



Universidad de Costa Rica  
Vicerrectoría de Acción Social  
Sede de Occidente

Informe Final Trabajo Comunal Universitario  
TCU-544 Educación para la Prevención  
y Mitigación de Desastres

Estudiantes:

Juan Carlos Carranza Carranza, Carné: B11460

Ginna Pérez Álvarez, Carné: B25051

Sebastián Carmona Arias, Carné B11453

Director del Proyecto: MSc. Juan Rojas Conejo

ABRIL, 2017

## Tabla de contenidos

.....	1
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCION</b> .....	<b>4</b>
1.1 OBJETIVOS .....	4
1.1.1 <i>Objetivo General</i> .....	4
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y CLIMA .....	5
1.4 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.....	6
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	10
2.1.1 <i>Grupo Aguacate (Formación Grifo Alto)</i> .....	10
2.1.2 <i>Lacustre Palmares</i> .....	11
2.1.3 <i>Formación Tiribí</i> .....	12
2.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	15
2.2.1 <i>Unidad Madre Verde</i> .....	15
<b>CAPÍTULO III: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b> .....	<b>17</b>
3.1 CONTEXTO TECTÓNICO REGIONAL .....	17
3.2 ANÁLISIS DE LA CURVATURA.....	18
3.3 ANÁLISIS DE ESFUERZOS REGIONALES .....	21
<b>CAPÍTULO IV: GEOMORFOLOGÍA</b> .....	<b>22</b>
4.1 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO.....	22
4.2 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS .....	27
4.2.1 <i>Formas de origen denudacional</i> .....	27
<b>CAPÍTULO V: GESTIÓN DEL RIESGO</b> .....	<b>30</b>
5.1 CONCEPTOS Y GENERALIDADES .....	30
5.2 ANÁLISIS DE AMENAZAS.....	30
5.2.1 <i>Amenaza por deslizamientos</i> .....	31
5.2.2 <i>Amenaza por caída de Rocas</i> .....	32
5.2.3 <i>Amenaza por crecidas en las quebradas</i> .....	35
5.3 FACTORES DE VULNERABILIDAD .....	37
5.3.1 <i>Factores Ambientales</i> .....	37
5.3.2 <i>Factores Físicos</i> .....	37
5.3.3 <i>Factores Socio-económicos</i> .....	38
<b>CAPÍTULO VI: HIDROGEOLOGÍA</b> .....	<b>39</b>
6.1 ZONA DE RECARGA.....	39
6.2 METEOROLOGÍA .....	40
6.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MICROCUENCA DE PALMARES .....	42
6.4 ANÁLISIS DE LA ZONA NO SATURADA.....	44
6.4.1 <i>Pruebas de infiltración</i> .....	44
6.5 VULNERABILIDAD INTRÍNSECA A LA CONTAMINACIÓN EN LA ZONA DE PROTECCIÓN ABSOLUTA INMEDIATA....	49
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>50</b>
<b>CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>54</b>



## **CAPÍTULO I: INTRODUCCION**

La Reserva Madre Verde, situada en el límite oeste del cantón de Palmares, representa hoy un área protegida cuyos bosques secundarios constituyen parte del tan solo 1,14% de áreas de bosques remanentes en el cantón (Ecoplan, 2003). Dispuesta sobre los cerros ubicados al suroeste de Palmares y bajo condiciones de pendiente fuerte; estas características hoy se suman al ya mencionado decrecimiento de los espacios naturales, constituyendo así factores de vulnerabilidad ante amenazas naturales.

Respecto a este ámbito, en el año 2003 la comisión nacional de emergencias elabora un mapa de amenazas naturales potenciales para el cantón de Palmares, en el cual perciben las inundaciones y deslizamientos como los dos desastres que suponen mayor peligro para el cantón. Aunque bien este mapa constituye una base inicial en la identificación de zonas en mayor peligro antes tales eventos, queda en el mismo un vacío en relación a información específica correspondiente al área de este estudio, existiendo adicionalmente una brecha de tiempo entre el año en que se generó el mapa (2003), al 2017.

Ante este panorama, el presente estudio pretende generar información más completa y actualizada sobre aquellos factores de importancia para la mitigación de riesgos en el área de interés; para lo cual se estudian desde los aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos, los cuales, al ser ubicados dentro de un marco económico, social y de infraestructura, son determinantes para medir la vulnerabilidad de la misma.

### **1.1 Objetivos**

#### **1.1.1 Objetivo General**

Analizar la vulnerabilidad de la Reserva Madre Verde ante el riesgo de desastres naturales con el fin de servir como base para el establecimiento de estrategias de mitigación y contingencia de los mismos en la zona.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar la geología, geomorfología e hidrogeología de la Reserva Madre Verde y alrededores.
- Identificar las amenazas a los que está expuesta la reserva Madre Verde y los factores de vulnerabilidad de la misma ante dichas amenazas.
- Evaluar los riesgos que presenta la reserva ante la ocurrencia de desastres dada su vulnerabilidad a las amenazas.
- Establecer medidas para la mitigación de riesgos de desastres.

### **1.2 Ubicación del área de estudio y clima**

La zona de estudio abarca un área de 0,39 km<sup>2</sup> y se encuentra ubicada aproximadamente 2,5 km al suroeste de la ciudad de Palmares de Alajuela en el distrito de la Granja (Figura 1). Está comprendida dentro de la Hoja topográfica de Naranjo, en las coordenadas Lambert 485455 a 487656 E, 225004 a 226854 N (CRTM05 449130 a 451331 E, 1110416 a 1112266 N), donde cubre una topografía con altitudes que varían entre 1130 m.s.n.m a los 1420 m.s.n.m.

El clima en la Reserva Madre Verde según (Gómez y Herrera, 1986) es del tipo C7, con una precipitación media anual de 1700-200 mm, temperatura media anual 18-21 °C y una evapotranspiración potencial entre 1420-1565 mm (Ecoplan, 2002).

Respecto a las zonas de vida esta es determinada como Bosque muy Húmedo Premontano (Ecoplan, 2002).

### **1.3 Metodología**

Este estudio se inició con una revisión de literatura referente a la geología de la zona de estudio, identificando de esta forma las unidades geológicas correspondientes a esta. Seguidamente se procedió a la descripción de la geomorfología del lugar, para cuya visualización se generaron mapas y modelos de elevación digital (DEM) por medio de los programas ArcGis y Qgis, utilizando como base un sistema de curvas 1:10000; mismas herramientas que fueron usadas para generar todos los mapas y demás figuras correspondientes a etapas posteriores. Adicionalmente,

se recurrió también a la visualización de imágenes de Google Earth, las cuales fueron de utilidad como imágenes de apoyo a lo largo del estudio. Para la interpretación de fallas se realizó un mapa de la curvatura de buzamiento, el cual fue originado a partir de datos SRTM (1 arc-seg, USGS) y llevado a cabo mediante el programa Surfer versión 12.0.626 de la compañía Golden Surfer.

A continuación, se prosiguió con la inspección de campo; en la cual, paralelamente a la verificación de la literatura y al estudio de otros aspectos ya mencionados, se realizó la identificación de puntos o áreas de mayor peligro potencial, específicamente ante deslizamientos, caída de rocas, u otras situaciones amenazantes. Esta permitió zonificar el área de acuerdo a las zonas de mayor peligro y elaborar así un mapa con los puntos de mayor vulnerabilidad.

Se analiza además el tema de hidrogeología para el cual, se caracteriza la reserva Mare Verde como una zona de recarga, se describe la hidrología de la zona y se determinan parámetros de conductividad hidráulica para los suelos dentro de la reserva, se establecen datos meteorológicos (periodo 2009-2014).

Buscando medir la vulnerabilidad a la contaminación acuífera, se sientan las bases de la metodología G.O.D, para estudios futuros de interés dentro de la reserva.

#### **1.4 Importancia del estudio**

En el campo de la prevención de desastres naturales y mitigación de riesgos, conocer las amenazas naturales y desplegar los esfuerzos para minimizar sus posibles impactos es una labor que viene respaldada por el ejercicio de diferentes ramas.

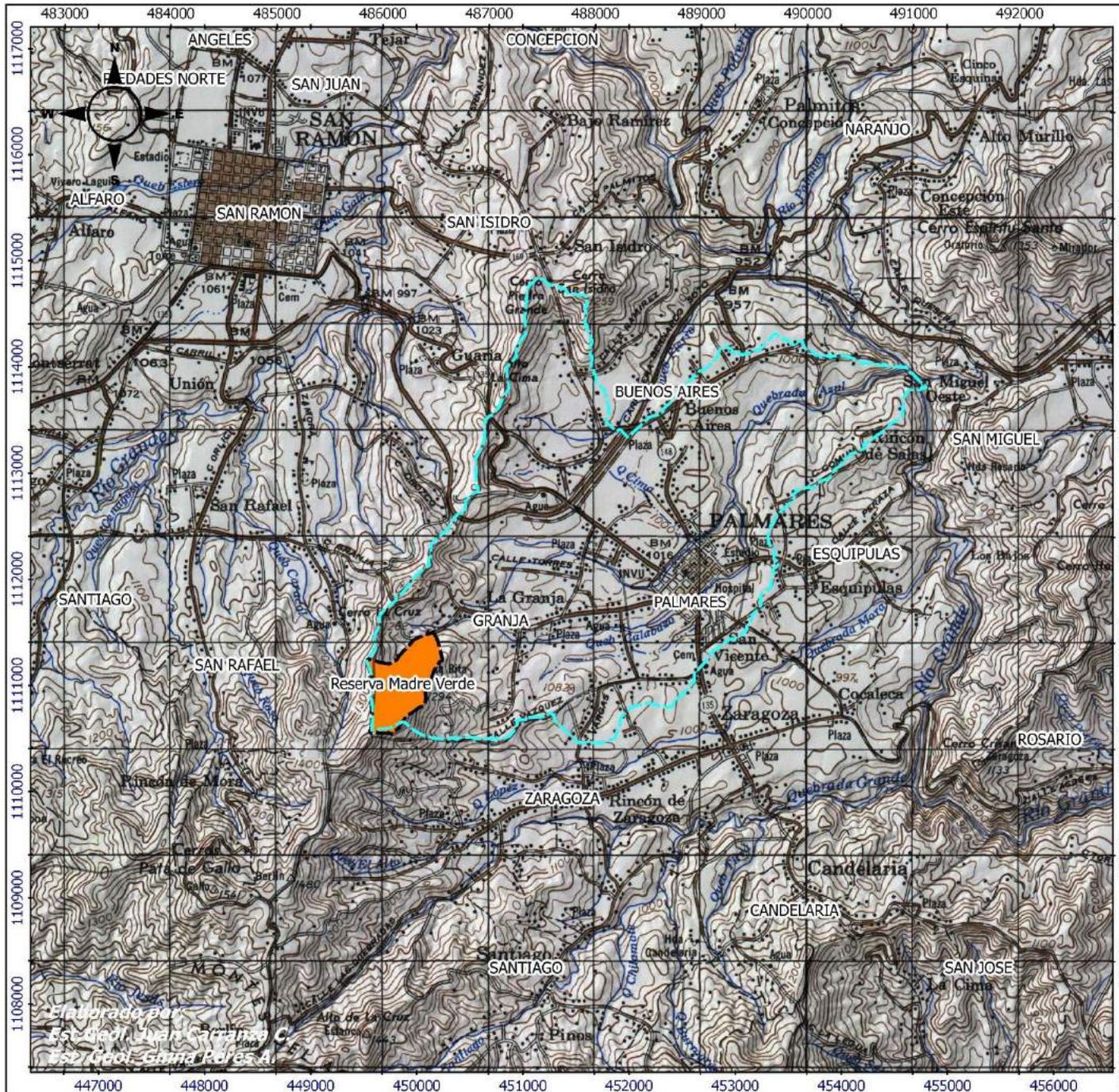
En los cimientos de esta labor, el aporte de la ciencia tiene un papel fundamental para generar información fiable en base a la cual se puedan tomar decisiones correctas y lo más adecuadas según las circunstancias. En este aspecto los estudios geológicos e hidrogeológicos generan conocimiento sobre el comportamiento de los suelos dada su constitución y estructura. Lo anterior permite a los responsables de la prevención de desastres y mitigación de riesgos, orientarle adecuadamente en la organización y preparación ante eventos que representan un peligro potencial para las comunidades, pretendiendo con ello reducir los daños e impactos que estos puedan ocasionar y que por lo general representan pérdidas de valor social, económico y hasta ecológico;

Considerando estos aspectos, elaborar un estudio de este tipo aplicado a la Reserva Natural Madre Verde, cobra importancia dados tres aspectos fundamentales, los cuales se relacionan con la ubicación de la misma, su carácter funcional y el valor de su existencia, explicados a continuación.

1) Ubicación: Ubicada a los pies de los cerros que bordean la ciudad de Palmare, sus cercanías a las zonas urbanas constituyen un factor de alerta ante la ocurrencia de deslizamientos, saliendo especialmente afectados los distritos de La Granja y Zaragoza, los cuales hacen parte de los linderos inmediatos de la reserva y donde en conjunto con el distrito de palmare, albergan por encima 16000 habitantes (INEC, 2011).

2. Carácter funcional: Al ser un lugar de recreación y deporte, que además brinda espacios para el contacto con la naturaleza, esta reserva constituye un lugar turístico que goza de afluencia nacional como internacional, hecho por el cual adquiere el deber de garantizar la seguridad de todos quienes lo visitan. Ligado a todo esto, se denota además que este carácter turístico le asigna un valor económico potencial a la zona que, aunque no está siendo aprovechada en el presente, existe como oportunidad de desarrollo para las personas de la comunidad.

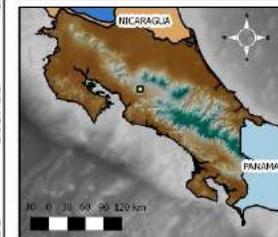
3. Valor ecológico: Abarcando un área aproximada de (0,39 km<sup>2</sup>). Las cuales forman parte del corredor biológico de los Montes de Aguacate (Figura 1.1), esta reserva alberga un bosque secundario muy húmedo premontano (Rodríguez & Brenes, 2009), el cual constituye hábitat de diferentes especies de flora y fauna características de los ecosistemas de los bosques húmedos tropicales al cual corresponde; por tanto, garantizar la existencia de este espacio que cobra importancia para promover la conservación de las especies que en ella habitan o transitan.



**FIGURA 1. Ubicación regional de la zona de estudio. Reserva Madre Verde-La Granja de Palmares, Alajuela, Costa Rica.**

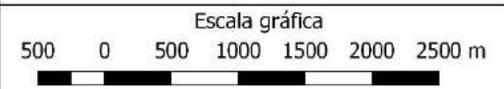
**Leyenda**

-  Plano A-613294-85
-  Microcuenca Palmares



Proyección CRTM05  
Esferoide WGS1984  
Datum CRTM05

Proyección Ocoatepeque  
Lambert Norte  
Esferoide Clarke 1886  
Datum NAD27



FEBRERO, 2017

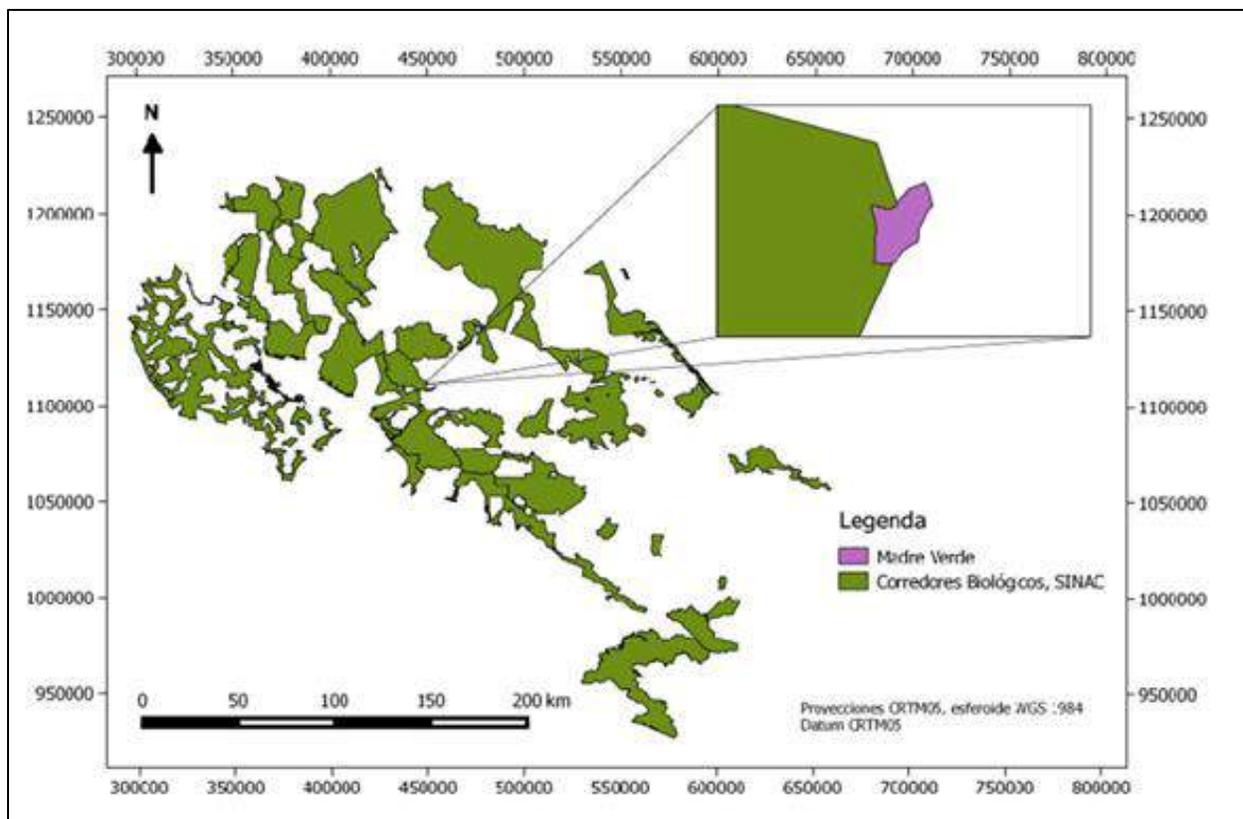


Figura 1.1: Corredores biológicos de Costa Rica, SINAC. Elaboración propia.

## **CAPÍTULO II: CONTEXTO GEOLÓGICO**

### **2.1 Geología Regional**

La geología regional en el presente trabajo se ha restringido con base en la microcuenca cuyos drenajes principales son la quebrada Calabazo y quebrada Azul, llamada en este trabajo microcuenca Palmares, esta se ha delimitado considerando los materiales geológicos que componen el acuífero del Valle de Palmares, del cual la Reserva Madre Verde funciona como una zona de recarga. Además, aunque este trabajo se limita a la zona específica de la Reserva Madre Verde, es importante considerar el análisis en un trabajo futuro de la microcuenca Palmares en el que se considere todo el sistema, pues lo que sucede en las partes superiores de la microcuenca tiende a afectar las partes bajas de la misma.

La Reserva Madre Verde localizada en el sector Oeste de la microcuenca está conformada por rocas volcánicas altamente meteorizadas, con presencia de alteración hidrotermal, correspondientes con la Formación Aguacate.

A continuación, se describen las formaciones geológicas que afloran en la zona de interés en la localidad de Palmares: Grupo Aguacate (Formación Grifo Alto), Formación Tiribí y Lacustre de Palmares.

#### **2.1.1 Grupo Aguacate (Formación Grifo Alto)**

El Grupo Aguacate representa principalmente el vulcanismo Neógeno (23.03-2.59 Ma) correspondiente a la parte central de nuestro país y anterior al emplazamiento de la cordillera volcánica actual. Este ha sido dividido por dos periodos volcánicos distintos, categorizados en dos formaciones, una inferior llamada Formación La Cruz, y la superior Formación Grifo Alto (Denyer & Arias, 1991).

De acuerdo con Denyer & Arias (1991) el Grupo Aguacate representa dos vulcanismos diferenciados, con una transición basáltica (Formación La Cruz) a una más explosiva, conformada por andesitas y piroclastos (Formación Grifo Alto). De acuerdo con Rojas (2013) esta última es la que aflora en el área de estudio y se describe a continuación.

La Formación Grifo Alto corresponde con lavas y rocas piroclásticas, con un espesor que puede sobrepasar los 1000 m y afloran en los Montes de Aguacate desde San Ramón hasta Puriscal, incluyéndose en el área correspondiente a la Reserva Madre Verde hacia el Suroeste del Cantón de Palmares.

Litológicamente se compone de lavas basálticas, andesíticas-basálticas y tefritas, caracterizadas por la presencia de fenocristales de augita, plagioclasa y horblenda. La presencia de bloques métricos, evidencian los antiguos centros de emisión, entre ellos se tiene: Cerro San Isidro (este de San Ramón), Atenas, Cerro Mina, entre otros. (Denyer & Arias, 1991).

Por otro lado, Rojas (2013) indica que dicha formación se constituye de rocas volcánicas andesíticas y piroclásticas, asociadas a un vulcanismo muy explosivo.

Laguna (1984) estudia la alteración hidrotermal de las rocas de este grupo, encontrando tres tipos de alteración principales correspondientes a la alteración propilítica, argilítica y sericitica.

En el mapa geológico realizado por Huapaya & Rojas (2012) se observa que la Formación Grifo Alto presenta una fuerte alteración hidrotermal, hacia el Suroeste de dicho mapa. Estas autoras observan que la alteración hidrotermal se focaliza en los alrededores de Berlín, donde se encuentran vetas de cuarzo mm a cm, orientados con un rumbo noreste (Huapaya & Rojas, 2012).

Estratigráficamente sobreyace de manera discordante a la Formación La Cruz y a la Formación Coris (Denyer & Arias, 1991) y esta sobreyacida por las ignimbritas indiferenciadas de Las Musas y la Formación Aguacate (Rojas, 2013).

La edad de la formación va del Plioceno al Pleistoceno (Denyer & Arias, 1991), y entre 7,3 – 3,3 millones de años de acuerdo con Alvarado & Gans (2012).

Su génesis se debe a un vulcanismo de arco de islas bien desarrollado (Laguna, 1983a; Alvarado & Gans, 2012).

### **2.1.2 Lacustre Palmares**

Esta unidad fue definida por Rojas (2013), y se localiza en la parte suroeste de la Hoja Naranja abarcando un área de 11,5 km<sup>2</sup> (Rojas, 2013). En la microcuenca Palmares, delimitada en este trabajo el área es aproximadamente 1,5 km<sup>2</sup>.

Se trata de rocas sedimentarias depositadas en un ambiente lacustre, el cual fue interrumpido por rocas volcánicas durante un evento explosivo en los inicios de la cordillera Volcánica Central (Rojas, 2013). Este evento aflora en el Valle de Palmares, y corresponde con la Formación Tiribí, el cual fue observado por Rojas (2013) encontrándose una secuencia de piroclastos (Fm. Tiribí) intercalada con los materiales del Lacustre de Palmares.

La litología se compone de gravas, arenas y limo-arcillas con gran influencia volcánica, estos contienen materiales de flujo piroclástico, fragmentos de pómez, lapilli acrecional y cenizas, además presentan lentes de diatomita. El espesor promedio es de 70 m (Rojas, 2013).

Estratigráficamente sobreyace la Formación Alto Palomo y es sobreyacida por los flujos piroclásticos de la Formación Tiribí, aunque se ha visto intercalaciones con esta última.

La edad de esta Formación es ubicada por Rojas (2013) en un momento entre 0,54 Ma y 0,57 a 0,3 Ma.

La génesis del Lacustre de Palmares, está relacionada a un antiguo lago, que según Rojas (2013) ocurrió por control tectónico.

### **2.1.3 Formación Tiribí**

Fernández, M (1969) define a la llamada hasta entonces Formación Avalancha Ardiente como Formación Tiribí. Echandi (1981) por su parte, asigna 3 miembros para dividir esta formación, Nuestro Amo, La Caja e Ignimbritas de Electriona.

Por otra parte, Denyer & Arias (1991) mencionan que esta unidad consiste de depósitos de pómez en su parte inferior y en su parte superior presenta ignimbritas con fiames, con una matriz consolidada.

En un trabajo más reciente y de mayor detalle, Pérez (2000) hace una descripción litológica, petrográfica y geoquímica exhaustiva de esta formación, además esta autora propone formalmente la Formación Ignimbritas Río Tiribí y la divide en cuatro litofacies, tipo Valle Central, tipo Puente de Piedra, tipo La Garita y tipo Orotina, se describen a continuación.

Tipo Valle Central: Variaciones en soldadura. No soldadas compuestas por escorias negras y fragmentos líticos en una matriz tobácea. Soldadas con *fiammes* de obsidiana y líticos en una matriz gris claro.

Tipo Puente de Piedra: Soldada y vidriosa, dispuesta en columnas. Con *fiammes*, escasos líticos y pómez amarillentas.

Tipo La Garita: unidades: ignimbrita basal, unidad intermedia producto de fluidización y elutriación y una unidad de ignimbrita superior. Compuesta por escorias negras, gris, café, bandeadas, pómez y líticos dentro de una matriz gris.

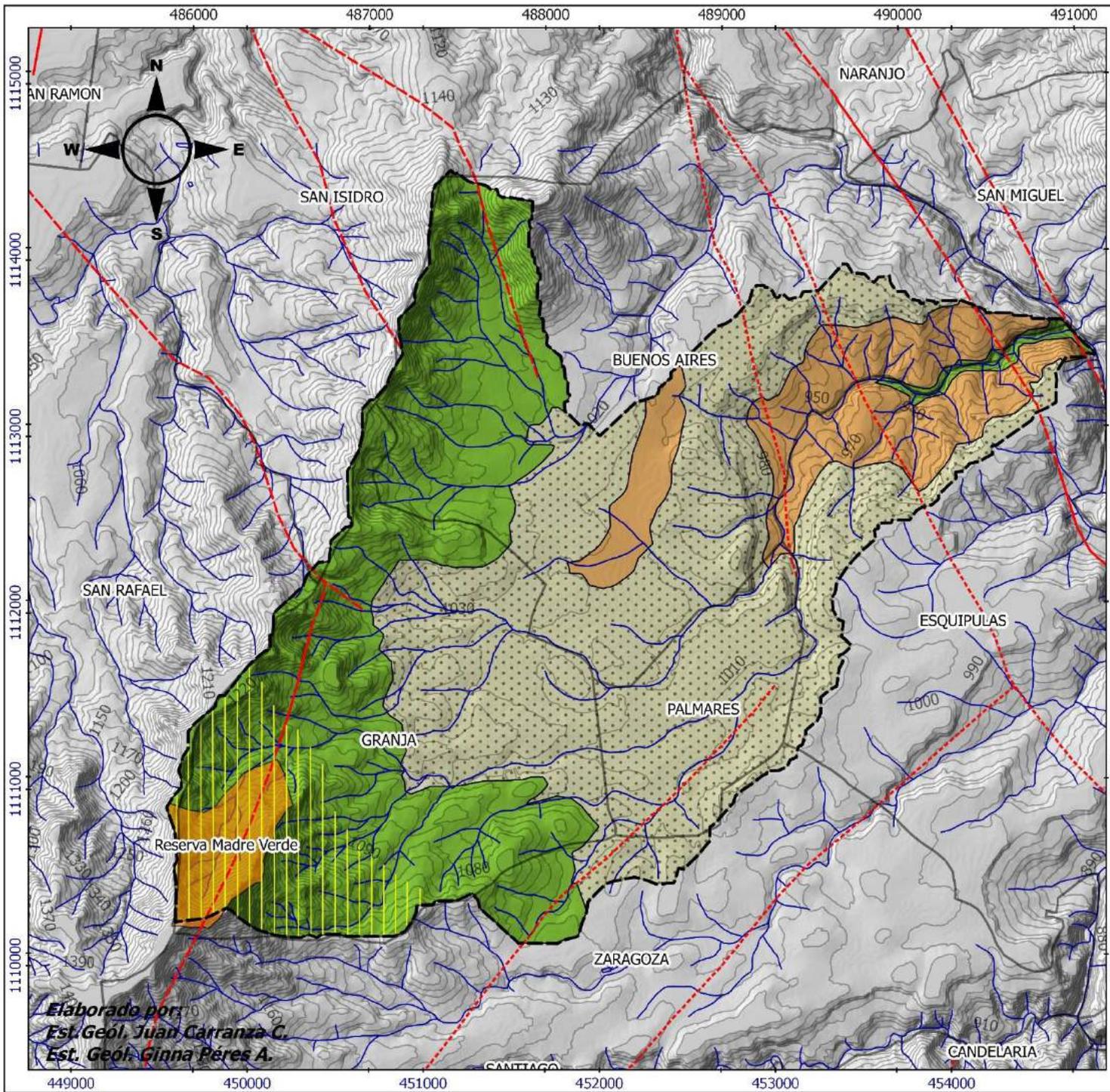
Tipo Orotina: Ignimbritas gris celeste, con *fiammes*, escorias negras y pómez amarillas, pequeñas y en bajo porcentaje

Rojas (2013) menciona que el tipo de litofacie aflorante en el sector de Palmares, corresponde con la litofacie tipo Valle Central descrita anteriormente por Pérez (2000).

Rojas (2013) además, reconoce estos depósitos en la zona de Palmares, en donde observó un depósito de flujo piroclástico subacuático, intercalado con los materiales sedimentarios del Lacustre de Palmares, y lo caracteriza por ser consolidado, de color gris oscuro a café oscuro, con variables contenidos de pómez de coloraciones blancas a amarillas, con tamaños mm a cm, en ciertos sectores observó una marcada gradación inversa, con líticos mm a cm inmersos en una matriz de ceniza media a fina.

Estratigráficamente sobreyace de manera discordante las formaciones Lava Intracañón, Pacacua, Peña Negra y Grupo Aguacate y es sobreyacida por aluviones, lahares, cenizas y la Formación Barva (Denyer & Arias, 1991). Localmente en el sector de Palmares esta aparece intercalada con el Lacustre de Palmares (Rojas, 2013).

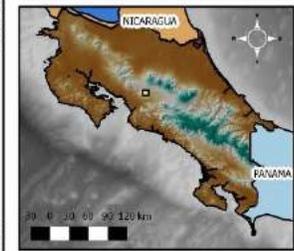
Muestra un espesor máximo de 150 m (Denyer & Arias, 1991), y la edad para las ignimbritas sobre según (Alvarado & Gans, 2012) es de 0.332 Ma. De acuerdo con la edad determinada anteriormente por Pérez et al., (2006) es  $322 \pm 2$  ka.



**FIGURA 2.1: Mapa geológico de la zona de estudio. Reserva Madre Verde-La Granja de Palmares, Alajuela, Costa Rica.**

**Leyenda**

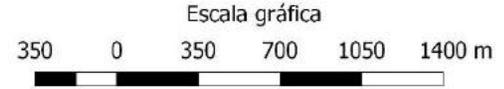
- Plano A-613294-85
- Microcuenca Palmares
- Límites distritales
- Curvas topográficas
- Hidrología
- Alteración hidrotermal
- Geología**
- Fm. Tiribí
- Lacustre de Palmares
- Grupo Aguacate
- Fallas**
- Falla comprobada
- Falla inferida
- Lineamientos



Proyección CRTM05  
Esferoide WGS1984  
Datum CRTM05

Proyección Ocoatepeque:  
Lambert Norte  
Esferoide Clarke 1886  
Datum NAD27

Mapa geológico tomado de  
Huapaya & Rojas (2012).



Elaborado por:  
Est. Geol. Juan Carranza C.  
Est. Geol. Ginna Pérez A.

FEBRERO, 2017

## **2.2 Geología local**

En este apartado se realiza un estudio petrográfico localizado en el área de la Reserva Madre Verde, en donde se establece la Unidad Madre Verde de manera informal, con el fin de mostrar las principales características distintivas como litología, textura, color de la roca, mineralización, composición de matriz, clastos y pátinas de meteorización; entre otras. Esta información permitirá su pronto reconocimiento en el campo, lo cual será útil, además, para incentivar el turismo geológico de la zona.

En base a esta unidad informal y asociado al trabajo realizado por Rojas (2013) fue creado el mapa que se encuentra adjunto a este trabajo (Figura 2.1), en el cual se detalla la geología del sitio de interés.

### **2.2.1 Unidad Madre Verde**

Esta unidad abarca toda el área donde se sitúa la reserva Madre Verde (Figura 2.1), cubriendo un área de 38.1 ha. Destaca como rasgo predominante en el sector la presencia de rocas masivas blocosas con formas subredondeadas y subangulares, con dimensiones máximas identificadas de 4 m x 3.5 m x 2 m distribuidos en una topografía de pendiente media a alta.

Se observó que los bloques de esta unidad, a nivel macroscópico consisten en andesitas de textura afanítica porfirítica de matriz color gris a gris oscuro (59%-64%), en ocasiones con tonos verdosos; y con cristales mm de plagioclasa (30-35%), piroxenos (5%) y cuarzo (1%). En términos generales la roca muestra un grado de meteorización moderado a alto, que puede presentar una pátina amarilla con tonos cafés (coordenadas Lambert Norte 486305E/225467N), de 1 mm de grosor, y con alteración de óxidos de manganeso, o alterando su matriz a un color gris morado (coordenadas Lambert Norte 486244 E/225462 N).

En algunos afloramientos (coordenadas Lambert Norte 485972E/225675N) estos bloques se muestran como lavas brechosas que consisten de andesitas con fragmentos centimétricos de andesita más sana; cuya matriz se caracteriza por su alta dureza, la cual altera a un color café claro y llega a presentar óxidos de manganeso.

Adicionalmente, es característico dentro del área de estudio la meteorización de la roca a un suelo de color café oscuro rojizo de matriz de textura limosa (90%), con un 10% aproximadamente de participación de líticos de la roca sana y meteorizada circundante; el cual en las partes donde hay una mayor exposición hay alteración a un color anaranjado rojizo en el suelo (óxidos de hierro) y donde algunas veces los líticos presentan alteración a arcillas.

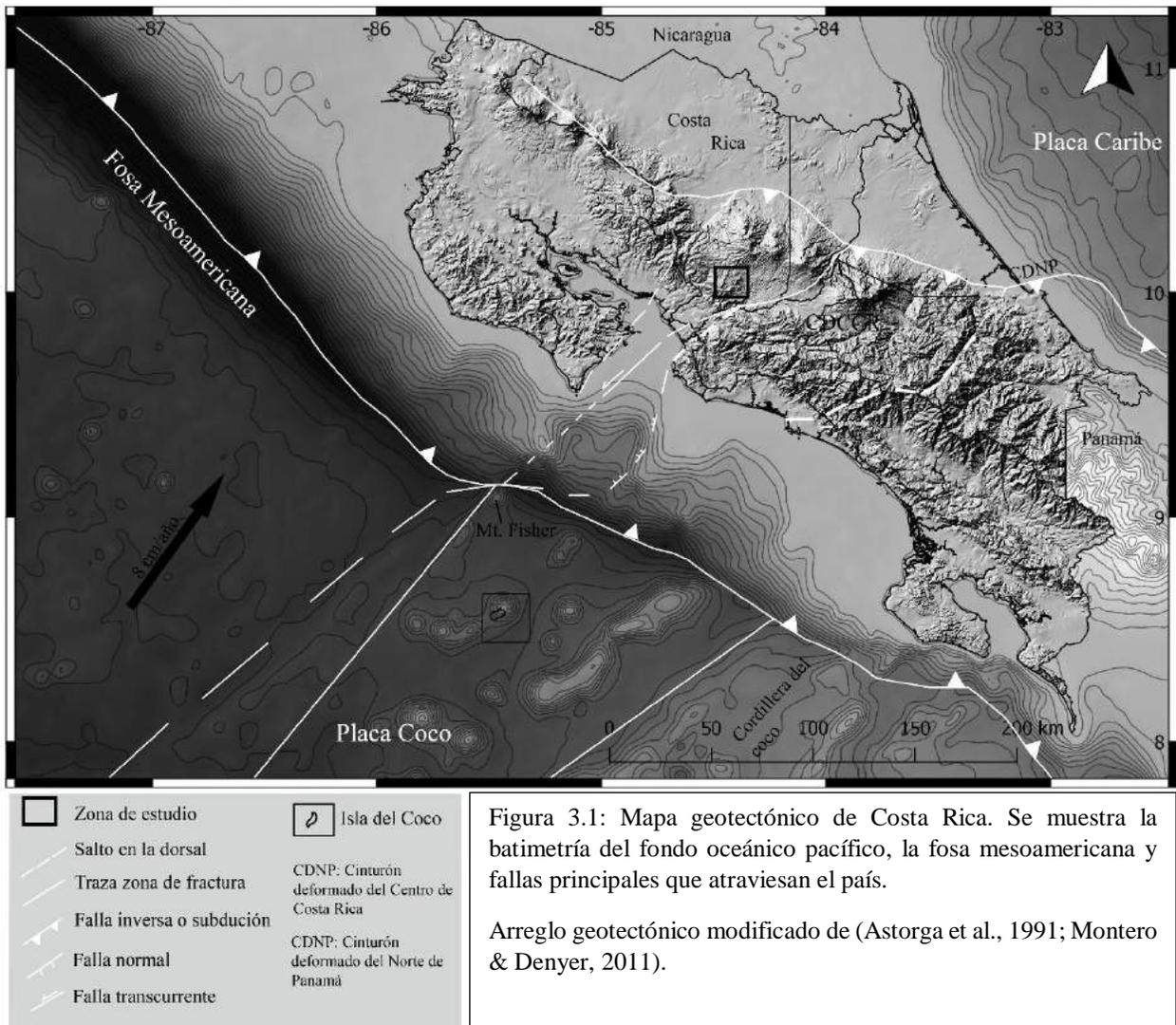


**Figura 2.2:** Afloramientos de la roca y suelo de la unidad Madre Verde. a) se observa un bloque de dimensiones métricas de andesita “Piedra zopilote”. b) bloque métrico de andesita, cubierto por la vegetación. c) suelo orgánico, cubierto por vegetación. d) suelo meteorizado, expuesto a la intemperie, se observa el alto grado de meteorización y la coloración rojiza.

## CAPÍTULO III: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

### 3.1 Contexto tectónico regional

La región Central Oeste del territorio costarricense evidencia un basamento ígneo cuya historia geológica comienza a partir del Mioceno Superior, inmersa en un contexto estructural complejo, sujeta a deformaciones compresivas con direcciones preferenciales NE-SW, de acuerdo con (Gursky, 1988; Astorga et al., 1991.).



Con el objetivo de detallar el marco estructural de la zona de estudio (Figura 3.1) y entender el arreglo tectónico regional, se recopila información de trabajos preexistentes sobre la tectónica y geología estructural en general del sector central-oeste de Costa Rica y específicamente la zona del Valle de Palmares de Alajuela.

En este apartado cabe resaltar el trabajo de Gursky (1988), Astorga et al. (1991), Rojas (2013) entre otros.

### **3.2 Análisis de la curvatura**

La curvatura es un método de morfometría digital y corresponde con una propiedad bidimensional de la curva, basada en la descripción de qué tan curva es una superficie en una orientación en particular (Roberts, 2001). Se aplica la curvatura de buzamiento o “Profile Curvature”, de acuerdo al programa *Golden Surfer*, este algoritmo nos indica que tan curvo es un punto en el cambio de pendiente, y mide la curvatura de la superficie en la dirección del gradiente.

El análisis de la curvatura se caracteriza por ser un método cuantitativo y no cualitativo, debido a que permite obtener parámetros numéricos del relieve a partir de una cartografía digital, y es importante debido a que resalta algunos atributos dimensionales de geoformas que no pueden ser observados por medio de otros métodos, de esta forma constituye una herramienta importante en la geomorfología y geología estructural.

La curvatura fue aplicada por medio del programa *Golden Surfer*, utilizando los algoritmos de curvatura de buzamiento (Figura 3.2) con el fin de observar los diferentes atributos (geoformas estructurales, lineamientos), y utilizarlos como complemento de la geología estructural.

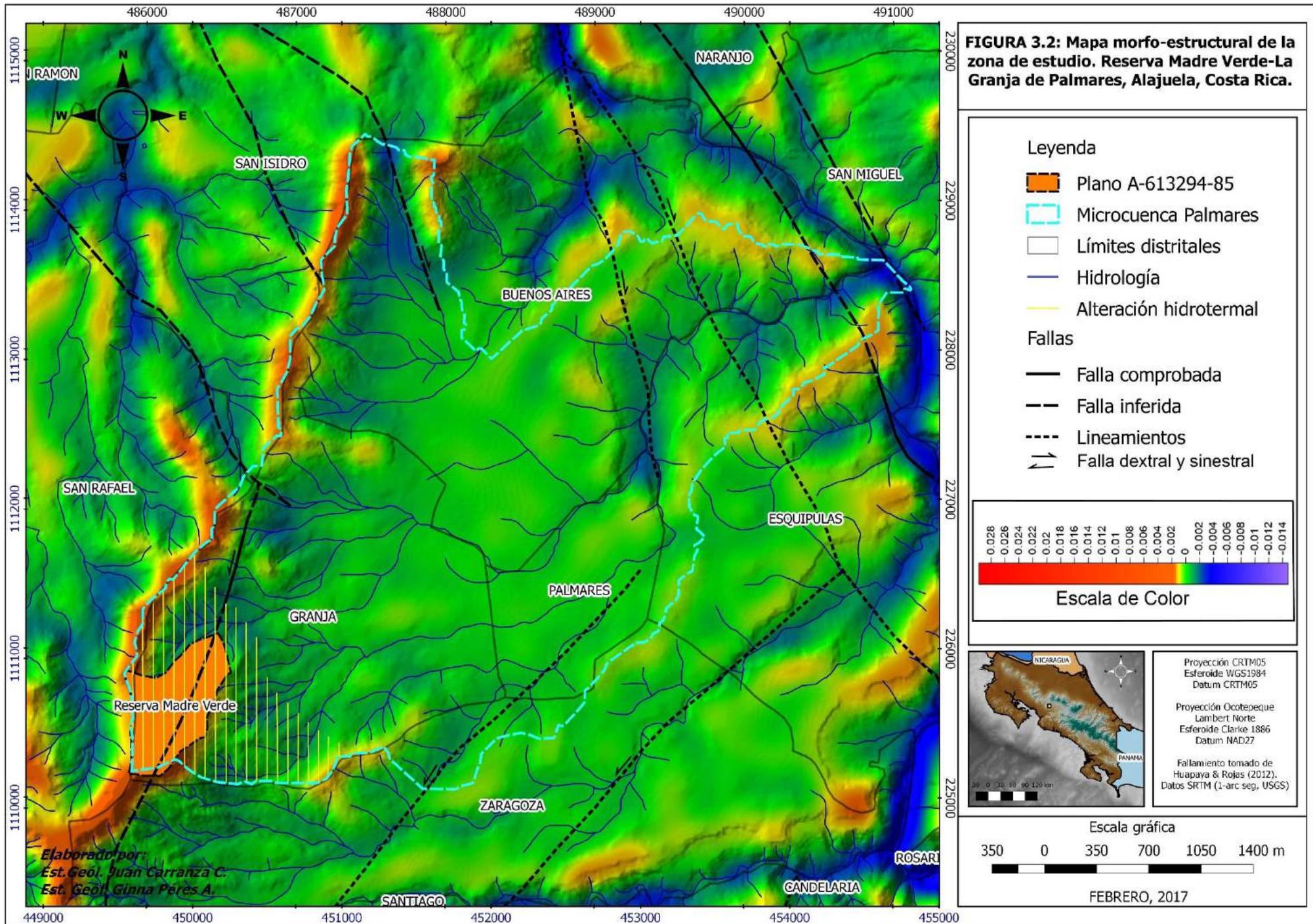
Los mapas fueron elaborados a partir de datos SRTM de un arcossegundo (30 m x 30 m), obtenidos de la USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Estos fueron transformados a proyección UTM, y se interpolaron utilizando el método de interpolación Kriging, ya que es un método geoestadístico caracterizado por ser flexible y preciso, y genera un eficiente mapa para la mayoría de set de datos (Golden Software, sf.).

Una vez interpolado, se aplicaron filtros de paso bajo, con el fin de suavizar el relieve eliminando rugosidades que corresponden con variaciones de alta frecuencia o ruido en la información (Wood, 1996), variaciones que finalmente pueden generar errores de interpretación. Se aplicó el filtro gaussiano 20 veces para el mapa de Buzamiento.

En este mapa la curvatura es expresada como positiva, paralela o plana y negativa, de acuerdo a la forma de concavidad, correspondientes de manera consecutiva como cóncava hacia abajo (crestas), cóncava hacia arriba (valles) y sin concavidad (plano), (Roberts, 2001). En este trabajo se ha optado por una escala de color (Cuadro 1) definida como azul (-1), un rango de amarillo a rojo (+1) y verde (0).

Concavidad	Signo	Morfología	Escala color
Cóncavo hacia abajo	+1	Domos, anticlinal, cambio en la pendiente zona alta, crestas	
Sin concavidad	0	Laderas, planicies	
Cóncavo hacia arriba	-1	Valle, sinclinal, cambio en la pendiente zona baja	

Cuadro 1. Resumen de los colores, con su respectiva simbología representada en el mapa.



### **3.3 Análisis de esfuerzos regionales**

Regionalmente, el área de estudio es afectada por el sistema de falla transcurrente de Costa Rica, que se extiende desde la provincia de Limón hasta el Golfo de Nicoya (Figura 3.2).

Astorga et al. (1991) mencionan que este sistema de falla ha ocasionado un sistema de cuencas transtensivas en la parte central de Costa Rica y que sigue activo. Con base en este sistema de fallamiento y de acuerdo con Astorga et al. (1991) la zona de estudio forma parte de la cuenca transtensiva del Valle Central.

Este autor realiza una extrapolación de las cuatro fases compresivas determinadas por Gursky (1988) en la región del Noroeste de Costa Rica para el resto del país, sobre la base de evidencias geológicas y geofísicas.

Entre las deformaciones propuestas por Gursky, (1988) caracteriza la cuarta deformación (D4) con compresión NE-SW, esta ocurrió durante el Mioceno y es coincidente con la edad del basamento Neógeno de la región.

Astorga et al. (1991) indica que durante esta fase se dio la emersión generalizada del arco de islas y el incremento de su magmatismo, además que en esta fase la deformación es diferencial, alcanzando varios kilómetros de desplazamiento de los sobrecorrimientos hacia el sur de Costa Rica, donde afecta tanto la región del ante arco (“forearc”) como el tras arco (“back arc”), mientras que en el norte el desplazamiento es de apenas centenas de metros. Es por esta razón y tomando en cuenta la edad del evento y la geología del sitio de interés que es válido relacionar la cuarta fase compresiva determinada por Gursky (1988) y asociarla a la deformación del área de estudio, en donde prevalece un estilo de deformación NE-SE y otro NW-SE.

Por otro lado, en un trabajo más reciente Rojas (2012) realiza un mapeo de la hoja Naranja y específicamente, los sectores de Palmares, San Ramón y Naranja. En este trabajo la autora detalla algunos lineamientos importantes (figura 3.2). Cabe resaltar el lineamiento que atraviesa la zona de estudio, y que corresponde con el lineamiento Berlín.

De acuerdo con Rojas (2012) el lineamiento Berlín consiste de dos lineamientos que tienen rumbo de N 45° E y se extienden 4,1 y 2,2 km. Respecto a la edad y debido a que solo atraviesa el basamento de la región, se le puede asociar con una edad Pliocénica.

## **CAPÍTULO IV: GEOMORFOLOGÍA**

### **4.1 Análisis geomorfológico**

En este capítulo se describen los rasgos geomorfológicos que caracterizan la zona de estudio, donde se describen aquellas morfologías correspondientes a laderas denudacionales de pendiente baja, moderada y alta, deslizamientos y se describe sobre los patrones de drenaje del área a nivel local (referente al área de estudio) y las pendientes.

#### **4.1.1 Pendientes**

Para la clasificación de las pendientes se utilizaron los rangos propuestos por Van Zuidan (1986), en donde se establecen las condiciones del terreno que pueden esperarse, según las condiciones de grado y porcentaje de pendiente a la cual pertenecen. Para el área de estudio se determinaron 5 clases de pendientes que abarcan desde pendientes muy bajas a pendientes muy fuertes (Figuras 4.1a y 4.1b).

Las pendientes de mayor grado de fuertes a muy fuertes se concentran periféricas o limitando a la reserva, en donde éstas se ubican hacia el sur- sureste y noroeste de Madre Verde, por lo tanto, esta situación restringe a una sola entrada y salida a la reserva para posibles accesos y rutas de evacuación. Cabe destacar que esta situación para posibles episodios de deslizamientos hará que el material desprendido se dirija hacia la parte central de la reserva y lugares aledaños.

De manera general predominan las pendientes moderadas a fuertes ( $16^{\circ}$ - $55^{\circ}$ ) en acorde con el mapa geológico, las cuales están fuertemente influenciadas por la litología siendo estas lavas andesíticas que han dejado una morfología irregular orientada hacia el noreste siguiendo la topografía.

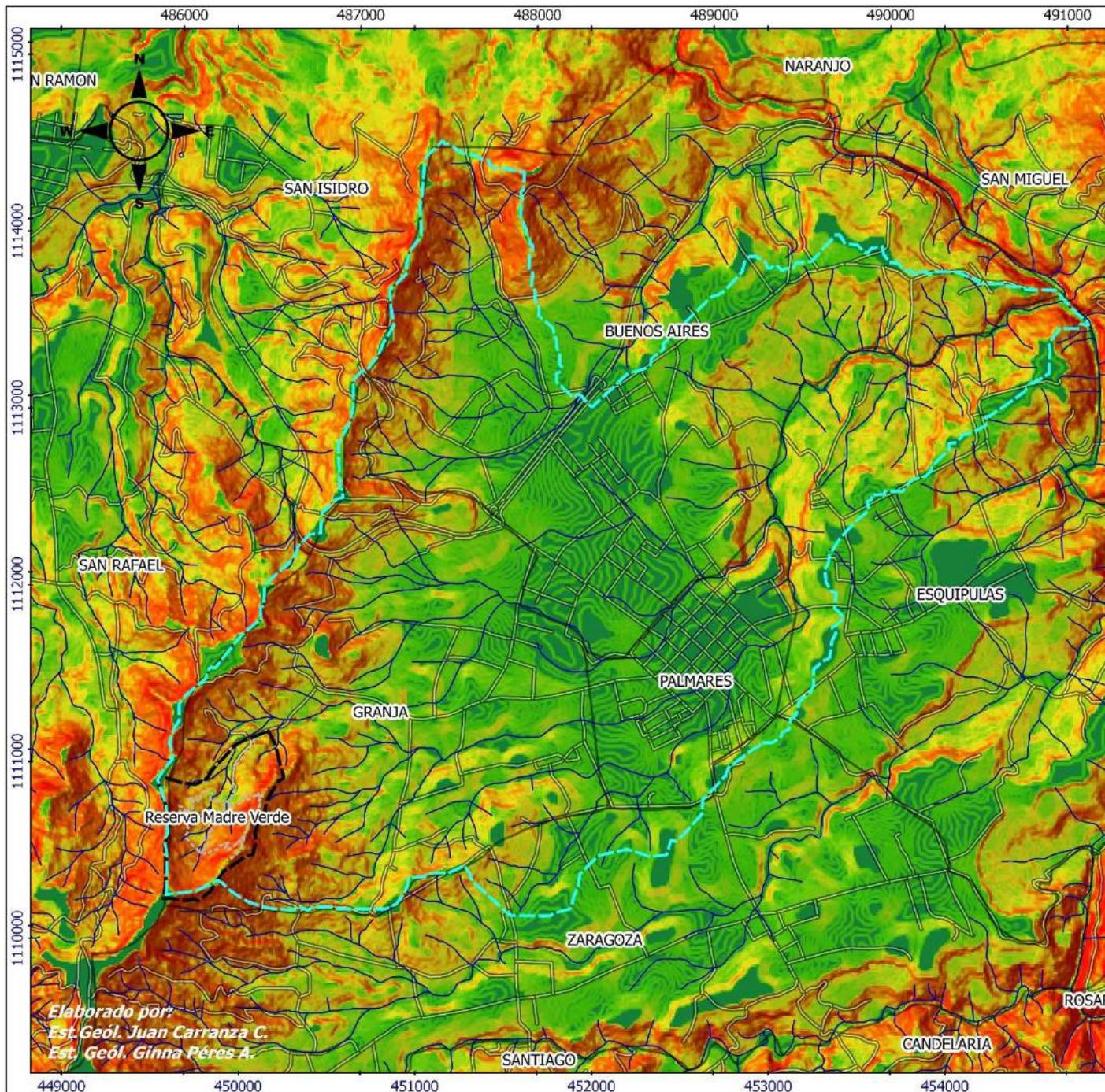
A continuación, el cuadro 2 muestra la clasificación de pendientes propuesto por Van Zuidan (1986), presentes en el área de estudio; mientras el cuadro 3 muestra el color asignado a cada rango.

<b>Pendientes en grados</b>	<b>Clasificación de laderas denudacionales, condiciones del terreno</b>
0-2	<i>Planicie, sin denudación apreciable</i>
2-4	<i>Laderas de pendiente muy baja, peligro de erosión</i>
4-8	<i>Laderas de baja, peligro severo de erosión</i>
8-16	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión.
16-35	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos
35-55	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible
> 55	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada

Cuadro 2: Clasificación de Van Zuidan (1986).

<b>Pendientes en grados</b>	<b>Clasificación de laderas denudacionales</b>
0° - 2°	<i>Laderas de pendiente muy baja</i>
2° - 8°	<i>Laderas de pendiente baja</i>
8° - 16°	<i>Laderas de pendiente moderada</i>
16° - 35°	<i>Laderas de pendiente fuerte</i>
35° - 55°	<i>Laderas de pendiente muy fuerte</i>

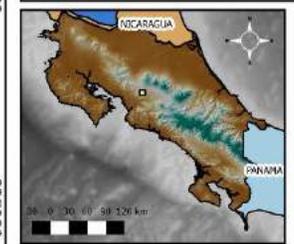
Cuadro 3: Rango de valores empleados para la clasificación de las pendientes del sector de Madre Verde y alrededores.



**FIGURA 4.1a: Mapa de pendientes de la zona de estudio. Reserva Madre Verde-La Granja de Palmares, Alajuela, Costa Rica.**

**Leyenda**

- Plano A-613294-85
  - Microcuenca Palmares
  - Límites distritales
  - Hidrología
  - Red vial
  - Senderos
- Pendientes**
- 0° - 2°
  - 2° - 8°
  - 8° - 16°
  - 16° - 35°
  - 35° - 55°

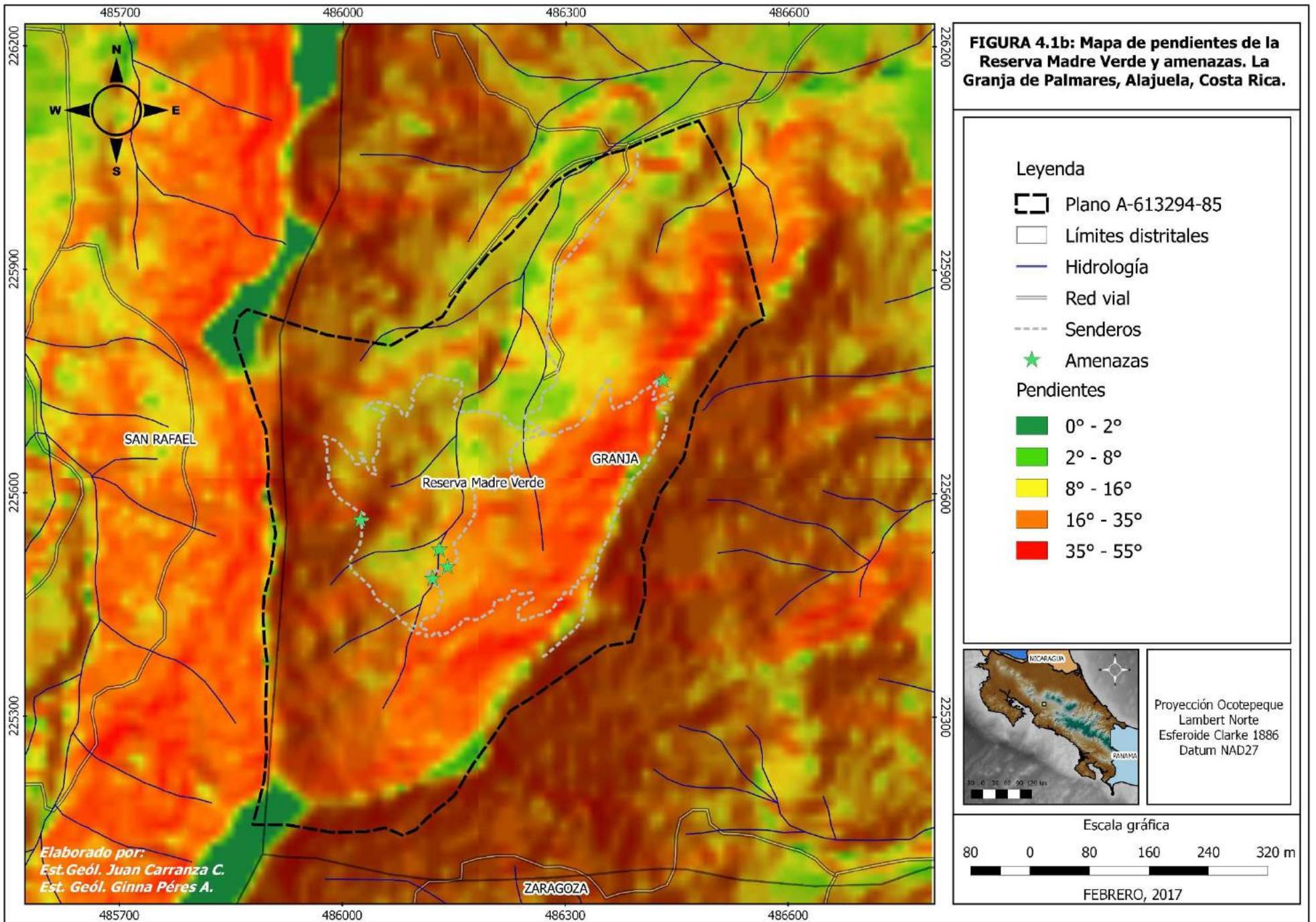


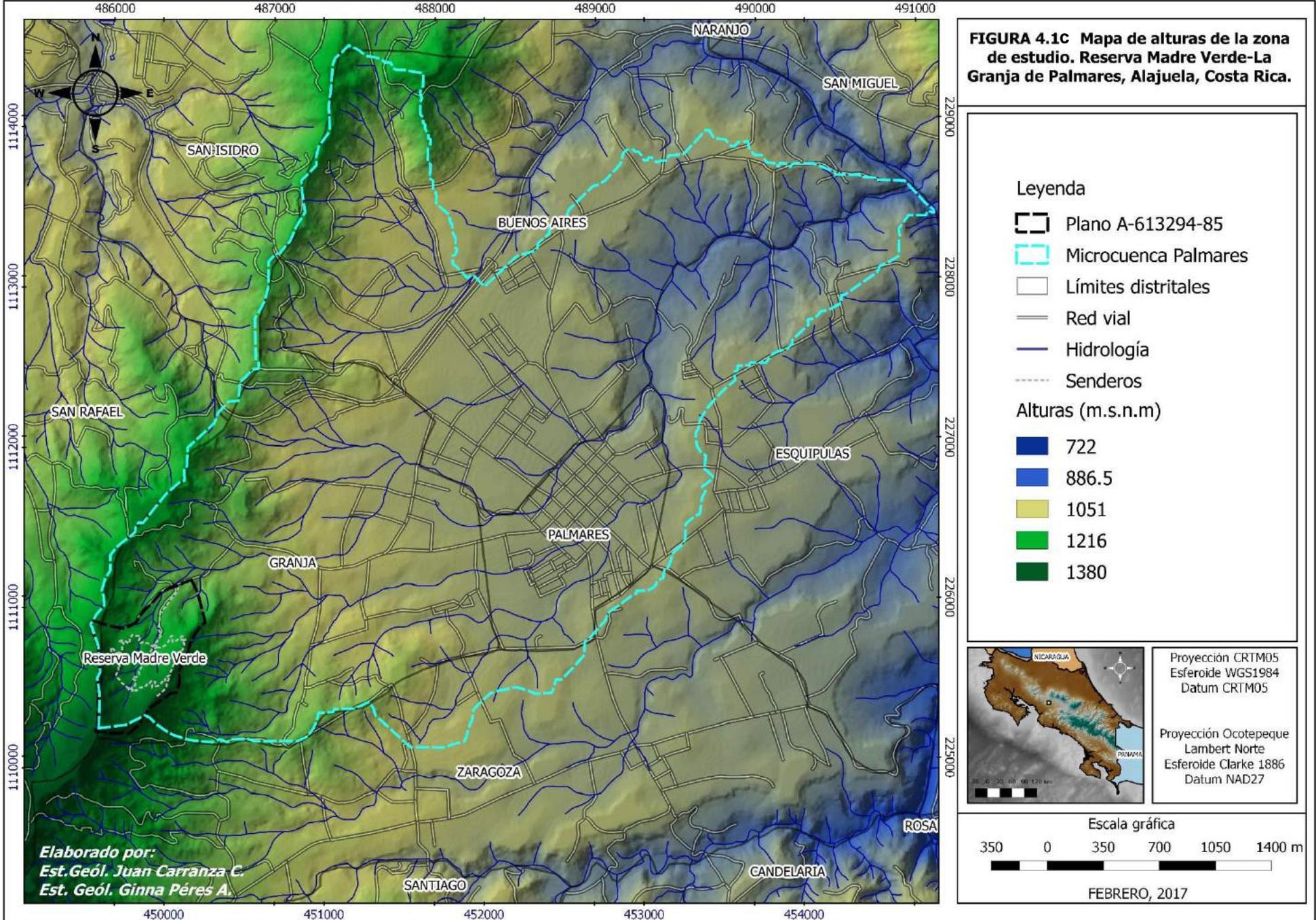
Proyección CRTM05  
Esferoide WGS1984  
Datum CRTM05

Proyección Ocatepeque  
Lambert Norte  
Esferoide Clarke 1886  
Datum NAD27



Elaborado por:  
Est. Geól. Juan Carranza C.  
Est. Geól. Ginna Pérez A.





## **4.2 Unidades geomorfológicas**

Estas unidades geomorfológicas se determinaron en base a su origen, de acuerdo a los criterios de clasificación de Van Zuidan (1986). Dicha clasificación consta de 8 clasificaciones genéticas y cada una de estas presenta de 5 a 17 subclases, donde además a conveniencia del área o morfología permite la creación de nuevas subclases.

Para el área estudiada se determinaron como las más abundantes las formas de origen denudacional, caracterizadas por pendientes desde muy bajas a muy fuertes (figuras 4.1a, 4.1b y 4.2).

### **4.2.1 Formas de origen denudacional**

#### ➤ Laderas denudacionales de muy baja a baja pendiente (D1)

Se localizan principalmente al este del área de estudio quedando casi excluida del área abarcada propiamente por la Reserva Madre Verde (figura 4.2). Se extiende a partir de la comunidad de la Granja hacia el sector de Palmares, por lo que se considera que podría tener una mayor extensión, otro de los sitios donde además se localizan estas laderas es en el sector de San Rafael de San Ramón, aunque en menor extensión. Presenta una topografía uniforme, las pendientes para esta unidad abarcan desde muy baja a baja pendiente ( $0^{\circ}$ -  $8^{\circ}$ ), estas se localizan a partir de los 1000 m s.n.m a 1065 m s.n.m. Respecto al patrón de drenaje corresponde subparalelo con dirección hacia el Este.

#### ➤ Laderas denudacionales de moderada pendiente (D2)

Esta unidad se presenta dentro del sector Norte de la Reserva Madre Verde; al igual que se distribuye al Este y Oeste de sectores aledaños y externos a la misma (figura 4.2). Es la unidad con más variable en la orientación de las laderas. Las ubicadas al Norte, dentro de la reserva, presentan un rumbo hacia el Oeste-Noroeste; al igual que lo hacen las ubicadas al Oeste, en sectores externos. Adicionalmente, las laderas ubicadas al Este, también externas a la reserva, muestran orientación principalmente Este, Sureste, Norte y Noreste. En esta categoría se agrupan aquellas pendientes de moderado grado ( $8^{\circ}$ - $16^{\circ}$ ).

La topografía se caracteriza por ser irregular, compuesta por los materiales procedentes de la erosión de los materiales volcánicos de las partes altas. La altitud a la que se encuentra esta unidad abarca desde los 1065 m.s.n.m a 1400 m.s.n.m, el patrón de drenaje es subparalelo con dirección Este y Noroeste.

➤ Laderas denudacionales de alta pendiente (D3)

La distribución de esta unidad muestra predominancia sobre la Reserva Madre Verde, abarcando gran parte de la misma, así como los terrenos ubicados al sur de esta. Presenta forma elongada e irregular.

Hacia el Sur de la Granja las laderas tienen una dirección preferente Sur, Sureste y Este. Para el área dentro de la reserva Madre Verde se identificaron dos grupos de laderas: Las del sector oriental (Norte-Noroeste) y las occidentales (Este-Noreste). Finalmente, hacia el oeste de la reserva, en el sector aledaño a esta, se observan orientaciones con dirección Oeste-Noroeste.

Dentro de esta unidad se agrupan las laderas correspondientes a alta pendiente ( $16^{\circ}$ -  $35^{\circ}$ ), las altitudes que abarca van desde los 1100 m.s.n.m a los 1430 m.s.n.m (Figura 4.1c). Está conformada por litologías volcánicas de La Formación Grifo Alto dispuesta en bloques de roca subredondeados a subangulares, producto de la erosión de dichos materiales, por lo cual hace que este factor sumado las pendientes altas sea una fuente potencial que propicie o pueda disparar deslizamientos.

El patrón de drenaje corresponde al subdendrítico con dirección del flujo preferencial hacia el Noreste y sureste.

➤ Laderas denudacionales de muy alta pendiente (D4)

Se localizan principalmente al Sureste de la reserva y al Noroeste, esta unidad es para aquellas laderas que corresponden al rango de muy alta pendiente ( $35^{\circ}$ -  $55^{\circ}$ ), tienen un rumbo preferencial Oeste-Noroeste y Sureste (Figuras 4.1a, 4.1b).

Se encuentran a partir de una elevación de 1200 m.s.n.m a 1300 m.s.n.m. Por su fuerte pendiente y el tipo de litología que corresponden a suelos productos de la meteorización de la

roca madre, ya citada anteriormente las hace susceptibles a deslizamientos, donde podrían tener una dirección principalmente hacia el sector de Cerro La Cruz, Finca Rita y hacia el S de la Reserva Madre Verde.

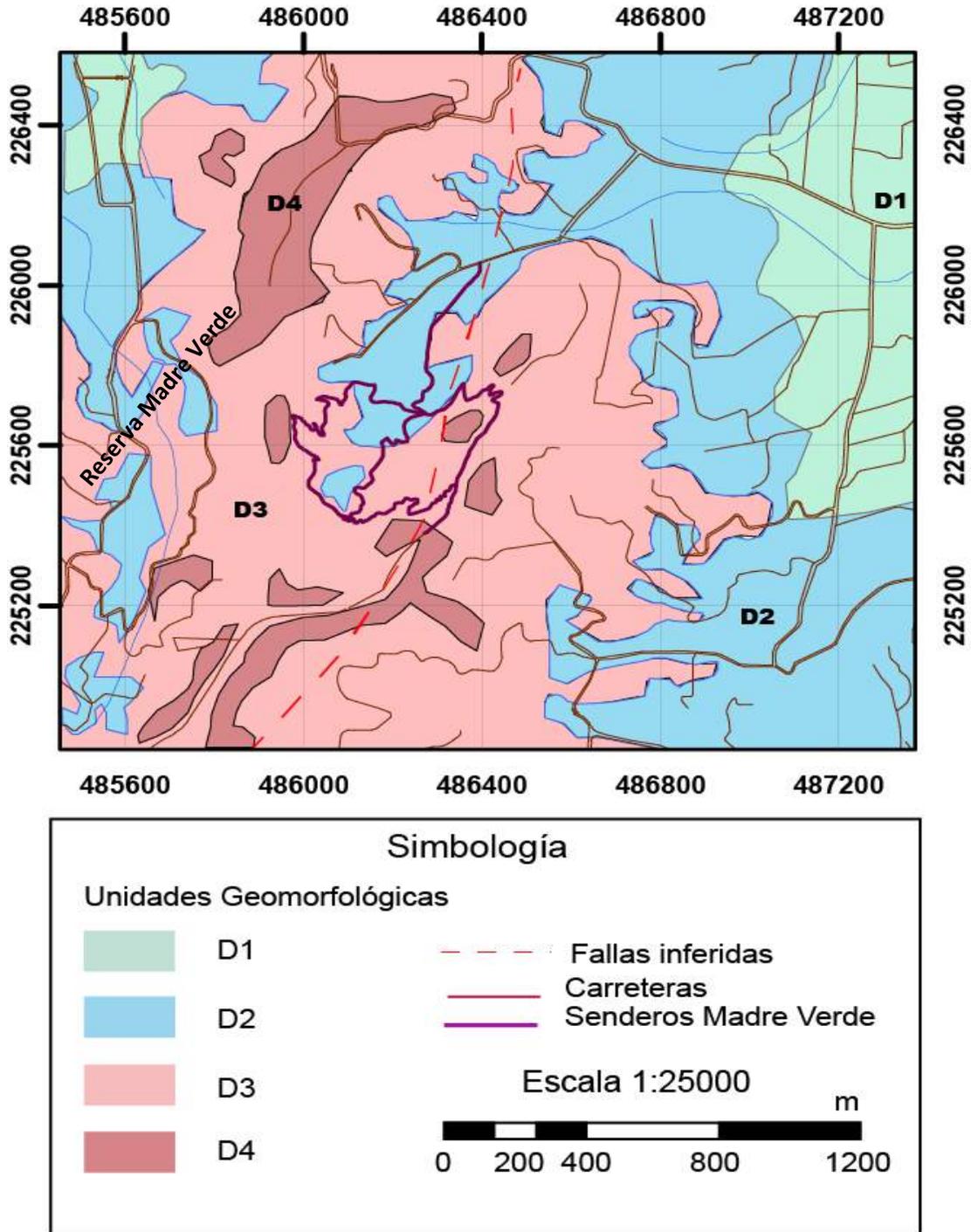


Figura 4.2: Mapa correspondiente a la geomorfología del área estudiada. Elaboró Sebastián Carmona Arias.

## CAPÍTULO V: GESTIÓN DEL RIESGO

### 5.1 Conceptos y generalidades

De acuerdo con Peraldo & Astorga, 2006 (en Geología de Costa Rica, 2006) los desastres están en función de tres variables, *la amenaza*, *la vulnerabilidad* y *el riesgo* como tal. Estos autores mencionan la importancia de conocer estas variables para una adecuada gestión del riesgo, que permita identificar, prevenir o corregir cualquier tipo de desastre, razón por lo que se hace mención de estos conceptos a continuación.

Existen diferentes tipos de amenazas: naturales, socionaturales, sociales tecnológicas entre otras. En este trabajo se trata la *amenaza natural*, esta debe su origen a la actividad del planeta las cuales resultan en sismos, erupciones, deslizamientos entre otras. Peraldo & Astorga, 2006 (en Geología de Costa Rica, 2006) mencionan que un proceso natural se puede convertir en amenaza por la intervención antrópica, si ocurre de manera no planificada y sin sentido de prevención.

Respecto al término de *vulnerabilidad*, este corresponde al grado de exposición de un elemento ante una amenaza. Por esta razón es indispensable la identificación de los diferentes tipos de amenazas que puedan existir en un sector específico.

El *riesgo* corresponde con las pérdidas ya sean económicas o humanas que probabilísticamente podrían ser causadas por una determinada amenaza.

### 5.2 Análisis de amenazas

En este apartado se tratan todas aquellas amenazas potenciales que fueron identificadas dentro de la Reserva Madre Verde. Para ello se realizó un recorrido por toda la zona de estudio, dando énfasis en los senderos de uso peatonal, ya que son los puntos directos de relación humano-ambiente. En el capítulo siguiente se menciona la vulnerabilidad intrínseca del acuífero para la zona de la Reserva Madre Verde, la cual juega un papel importante a analizar.

Con base en un cartografiado por la reserva, se lograron identificar 3 tipos de amenazas principales: amenaza por deslizamiento, amenaza por caída de rocas y amenaza por crecidas en las quebradas.

### 5.2.1 Amenaza por deslizamientos

En el sendero este específicamente en el sitio (486431 E/225752 N), se observó un deslizamiento a nivel mesoscópico de dimensiones 6,5 m de largo x 4 m de altura (Foto 1), en este sitio se observó que el material que se encuentra en movimiento corresponde a la capa de suelo superficial que se ha erosionado de los materiales volcánicos de dicha localidad, dicha litología compuesta por un material de matriz limo-arcilloso al encontrarse en un corte de sendero de alta pendiente (Figura 4.1b) y sin algún tipo de revestimiento, propicia el deslizamiento de la misma.

Esta inestabilidad afecta al sendero Este, ya que la corona de dicho deslizamiento ha cortado parte del sendero que yace sobre este y además se observa en el campo una serie de fracturas paralelas a la corona que indican que el terreno sigue en constante movimiento (Foto 2). Esta zona representa una amenaza potencial que podría afectar tanto la estructura del sendero como la vida humana para quienes se encuentren transitando por el tramo, ya que se puede reactivar durante el periodo de lluvias, propiciando el movimiento de tierra a favor de la pendiente, en la foto 2 se puede observar que el deslizamiento cubre parte del sendero.



Foto 1: Deslizamiento mesoscópico en el sendero Este, coordenadas (486431 E/225752 N).

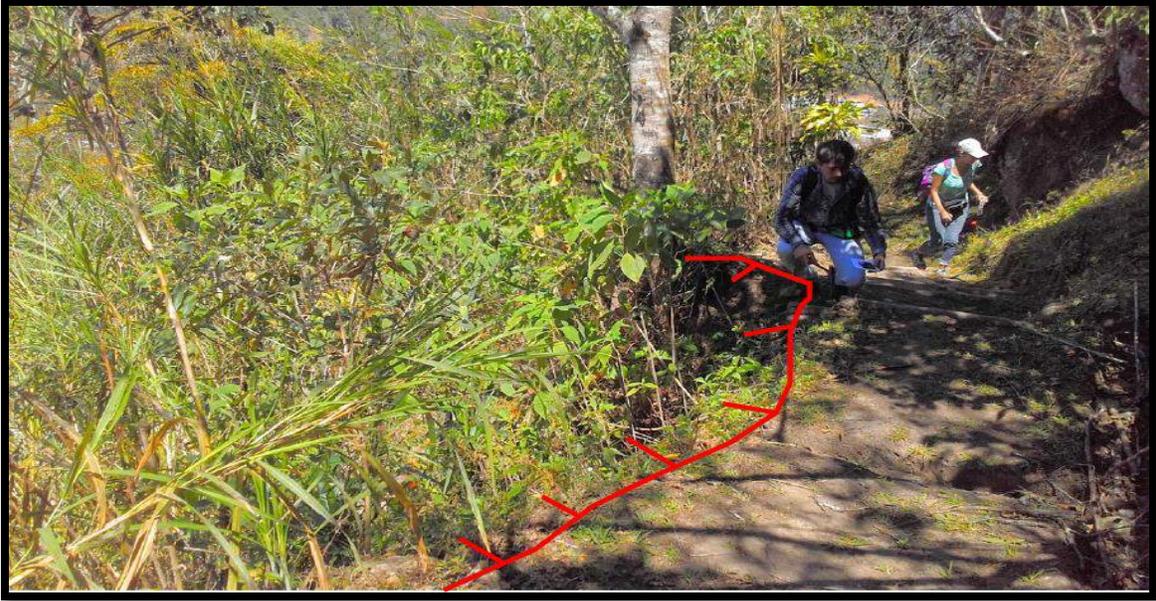


Foto 2: Se muestra la corona del deslizamiento, afectando parte del sendero Este, coordenadas (486431 E/225752 N).

### ***5.2.2 Amenaza por caída de Rocas***

El punto más representativo de esta amenaza se encuentra cercano del sitio descrito anteriormente donde se presenta amenaza por deslizamiento, coordenadas (486431 E/225752 N), sin embargo, dentro de la reserva se encontró una distribución amplia de estos bloques que deben ser considerados a futuro. En el sitio se observa una serie de bloques de tamaño métrico con un máximo de tamaño de 3 m de alto y 2 m de largo a un lado del margen sureste del sendero, los bloques corresponden con una composición andesítica, estos afloran en dicho lugar debido a la erosión del cerro (Foto 3).

Estos bloques representan una amenaza potencial a corto o largo plazo, debido a que su base ha sido falseada por la erosión, lo cual es probable que dichos bloques caerán sobre el sendero. Durante las visitas de campo se constató que los bloques se encuentran en parte, estabilizados por árboles que evitan que estos se desplacen hasta caer.

Es importante considerar el comportamiento del suelo ante los ciclos de humedecimiento (invierno) y secado (verano), ya que durante estos ciclos ocurre la erosión en favor de la pendiente del material base de estos bloques y por ende la desestabilización del estado potencial de los

mismos. Es común que durante el tiempo de verano (diciembre - abril) las precipitaciones son bajas o nulas, y el suelo suele tener un comportamiento de contracción, que origine grietas de hasta 3 cm o más. Esta contracción, además de la acción de las raíces de los árboles, son factores de desestabilización a considerar.

El mecanismo de la erosión junto a la meteorización son los encargados de fragmentar en bloques y suelos residuales a la roca madre, en donde junto a las altas pendientes a las que éstos se pueden encontrar, aumentan el riesgo de caída y afectación tanto a los senderos, como a las personas que se encuentren transitando por los senderos. Por tal razón es importante la identificación de estas zonas con presencia de bloques dentro de la Reserva Madre Verde.

Como se observa en el mapa de pendientes (Figura 4.1b), los senderos del sector este y sector sur son donde se encuentran las mayores pendientes, donde se abarca un rango de pendientes moderadas a ( $8^{\circ}$  -  $16^{\circ}$ ) a pendientes fuertes ( $27^{\circ}$  -  $32^{\circ}$ ). Para el sendero central se encuentran pendientes bajas ( $4^{\circ}$  -  $8^{\circ}$ ) a moderadas ( $13^{\circ}$  -  $17^{\circ}$ ). En el sendero oeste, las pendientes abarcan desde bajas ( $4^{\circ}$  -  $8^{\circ}$ ) a fuertes ( $27^{\circ}$  -  $32^{\circ}$ ). Basado en lo anterior, se identificó en el sitio con coordenadas (486431 E/225752 N), es de alta probabilidad la caída de rocas, pues las pendientes de las laderas en dicho punto son fuertes.

Así, lo anterior muestra que el sendero que representa una mayor amenaza por la caída de bloques y deslizamientos corresponde al sendero Este, ya que es en este dónde se encuentran las laderas de mayor ángulo y la litología corresponde a suelos residuales meteorizados.



Foto 3: Amenaza de caída de bloques métricos sobre el sendero Este, coordenadas (486431E/225752N).

### ***5.2.3 Amenaza por crecidas en las quebradas***

Corresponde a aquellos sitios localizados en el sendero central (486121/225485, 486141/225501 y 486130/225524), donde la amenaza consiste en posibles crecidas de las quebradas debido a fuertes lluvias que se pueden presentar dentro del área de la microcuenca hidrográfica. En el sitio se observó que el sendero atraviesa en dos ocasiones el cauce fluvial que desfoga las aguas superficiales en la reserva, el mismo presenta un ancho de 3 m, aproximadamente.

Para suelos de composición de limos-arcillosos con una permeabilidad baja, bajo episodios de lluvias intensas, dicha condición generará aumentos rápidos en el caudal de la quebrada representando una amenaza a quienes circulen por el sitio (Foto 4). Por lo tanto, se debe considerar la implementación de puentes peatonales que se adecuen al cauce dentro de la reserva con el fin de evitar cualquier evento en periodo de lluvia, que atente con daño a estructuras.



Foto 4: Amenaza por crecidas del cauce fluvial por lluvias intensas, coordenadas (486121E/225485N)



## **5.3 Factores de Vulnerabilidad**

### **5.3.1 Factores Ambientales**

El área de estudio está ubicada dentro de una zona cuyo rango puede determinarse entre semiurbano-semirural presentando una mayor proximidad al área urbana por su costado este, por donde comunica con la comunidad de Palmares. Considerando que la reserva en sí constituye un espacio que restringe la explotación de las tierras y brinda protección a los bosques de la zona, lo cual contribuye a generar estabilidad en los terrenos, este hecho constituye un factor de seguridad respecto a los factores ambientales, circunstancias que en la actualidad se reafirman dado el tipo de terrenos y construcciones circundantes al área de estudio, siendo estos primordialmente cafetales, campos con otros cultivos y algunas viviendas. Estas últimas hacia la parte Noreste de la reserva.

De acuerdo a lo anterior, si bien el ámbito ambiental no presenta un carácter de vulnerabilidad que genere preocupación, se alerta que dicho panorama es muy susceptible al cambio dada la cercanía de la reserva al distrito urbano La Granja y dada la tendencia al crecimiento de la población; lo cual podría significar un cambio en las características del uso de las tierras vecinas. Debido a ello estos factores deben ser contemplados dentro de los planes de ordenamiento territorial, implementados por la municipalidad respectiva.

### **5.3.2 Factores Físicos**

Respecto a las vías de comunicación, el acceso al área de estudio se da exclusivamente por el costado noreste cuya vía de acceso es única entre el poblado de la Granja y la entrada a la reserva, trayecto aproximado de 500 m el cual se caracteriza por ser una calle angosta asfaltada de pendiente baja a moderada. Adicionalmente, la entrada a la reserva y el área de las instalaciones (zona de recreación) se comunican por una única vía, camino de aproximadamente 300 m de largo el cual no está asfaltado y presenta alta pendiente, haciéndolo transitable casi solo para vehículos de doble tracción.

Por lo anterior se denota que el contar con una vía única de acceso entre los segmentos mencionados, presentando pendientes medias a altas y con trayectos de mayor accesibilidad a solo cierto tipo de vehículos, genera un nivel medio de vulnerabilidad en el área, dado que en un evento

en que se llegue a bloquear dicha vía, se hace imposible abandonar la zona de forma inmediata ante un evento de amenaza y/u ocurrencia de desastre natural.

### **5.3.3 Factores Socio-económicos**

En el ámbito propiamente económico se presenta como un elemento de debilidad de la reserva el no haber logrado una completa consolidación económica desde su creación, pues podría decirse que esta ha logrado generar apenas lo suficiente para su existencia. Esta situación crea cierto grado de incertidumbre respecto a su existencia y su aseguramiento a largo plazo, generando a su vez una condición vulnerable de la misma al eventualmente no poder disponer de recursos suficientes para su mantenimiento o mejoramiento continuo. Lo anterior, afecta igualmente en una reducción de su capacidad para prepararse ante la prevención y respuesta a las amenazas y desastres naturales. Todo esto sin considerar además, que una eventual desaparición de la misma, implicaría con ello la pérdida de un espacio que da protección a los ecosistemas y recursos naturales

Adicionalmente, y de la mano un poco con el factor ambiental; se percibe en la actividad económica de los terrenos vecinos, otro factor que genera vulnerabilidad a la reserva, esto pues un eventual abuso de tierras en el cultivo de los suelos o un manejo inadecuado de productos agroquímicos pueden afectar la calidad de los suelos de la reserva, modificando sus propiedades, y generando una posible contaminación de los las aguas y mantos acuíferos presentes en ella.

## **CAPÍTULO VI: HIDROGEOLOGÍA**

La zona de Madre Verde localizada en parte alta del distrito de la Granja de Palmares se cataloga como una zona de recarga acuífera donde ocurre parte de la infiltración de las aguas subterráneas que conforman el acuífero de Palmares. Es por esta razón que se debe investigar el sitio desde el punto de vista hidrogeológico con el fin primordial de proteger y planificar las acciones futuras en la reserva y alrededores.

En este apartado se determinan algunos parámetros de interés acuífero para la zona, tales como la conductividad hidráulica de los materiales a partir de pruebas de infiltración y la caracterización de la microcuenca. Lamentablemente no se cuenta con datos de pozos cercanos que se hayan obtenido de la base de datos del SENARA, por lo que este capítulo se ve limitado a observaciones y pruebas determinadas en campo.

### **6.1 Zona de recarga**

Las zonas de recarga son sitios óptimos por donde infiltra el agua en el suelo, y están ligadas fuertemente al uso del suelo. La infiltración de agua en estas zonas se da principalmente por el agua de lluvia, aunque la cercanía con los ríos, podría tener gran influencia (ríos Influentes). Las aguas se mueven a través de los poros y fracturas de las rocas, y llegan a una zona de reserva conocida como acuífero, el cual puede almacenar y transmitir el agua para aprovechamiento de consumo humano, se caracteriza de acuerdo a las litologías que lo componen. Actualmente muchos de estas zonas han sido transformados mediante distintos usos de suelo, algunas actividades pueden ocasionar contaminantes que se infiltran y viajan con el agua a través de los poros, estos podrían llegar hasta el acuífero y contaminarlo, otras actividades por ejemplo podrían impermeabilizar el terreno, lo que provoca un cambio en las propiedades físicas de porosidad y permeabilidad, y dan paso a la escorrentía, lo cual modifica el relieve por erosión y acarreo de material ladera abajo. Las zonas de recarga por lo tanto son sitios que se deben conservar, sin alteración antrópica alguna, para el mayor aprovechamiento de captación y almacenaje de un acuífero.

La reserva Madre Verde corresponde con una zona de recarga acuífera importante para el acuífero de Palmares, ya que esta se localiza en la parte alta de la microcuenca de Palmares, por donde

corre la Quebrada Calabazo, además, por la restricción de uso con enfoque conservacionista que se le ha dado en los últimos años, siendo este bosque secundario, pastizales y charrales principalmente.

De acuerdo a la morfología de la reserva existe un flujo regional por donde se mueven las aguas recargadas en la parte alta de la microcuenca, las cuales tienen una dirección Suroeste a Noreste, que luego tiende hacia el Este, así lo demuestra la quebrada superficial el Calabazo.

Lamentablemente la reserva no cuenta con un estudio de balance hídrico de suelos, específico que cuantifique la recarga potencial que se genera en la zona. Este dato junto con un modelo conceptual de las aguas subterráneas son una herramienta vital en la delimitación y planificación a futuro de la zona.

## **6.2 Meteorología**

Para la determinación del área de influencia por lluvia, se han utilizado 3 estaciones del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), y la subestación San Ramón-UCR, las mismas se muestran en el gráfico 1 y en la figura 6.1. Estas han sido escogidas considerando la influencia más cercana a la zona de estudio, así como barreras orográficas y la dirección predominante de los vientos en la zona. Se han tomado datos a partir del 2009 y hasta el 2014 (Anexo 1).

Las estaciones con las que se cuenta son: Estación La Luisa, localizada al norte de Sarchí, estación La Argentina, esta se encuentra en el cantón de Grecia, estación Atenas localizada en la Universidad Técnica Nacional, y la Subestación de San Ramón, ubicada en la Universidad de Costa Rica al Norte de la zona de estudio.

La zona de Madre Verde se ubica dentro del área de influenciada de la Subestación de San Ramón, esta ha reportado una precipitación anual mínima de 1157.3 mm y máxima de 2906.8 mm, para el periodo de 2009-2014. Sin embargo, puede verse influenciada por las estaciones de la UTN-Atenas, y en especial La Luisa-Sarchí Norte, debido a la predominancia de los vientos con direcciones NW-SE. Para las cuatro estaciones los meses de Enero, Febrero y Marzo fueron los más secos, en los que prácticamente no llovió, los más ricos en agua de lluvia fueron Agosto, Setiembre y Octubre, para el año 2010 por ejemplo, se alcanzaron precipitaciones máximas en el mes de setiembre superiores a los 800 mm (Gráfico 1).

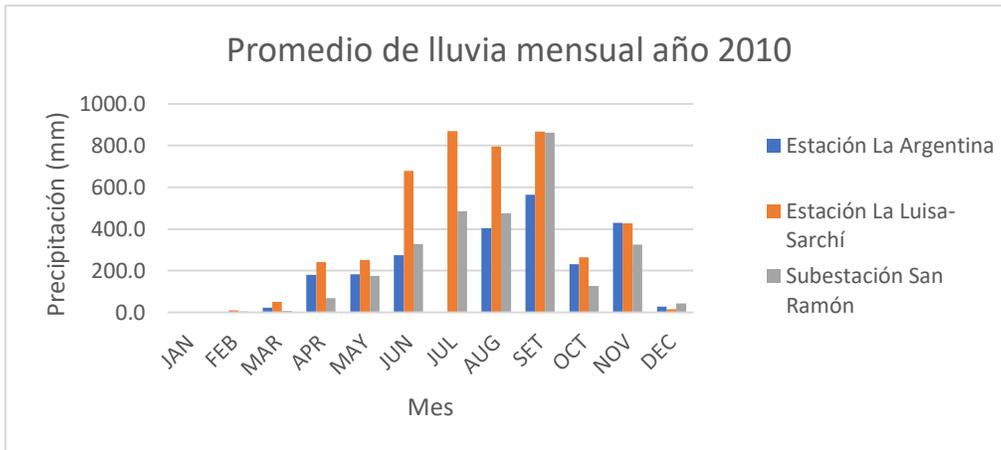


Gráfico 1: precipitación mensual para las estaciones pluviométricas cerca de la zona de estudio.

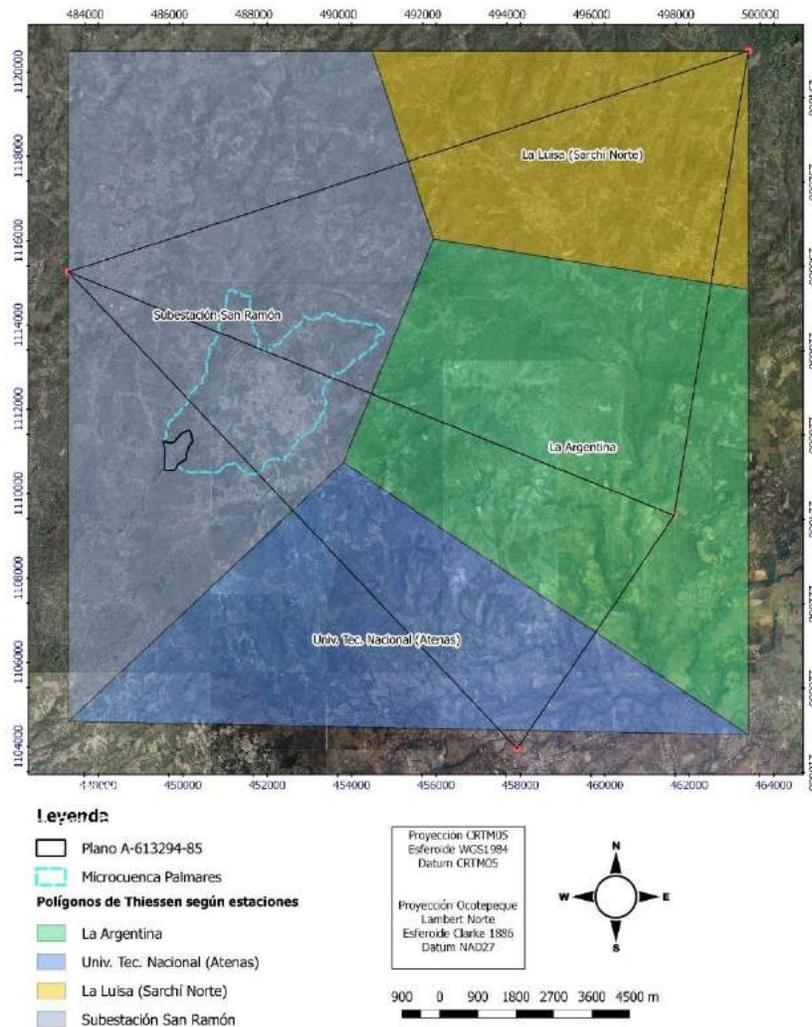


Figura 6.1. Polígonos de Thiessen según estaciones.

### **6.3 Caracterización de la microcuenca de Palmares**

La microcuenca de Palmares cubre un área de 11 809 743.6 m<sup>2</sup>, comprende una zona plana, con forma de valle en el centro, delimitada por zonas altas con altitudes entre 1000 y 1380 m.s.n.m compuestas por materiales más resistentes a la erosión, correspondientes a rocas volcánicas de la Formación Grifo Alto. Como se mencionó en el capítulo de geología, el valle de Palmares se compone por depósitos lacustres, interdigitadas con las ignimbritas de la Formación Tiribí (Rojas, 2013), este depósito se encuentra disectados por varios afluentes que corren río abajo con direcciones preferenciales E-NE. Los patrones preferenciales que muestran los ríos son del tipo dendrítico y subparalelo.

La microcuenca de Palmares es regada por la quebrada Calabazo hacia el Suroeste, esta presenta una longitud aproximada de 4 km y se une con la quebrada Azul localizada hacia el noreste de la microcuenca, esta con una longitud a partir de la unión con la quebrada Calabazo y hasta unirse con Río Grande de 2.5 km aproximadamente. Ambas quebradas tienen una dirección preferencial en el sentido SW-NE.

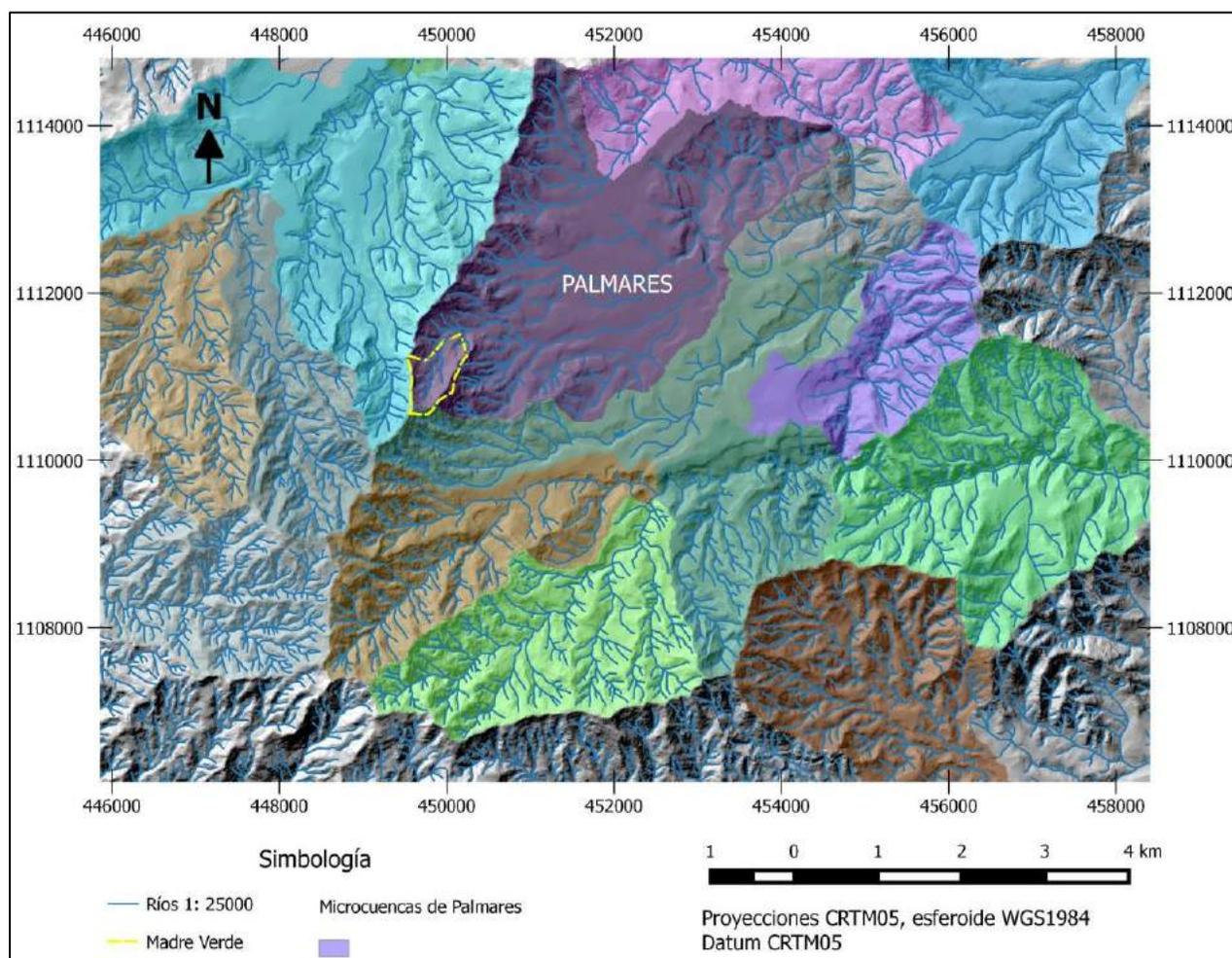


Figura 6.2: Representación de las microcuencas en el área de Palmares. Elaboración propia.

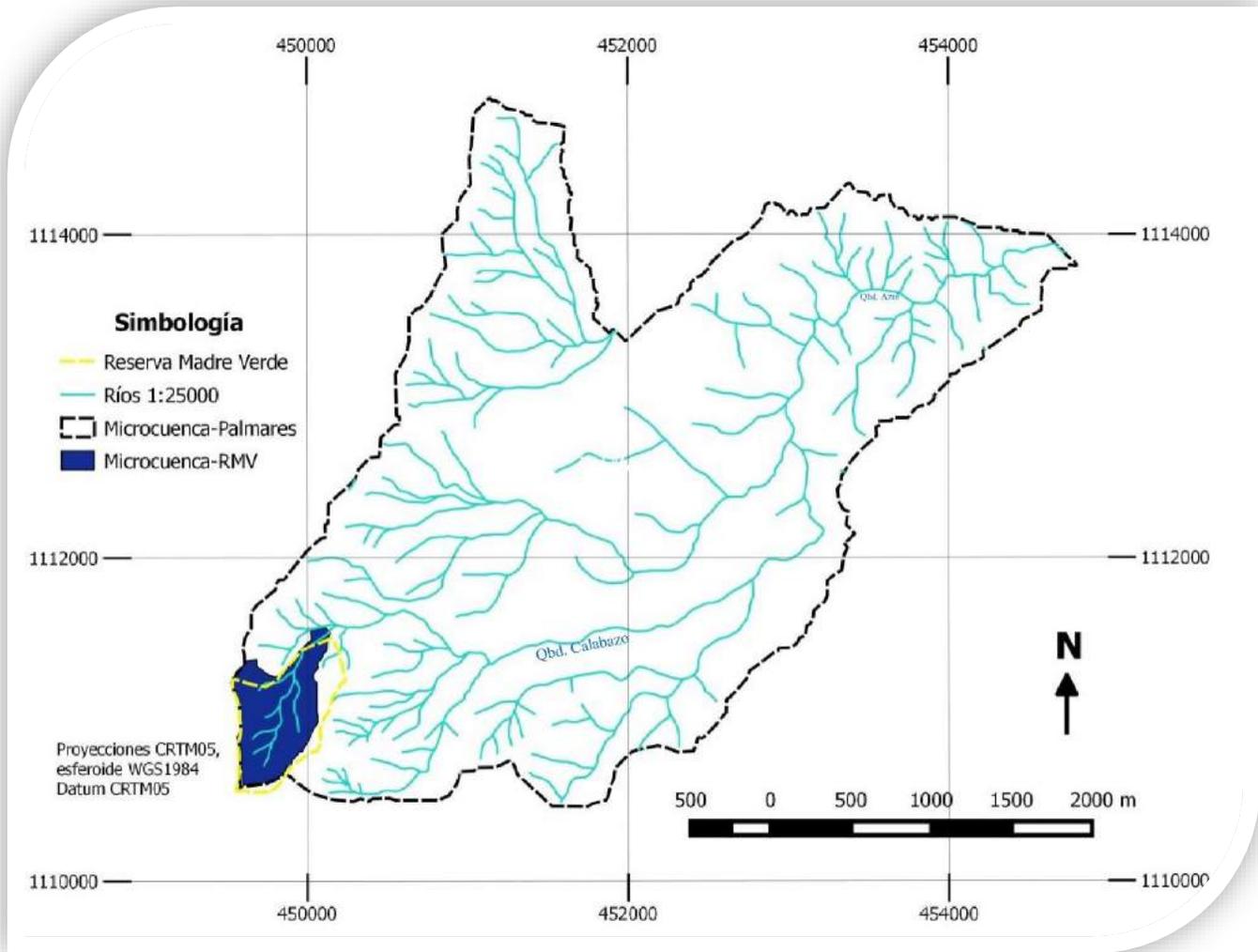


Figura 6.3: Delimitación de la microcuenca a la que pertenece la Reserva Madre Verde.

Elaboración propia.

## 6.4 Análisis de la zona no saturada

### 6.4.1 Pruebas de infiltración

Con la finalidad de simular una infiltración sin dirección preferencial en la zona no saturada, en donde el agua busca infiltrar tanto en la horizontal como en la vertical, se emplea el método de infiltración de Porchet.

Con la aplicación de esta metodología, se pretende asimilar la infiltración que se pueda producir en los suelos de la Reserva.

En la práctica se debe perforar un hueco en un suelo representativo del área, con minucioso cuidado de no alterar las paredes del mismo durante la perforación (Esquema 1). Se deben obtener la medición de la altura inicial, y seguidamente saturar el agujero con agua, y una vez saturado el suelo, tomar medidas del descenso del agua con respecto al tiempo. Estas medidas proporcionan los parámetros de altura del descenso del agua y tiempo, con los que se calcula la capacidad de infiltración básica del suelo mediante la ecuación 1, (Custodio & Llamas, 2001).

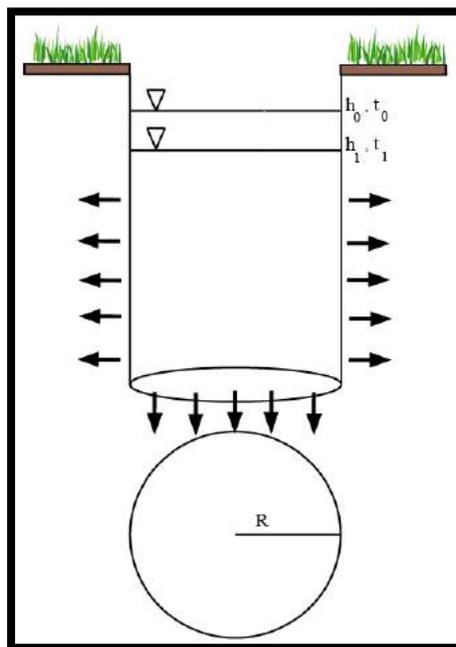
$$f = \frac{R}{2(T_2 - T_1)} \ln \frac{2h_1 + R}{2h_2 + R}, \quad \text{Ecuación 1.}$$

**f**= capacidad de infiltración [cm/min]

**R**= radio del agujero [cm]

**T**= tiempo x [min]

**h** = altura para un tiempo x [cm]



Esquema 1: Dibujo explicativo de la metodología de Porchet.

#### **6.4.2 Descripción macroscópica de suelo en campo**

De manera general debido a la meteorización de la roca madre en los alrededores inmediatos a la reserva, se genera un suelo de color café oscuro a rojizo de textura limosa, presenta cerca de un 90 % de matriz limo-arcilloso y un 10% de participación de líticas de la roca sana y meteorizada circundante.

En las zonas donde hay mayor exposición a la intemperie es común encontrar suelos más rojizos, y en algunas ocasiones los líticas presentan alteración a arcillas.

En todas las excavaciones de las pruebas de infiltración se observó una capa centimétrica de suelo con influencia de materia orgánica, y bajo este un suelo café rojizo producto de la meteorización de la Formación Grifo Alto.



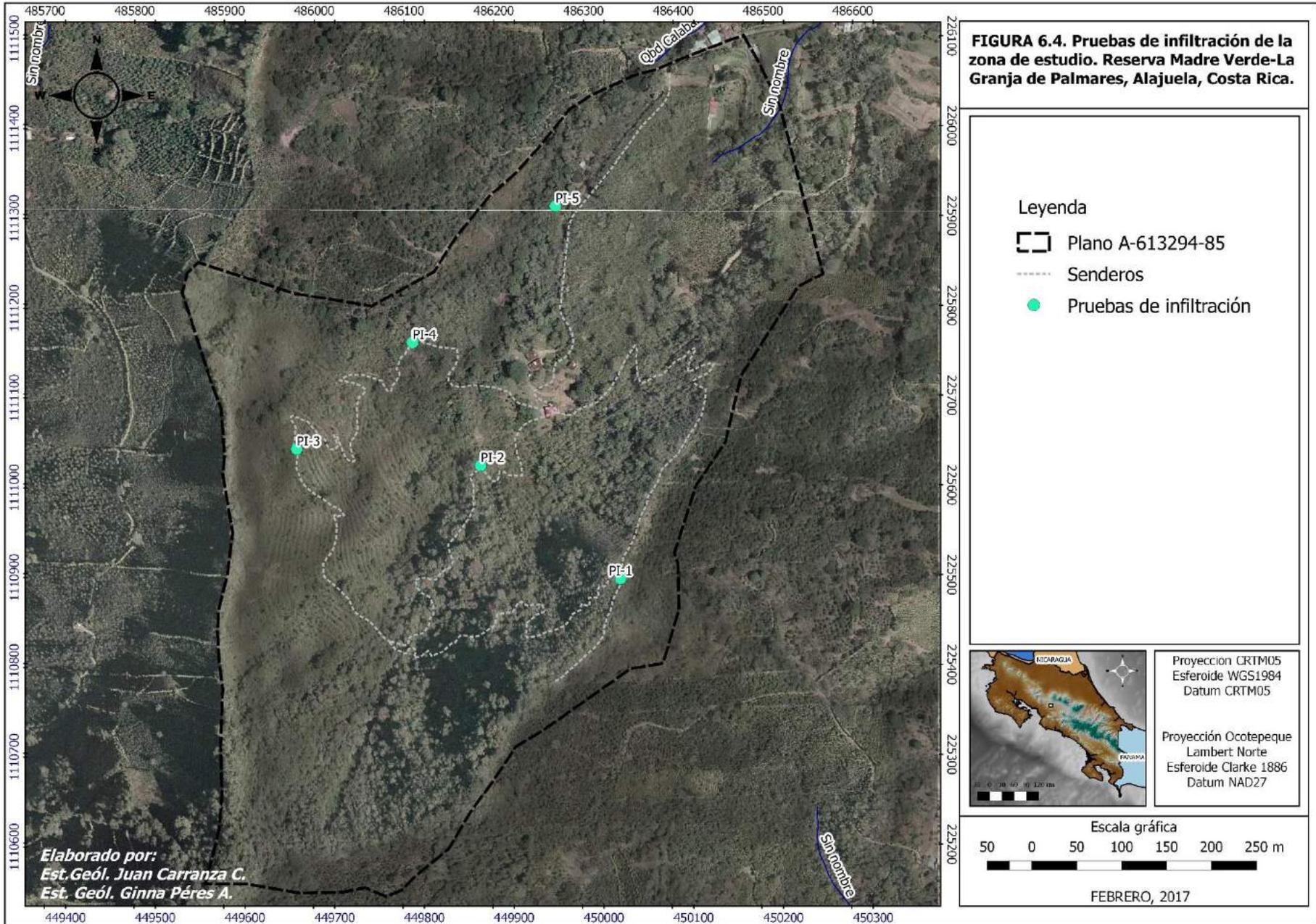
Foto 5. Prueba de infiltración PI-1, muestra el tipo de suelo obtenido de la excavación, se observan dos horizontes uno color negro a café oscuro y otro café-rojizo.

Se realizaron 5 pruebas de infiltración en los alrededores de la reserva, (Figura 6.4), estas pruebas se hicieron a una profundidad de entre 39 - 40 cm del suelo por medio de la metodología de Porchet (Foto 5), así se evaluó la capacidad de infiltración del material geológico (Anexo 2). De ellas se deriva un dato final de velocidad de infiltración (dato estabilizado). Este dato puede ser considerado análogo en magnitud a la conductividad hidráulica de la parte superficial o más somera de la zona no saturada para los materiales correspondientes a la Formación Grifo Alto (Cuadro 4).

Del análisis de estos resultados se desprende que; hidrogeológicamente los materiales de las Pruebas de Infiltración 1, 2, 3, 4 y 5 presentan una *conductividad hidráulica (k) predominantemente bajo*, siendo este 0.687 m/d y corresponden con el valor de la capacidad de infiltración de la unidad geológica Grifo Alto, para la cual se utilizó el valor de infiltración promedio de las pruebas de infiltración No. 1, 2, 3, 4 y 5; debido a la homogeneidad de los materiales geológicos.

<b>Prueba</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Capacidad de infiltración (cm/min)</b>	<b>Capacidad de infiltración (cm/s)</b>	<b>Capacidad de infiltración (m/d)</b>	<b>Tipo de material</b>
PI-1	486342	225495	0.0625	1.04E-03	0.9	Suelo limo-arcilloso
PI-2	486186	225621	0.0138	2.31E-04	0.2	Suelo limo-arcilloso
PI-3	485981	225639	0.0227	3.79E-04	0.328	Suelo limo-arcilloso
PI-4	486000	225831	0.0465	7.75E-04	0.67	Suelo limo-arcilloso
PI-5	486288	226114	0.093	1.55E-03	1.34	Suelo limo-arcilloso

Cuadro 4. Pruebas de infiltración



## **6.5 Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación en la zona de protección absoluta inmediata**

La vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del acuífero se evalúa por medio de la metodología G.O.D. (Foster y otros, 2002), el cual toma en cuenta tres factores y aplica un índice a cada uno de ellos. La vulnerabilidad final resulta de la multiplicación de esos tres índices. Los cálculos son los siguientes:

- Grado de confinamiento: falta dato
- Ocurrencia del sustrato: Formaciones ígneas volcánicas antiguas índice **0.6**
- Profundidad al nivel freático: falta dato

A partir de este sencillo análisis se puede estimar el índice de vulnerabilidad intrínseca al acuífero de la zona. Los datos faltantes para el desarrollo se obtienen a partir de la información obtenida de pozos, esta información podrá ser obtenida en la base de datos del SENARA.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La geología local es definida dentro de una única unidad denominada Unidad Madre Verde. Esta se encuentra asociada al Grupo Aguacate, formación Grifo Alto, donde se encontró como característica principal, el ser material constituido por bloques métricos masivos de andesita, productos de lavas y depósitos piroclásticos que a nivel general presentan evidentes signos de meteorización en grados moderado a fuerte.
2. Se encuentra que el cuerpo rocoso está en general soportado por suelos predominantemente de color café oscuro a rojizo, de textura limosa a arcillosa, cuya presencia es atribuida a regolito autógeno a la formación Grifo Alto, con un importante aporte de contenido orgánico.
3. Regionalmente, el área de estudio es afectada por el sistema de falla transcurrente de Costa Rica, que se extiende desde la provincia de Limón hasta el Golfo de Nicoya.
4. De acuerdo con los esfuerzos regionales planteados por Gursky (1988) y extrapolados a todo el país, es válido relacionar la cuarta fase compresiva determinada a la deformación del área de estudio, en donde prevalece un estilo de deformación NE-SE y otro NW-SE.
5. Con base en los lineamientos determinados por Huapaya & Rojas (2013) y el mapa de la curvatura, se establecen dos sistemas de fallamiento, uno en sentido NW-SE y otro NE-SW.
6. La Reserva Madre Verde es atravesada por uno de estos lineamientos que de acuerdo con Rojas (2012) consiste de dos lineamientos que tienen rumbo de N 45° E y se extienden 4,1 y 2,2 km.
7. Respecto a la edad y debido a que solo atraviesa el basamento de la región, se le puede asociar con una edad Pliocénica.
8. En contexto geomorfológico, se determina que las unidades presentes en el área corresponden con laderas volcánicas denudacionales, las cuales son distribuidas en 4 unidades geomorfológicas. Estas abarcan desde laderas denudacionales con pendientes muy bajas hasta aquellas con pendientes muy fuertes.
9. Se presenta especial predominancia de las unidades geomorfológicas denudacionales de pendientes fuertes (D3; 35,1 - 45°) a muy fuertes (D4; 35,1 - 55°) la cuales se determinan estar en una relación directa con las amenazas identificadas.
10. Como amenazas de mayor rango potencial se identifican tres eventos principales: amenazas por deslizamiento, amenazas por caídas de rocas y amenazas por crecidas en las quebradas.

11. Respecto a estas amenazas, se detecta que las condiciones imperantes de pendiente, fuerte a muy fuerte, hacen de los suelos muy propensos a movimientos de masas, especialmente de aquellos materiales a nivel de la capa superficial, en cuyo caso de la reserva tienen una especial afectación sobre el área de los sederos. Así, destaca durante el momento del mapeo un deslizamiento ubicado en el sendero Este (486431 E/225752 N) percibido como un peligro potencial real ante condiciones de sobresaturación del suelo en temporada de lluvia.
12. Ligado a lo anterior y en relación con los bloques métricos masivos característicos de la geología del área, se suma la amenaza por caídas de rocas, que al tener un área de influencia sobre los senderos constituyen otro peligro potencial a la vida de las personas. Destaca en particular, una posible caída de bloque en un punto muy próximo al deslizamiento anteriormente destacado.
13. Respecto a las amenazas por crecidas en las quebradas, se identifican dos puntos de peligro potencial ubicadas en el sendero central (486121 E/225485 N, 486141 E/225501 N y 486130 E/225524 N). Estas son áreas donde los cambios de la dirección de ladera forman puntos de inflexión ocasionando así un cierto grado de encajonamiento de los ríos.
14. Se identifica como el factor de mayor vulnerabilidad detectado en la infraestructura, la vía de ingreso a la reserva, específicamente en el sector que comunica la entrada con el área de las salas de eventos. Esta vía está ubicada sobre una zona de alta pendiente, que, al ser relativamente angosta, limita el tipo de vehículos que pueden transitar por ella, así como el número de vehículos que puedan usarla simultáneamente en direcciones opuestas. Todo esto restringe el acceso a la reserva, y la capacidad de los vehículos para ingresar o salir de la reserva oportunamente en situaciones de alerta o de emergencia.
15. Destaca para todas las amenazas mencionadas que el principal agente disparador de ellas lo constituye la lluvia, que al causar sobresaturación de los suelos en un área de altas pendientes y al constituir uno de los principales agentes erosivos de la región, tiene un efecto importante en la desestabilización de los suelos dando lugar a tales eventos.
16. Basado en lo anterior se plantea como recomendación especial ante el deslizamiento destacado, así como en cualquier otro posible deslizamiento próximo al área de senderos, el recubrimiento de las paredes en dichos tramos, de forma que se logre contener el movimiento de materiales que pongan en peligro la vida de las personas que transiten estos senderos, utilizando para ello mayas, geotextiles u otros materiales apropiados en la retención de suelos.

17. Adicionalmente, dado que las circunstancias mencionadas apelan a la importancia de un chequeo constante al estado de los senderos, se recomienda una inspección regular de los mismos, durante la cual se registren nuevos movimientos de masa y se ejecute un control en el avance de los mismos; de forma que se provea información valiosa y oportuna en la toma de decisiones que conlleven a acciones preventivas y correctivas que velen exitosamente por el bienestar de los visitantes y los colaboradores de la reserva.
18. Hidrogeológicamente la Reserva Madre Verde corresponde con una zona de recarga acuífera importante, ya que esta se localiza en la parte alta de la microcuenca de Palmares, por donde corre la Quebrada Calabazo, además, por la restricción de uso con enfoque conservacionista que se le ha dado en los últimos años, siendo este bosque secundario, pastizales y charrales principalmente.
19. La zona de Madre Verde se ubica dentro del área de influenciada de la Subestación de San Ramón, esta ha reportado una precipitación anual mínima de 1157.3 mm y máxima de 2906.8 mm, para el periodo de 2009-2014
20. La microcuenca de Palmares cubre un área de 11 809 743.6 m<sup>2</sup>, comprende una zona plana, con forma de valle en el centro, delimitada por zonas altas con altitudes entre 1000 y 1380 m.s.n.m compuestas por materiales más resistentes a la erosión, correspondientes a rocas volcánicas de la Formación Grifo Alto.
21. Los patrones preferenciales que muestran los ríos son del tipo dendrítico y subparalelo.
22. A partir del promedio de 5 pruebas de infiltración se determinó que los suelos de la reserva presentan una conductividad hidráulica (k) predominantemente baja, siendo este valor 0.687 m/d correspondiente con el valor de la capacidad de infiltración de la unidad geológica Grifo Alto.
23. Lamentablemente no se cuenta con la información de pozos con la que se pueda estimar el índice de vulnerabilidad acuífera de la región, mediante la metodología G.O.D. El uso de la información obtenida de pozos podrá permitir realizar un modelo acuífero de la región a partir de los niveles estáticos del agua en los pozos, se podrá entonces obtener direcciones de flujo, gradiente hidráulica del acuífero, una valoración de la vulnerabilidad intrínseca al acuífero, entre otros. Además, con los datos de prueba de bombeo establecidos en los pozos excavados en la localidad de Palmares y que cuentan con esta información se podrá obtener diversos parámetros del acuífero como la transmisividad y la conductividad hidráulica.

24. Debido a la importancia acuífera de la región se recomienda la realización de estudios futuros que cuantifiquen el recurso hídrico de la zona mediante un balance hídrico de suelos. Además, que se realice un inventariado de pozos con el cual se pueda crear un modelo conceptual acuífero en el que se mueven el agua subterránea, esto permitirá además estimar la vulnerabilidad intrínseca al acuífero mediante la metodología G.O.D cuyas bases se plantean en este estudio.

## CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, G.E. & GANS,P.B., 2012: Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central. – Rev. Geol. de Amér. Central,, 46: 7 – 122.
- ASTORGA, A., FERNANDEZ, J., BARBOZA, G., CAMPOS, L., OBANDO, J., AGUILAR, A. & OBANDO, L., 1991: Cuencas sedimentarias de Costa Rica: Evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos. – Rev. Geol. Amár. Central, 13: 25-59.
- CUSTODIO, E., & LLAMAS, M.R., 2001: Hidrología Subterránea (2ª ed.).- 1157 págs. Ediciones Omega, Barcelona.
- DENYER, P. & ARIAS, O., 1991: Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 12: 1-59.
- DENYER, P & KUSSMAUL, S., 2000: Geología de Costa Rica (1ª ed.).-520 págs. Ed. Tecnológica de Costa Rica, Cartago.
- ECHANDI, E., 1981: Unidades volcánicas de la vertiente N de la cuenca del río Virilla. - Tesis Lic. ECG-UCR, 123 p.
- ECOPLAN, 2003: Plan Regulador de Palmares. Criterios Generales para la zonificación y el reglamento. Informe preliminar final. Municipalidad de Palmares, Palmares.
- FERNANDEZ C., 1969: Las unidades hidrogeológicas y los manantiales de la vertiente N de la cuenca del río Virilla. - Investigación de aguas subterráneas en CR Inf. Téc. 27, 56 p., CR.
- FOSTER, S; HIRATA, R; GOMES, D; D'ELIA, M. & PARÍS, M; 2003: Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. - 115 págs. Ed. del Banco Mundial, Washington D.C.
- GÓMEZ, L. D. Y W. HERRERA. 1986: Vegetación y Clima de Costa Rica. - 118 págs. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.
- GURSKY, M. 1988: Análisis tectónico de la Península de Nicoya (Costa Rica) y su significado para el desarrollo estructural-geodinámico de América Central meridional. - Rev. Geol. Amér Central, 8: 19-75.

- HUAPAYA, S. & ROJAS, V. 2012: Mapa Geológico de la Hoja Naranja (3346 – III). – Escala 1: 50 000. Dirección de Geología y Minas & Laboratorio de Ingeniería Sísmica.
- LAGUNA, M., 1984: Efectos de la alteración hidrotermal y meteorización en vulcanitas del Grupo Aguacate, Costa Rica. – Rev.Geol. Amer. Central, 1: 1-17.
- MONTERO, W & DENYER, P., 2011: Fallamiento neotectónico de la Península de Nicoya y su relación con el escape tectónico del antearco centroamericano. - Rev. Geol. Amer. Central, 45: 9-52.
- PÉREZ, W., 2000: Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del Pleistoceno Medio (0,33 M.a.) del Valle Central de Costa Rica.- 170 pág., Univ. Costa Rica, San José [Tesis Lic.].
- ROJAS, K.V. (2013): Relación entre los procesos volcano-sedimentarios y el neotectonismo de la cuenca lacustrina de Palmares y San Ramón, Costa Rica. - 159págs., Universidad de Costa Rica, San José [Tesis Lic.]
- ROBERTS, A., 2001: Curvature attributes and their application to 3D interpreted horizons. -First Break, 19 (2): 85-100.
- RODRIGUEZ, C. & BRENES, L., 2009: Estructura y Composición de dos Remanentes de Bosque Premontano Muy Húmedo en la Reserva Madre Verde, Palares, Costa Rica – Rev. Pensamiento Actual, 9: 115-124
- SANDERS, L.;1998: A manual of field Hydrogeology. Prentice Hall. 381 pp.
- VAN ZUIDAM, R.A., 1986: Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. Smits Publishers, The Hague. 442 p.p.
- WOOD, J.D., 1996: The geomorphological characterization of digital elevation models.- 185 págs. Universidad de Leicester, Reino Unido. [Tesis Ph.D.].
- GOLDEN SOFTWARE. (s.f.). Recuperado el 18 de febrero del 2016, de <http://www.goldensoftware.com/pdf s/gallery/surfer/S10GriddingMethods. Pdf>.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Recuperado el 18 de febrero del 2016, de <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

<https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico> (base de datos de los boletines, consultada el 13 de marzo de 2016).

# ANEXO 1

## Datos de Lluvia, periodo 2009-2014

Gráfico 2: Promedio de lluvia mensual año 2009

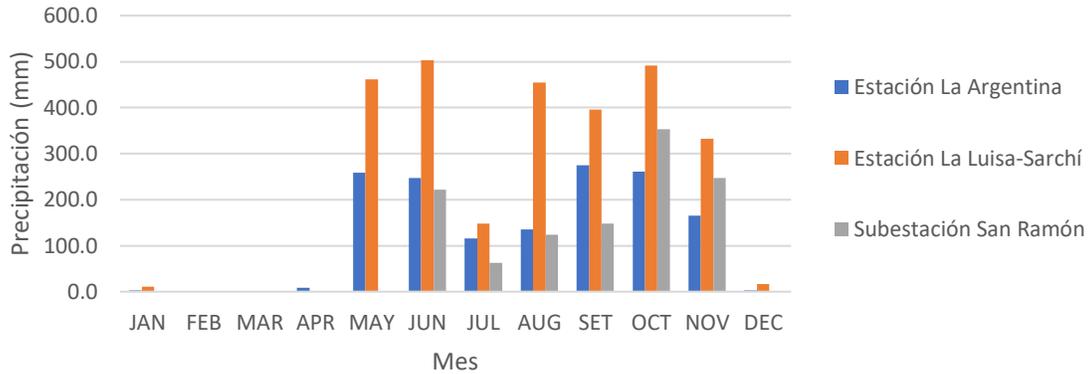


Gráfico 3: Promedio de lluvia mensual año 2010

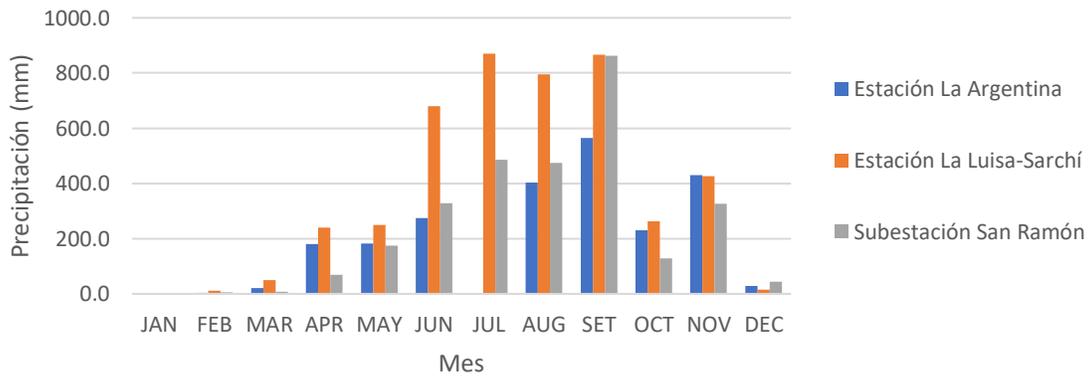


Gráfico 4: Promedio de lluvia mensual año 2011

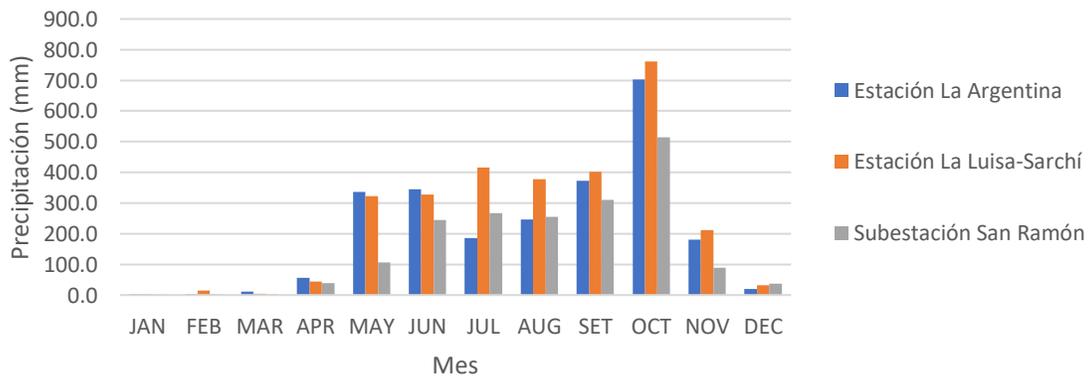


Gráfico 5: Promedio de lluvia mensual año 2012

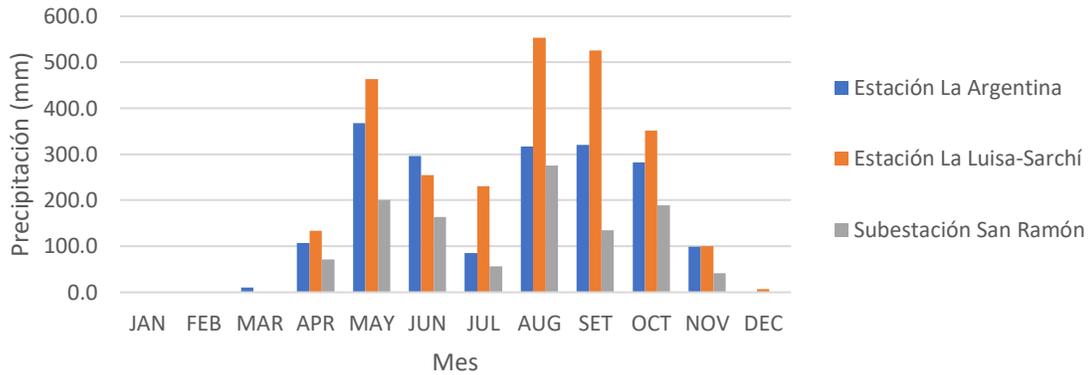


Gráfico 6: Promedio de lluvia mensual año 2013

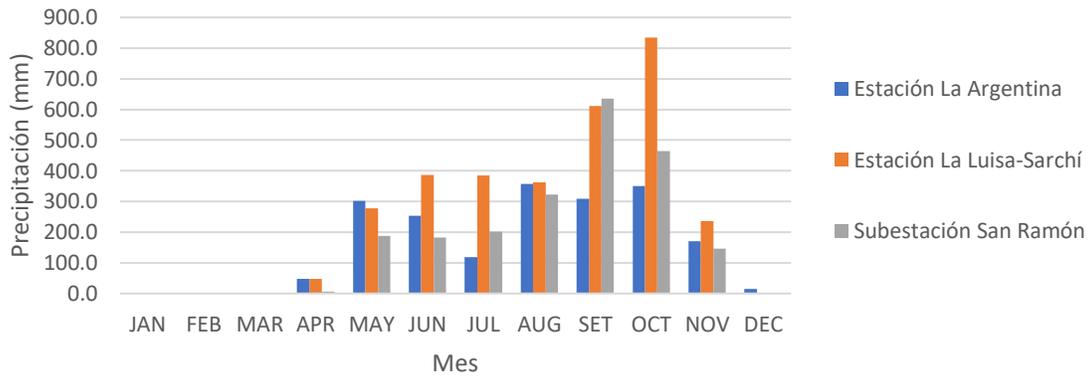
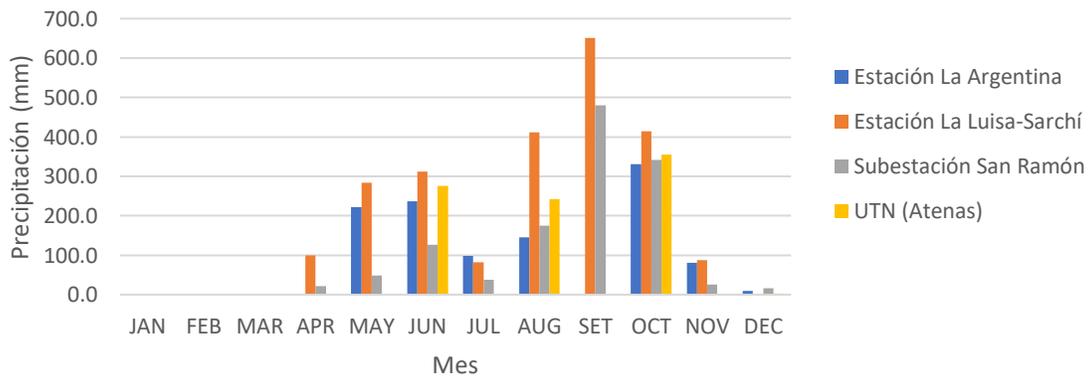


Gráfico 7: Promedio de lluvia mensual año 2014

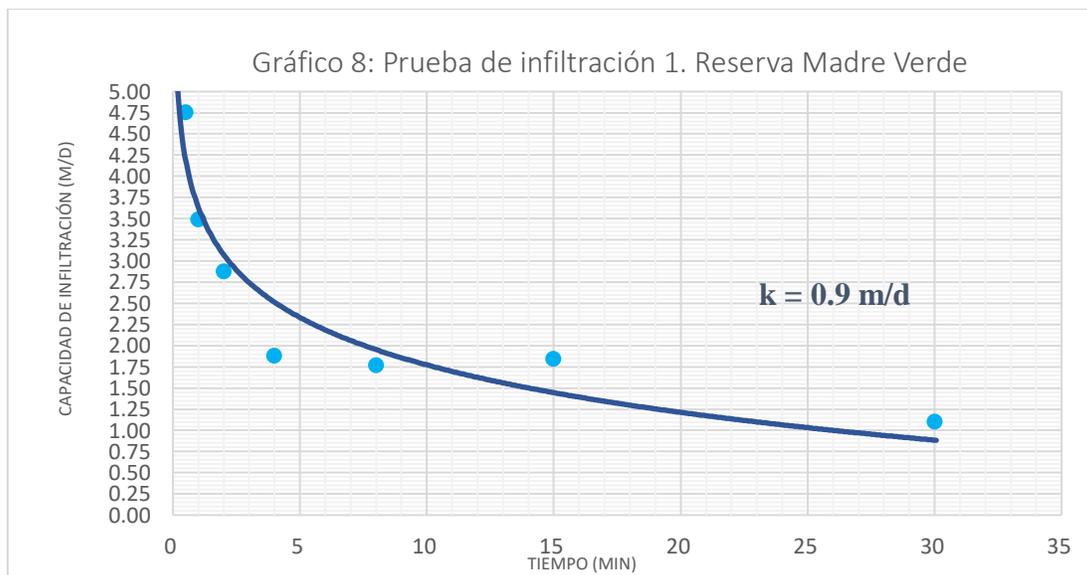


## ANEXO 2

### Pruebas de infiltración

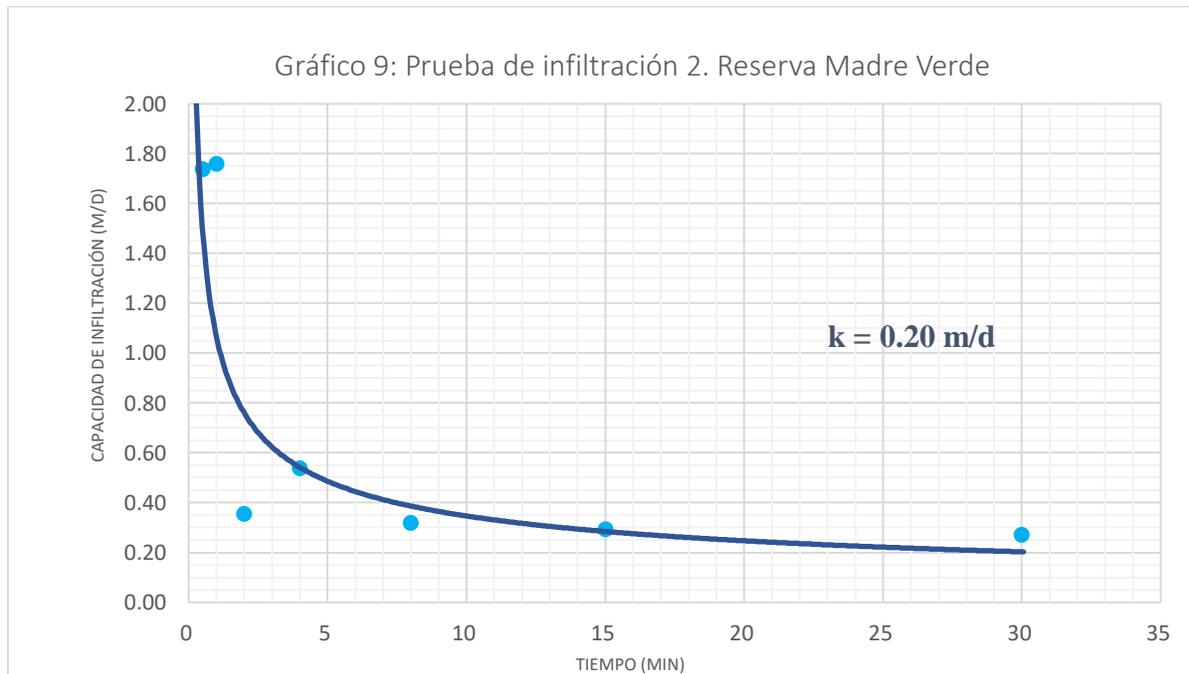
<b>Proyecto- Reserva Madre Verde</b>				
<b>PRUEBA DE PERMEABILIDAD MÉTODO PORCHET</b>				
<b>Fecha:</b>	9/19/2015	<b>Prof, agujero (cm):</b>	40	
<b>Coordenadas:</b>	225495 N / 486342 E	<b>Diám, agujero (cm):</b>	21	
<b>Lugar:</b>	Reserva Madre Verde	<b>Radio agujero (cm):</b>	10.5	
<b>Hora de inicio:</b>	9:58:45 AM	<b>Material:</b>	Suelo limo-arcilloso	
<b>Cobertura:</b>	Charral	<b>Estado del tiempo:</b>	Soleado	
<i>Medidas de infiltración</i>				
Tiempo (min)	Prof. al agua (cm)	h (cm)	f(cm/min)	f(m/día)
0	0	40.0		
0.5	1.4	38.6	0.3300	4.7519
1	2.4	37.6	0.2422	3.4880
2	4	36.0	0.1998	2.8769
4	6	34.0	0.1305	1.8786
8	9.5	30.5	0.1226	1.7653
15	15.1	24.9	0.1278	1.8399
30	21	19.0	0.0762	1.0976

Cuadro 5: Prueba de Permeabilidad 1.



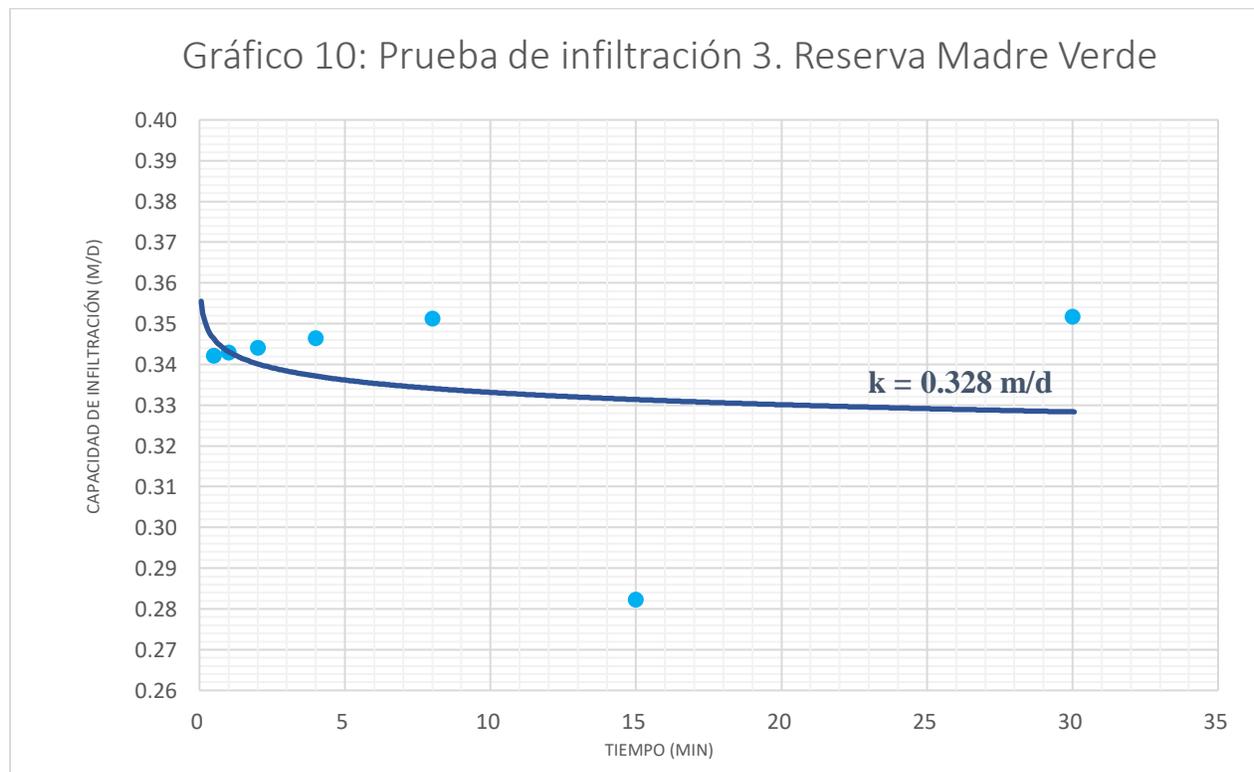
Proyecto- Reserva Madre Verde				
PRUEBA DE PERMEABILIDAD MÉTODO PORCHET				
<b>Fecha:</b>	9/19/2015	<b>Prof, agujero (cm):</b>	38.5	
<b>Coordenadas:</b>	225621 N / 486186 E	<b>Diám, agujero (cm):</b>	21	
<b>Lugar:</b>	Reserva Madre Verde	<b>Radio agujero (cm):</b>	10.5	
<b>Hora de inicio:</b>	11:00 A.M	<b>Material:</b>	Suelo limo-arcilloso	
<b>Cobertura:</b>	Charral	<b>Estado del tiempo:</b>	Soleado	
Medidas de infiltración				
Tiempo (min)	Prof. al agua (cm)	h (cm)	f(cm/min)	f(m/día)
0	0	38.5		
0.5	0.5	38.0	0.1207	1.7380
1	1	37.5	0.1221	1.7582
2	1.2	37.3	0.0246	0.3545
4	1.8	36.7	0.0373	0.5368
8	2.5	36.0	0.0221	0.3180
15	3.6	34.9	0.0203	0.2919
30	5.7	32.8	0.0188	0.2708

Cuadro 6: Prueba de permeabilidad 2.



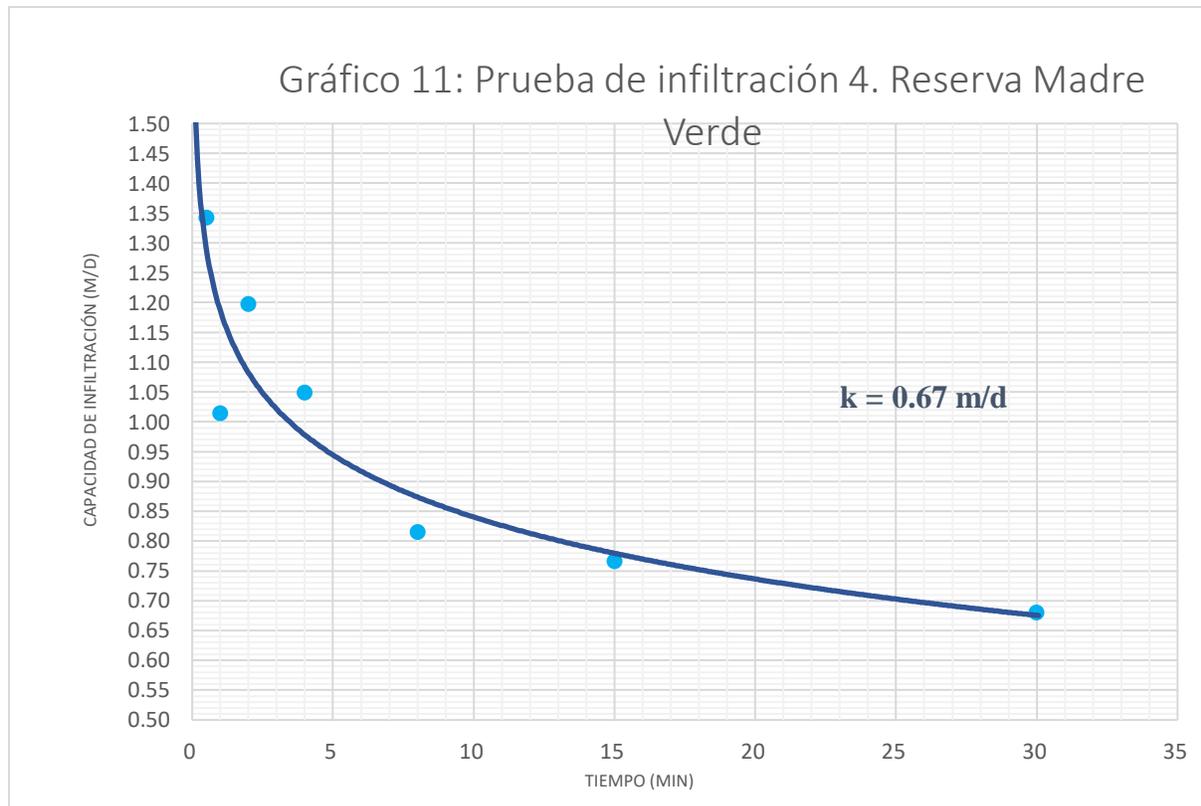
Proyecto- Reserva Madre Verde				
PRUEBA DE PERMEABILIDAD MÉTODO PORCHET				
<b>Fecha:</b>	12/09/2015	<b>Prof, agujero (cm):</b>	39	
<b>Coordenadas:</b>	225639 N / 485981 E	<b>Diám, agujero (cm):</b>	21	
<b>Lugar:</b>	Reserva Madre Verde	<b>Radio agujero (cm):</b>	10.5	
<b>Hora de inicio:</b>		<b>Material:</b>	Suelo limo-arcilloso	
<b>Cobertura:</b>	Charral	<b>Estado del tiempo:</b>	Soleado	
Medidas de infiltración				
Tiempo (min)	Prof. al agua (cm)	h (cm)	f(cm/min)	f(m/día)
0	0	39.0		
0.5	0.1	38.9	0.0238	0.3421
1	0.2	38.8	0.0238	0.3429
2	0.4	38.6	0.0239	0.3440
4	0.8	38.2	0.0241	0.3464
8	1.6	37.4	0.0244	0.3512
15	2.7	36.3	0.0196	0.2822
30	5.5	33.5	0.0244	0.3516

Cuadro7: Prueba de Permeabilidad 3.



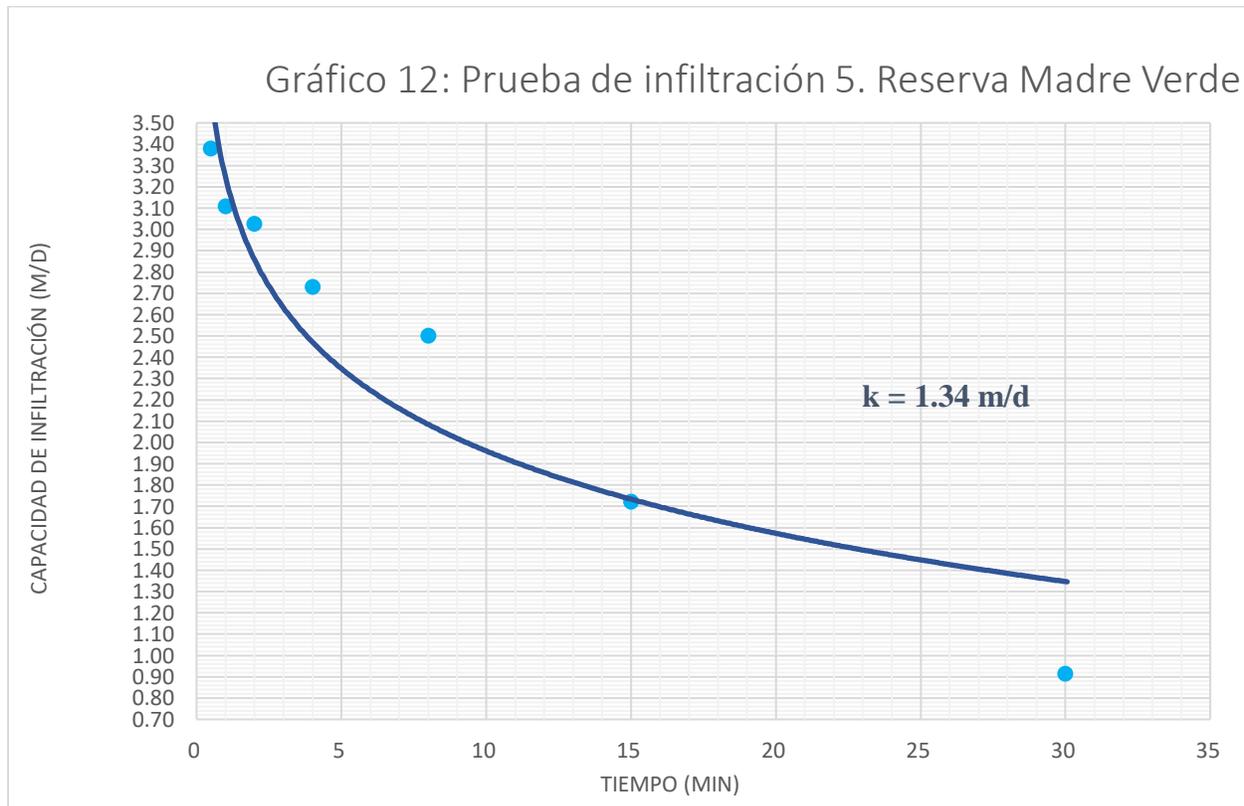
Proyecto- Reserva Madre Verde				
PRUEBA DE PERMEABILIDAD MÉTODO PORCHET				
<b>Fecha:</b>	12/09/2015	<b>Prof, agujero (cm):</b>	40	
<b>Coordenadas:</b>	225831 N / 486000 E	<b>Diám, agujero (cm):</b>	21	
<b>Lugar:</b>	Reserva Madre Verde	<b>Radio agujero (cm):</b>	10.5	
<b>Hora de inicio:</b>	11:30 A.M	<b>Material:</b>	Suelo limo-arcilloso	
<b>Cobertura:</b>	Charral	<b>Estado del tiempo:</b>	Soleado	
Medidas de infiltración				
Tiempo (min)	Prof. al agua (cm)	h (cm)	f(cm/min)	f(m/día)
0	0	40.0		
0.5	0.4	39.6	0.0932	1.3425
1	0.7	39.3	0.0705	1.0148
2	1.4	38.6	0.0831	1.1973
4	2.6	37.4	0.0728	1.0489
8	4.4	35.6	0.0566	0.8150
15	7.2	32.8	0.0533	0.7669
30	12	28.0	0.0472	0.6796

Cuadro 8: Prueba de Permeabilidad 4.



Proyecto- Reserva Madre Verde				
PRUEBA DE PERMEABILIDAD MÉTODO PORCHET				
<b>Fecha:</b>	42349	<b>Prof, agujero (cm):</b>	40	
<b>Coordenadas:</b>	226114 N / 486288 E	<b>Diám, agujero (cm):</b>	21	
<b>Lugar:</b>	Reserva Madre Verde	<b>Radio agujero (cm):</b>	10.5	
<b>Hora de inicio:</b>	9:00 A.M	<b>Material:</b>	Suelo limo-arcilloso	
<b>Cobertura:</b>	Charral	<b>Estado del tiempo:</b>	Soleado	
Medidas de infiltración				
Tiempo (min)	Prof. al agua (cm)	h (cm)	f(cm/min)	f(m/día)
0	0	40.0		
0.5	1	39.0	0.2346	3.3789
1	1.9	38.1	0.2158	3.1070
2	3.6	36.4	0.2100	3.0244
4	6.5	33.5	0.1894	2.7280
8	11.3	28.7	0.1736	2.4994
15	16.3	23.7	0.1195	1.7206
30	21.1	18.9	0.0635	0.9137

Cuadro 9: Prueba de Permeabilidad 5.



## ANEXO 3

Fotografía sobre las actividades realizadas



Figura 7.1 (a, b, c, d): Fotografías referentes a la elaboración de la prueba de Porchet



Figura 7.2: Transporte de agua a los sitios de pruebas Porchet.





Figura 7.3 (a, b, c): Instalaciones centrales en la Reserva Madre Verde





Figura 7.4 (a, b, c): Identificación las amenazas en la Reserva Madre Verde