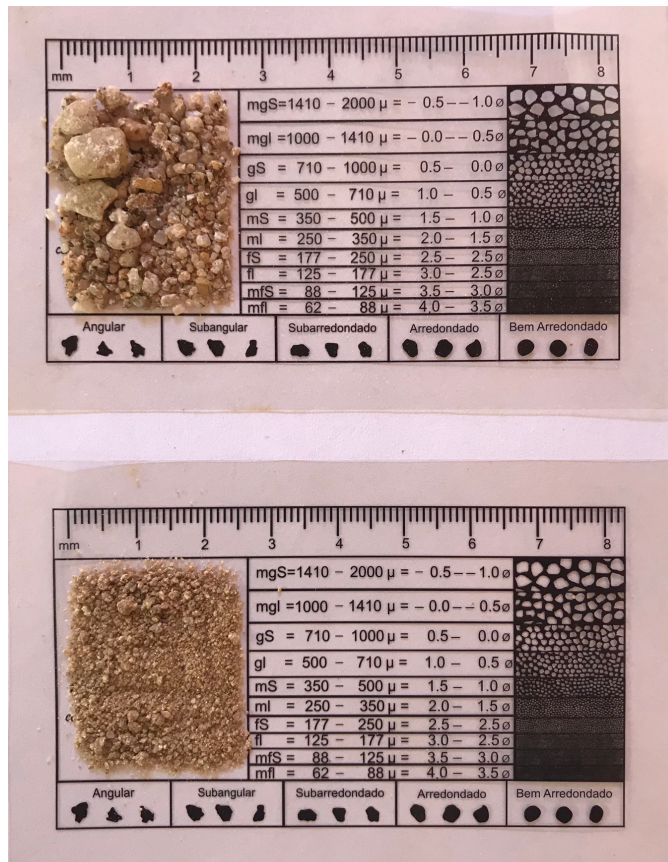


Figura 18. Relación de tamaño de granos del bloque de arenisca de la cima (superior) y arenisca perteneciente a la base y pendiente del talud (inferior).
Fuente: Elaboración propia.

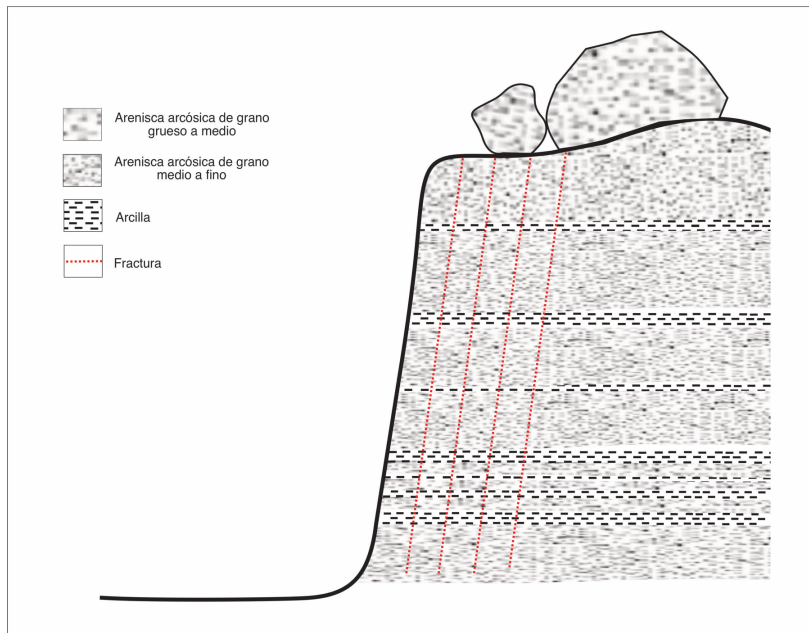


Figura 19. Esquema composición del talud correspondiente al margen derecho del carril de descenso del Cerro Caacupé.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Resultado de las Características Climáticas del área de estudio

Teniendo como parámetro el año en que se produjo el fenómeno de movimiento en masa en el talud del Cerro Caacupé se realizó el análisis de las precipitaciones para los meses de enero a junio del año en cuestión. En la figura 20 se muestra las anomalías mensuales de precipitaciones para la región de Paraguay, dichas anomalías son (desviaciones con respecto a la media) de precipitaciones en relación mm/mes, basadas en estimados del conjunto de datos "CPC Gauge-Based of Global Daily Precipitation" extraídas de la base de datos del Centro de modelado Científico (CMC). El período usado para el cálculo de la climatología es 1979-2000. Las áreas verdes en el mapa indican lugares con lluvias por encima de la normal para el mes en cuestión, y las áreas que presentan una coloración marrón corresponden a sitios en los cuales las precipitaciones estuvieron por debajo del parámetro normal. Los contornos se dibujan a incrementos de +/- 10, 25, 50, 100, ..., 500 mm/mes.

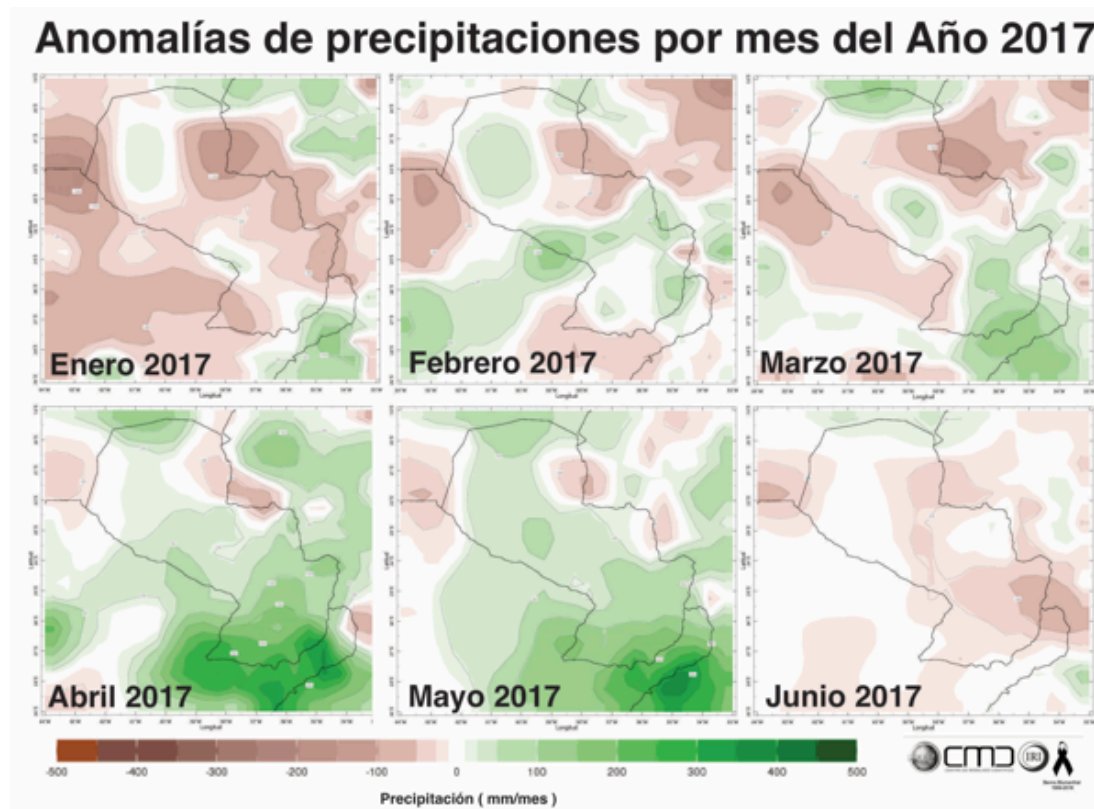


Figura 20. Anomalías de precipitaciones de los meses de enero a junio del año 2017

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos recabados del CMC.

En la figura 21 se observan el curso de escorrentía producidas por las precipitaciones, en donde se comprueba que el flujo de agua de estas precipitaciones tiene una dirección preferencial SW en relación al talud del área de estudio como se encuentra representada.

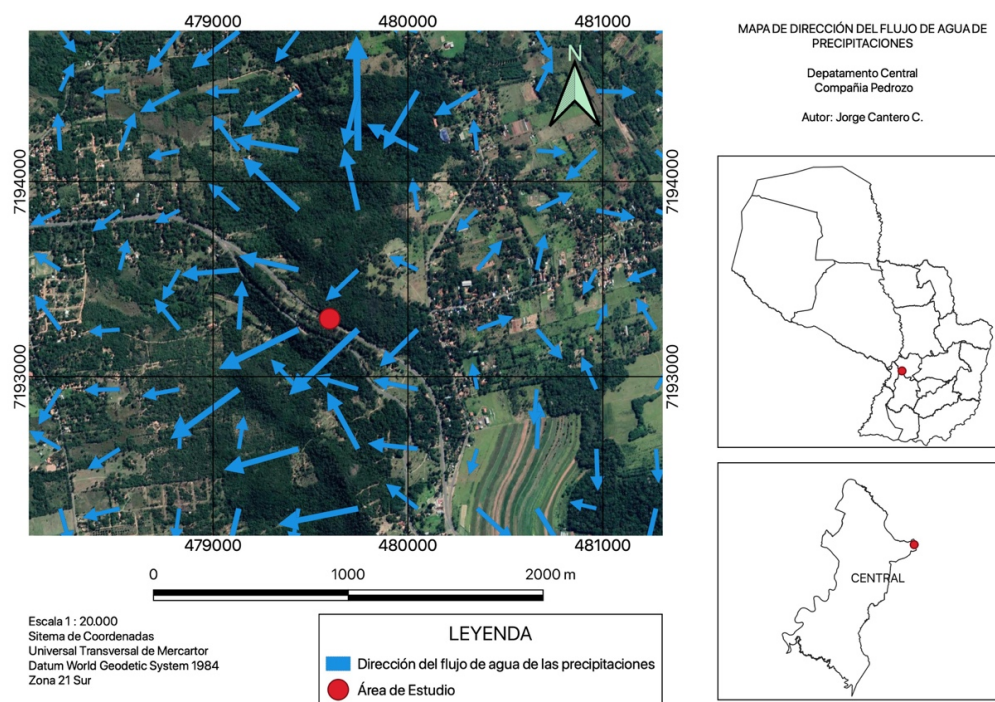


Figura 21. Dirección de flujo de agua de precipitaciones
Fuente: Elaboración propia, a partir de datos extraídos de USGS

4.1.3 Resultado de las Características de la Cobertura Vegetal en Área de Estudio

Tal como se puede visualizar en la figura 22, la cima del Cerro Caacupé correspondiente al margen derecho del carril de descenso, se compone mayormente por vegetación arbórea a excepción de una pequeña parte que presenta una cobertura vegetal tipo gramíneas (pastizales).

En cuanto a lo referente al área que contempla tanto el pie como la pendiente del talud del Cerro estudiado, en ciertos sectores la misma presenta una vegetación consistente en gramíneas, mientras que en otros se encuentra desprovisto de cobertura vegetal (Figura 23).



Figura 22. Cobertura vegetal en la cima del Cerro Caacupé
Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Cobertura vegetal en el pie y pendiente del Talud del Cerro Caacupé
Fuente: Elaboración propia

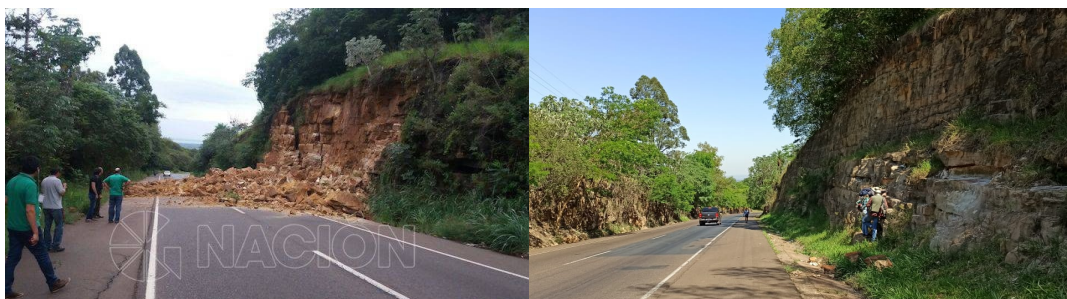


Figura 24. Cobertura vegetal al borde del talud del Cerro Caacupé año 2017 y 2020.
Fuente: Fotografía extraída de la publicación del periódico La Nación.

4.1.4 Resultado de mediciones de fracturas

Se realizó las mediciones de las fracturas del talud NE del carril de descenso del cerro Caacupé, en total se tomaron 50 mediciones, siendo las más desarrolladas las fracturas que obedecen a la dirección que se encuentra dentro del rango de $N20^{\circ}$ - 35° W. En el cuadrante NE, la distribución de las direcciones es un poco más homogénea pero menos desarrollada.

Estas direcciones estructurales nos delatan que el sistema $N20^{\circ}$ - 30° W sobresale siendo la misma la dirección preferencial.

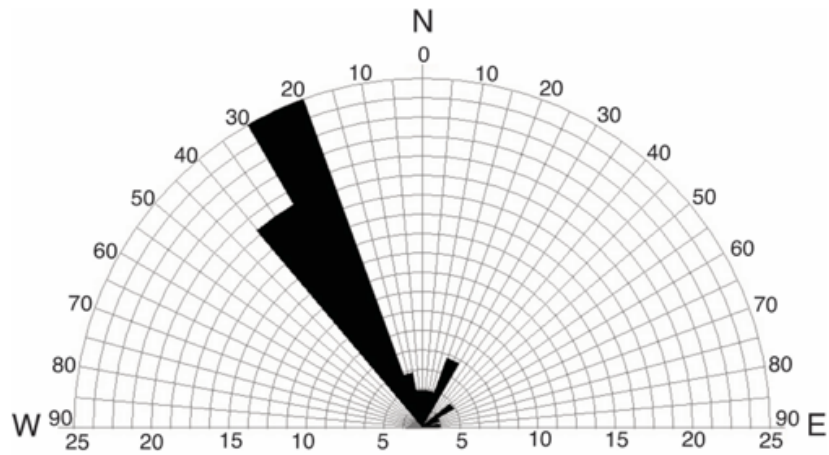


Figura 25. Diagrama de roseta mostrando la dirección fracturas del talud del cerro Caacupé.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 26. Fracturas en la cima del talud

Fuente: Elaboración propia.

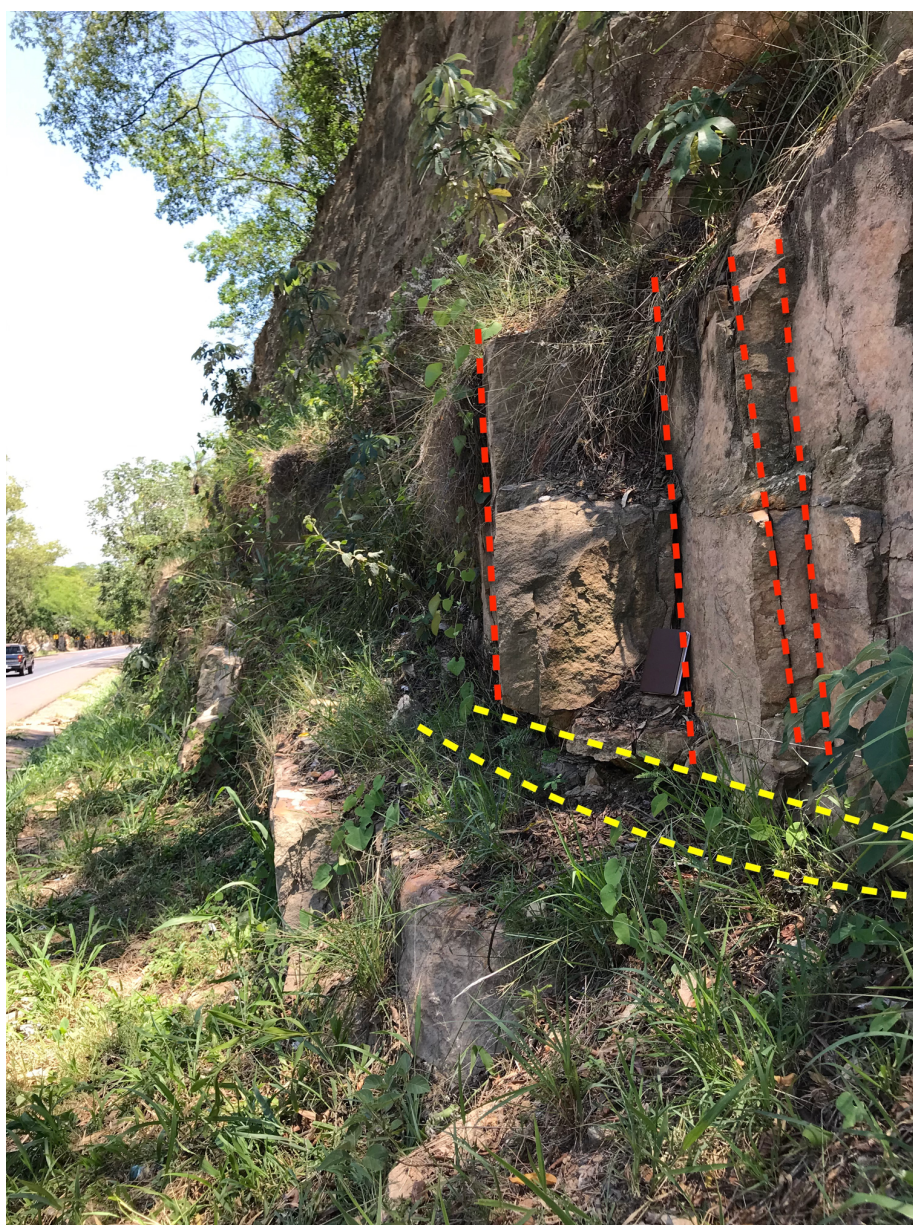


Figura 27. Fracturas (líneas rojas) y capa de arcilla (líneas amarillas) en la pendiente del talud

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 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 Caacupé, utilizando el método ASTM C-170 cuyos resultados fueron los siguientes:

Tabla 4. Resultado de determinación de resistencia a la compresión.

Muestra	Resistencia (kg/cm²)	Carga (kg)
Muestra 1	50,36	5.500
Muestra 2	206,14	20.000

Fuente: INTN (2020)

Tabla 5. Resistencia a la compresión simple con módulo.

Resistencia (kg/cm²)	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) en García (2018)

4.1.2 Resultados de desgaste por abrasión los ángulos

En el INTN se realizó en ensayo de desgaste por abrasión los ángulos, utilizando el Método IRAM 1532-2000, cuyo resultado fue el siguiente:

Muestra 1 (10kg de arenisca del cerro Caacupé) arrojando un resultado de 75,0 % de desgaste.

También se pudo acceder a resultados de análisis realizados por el MOPC que data del 2017, cuyos resultados fueron los siguientes

Muestra 1 (Arenisca del Cerro Caacupé, carril de descenso) 62% de desgaste.

Muestra 2 (Arenisca del Cerro Caacupé, carril de descenso) 82.8% de desgaste.

Tabla 6. Abrasión los ángeles utilizando Referencia: NP N° 193/5.7-1980

Desgaste (%)	Descripción
Máx. 50	Para utilizar como agregado en hormigón en general.
Máx. 30	Para uso en hormigón expuesto al uso en carreteras, pistas y pavimentos.

Fuente: INTN. 2020, Referencia: NP N° 193/5.7-1980

4.1.3. Resultado determinación de densidades

En el INTN se realizó la determinación de las densidades de la muestra de roca maciza extraída del cerro Caacupé utilizando el método IRAM 1533, cuyos resultados fueron los siguientes:

Tabla 7. Resultado de determinación de densidades

Determinaciones	Densidad (kg/m³)
Densidad Relativa	2.775
Densidad Relativa Saturado	2.839
Densidad Relativa Aparente	2.965

Fuente: Resultados del INTN (2020)

4.1.3. Resultado determinación de Absorción de agua

En el INTN se realizó la determinación de absorción de agua de la muestra de roca maciza extraída del cerro Caacupé utilizando el método IRAM 1533, cuyo resultado fue de 4,26%.

4.2 Discusión

Teniendo en cuenta la génesis del talud el mismo es de origen artificial según los antecedentes, ya que fue realizado para la obra vial consistente en la Ruta PY02 "Mariscal José Félix Estigarribia". Existen diversos factores o parámetros que influyen directa o indirectamente en la estabilidad de la misma.

Analizando los resultados obtenidos en el marco de este trabajo la inclinación de la pendiente es un factor predominante para la vulnerabilidad del talud, que según las mediciones es de 79°; teniendo como parámetro la tabla 1 de Clasificación de pendientes, se puede afirmar que el talud correspondiente al margen derecho del carril de descenso del Cerro Caacupé entra dentro del margen mayor a 45°, la cual pertenece a una pendiente muy escarpada a acantilada teniendo así un umbral geomorfológico de desprendimientos y derrumbes, como así de corrientes de derrubios frecuentes.

Referente al análisis estructural del material constituyente del talud del margen derecho del carril de descenso del cerro Caacupé se puede constatar que se encuentra bastante fracturado siendo la dirección de las mismas perpendicular a la

dirección de rumbo de las estratificaciones, este es factor fundamental que afecta en la estabilidad del talud. Teniendo como parámetro la tabla 3 de Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos, podemos determinar que el grado de susceptibilidad a los fenómenos de movimientos en masa es Alta.

A través de un análisis multitemporal de las anomalías de las precipitaciones mensuales entre los meses de enero a junio del año 2017, se pudo constatar una anomalía positiva que tiene su inicio en el mes de febrero cuyo pico se presenta en el mes de abril del año en cuestión, alcanzando valores estipulados entre 100 a 150mm por mes.

Así también un factor influyente en el riesgo de movimiento en masa es la dirección de flujo de agua de las precipitaciones, que según el análisis de Mapa de dirección de flujo (Figura 21) se puede corroborar la dirección predominante SW en el área específica de estudio, el flujo de agua escurre por la pendiente del talud favoreciendo la meteorización del mismo. Dicha escorrentía se propicia aun más por la baja absorción de agua que posee la arenisca constituyente del talud del Cerro Caacupé siendo la misma según estudios realizados utilizando el método IRAM 1533 de 4,26% de absorción.

Esto es comprobable a través del planteamiento de Suarez (2009) quien menciona que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante períodos lluviosos. La interpretación más frecuente del efecto del agua es que las lluvias por infiltración, saturan el talud y la presión de poros, induce a una disminución de la resistencia al cortante, la cual a su vez, puede activar un deslizamiento.

Con referencia a la vegetación del área existe una gran diferencia en la cobertura vegetal del año 2017 con la del año 2020; anteriormente la misma recubría toda el área del talud del margen derecho del carril de descenso del Cerro Caacupé, sin embargo hoy en día hay una gran reducción de dicha cobertura, probablemente por la estación del año que a su vez esta relacionada con la cantidad de precipitación.

La vegetación según Hudec y Wharton (1993) en Suarez (2009) es un factor fundamental que actúa como protector para la estabilidad del talud, en vista que con la ausencia de la misma disminuye las tensiones capilares de la humedad superficial, se elimina el factor de refuerzo de las raíces y facilita la infiltración masiva del agua.

Es bastante notoria la observación en el campo de la remoción de ciertos estratos de arcillas en formas de cuña que según la nota realizada por el medio periodístico del Sistema Nacional de Televisión (SNT) que en fecha 20 de abril del 2017 menciona que esto se da debido a la extracción de la misma por los lugareños para la elaboración de artesanías, lo que podría ser un factor que incida en la susceptibilidad de la estabilidad del talud ya que gran parte de estas son extraídas casi en su totalidad.

Con respecto al análisis de la resistencia a la compresión utilizando como modelo la tabla 4 de Resistencia a la compresión simple con módulo, se puede afirmar que el material componente del Cerro Caacupé presenta una condición muy débil a débil a la misma, dicho material corresponde a rocas sedimentarias débilmente cementadas, precisamente concordante con la litología del área de estudio correspondiente a la formación Cerro Jhú.

Referente al análisis de abrasión los angeles, se puede deducir que el material estudiado corresponde a una roca poco competente por el intenso grado de desgaste que presenta (75%). Cabe destacar que en el año 2017, según estudios realizados por el MOPC de dos muestras extraídas del área estudiada arrojaron un grado de desgaste de 62% y 82.8% respectivamente.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los factores asociados a movimientos en masa en el talud de arenisca del Cerro Caacupé son la gran inclinación de la pendiente, el material poco competente y desgastado como así también la intercalación de las mismas con las capas de arcillas y las fracturas que presentan dicho material.

Todos estos factores se encuentran interrelacionados entre si, que propician en su conjunto la ocurrencia de dicho fenómeno.

Teniendo en cuenta las características geológicas, geomorfológicas estructural y climáticas estudiadas en el talud del margen derecho del carril de descenso del cerro Caacupé, podemos concluir que la incidencia del material a la susceptibilidad a movimientos en masa es Alta.

5.2 Recomendaciones

Al no haber podido abarcar en totalidad el área del Cerro Caacupé, es importante que este trabajo presente una continuidad, de manera a abarcar la totalidad del tramo de dicho Cerro, para determinar si existen otras zonas susceptibilidad a la ocurrencia de fenómeno de movimiento en masa.

Sabiendo que el grado de susceptibilidad de ocurrencia de fenómenos de movimientos en masa en el talud del Cerro Caacupé es Alta, se recomienda que las autoridades municipales estén al tanto de esta investigación para poner a conocimiento de los habitantes de la zona, como así de las autoridades pertinentes para que se tomen las medidas preventivas y de seguridad correspondiente.

Considerando la extracción de capas de arcilla por parte de los lugareños y que esta actividad antrópica tiene una incidencia en la estabilidad del talud, se recomienda que las autoridades municipales tomen carta en asunto y pongan a conocimiento de los pobladores a modo de cesar con dicha actividad.

6. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ATLAS CENSAL DEL PARAGUAY. Disponible en: file:///E:/12%20Atlas%20Paraguari%20censo.pdf

BEJARANO, R. C. (1963). Vías y medios de comunicaciones del Paraguay:(1811-1961). Editorial Toledo.

CARDONA, O. D. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el Los desastres no son naturales.

CHÁVEZ, J. M. 2006. Geotecnia. 1^{ra} ed. México. Unidad de Servicios Editoriales.

COROMINAS, J. (1989): Clasificación y reconocimiento de los movimientos de ladera. Monografías Sociedad Española de Geomorfología.

CRUDEN, D.M, and VARNES, D.J., 1996, Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247, National Research Council, National Academy Press, Washington. D.C.

DIONISI, A. 1999. Mapa Geológico de la República del Paraguay Escala. 1:100000: Hoja Caacupé 5470. MOPC-BGR. Texto Explicativo, Asunción, Paraguay.

DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA, ENCUESTAS Y CENSOS (DGEEC). (2002). Atlas censal del Paraguay

ELMES M. (2006). Análisis Y Evaluación De Riesgos Por Movimientos En Masa, Inundación Y Sismicidad En El Piedmont De La Comuna De Puente Alto. (Tesis de grado).Unversidad de Chile, Santiago. Chile

FOTOS ANTIGUAS DE PARAGUAY. (s.f.). Información [Grupo de Facebook]. Facebook. Recuperado el 20 de diciembre de 2020 de <https://web.facebook.com/groups/309618822495654>

GARCIA, J. C. 2005.Análisis de la vulnerabilidad por movimientos de ladera: Desarrollo de las metodologías para evaluación y cartografía de la vulnerabilidad.

GARCIA, A. 2018, Evaluación del riesgo y vulnerabilidad por fenómenos de deslizamiento o derrumbe de ladera del Cerro Perõ Paraguari (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Paraguay.

CENTRO DE MODELADO CIENTIFICO. Disponible en: http://datoteca.ole2.org/maproom/Sala_de_Mapas/Vigilancia-Map-2/Anomaly.html.es?bbox=bb%3A-64%3A-29%3A-53%3A-19%3Abb&T=Apr%202017#tabs-5

HARRINGTON, H. J. 1950. Geología del Paraguay Oriental. Univ. Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.

HIGHLAND, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes. Reston, Virginia, EE. UU.: Sistema Geológico de los EUA.


MATEOS, R. M., & Azañón, J. M. (2005). Los movimientos de ladera en la Sierra de Tramuntana de la Isla de Mallorca: tipos, características y factores condicionantes. Revista de la Sociedad Geológica de España.

MORENO, P. & LEPÉS, L. Cuando se cae el Cerro. Geohuellas. 2018. Numero 1. Chile.

- OSPINA, M. 2018. Zonificación De Susceptibilidad Por Movimientos En Masa. Comparación De Resultados A Partir De Cartografía Base Del Igac Y Cartografía Base Obtenida Mediante Vehículos Tripulados Remotamente (Rpas). Caso De Estudio: Cabecera Municipal De Cisneros, Antioquia. (Tesis de grado). Universidad EAFIT, Medellin.
- PROYECTO PAR 83/005 1986. Mapa Geológico del Paraguay 1:1.000.000. P.N.U.D. –M.D.N. Texto Explicativo. Asunción –Paraguay.
- SECRETARÍA DE EMERGENCIA NACIONAL (SEN). (2018). Atlas de Riesgos de la República del Paraguay.
- SUÁREZ DÍAZ, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos. Bucaramanga, Colombia.
- SUÁREZ, J. (2009). Deslizamientos. Análisis geotécnico Vol. 1. Universidad Industrial de Santander UIS; Unknown edición1
- 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.
- TORO, J. (2014). Evaluación de la inestabilidad de taludes en la carretera las Pirias-Cruce Lambayeque, San Ignacio. (Tesis de Grado) Jén- Cajamarca.Perú.
- VARGAS CUERVO, G. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. Boletín de geología,

ANEXOS

A1. Análisis de abrasión 2017 MOPC

 <p>TETA REMBIAPO HA MARANDU MOTENDONDEHA MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES</p>	 <p>GOBIERNO NACIONAL Construyendo Juntos Un Nuevo Rumbo</p>						
<p>GABINETE DEL VICEMINISTRO DEL OBRAS PÚBLICAS LABORATORIO CENTRAL MOPC</p>							
<h2>Memorando 421/2017</h2>							
<p>Para: ING. RODOLFO SEGOVIA ; Director de Caminos Vecinales</p>							
<p>De: ING. MSc. JORGE D. BECKER M.; Jefe Laboratorio Central MOPC</p>							
<p>Fecha: 26/04/2017</p>							
<p>ASUNTO: Abrasión e Impacto AASTHO T-96</p>							
<table border="1"><thead><tr><th>REQUERIMIENTO</th><th>Norma</th><th>RESULTADOS</th></tr></thead><tbody><tr><td>Muestra Cerro Caacupé Carril de descenso Ladera del cerro</td><td>AASTHO T 96 AASTM C 535</td><td>Muestra 1 ..20%< 62% Perdida Franja E Muestra 2 ..20%< 82.8% Perdida Franja A Arenisca de origen Fluvial granulometría gruesa a media gruesa en parte salificado con vetas</td></tr></tbody></table>	REQUERIMIENTO	Norma	RESULTADOS	Muestra Cerro Caacupé Carril de descenso Ladera del cerro	AASTHO T 96 AASTM C 535	Muestra 1 ..20%< 62% Perdida Franja E Muestra 2 ..20%< 82.8% Perdida Franja A Arenisca de origen Fluvial granulometría gruesa a media gruesa en parte salificado con vetas	
REQUERIMIENTO	Norma	RESULTADOS					
Muestra Cerro Caacupé Carril de descenso Ladera del cerro	AASTHO T 96 AASTM C 535	Muestra 1 ..20%< 62% Perdida Franja E Muestra 2 ..20%< 82.8% Perdida Franja A Arenisca de origen Fluvial granulometría gruesa a media gruesa en parte salificado con vetas					
<table border="1"><thead><tr><th>RECOMENDACION</th></tr></thead><tbody><tr><td>Debido al aflojamiento por la presencia de agua de lluvias y vibrado de tráfico vehicular se recomienda desalijar la ladera floja y cubrir la cara con gaviones</td></tr></tbody></table>		RECOMENDACION	Debido al aflojamiento por la presencia de agua de lluvias y vibrado de tráfico vehicular se recomienda desalijar la ladera floja y cubrir la cara con gaviones				
RECOMENDACION							
Debido al aflojamiento por la presencia de agua de lluvias y vibrado de tráfico vehicular se recomienda desalijar la ladera floja y cubrir la cara con gaviones							
<table border="1"><tr><td>RECIBIDO Fecha: 6 ABR 2017 hora 12:30 Firma: <i>[Signature]</i></td></tr></table>	RECIBIDO Fecha: 6 ABR 2017 hora 12:30 Firma: <i>[Signature]</i>						
RECIBIDO Fecha: 6 ABR 2017 hora 12:30 Firma: <i>[Signature]</i>							
<p>TELEFONO 582354</p>							



MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES
Gabinete del Viceministro de obras Públicas
Dirección de Vialidad
LABORATORIO CENTRAL MOPC

LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE ABRASIÓN "LOS ANGELES"

OBRA: Cerro Caacupe Ruta 2
N° DE PRUEBA: Fecha: 20-Abr-17
N° DE MUESTRA: 1

Clase de material: Arenisca
De donde proviene: tramo : cerro Caacupe Carril de bajada
CONTRATISTA

GRANULOMETRÍA A UTILIZAR

Tamaño Tamiz		Peso en gramos						
Pasando	Retenido	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F	Tipo G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	N° 4			2500	5000			
N° 4	N° 8							
N° de esfera		12	11	8	6	12	12	12
Peso de la Esfera		5000	4584	3330	2500	5000	5000	5000

Peso Original de la muestra _____ 10000
Peso retenido en el tamiz N° 12 _____ 3800
Pérdida de Peso _____ 6200

% DESGASTE = 62 %

Granulometría Tipo A-B-C-D Método AASHTO T-96
Granulometría Tipo E-F-G Método AASTM C-535

OBSERVACIONES

Las muestras fueron traídas por la parte interesada.

OPERADOR
Osvaldo Mascareño; Técnico Laboratorista

Ing. Mg. JORGE D. BECKER M.
Jefe Laboratorio Central MOPC



MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES
Gabinete del Viceministro de obras Publicas
Dirección de Vialidad
LABORATORIO CENTRAL MOPC

LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO DE ABRASIÓN "LOS ANGELES"

OBRA: Cerro Caacupe Ruta 2	N° DE PRUEBA:	Fecha: 20-Abr-17
	N° DE MUESTRA:	1

Clase de material: Arenisca CONTRATISTA
De donde proviene: tramo : cerro Caacupe Carril de bajada

GRANULOMETRIA A UTILIZAR

Tamaño Tamiz		Peso en gramos						
Pasando	Retenido	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F	Tipo G
3"	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	1/4"			2500				
1/4"	N° 4			2500	5000			
N° 4	N° 8							
N° de esfera		12	11	8	6	12	12	12
Peso de la Esfera		5000	4584	3330	2500	5000	5000	5000

Peso Original de la muestra _____ 5000
Peso retenido en el tamiz N° 12 _____ 860
Perdida de Peso _____ 4140

% DESGASTE = 82,8 %

Granulometria Tipo A-B-C-D Método AASHTO T-96
Granulometria Tipo E-F-G Método AASTM C-535

OBSERVACIONES

Las muestras fueron traídas por la parte interesada.

OPERADOR
Osvaldo Mascareño; Tecnico Laboratorista

Ing. Mg. JORGE D. BECKER M.
Jefe Laboratorio Central MOPC

A2. Análisis de ensayos INTN



INSTITUTO NACIONAL DE
**TECNOLOGÍA,
NORMALIZACIÓN Y
METROLOGÍA**



Paraguay
de la gente

INFORME DE ENSAYO

CONS N°: 0693/2020 Entrada N°: 16964 /2020 Dpto. Ejecutor: Materiales de Construcción - ONI

Solicitante: JORGE CANTERO CANTERO

Dirección: VIZANCIO 41 – SAN LORENZO

Fecha de recepción: 06-10-2020

Fecha de ejecución del ensayo: 08-10-2020

DESCRIPCIÓN DEL ÍTEM DE ENSAYO

1 (una) bolsa de Arenisca del Cerro Caacupé

Ensayo de desgaste por abrasión los ángeles				Referencia: NP N° 193/5.7-1980
Determinación	Unidad	Método	Resultado	Máx. 50%: Para utilizar como agregado en hormigón en general. Máx. 30%: Para uso en hormigón expuesto al uso en carretera, pistas, pavimentos.
			Piedra Bruta	
Desgaste por abrasión los ángeles	%	IRAM 1532-2000	75,0	

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
			Ítem
Densidad relativa del agregado grueso	Kg/m ³	IRAM 1533	Piedra bruta
Densidad relativa del agregado saturado y de superficie seca	Kg/m ³		2.775
Densidad relativa aparente	Kg/m ³		2.839
Absorción de agua	%		2.965
			4,26

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Resistencia a la compresión	Kg/cm ²	ASTM C-170	50,36
			206,14

Código: FOR-ONI-34, Versión: 05



TEMBIPOTÁ: Oipytvó tekoaty, mba'eapopyha, ñemureko ha opalte mba'e apopyha, laha e jehapereka, kuave'omby ñepytvómbi, mbojojaha, mba'e ra'aha, ten-dyry ñangareko rupive, avei kuatia mboaje ha jesareko iporáve hegua mba'e apopyha, kuave'omby, tapichakuéra, jaikoporá ha tekomo'a, tembiapo omom-ba'egusivátekoaty ha tekotha reheve. **MISIÓN:** Contribuir con la sociedad, la industria, el comercio, el sector productivo, mediante la investigación, servicios de asistencia técnica, normalización, metrología, seguridad eléctrica, certificación e inspección, para el mejoramiento de la calidad de los productos, los servicios, el bienestar y seguridad de las personas, con un enfoque de responsabilidad social y ambiental. **TEMBIHECHA:** Temimómbi hembiapopyhukuáva ha ojeptaso añeláva, ojechakuáva tetápyre ha tetá ambue rupi omojuahé porá rehe kuave'ombyeta puruharakuérape, imba'apoharakuéra ikatupyry ha imba'erechakuaguí, ha upéichante avei oipytvóheguére tekoatypy. **VISIÓN:** Ser una institución innovadora y competitiva, reconocida nacional e internacionalmente por la calidad de sus servicios, la excelencia profesional y humana de su gente, y su contribución a la sociedad.

Avda. Artigas 3973 y Gral. Roa / C.C. | Teléf.: 288 6000 | www.intn.gov.py | e-mail: intn@intn.gov.py | Asunción – Paraguay



ABREVIATURAS		
Ítem: Muestra evaluada.	mg/l: Miligramos de analito por litro de muestra .	NP: Norma Paraguaya.
g/l: gramo de analito por litro de muestra		ND: No se detecta.
NOTAS		
• Este informe sólo puede ser reproducido en forma parcial o completa con autorización expresa del Departamento del Organismo.		
• Los resultados obtenidos se refieren exclusivamente a la muestra evaluada y suministrada por el solicitante.		
		Fecha de informe: 23-10-2020
 Técnico		 Jefe de Departamento
José Martínez Técnico del Dpto. de Materiales de Construcción ONI - INTN		Lic. Juan Carlos Ovelar Dpto. Materiales de Construcción INTN
Fin del informe.		
Código: FOR-ONI-34, Versión: 05	CONS N°: 0693/2020	Página 2 de 2

TEMBIPOTA: Oipytyvó tekoaty, mba'eapopyha, hemureko ha opalte mba'e aporáme, taha'e jahapereka, kuave'emby nepytyvõmby, mbojojaha, mba'e ra'aña, tendyry ñangareko rupive, avei kuatia mboaje ha jesareko iporãve ha'gua mba'eapopy, kuave'emby, tapichakúera jeikoporá ha tekomo'á, tembiapo omomba'eguasúva tekoaty ha tekoha reheve. **MISIÓN:** Contribuir con la sociedad, la industria, el comercio, el sector productivo, mediante la investigación, servicios de asistencia técnica, normalización, metrología, seguridad eléctrica, certificación e inspección, para el mejoramiento de la calidad de los productos, los servicios, el bienestar y seguridad de las personas, con un enfoque de responsabilidad social y ambiental. **TEMBIHECHA:** Temimõmby hembiapopyhehukuaiva ha ojeptyaso añetáva, ojehechakuaiva tetãpyre ha tetã ambue rupi omo'uahá porá rehe kuave'embyeta puruharakuréape, imba'apoharakúera ikatupyry ha imba'erechakuaágui, ha upéichante avei oipytyvõhaguére tekoaty. **VISIÓN:** Ser una institución innovadora y competitiva, reconocida nacional e internacionalmente por la calidad de sus servicios, la excelencia profesional y humana de su gente, y su contribución a la sociedad.

B1. Decreto N 1402 Gestión y reducción de riesgos (PNGR).

Pág. 4

Sección Registro Oficial - Asunción, 4 de abril de 2014

GACETA OFICIAL



PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL PARAGUAY
MINISTERIO DEL INTERIOR

DECRETO N° 1402. - -

POR EL CUAL SE APRUEBA EL DOCUMENTO SOBRE POLÍTICA NACIONAL DE GESTIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS (PNGR).

-2-

Que a nivel Regional Paraguay forma parte de la REHU, que es la Reunión Especializada de Reducción de Riesgos de Desastres Socio naturales, la Defensa Civil, la Protección Civil y la Asistencia Humanitaria, creada en Asunción en el año 2009.

Que con la implementación de esta política Paraguay avanza en la planificación del desarrollo incorporando en forma efectiva acciones participativas de gestión del riesgo a todo nivel como contribución al mejoramiento de la calidad de vida de las personas de manera individual y colectiva, poniendo énfasis en las necesidades y participación de las comunidades más vulnerables y en el fortalecimiento de sus capacidades de autogestión y desarrollo.

Que al mismo tiempo, brinda un marco adecuado para fortalecer los vínculos en esta materia con los compromisos internacionales derivados de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y del Marco de Acción de Hyogo, el cual Paraguay suscribe.

Que la Política Nacional de Gestión y Reducción de Riesgos a desastres ofrece un gran valor agregado a los procesos que hoy se desarrollan en el país, fundamentalmente con una armonización e integración de los enfoques sectoriales, y la actualización de los abordajes teóricos y conceptuales que hoy guían la gestión del riesgo de desastres a nivel internacional, pero fundamentalmente aporta una nueva visión y un cambio estructural en Gobiernos Locales y Sub Nacionales, siendo la Secretaría de Emergencia Nacional (SEN), la rectora y responsable de coordinar a todas las instituciones y organizaciones para la implementación de esta política.

N°

FOR TANTO, en ejercicios de sus atribuciones constitucionales,

L. W.



PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL PARAGUAY
MINISTERIO DEL INTERIOR

DECRETO N° 1402. -

POR EL CUAL SE APRUEBA EL DOCUMENTO SOBRE POLÍTICA NACIONAL DE GESTIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS (PNGR).

-3-

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DEL PARAGUAY

DECRETA:

- Art. 1°.- Apruébase el documento sobre "Política Nacional de Gestión y Reducción de Riesgos (PNGR)", cuyo texto forma parte de este Decreto.*
- Art. 2°.- Facíltase a la Secretaría de Emergencia Nacional (SEN), a implementar la Política Nacional de Gestión y Reducción de Riesgos (PNGR).*
- Art. 3°.- El presente Decreto será refrendado por el Ministro del Interior.*
- Art. 4°.- Comuníquese, publíquese e insértese en el Registro Oficial.*

N°

Handwritten signature and the number 60.

Directorio de Decretos y Leyes
Secretaría General
Gabinete Civil
www.presidencia.gov.py

C1. Norma IRAM 1533 Proveído por el INTN

**NORMA
ARGENTINA**

**IRAM
1533***

Segunda edición
2002-12-12

Agregados gruesos

**Método de laboratorio para la determinación
de la densidad relativa real, de la densidad
relativa aparente y de la absorción de agua**

Coarse aggregates
Laboratory method for the determination of the real relative density, the
apparent relative density and the water absorption

* Esta norma reemplaza y anula a la norma IRAM 1533:1970.



Referencia Numérica:
IRAM 1533:2002

Agregados gruesos

Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Establecer el método para determinar la densidad relativa real, la densidad relativa aparente y la absorción de agua de los agregados gruesos.

NOTA 1: La densidad relativa real se denomina comúnmente "peso específico relativo".

1.2 Los métodos establecidos no son aplicables a los agregados livianos.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Los documentos normativos siguientes contienen disposiciones, las cuales, mediante su cita en el texto, se transforman en disposiciones válidas para la presente norma IRAM. Las ediciones indicadas son las vigentes en el momento de su publicación. Todo documento es susceptible de ser revisado y las partes que realicen acuerdos basados en esta norma se deben esforzar para buscar la posibilidad de aplicar sus ediciones más recientes.

Los organismos internacionales de normalización y el IRAM mantienen registros actualizados de sus normas.

IRAM 1501-2:1976 - Tamices de ensayo. Tamaños nominales de abertura.

IRAM 1501-3:1979 - Tamices de ensayo. Telas de alambre tejido.

IRAM 1505:1987 - Agregados. Análisis granulométrico.

IRAM 1509:1987 - Agregados para hormigones. Muestreo.

IRAM 1520:2002 - Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.

IRAM 1569:1990 - Morteros, hormigones y sus componentes. Definiciones.

3 DEFINICIONES

3.1 agregado grueso. Agregado retenido por el tamiz IRAM 4,75 mm cuya densidad relativa no sea menor que 2.

3.2 agregado seco a masa constante. Agregado que ha sido secado a $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, hasta masa constante.

3.3 agregado saturado y de superficie seca. Agregado que ha colmado sus posibilidades de absorber agua y mantiene su superficie seca.

3.4 volumen aparente. Volumen de un agregado permeable, cuando se incluye en su cálculo, el correspondiente a los poros accesibles al agua, en las condiciones que se establezcan.

3.5 volumen real. Volumen de un agregado permeable, cuando se excluye en su cálculo, el correspondiente a los poros accesibles al agua, en las condiciones que se establezcan.

3.6 densidad relativa real. Es la relación entre la masa, en el aire, del sólido (agregado), y la masa de un volumen de agua equivalente al volumen real del sólido considerado.

3.7 densidad relativa aparente. Es la relación entre la masa, en el aire, del sólido (agregado), y la masa de un volumen de agua equivalente al volumen aparente del sólido considerado.

3.8 absorción. Cantidad de agua expresada como un porcentaje, que puede ser retenida dentro de los poros de un material, durante un período prefijado de tiempo.

4 INSTRUMENTAL

4.1 Balanza. Con una capacidad de 10 kg y que permita apreciar el 0,5 g. Estará equipada con un dispositivo adecuado para mantener suspendido en el agua, desde el centro del plato de la balanza, el recipiente que contiene la muestra.

4.2 Cesto de alambre. El recipiente para contener la muestra consistirá en un cesto de alambre de malla IRAM 3,35 mm como máximo, con una capacidad de 4 dm³ a 7 dm³ para agregados de un tamaño máximo nominal de hasta 37,5 mm. Para agregados de mayor tamaño es necesario un recipiente de mayor capacidad. Estará construido de forma de impedir la pérdida de material o la retención de aire cuando se lo sumerge.

4.3 Tanque de agua. Consistirá en un recipiente estanco con agua, dentro del cual pueda sumergirse el cesto de alambre con la muestra.

4.4 Estufa. Regulada a una temperatura de 105 °C ± 5 °C.

4.5 Tamiz IRAM 4,75 mm, de tela de alambre tejido. Que cumpla con la IRAM 1501-2 e IRAM 1501-3.

4.6 Baño de agua, termostalizado a 20 °C ± 2 °C.

5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

5.1 Se toma la muestra y se la reduce, siguiendo el procedimiento establecido en la IRAM 1509.

5.2 Se elimina todo el material pasante por el tamiz de 4,75 mm por vía seca, excepto cuando el agregado contiene más del 2 % de

material que pasa el referido tamiz o cuando el material pasante presenta evidentes señales de alteración mineralógica. El material menor que 4,75 mm debe ser ensayado siguiendo la IRAM 1520.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 Se lava íntegramente el agregado grueso para eliminar el polvo u otro material de la superficie. Se seca la muestra de ensayo hasta masa constante a una temperatura de 105 °C ± 5 °C. Para muestras de ensayo cuyo agregado tenga un tamaño máximo nominal de hasta 37,5 mm, se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1 h a 3 h. Para muestras de ensayo cuyo agregado tenga un tamaño máximo nominal mayor que 37,5 mm, se deja enfriar durante un período de tiempo suficiente, de forma que puedan ser manipulados (aproximadamente temperatura de 50 °C).

6.2 Se pesa la muestra de acuerdo con la tabla 1. A continuación, se sumerge el agregado en agua a la temperatura ambiente durante un período de 24 h ± 4 h.

6.3 Cuando los valores de absorción y densidad relativa vayan a ser empleados como base para dosificar mezclas de hormigones con agregados utilizados normalmente húmedos, el requisito de secado a masa constante puede ser eliminado.

6.4 Se retira la muestra del recipiente, se coloca en el cesto de alambre, se lo sumerge en agua mantenida a 20 °C ± 2 °C y se pesa en agua (m_w).

6.5 Se retira la muestra del agua y se envuelve en una tela absorbente hasta que toda el agua visible sea eliminada, aunque la superficie de las partículas todavía se muestre húmeda. Los fragmentos grandes se secan individualmente. Es necesario evitar la evaporación del agua de los poros del agregado durante la operación de secado superficial de la muestra.

6.6 Se pesa la muestra, de inmediato, y se determina la masa saturada y de superficie seca (m_s).

m la masa en aire de la muestra secada, en estufa, determinada según 6.7, en gramos.

7.3 Densidad relativa aparente del agregado saturado y superficie seca

Se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a}$$

siendo:

d_s la densidad relativa aparente a (20/20) °C del agregado saturado y de superficie seca;

m_s la masa en agua de la muestra, determinada según 6.4, en gramos;

m_a la masa en aire de la muestra en condición saturada y de superficie seca, determinada según 6.6, en gramos.

7.4 Densidad relativa promedio

Cuando la muestra es ensayada en fracciones de tamaño separadas, el valor promedio de las densidades relativas se calculan mediante la fórmula siguiente:

$$d_p = \frac{1}{\frac{P_a}{100 \cdot d_a} + \frac{P_b}{100 \cdot d_b} + \dots + \frac{P_n}{100 \cdot d_n}}$$

siendo:

d_p la densidad relativa promedio (todas las formas de expresión de la densidad relativa pueden ser promediadas de esta forma);

P_a, P_b, \dots, P_n los por cientos en masa de cada fracción de tamaño presentes en la muestra original;

d_a, d_b, \dots, d_n los valores de densidad relativa de cada fracción de tamaño (dependiendo del tipo de densidad relativa que está siendo promediada).

7.5 Absorción

Se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$A = \frac{m_s - m}{m} \cdot 100$$

siendo:

A la absorción de agua, en por ciento;

m_s la masa en aire de la muestra en condición saturada y de superficie seca, determinada según 6.6, en gramos;

m la masa en aire de la muestra secada, en estufa, determinada según 6.7, en gramos.

7.6 Absorción promedio

Cuando la muestra es ensayada en fracciones de tamaño separadas el valor promedio de la absorción se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$A_p = \frac{P_a A_a}{100} + \frac{P_b A_b}{100} + \dots + \frac{P_n A_n}{100}$$

siendo:

A_p la absorción promedio, en por ciento;

P_a, P_b, \dots, P_n los por cientos en masa de cada fracción de tamaño presentes en la muestra original;

A_a, A_b, \dots, A_n los por cientos de absorción de cada fracción de tamaño.

8 PRECISIÓN

Los valores estimados de precisión del método se indican en la tabla 2 y son el resultado del

análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos procedentes de entre 40 y 100 laboratorios (AASHTO Materials Reference Laboratory, Reference Sample Program).

Tabla 2 - Precisión del método

	Desviación normal	Diferencia máxima aceptable entre dos resultados
Repetibilidad		
Densidad relativa aparente del agregado seco	0,009	0,025
Densidad relativa aparente del agregado saturado y de superficie seca	0,007	0,020
Densidad relativa real	0,007	0,020
Absorción (%)	0,088	0,25
Reproducibilidad		
Densidad relativa aparente del agregado seco	0,013	0,038
Densidad relativa aparente del agregado saturado y de superficie seca	0,011	0,032
Densidad relativa real	0,011	0,032
Absorción (%)	0,145	0,41

6.7 Se seca la muestra a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante, se deja enfriar hasta temperatura ambiente durante 1 h a 3 h o hasta que el agregado tenga una temperatura que permita su manipulación (aproximadamente $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) y se pesa (m).

Tabla 1 - Masa mínima de muestra para ensayo

Tamaño máximo nominal (mm)	Masa mínima de la muestra de ensayo (kg)
≤ 12,5	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
112	50
125	75
150	125

6.8 Si se considera conveniente, se puede fraccionar la muestra para ensayo y ensayar, separadamente, cada una de las fracciones. Cuando la muestra contiene más de 15 % de material retenido en el tamiz de 37,5 mm, debe ser ensayado el material de dimensión mayor que 37,5 mm en una o más fracciones, separadas de las fracciones de dimensión menor. Cuando se fracciona la muestra, las cantidades mínimas para ensayo serán, de acuerdo con el tamaño máximo nominal de cada fracción, tales que la masa a ensayar sea, como mínimo la diferencia entre las masas indicadas en la tabla 1, correspondientes a los tamaños máximo y mínimo de la fracción considerada.

6.9 Cuando la muestra es ensayada en dos o más fracciones de tamaño, se debe determinar la granulometría de acuerdo con la IRAM 1505, incluyendo los tamices usados para la separación de las fracciones de tamaño para las determinaciones de este método. En el cálculo del por ciento de material en cada fracción de tamaño no debe considerarse la cantidad de material más fino que 4,75 mm.

7 CÁLCULOS

7.1 Densidad relativa real

Se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$d_1 = \frac{m}{m - m_a}$$

siendo:

- d_1 la densidad relativa real (20/20) °C;
- m_a la masa en agua de la muestra, determinada según 6.4, en gramos;
- m la masa en aire de la muestra secada, en estufa, determinada según 6.7, en gramos.

7.2 Densidad relativa aparente del agregado seco

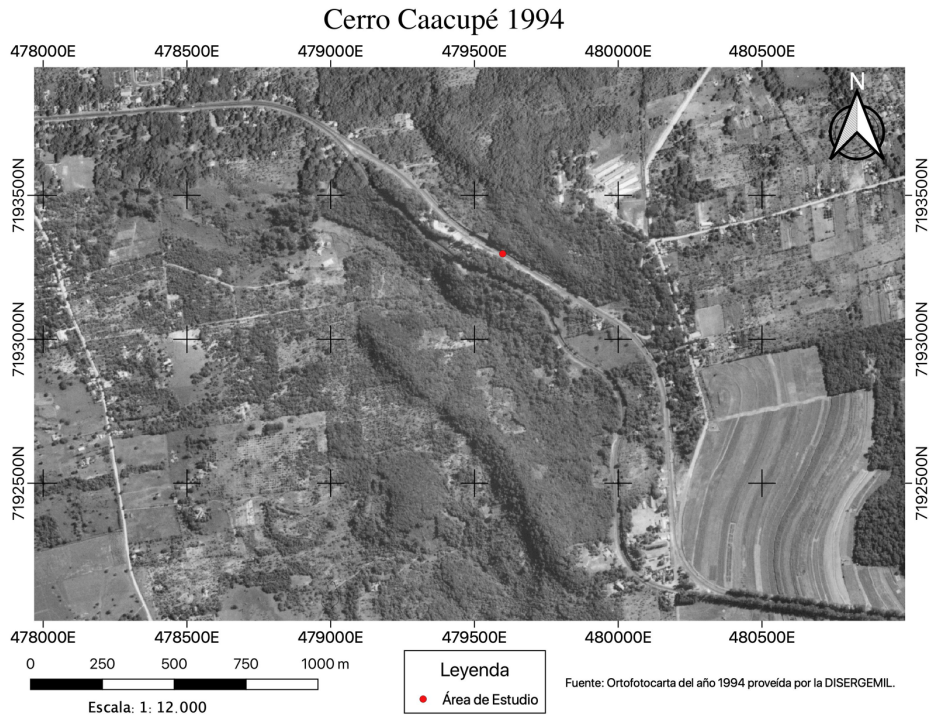
Se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$d_2 = \frac{m}{m_a - m_s}$$

siendo:

- d_2 la densidad relativa aparente a (20/20) °C del agregado seco;
- m_a la masa en agua de la muestra, determinada según 6.4, en gramos;
- m_s la masa en aire de la muestra en condición saturada y de superficie seca, determinada según 6.6, en gramos;

D1. Cerro Caacupé 1994



D2. Cerro Caacupé 2020

