### ÍNDICE GENERAL

[ÍNDICE GENERAL 1](#_bookmark0)

[ÍNDICE DE FIGURAS 4](#_bookmark1)

[ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS 5](#_bookmark2)

[ÍNDICE DE MODELOS 3D 6](#_bookmark3)

[ÍNDICE DE CUADROS 6](#_bookmark4)

[INTRODUCTION 7](#_bookmark5)

1. [INTRODUCCIÓN 8](#_bookmark6)
   1. [OBJETIVOS 8](#_bookmark7)
      1. [Objetivo General 8](#_bookmark8)
      2. [Objetivos Específicos 8](#_bookmark9)

[1.2 METODOLOGÍA 9](#_bookmark10)

* 1. [AGRADECIMIENTOS 10](#_bookmark11)
  2. [MARCO GEOGRÁFICO 10](#_bookmark12)
     1. [Localización del área 10](#_bookmark13)
     2. [Accesibilidad del área 12](#_bookmark16)

[GEOLOGY 13](#_bookmark17)

1. [MARCO GEOLÓGICO REGIONAL 15](#_bookmark18)
   1. [Formación Monteverde 15](#_bookmark19)
   2. [Rocas y Sedimentos Epiclásticos del Cuaternario 16](#_bookmark20)
2. [GEOLOGÍA LOCAL 19](#_bookmark25)
   1. [Unidad Andesítica Basáltica Catarata (Q1-ct) 21](#_bookmark30)
      1. [Ubicación 21](#_bookmark31)
      2. [Litología y otras características 21](#_bookmark33)
      3. [Edad 23](#_bookmark35)
      4. [Origen 24](#_bookmark39)
   2. [Unidad Toba Cangrejera (Q12-cj) 25](#_bookmark40)
      1. [Ubicación 25](#_bookmark41)
      2. [Litología y otras características 25](#_bookmark42)
      3. [Edad 26](#_bookmark43)
      4. [Origen 26](#_bookmark44)
   3. [Unidad Brechas Chachaguita (Q12-cg) 27](#_bookmark45)
      1. [Ubicación 27](#_bookmark46)
      2. [Litología y otras características 27](#_bookmark47)
      3. [Edad 28](#_bookmark49)
      4. [Origen 28](#_bookmark50)
   4. [Unidad Depósitos Aluviales Chachagua (Q2-ch) 29](#_bookmark51)
      1. [Ubicación 29](#_bookmark52)
      2. [Descripción 29](#_bookmark53)
      3. [Edad y espesor 30](#_bookmark54)
      4. [Origen 30](#_bookmark55)
   5. [Unidad Depósitos Cuaternarios San Isidro (Q2-si) 31](#_bookmark56)
      1. [Ubicación 31](#_bookmark57)
      2. [Descripción 31](#_bookmark58)
      3. [Edad y espesor 31](#_bookmark59)
      4. [Origen 31](#_bookmark60)

[STRUCTURAL GEOLOGY 32](#_bookmark61)

1. [GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 34](#_bookmark62)
   1. [Fallas 34](#_bookmark63)
      1. [Regionales 34](#_bookmark64)
      2. [Observadas 35](#_bookmark65)
      3. [Inferida 36](#_bookmark66)
   2. [Diaclasas 36](#_bookmark67)

[GEOMORPHOLOGY 38](#_bookmark72)

1. [GEOMORFOLOGÍA 40](#_bookmark73)
   1. [Geomorfología regional 40](#_bookmark74)
      1. [Cañón fluvial 40](#_bookmark75)
      2. [Barranco 41](#_bookmark76)
      3. [Flujo 41](#_bookmark77)
      4. [Deslizamiento 41](#_bookmark78)
      5. [Colinas denudacionales 42](#_bookmark79)
      6. [Pie de monte 42](#_bookmark80)
   2. [Geomorfología local 44](#_bookmark83)

[HIDROGEOLOGY 49](#_bookmark93)

1. [HIDROGEOLOGÍA 50](#_bookmark94)
   1. [Acuíferos 50](#_bookmark95)
   2. [Patrón de drenaje 51](#_bookmark98)
   3. [Nacientes 61](#_bookmark122)
   4. [Ríos y quebradas 64](#_bookmark127)

[GEOLOGICAL HISTORY 66](#_bookmark128)

1. [HISTORIA GEOLÓGICA 67](#_bookmark129)

[FINAL CONSIDERATIONS 68](#_bookmark130)

1. [CONCLUSIONES 69](#_bookmark131)
2. [OBSERVACIONES 70](#_bookmark132)
3. [RECOMENDACIONES 71](#_bookmark133)
4. [REFERENCIAS 72](#_bookmark134)

[GLOSSARY 74](#_bookmark135)

[ANEXOS 77](#_bookmark136)

[ANALISÍS PETROGRÁFICO 77](#_bookmark138)

[FOTOGRAFÍAS 89](#_bookmark144)

[MODELOS 3D 102](#_bookmark188)

[METODOLOGÍA Y CONCEPTOS 104](#_bookmark193)

### ÍNDICE DE FIGURAS

[Figura 1. Mapa de ubicación de la zona en estudio 11](#_bookmark15)

[Figura 2. Columna estratigráfica regional 17](#_bookmark22)

[Figura 3. Mapa geológico regional 18](#_bookmark24)

[Figura 4. Columna estratigráfica local 19](#_bookmark27)

[Figura 5. Mapa geológico local y perfil geológico 20](#_bookmark29)

[Figura 6. Proyección estereográfica y rosa de inclinación de las diaclasas en el *knick point*](#_bookmark69)

[superior de la Catarata. 36](#_bookmark69)

[Figura 7. Mapa de fallas regionales cercanas al Soltis Center 37](#_bookmark71)

[Figura 8. Mapa geomorfológico regional 43](#_bookmark81)

[Figura 9. Mapa de pendientes del área en estudio 45](#_bookmark85)

[Figura 10. Esquema de los *knick points* observados en la Catarata, Soltis Center 47](#_bookmark89)

[Figura 11. Mapa de jerarquía de cauces en el área en estudio 53](#_bookmark102)

[Figura 12. Gráfico de longitud promedio vs jerarquía de cauces (escala semilogarítmica). 54](#_bookmark106) [Figura 13. Gráfico de cantidad de cauces vs jerarquía de cauces 55](#_bookmark108)

[Figura 14. Mapa de contornos de la frecuencia de drenaje del área en estudio 56](#_bookmark110)

[Figura 15. Mapa de pixeles de la frecuencia de drenaje del área en estudio 57](#_bookmark112)

[Figura 16. Mapa de contornos de la densidad de drenaje del área en estudio 58](#_bookmark114)

[Figura 17. Mapa de pixeles de la densidad de drenaje del área en estudio 58](#_bookmark115)

[Figura 18. Mapa de contornos de la textura de avenamiento del área en estudio 59](#_bookmark118)

[Figura 19. Mapa de pixeles de la textura de avenamiento del área en estudio 60](#_bookmark120)

[Figura 20. Superficie freática propuesta para el Soltis Center y sectores aledaños 63](#_bookmark126)

[Fotografía 1.](#_bookmark146) *[Knick point](#_bookmark146)* [quebrada Sin Nombre 1 89](#_bookmark146)

[Fotografía 2. *Knick point* inferior quebrada Sin Nombre 2. 90](#_bookmark147)

[Fotografía 3. *Knick point* superior quebrada Sin Nombre 2. 91](#_bookmark149)

[Fotografía 4. *Knick point* inferior en el río Catarata 92](#_bookmark151)

[Fotografía 5. Detalle de la parte inferior de la Catarata 93](#_bookmark153)

[Fotografía 6. Detalle de la parte superior de la Catarata. 93](#_bookmark155)

[Fotografía 7. *Knick point* superior del río Catarata 94](#_bookmark157)

[Fotografía 8. Detalle de las columnas en el *knick point* superior del río Catarata 95](#_bookmark159)

[Fotografía 9. Detalle de la margen izquierda río Catarata en el *knick point* superior 95](#_bookmark161)

[Fotografía 10. Detalle del nicho y las diaclasas en la margen izquierda río Catarata en el](#_bookmark164)

[*knick point* superior 96](#_bookmark164)

[Fotografía 11. Corte en el sendero antes de llegar a la Catarata, detalle de las lajas 96](#_bookmark167)

[Fotografía 12. Lajas formadas en el *knick point* superior del río Catarata (margen derecha).](#_bookmark169)

[........................................................................................................................................ 97](#_bookmark169)

[Fotografía 13. Lajas formadas en la base del *knick point* superior del río Catarata (margen](#_bookmark172) [derecha) 97](#_bookmark172)

[Fotografía 14. Brecha formada por el lahares en un afluente al río Catarata (margen](#_bookmark174) [izquierda), punto 25 98](#_bookmark174)

[Fotografía 15. Brecha formada por el lahares en un afluente al río Catarata (margen](#_bookmark176) [derecha), punto 27. 98](#_bookmark176)

[Fotografía 16. Afluente al río Catarata (punto 27), obsérvese la brecha en ambas márgenes](#_bookmark178) [del río 99](#_bookmark178)

[Fotografía 17. Río Chachagua, margen derecha. 99](#_bookmark180)

[Fotografía 18. Toba, punto 25. 100](#_bookmark182)

[Fotografía 19. Naciente dentro de la propiedad del Soltis Center, punto 28. 101](#_bookmark184)

[Fotografía 20. Naciente al final del sendero Tomas de Agua, punto 21 101](#_bookmark187)

[Modelo 1. Modelo de elevación digital realizado con el programa Surfer, versión 9.0.](#_bookmark189) [Referirse a la simbología de la figura 1 102](#_bookmark189)

[Modelo 2. Modelo de elevación digital, escala de colores cada 50 m 102](#_bookmark190)

[Modelo 3. Modelo de pendientes, referirse a la leyenda de la figura 9 103](#_bookmark191)

[Modelo 4. Modelo de las unidades geomorfológicas, referirse a la leyenda de la figura 8.](#_bookmark192)

[...................................................................................................................................... 103](#_bookmark192)

### ÍNDICE DE CUADROS

[Cuadro 1. Dataciones radiométricas cercanas a la zona en estudio 24](#_bookmark38)

[Cuadro 2. Área cubierta de los rangos de pendiente para el área en estudio 46](#_bookmark86)

[Cuadro 3. Descripción de los *knick points* observados en el área en estudio 47](#_bookmark92)

[Cuadro 4. Características de los Acuíferos, Casa de Maquinas 51](#_bookmark96)

[Cuadro 5. Análisis de la jerarquía de los cauces en el área en estudio 54](#_bookmark103)

### INTRODUCTION

This paper presents the results obtained during the field work at the Soltis Center for Research and Education and surroundings, at January and February 2013, for the course Práctica Geológica of the Escuela de Geología of the Universidad de Costa Rica. This course is intended to introduce the student into the professional work of geologists, letting it deal with real life problems.

The mayor goal of this research was to determinate the relationship between the geological features with the hydrogeology, geomorphology and tectonics features, inside the property of the Soltis Center and surroundings. With this in mind, several field trips were realized, taking into account of the lithology and other characteristics, like morphologies, shears/faults, etc. The coordinates of the outcrops and specific features observed in the field were annotated for future analysis.

The study area is found at San Isidro de Peñas Blancas, district of San Ramon in the province of Alajuela. Since the property of the Soltis Center is 250 acres, the decision to include other zones was taken, with the purpose to obtain a wide view of the geological aspects. So, at the end the study area was 6 km2, extending to the East of the Soltis Center.

Because of where the Soltis Center is located has no towns or reference points, local names or important features were used as referent points, like the waterfall, the tower, the frog pond and the parking lot, translated into the spanish as Catarata, Torre, Ranario and Parqueo, respectively. Other names were proposed, the first one refer to the Chachagua Rain Forest and Hacienda Hotel (named as Hotel at the [figure 1](#_bookmark14)), located at the northeast of the Soltis Center and the second one is Cangrejera, used for the local people to refer a section of the river Chachagua where fishing was common.

### INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a los resultados obtenidos en el proyecto “Geología del Soltis Center for Research and Education y alrededores” que fue realizado para el curso Práctica Geológica (G-4116), impartido por la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica; dicho curso pretende introducir al estudiante en el ejercicio profesional del geólogo en el campo laboral.

Dicha práctica profesional fue realizada en los meses de enero y febrero del presente año en la propiedad del Soltis Center, sede en Costa Rica de la Universidad A&M de Texas y en los terrenos aledaños.

En los siguientes capítulos se expone al lector las primeras disposiciones llevadas a cabo durante la recolección de datos en el trabajo de campo, posteriormente se exponen los análisis e interpretaciones realizados. Finalmente se presentan algunas conclusiones y recomendaciones sobre los resultados obtenidos.

### OBJETIVOS

#### Objetivo General

* + - * Determinar las relaciones de los rasgos geológicos con la hidrogeología, geomorfología y tectónica, dentro de la propiedad del Soltis Center, así como en las zonas aledañas.

#### Objetivos Específicos

* + - * Definir las unidades litológicas que se presentan en la zona en estudio.
      * Interpretar las geoformas observadas en la zona en estudio.
      * Denotar algunos aspectos hidrogeológicos presentes en la zona.

### 1.2 METODOLOGÍA

Se realizaron una serie de visitas al campo, donde se recorrieron los senderos y quebradas dentro de la propiedad del Soltis Center, así como en sectores aledaños. En los afloramientos encontrados se tomó la ubicación con un GPS modelo Map 60CSx marca Garmin, seguidamente se realizó una descripción general del afloramiento anotando dimensiones, grado de meteorización, color de la roca y alguna otra característica distintiva que se observará. De presentarse rasgos tectónicos tales como fallas, diaclasas o inclinaciones de la roca, se procedía a medir la dirección e inclinación con una brújula marca Krantz. Las muestras de mano recolectadas se analizaron bajo la lupa (aumentos de 10X, 20X y 30X) y las mediciones hechas a los minerales observados se efectuaron con un Vernier marca Neiko, con un grado de incertidumbre de 0,03 mm. Las fotografías de los afloramientos visitados se tomaron con una cámara Kodak de 8,2 megapíxeles y una cámara CANON SX30IS de 14 megapíxeles, por otra parte las microfotografías se realizaron con microscopio y cámara de marca Olympus Q Color, con una resolución de 2 560 x 1 920 megapíxeles y se editaron con el programa QCapture Pro 6.0.

Con los datos recolectados de cada afloramiento se consideraron algunas interpretaciones para comprender los procesos geológicos que dieron origen y transformaron la zona en estudio.

Durante el trabajo de laboratorio se analizaron seis secciones petrográficas con el fin de detallar la litología presenta en la zona en estudio. Además se analizaron los mapas topográficos de la zona y las fotografías aéreas (año 1992) con el fin de identificar las morfologías presentes en el área en estudio, de tal manera que dicha interpretación fuera también de utilidad para la comprensión de la geología de la zona. El procedimiento anterior se realizó utilizando como guía las normas establecidas por el *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation* (ITC) y el “*Aerial photo interpretation in terrains analisis and geomorphologic mapping*” (Van Zoidan, 1975).

Se identificaron aspectos hidrogeológicos durante las visitas al campo, haciendo una descripción de cauces, nacientes y pozos, de tal manera que estos pudieran ser relacionados con la geología y geomorfología de la zona.

### AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a Dios, por habernos proveído de salud y protección para realizar dicho trabajo y, por ayudarnos a que todo saliera bien. También agradecemos a nuestras familias por darnos su apoyo y ayudarnos en todo, ya que sin ellos no hubiera sido posible terminar este proyecto. Al señor Eugenio González por habernos permitido realizar nuestra práctica profesional en el Soltis Center, a las cocineras que siempre se preocuparon porque comiéramos a gusto, al personal administrativo por encargarse de que todo estuviera a nuestra disposición y a los guardas de seguridad por preocuparse por nuestro bienestar y proveernos de conversaciones amenas. Agradecemos a los profesores de la Universidad A&M, Chris Houser, Matthew Hammer, Rick Giardino y su esposas, además de los profesores de otras carreras que nos permitieron gozar de su compañía durante las salidas al campo. Agradecemos también a Robert West, profesor del East Los Angeles College, que nos acompañó al campo y nos dio algunas ideas sobre los aspectos geológicos y geomorfológicos observados. Finalmente agradezco a Harold Johnson quien tuvo la amabilidad de revisar el texto en inglés y hacer algunos comentarios.

### MARCO GEOGRÁFICO

#### Localización del área

El proyecto se realizó en la propiedad del Soltis Center for research and Education y en las zonas aledañas. Este centro se encuentra ubicado en San Isidro de Peñas Blancas, San Ramón, Alajuela, Costa Rica. El área en estudio corresponde a aproximadamente tres kilómetros cuadrados, de los cuales el Soltis Center es propietario de 250 acres.

Según la cartografía elaborada por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica, el área en estudio se encuentra en la Hoja Topográfica Fortuna, escala 1:50 000. Entre los puntos geográficos importantes de referencia se encuentran: el cerro Chato, el volcán Arenal, quebrada Chachagua, quebrada Chachaguita, laguna Cocoritos y el río Peñas Blancas. La ubicación del área en estudio se muestra en la [figura 1](#_bookmark14), junto con los afloramientos y puntos visitados.

**Glossary**

## Figura 1. Mapa de ubicación de la zona en estudio.

#### Accesibilidad del área

La accesibilidad al Soltis Center for Research and Education tomando como punto de partida el Aeropuerto Juan Santamaría, se realiza recorriendo la autopista General Cañas (Carretera Interamericana, ruta 1), pasando frente a la Fábrica Nacional de Licores y las desviaciones hacia Grecia, Naranjo y Palmares. Al pasar la ciudad de Palmares, cinco kilómetros después se toma la entrada hacia la ciudad de San Ramón. En la ciudad de San Ramón se continúa por la carretera en dirección norte por 1,5 km, luego se dobla a la izquierda en la avenida 11 por 500 m y se dobla a la derecha tomando la ruta 702, en dirección a la Fortuna de San Carlos. En este trayecto se recorren los pueblos de Los Ángeles, Bajo de los Rodríguez, la Tigra, hasta llegar a San Isidro de Peñas Blancas. En Peñas Blancas se desvía hacia la izquierda después del cementerio y se continúa sobre un camino de lastre por 5 km hasta llegar al Soltis Center. Debido a las condiciones del camino se dificulta movilizarse en vehículos bajos. El acceso a los afloramientos se realiza a pie desde el Soltis Center, tomando los senderos de la propiedad y de los terrenos aledaños, así como las quebradas que surcan la zona.

### GEOLOGY

This abstract embraces two chapters, the regional and the local geology of the study area. The first one is based on a bibliographic research, where two units are defined for the zone and the second one shows the results of the field work, where five informal units were created.

Reconnaissance geologic mapping 1:50 000 close proximity of the Texas A&M University Soltis Center for Research and Education, San Isidro, Costa Rica by Alvarado (2009) distinguished lava flows with andesitic to basaltic composition (i.e, Monteverde Formation) and breccias, tuffs and laterite soils (grouped on an unit called Rocks and Epiclastic Sediments of Quaternary).

The goal of this project is to refine the previous mapping by breaking out five additional mappable units for an improved geologic interpretation. The Basaltic Andesite Catarata Unit (Q1-ct) found at western part of the study area, the lithology correspond to andesites and basaltic andesites and in petrographic thin sections these minerals are present (listed in order of abundance): plagioclase, augite, olivine hypersthene, pyrite. A pilotaxitic texture present in sample "[SC-1](#_bookmark140)" suggests the lava had a constant and not episodic flow. Some special features present in this unit are: “Lajas” (local term used for layered lavas) found at the waterfall and several joints reassembling to column joints at the top of the waterfall. The age for this unit is included inside Monteverde Formation age (2,1 to 1,1 My) and since the nearest radiometric dating is 1,79 ± 0,04 My, this paper considers this one for future reference.

The Cangrejera Tuff Unit (Q12-cj) located to the northeast of the Soltis Center, is a tuff with centimeter clasts in a sand-silty matrix. Unweathered appearance of this is unit is gray-beige. In a few localities the tuff was alter by the hydrothermal activity, to pale gray color and abundant neo-mineralization of pyrite.

The Chachaguita Breccias Unit (Q12-cg) identified in the northern river and creeks as poorly consolidated unit with mostly of decimeter and metric clasts within a mud-sandy matrix.

Aluvial Deposits Chachagua Unit (Q2-ch) is a generic named for all the alluvial deposits left by the rivers and creeks within the study area. Quaternary Deposits San Isidro

(Q2-si) correspond to unconsolidated colluvial deposits and soils, produced by the erosion and transportation of environmental agents during the Holocene until nowadays.

Monteverde Formation (therefore Basaltic Andesite Catarata Unit) is attributed to the largest fissure volcanism of Costa Rica. The Cangrejera Tuff Unit corresponds to an explosive volcanism but there are not enough evidence to determinate the exact location of source. The origin of Chachaguita Breccias Unit is explain by lahares occurred during the Late Pleistocene and Early Holocene. The two final units (as was said) are currently developed by erosion/transportation/sedimentation agents, as water, wind, etc. and later transform into soils by the deep weatherization existent in the zone.

### MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El marco geológico regional lo constituye rocas volcánicas (andesitas y andesitas basálticas) y volcaniclásticas, las cuales fueron retrabajadas por la acción del agua, principalmente. La formación atribuible a las rocas volcánicas es la Formación Monteverde, mientras que las rocas volcaniclásticas fueron agrupadas bajo la unidad designada como Rocas y Sedimentos Epiclásticos del Cuaternario. La [figura 2](#_bookmark21) muestra la columna estratigráfica regional y la [figura 3](#_bookmark23) muestra el mapa geológico regional.

#### Formación Monteverde

La Formación Monteverde fue descrita inicialmente por Chaves y Sáenz en 1974, sin embargo a nivel regional se dan otras denominaciones, como son los trabajos de Ramírez (1973), Mora (1977) y Aiazzi *et al* (2004) quienes se refieren a la prolongación más distal de esta formación como lavas Tierras Morenas, lavas Las Pulgas y lavas del Cerro las Nubes.

Litológicamente corresponden a lavas basálticas hasta andesíticas, con forma de plataforma (*plateau*) (Aiazzi *et al*, 2004; Alvarado, 2009). Petrográficamente los basaltos se describen como afaníticos porfiríticos con fenocristales de plagioclasa cálcica, augita y olivino iddingitizado (Mora, 1977); las andesitas son la litología predominante de la Formación Monteverde, estas se caracterizan por ser de color gris oscuro, con textura afanítica porfiríticas, compuestas de fenocristales de plagioclasa y piroxenos (Vargas, 2001; Žáček *et al*, 2012), además se pueden encontrar cristales de olivino (parcial o totalmente serpentinizado), magnetita y apatito, así como estructuras fluidales dentro de la matriz (Žáček *et al*, 2012). Algunos autores también incluyen otras litologías, tales como tobas y brechas, que se encuentran como intercalaciones entre las lavas (Madrigal, 2004; Žáček *et al*, 2012), sin embargo esto no está bien definido, por lo tanto se requieren más estudios.

La Formación Monteverde se encuentra sobreyaciendo discordantemente a la Formación Aguacate, cuyos contactos son difíciles de observar; las principales características para diferenciar a ambas formaciones son de tipo petrográfico y geomorfológico (Vargas, 2001; Madrigal, 2004; Alvarado & Gans, 2012; Žáček *et al*,

2012). En el área en estudio se encuentra subyaciendo a las Rocas y Sedimentos Epiclásticos del Cuaternario. Los mejores afloramientos cercanos al área en estudio se encuentran en los caminos que conducen a los Proyectos Hidroeléctricos de Peñas Blancas y Poco Sol, así como la laguna Poco Sol (Alvarado, 2009).

La Formación Monteverde corresponde a la actividad fisural más grande del Cuaternario Inferior y escudos andesíticos (Gillot *et al*, 1994; Alvarado, 2009; Alvarado & Gans, 2012), cubriendo un área de 1 200 km2 y un volumen de 400±100 km3 (Gillot *et al*, 1994); de acuerdo a los perfiles geológicos de la hoja topográfica Miramar se deduce que tiene un espesor de 500 m (Žáček *et al*, 2012), sin embargo el espesor para la zona en estudio no ha sido definido.

La evidencia morfológica y cronológica sugiere que la actividad eruptiva en la zona ha migrado progresivamente hacia el norte de la caldera Poco Sol, hacia los cerros los Perdidos, posteriormente al cerro Chato y actualmente al volcán Arenal (Gillot *et al*, 1994). La edad designada a la Formación Monteverde corresponde a un rango de 2,1 – 1 ,1

Ma (Alvarado, 2009; Alvarado & Gans, 2012).

#### Rocas y Sedimentos Epiclásticos del Cuaternario

Esta unidad no se encuentra asociada a ninguna formación establecida, Madrigal *et al* (1995) son los primeros en mencionar los depósitos epiclásticos en la zona correspondiente al Proyecto Hidroeléctrico Peñas Blancas. Para el presente apartado se ha utilizado el nombre designado por Alvarado (2009), quien describe de manera general una serie de depósitos de características similares, sin embargo la litología que aflora en el área en estudio se denomina “Depósitos de piedemonte lateritizados” (Alvarado, 2009) (ver figura 3).

Estos depósitos litológicamente corresponden a en su mayoría a una brecha gruesa, con clastos angulares, de diámetros que varían desde decimétricos hasta métricos. El contacto de granos varía puede ser puntual hasta flotantes en la matriz. La matriz normalmente presenta arcillas café producto de la meteorización y presenta distintos grados de alteración hidrotermal. Debido a que dentro de esta unidad se identifican varios mecanismos de depósito, la textura descrita anteriormente puede variar. Localmente estos

depósitos pueden presentar interestratificación con tobas y lavas, que se encuentran superficialmente alterados a suelos rojizos y pardo-anaranjados (lateritizados), constituyendo el pie de monte del extremo oriental de la cordillera de Tilarán (Vargas, 2001).

Los mecanismos de depósito que se infieren de las distintas litofacies son: remoción en masa (deslizamientos de diversas dimensiones) y *debris flow* (aluviones y lahares). De acuerdo a la granulometría y morfometría de esta unidad, se infiere que las distancias de transporte desde el origen del flujo son cortas. Existe una unidad con un espesor máximo de unos 70 m de depósitos epiclásticos, originados por la remoción volcaniclástica- sedimentaria de la formación descrita en el apartado anterior (Vargas, 2001).

La edad de esta unidad en con seguridad posterior a la Formación Monteverde, debido a la presencia de clastos correlacionables con la litología de esta formación. Por medio de la alteración hidrotermal fósil que se encuentran en algunas partes, se presume que la edad es anterior al Holoceno (Vargas, 2001).

#### Figura 2. Columna estratigráfica regional.

**Glossary**

**Figura 3. Mapa geológico regional.**

**Modificado de Alvarado, 2009*.***

**Glossary**

### GEOLOGÍA LOCAL

A continuación se presentan las unidades litológicas establecidas para la zona en estudio, de acuerdo a los datos obtenidos de las visitas al campo y los análisis petrográficos realizados de las muestras recolectadas. En total se definieron cinco unidades informales: Unidad Andesítica Basáltica Catarata, Unidad Brechas Chachaguita, Unidad Tobas Cangrejera, Unidad Depósitos Aluviales Chachagua y Unidad Depósitos Cuaternarios San Isidro. La [figura 4](#_bookmark26) muestra la columna estratigráfica local y la [figura 5](#_bookmark28) presenta el mapa geológico local para la zona en estudio

#### Figura 4. Columna estratigráfica local.

**Glossary**

**Figura 5. Mapa geológico local y perfil geológico.**

### Unidad Andesítica Basáltica Catarata (Q1-ct)

A continuación se presentan la descripción de la unidad informal designada como Unidad Andesítica Basáltica Chachagua, que se definió según las litologías observadas en el campo. Esta unidad se encuentra dispersa en todo el sector oeste de la zona en estudio y corresponde a la base estratigráfica de la geología de la zona. Formalmente esta descrita en la literatura geológica como Formación Monteverde.

#### Ubicación

Se encuentra aflorando en todo el sector oeste del mapa (ver [figura 5](#_bookmark28)). La localidad y afloramiento tipo se encuentran en la catarata localizada dentro de la propiedad del Soltis Center (punto Catarata en la [figura 1](#_bookmark14)), cuyas coordenadas son las siguientes: 263 246 N – 467 554 W. Las dimensiones del afloramiento son las siguientes: 24 m de alto por 12 m de ancho.

Otros afloramientos que muestran esta unidad corresponden a cortes en los senderos, nacientes de agua, *knick points* y márgenes de ríos y quebradas. La mayoría de estos están alterados por la condiciones del tiempo de la zona y por el efecto vegetación en la roca, especialmente en los cortes de los senderos, sin embargo se pueden encontrar buenos afloramientos en las quebradas y ríos que atraviesan la propiedad.

#### Litología y otras características

Las rocas pertenecientes a esta unidad se clasifican como andesitas hasta andesitas basálticas, esta última denominación debido a la presencia de olivino. A continuación se describe la litología según el grado de meteorización en las rocas observadas.

Las rocas más sanas presentan un color gris oscuro, de textura afanítica porfirítica, las plagioclasas se observan a simple vista con tamaños milimétricos, la matriz es de color gris intenso, lo que impide el reconocimiento de otros minerales a nivel macroscópico. Las muestras recolectadas con estas características se ubican en la Catarata (ver descripción de la sección [SC-1](#_bookmark140) en el anexo Análisis petrográfico).

Las rocas con un grado de meteorización intermedio, se localizan en los *knick points*, nacientes y algunos sectores de los senderos. Estas presentan un tono de gris más claro y una disminución considerable en el tamaño de las plagioclasas, sin embargo se observan en mayor cantidad en comparación con la descripción anterior, en parte debido a la arcillitización que les ocurre lo cual facilita su reconocimiento. También se observan piroxenos de tamaños milimétricos, esto por el mayor contraste de color con la matriz. Finalmente las muestras recolectadas muestran una pátina que puede alcanzar hasta un centímetro de espesor (ver descripción de la sección [SC-2](#_bookmark141) y [CL-1](#_bookmark137) en el anexo Análisis petrográfico).

Finalmente aquella litología con un grado de meteorización avanzado exhibe un tono todavía más claro de gris que el caso anterior, las plagioclasas no se reconocen en macroscopía, solamente es posible identificar cristales de piroxeno. Cuando el grado de meteorización es muy avanzado, lo que se observa es una roca en transición a suelo, de color beige blancuzco, con la silueta de cristales oxidados (ver descripción de la sección [SC-3](#_bookmark142) en el anexo Análisis petrográfico).

Microscópicamente el único mineral constante es la plagioclasa, encontrada en las rocas con los tres grados de meteorización mencionados anteriormente. Otros minerales que se determinaron (ordenados de las muestra de la más sana a la más meteorizada) son los siguientes: cristales de olivino y opacos (muestra [SC-1](#_bookmark140)); cristales de augita,

hipersteno y opacos (muestra [CL-1](#_bookmark137)); fantasmas de augita con alteración a hematita (muestra [SC-3](#_bookmark142)).

Existen dos características especiales dentro de esta unidad a destacar, la primera a tratar son las lajas observadas en los puntos 7 y Catarata (ver fotografías [11](#_bookmark168), [12](#_bookmark170) y [13](#_bookmark173)). Una laja en la terminología geológica costarricense, se define como una roca de origen volcánico que tiene una forma laminada con superficies lisas, las cuales terminan usualmente de manera abrupta en forma de cuña, está estructura es formada por el flujo constante de lava.

En el punto 7 el espesor de las lajas abarca un rango entre los 20 cm y 4 cm, siendo el valor modal de 5 cm. La dirección del flujo de lava en esta sección es de N35°E, con una inclinación de 18°[1](#_bookmark36). El espesor de esta sección del sendero es aproximadamente de 3 m.

En la parte más elevada del *knick point* inferior de la Catarata (ver [apartado 5.2.](#_bookmark88) y fotografías [4](#_bookmark152) y [6](#_bookmark156)) se observa un aspecto lajeado y diaclasado, en contraposición con la parte basal que es totalmente masiva (ver fotografías [4](#_bookmark152) y [5](#_bookmark154)); lo anterior hace pensar que esa parte de la catarata corresponde con la sección del sendero que se discutía en el párrafo anterior, esto determinado a partir de la inclinación de las lajas.

Al inicio del el *knick point* superior de la Catarata (ver [apartado 5.2.](#_bookmark88) y [fotografía 12](#_bookmark171)) el espesor máximo de las lajas es de 20 cm y el mínimo es 6 cm, mientras que la moda es de 6 cm. La dirección del flujo es de N20°W con 16° de inclinación1.

La segunda característica importante es la presencia de estructuras similares a columnas de enfriamiento, en el *knick point* superior de la Catarata. Estas estructuras con una orientación vertical, superficies lisas y terminación en forma de cuña que alcanzan la cima del *knick point*, parecen presentar rasgos incipientes de estructuras en flor. El origen se debe a un enfriamiento rápido que ocasiona tensión en la roca, hasta que se llega a un punto en que esta se fragmenta, formando las fracturas que se observan actualmente (ver fotografías [7](#_bookmark158) y [8](#_bookmark160)).

Como se mencionó en la introducción de este apartado, esta unidad corresponde con la base estratigráfica, por lo que funciona como basamento para las litologías mencionadas a continuación. El espesor corresponde a la diferencia de la altitud máxima y mínima en donde aflora esta unidad, por lo tanto este es de aproximadamente 380 m.

#### Edad

La edad asignada a esta unidad corresponde con la edad para la Formación Monteverde, la cual se ubica en el Pleistoceno Inferior-Medio. De acuerdo a la recopilación de edades absolutas para las rocas ígneas y metamórficas de Costa Rica realizada por

1 La direcciones e inclinación presentadas pudieron verse afectadas por el tecnonismo de la zona, por lo tanto el flujo original de lava pudo tener direcciones e inclinaciones diferentes.

Alvarado & Gans (2012), existen cuatro dataciones radiométricas cercanas a la zona en estudio, las cuales se muestran en el [cuadro 1](#_bookmark37).

#### Cuadro 1. Dataciones radiométricas cercanas a la zona en estudio.

**Tomado de Alvarado & Gans, 2012.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Muestra | Litología | Ubicación | Edad (Ma) |
| CR-104 | Andesita  basáltica | Proyecto Hidroeléctrico Peñas Blancas,  260 950 N/470 025 W | 1,79 ± 0,04  (40Ar/39Ar: mtz) |
| CR-107 | Andesita  basáltica | Proyecto Hidroeléctrico Peñas Blancas,  260 950 N/ 470 025 W | 1,79 ± 0,004  (40Ar/39Ar: mtz) |
| G-49 Y | Andesita rica en K | 500 m NW laguna Poco Sol, 258 900 N/462 300 W | 1,313 ± 0,04  1,282 ± 0,04  (K/Ar: mtz) |
| G-49 Z | Basalto alumínico | Por San Miguel de Poco Sol, 259 900 N/466 400 W | 1,313 ± 0,04  1,282 ± 0,04  (K/Ar: mtz) |

#### Origen

Se debe a la actividad ígnea efusiva, la cual causó coladas de lava provenientes del oeste de la zona en estudio.

### Unidad Toba Cangrejera (Q12-cj)

A continuación se presenta la descripción de la unidad informal designada como Unidad Toba Cangrejera, que se definió según las litologías observadas en el campo. Esta unidad se encuentra asociada a las Rocas y Sedimentos Epiclásticos del Cuaternario.

#### Ubicación

Se encuentra aflorando al noreste del Soltis Center, en el cuadrante limitado por las siguientes coordenadas norte: 262 500 – 263 500 y las siguientes coordenadas oeste: 468 500 – 469 500. El nombre de la unidad deriva de la designación por parte de los lugareños a una sección de un afluente al río Chachagua y a la que se le conoce como Cangrejera. El afloramiento tipo localizado en esta sección de la quebrada presenta las siguientes coordenadas: 263 183 N – 469 354 W (punto Cangrejera en la [figura 1](#_bookmark14)).

#### Litología y otras características

La apariencia general de la litología es masiva y, consiste de clastos de diferentes tipos de roca flotando en una matriz areno-limosa, con la presencia de algunos minerales irreconocibles por la meteorización y alteración a arcillas, además la matriz presenta vesículas de tamaños menores a un milímetro, distribuidos abundantemente.

La selección de los clastos es mala, pues lo tamaños son variados, siendo la moda de 2x1,5 cm, aunque los tamaños mayores pueden alcanzar dimensiones de 12x10 cm y los menores 1 mm de diámetro, igualmente estos no muestran ninguna disposición preferente en relación a su tamaño, sino que se encuentran distribuidos aleatoriamente. La composición como se mencionó anteriormente es variada, definido por los distintos colores observados (beige, gris claro, rosado, etc.), sin embargo el grado de meteorización que es alto, impide una clasificación detallada. La roca se clasifica como toba (ver [fotografía 18](#_bookmark183)).

Un aspecto importante a destacar es el color que presenta la litología, pues este cambia considerablemente según los factores que actuaron sobre esta. En el caso de la toba meteorizada (punto 24 en la [figura 1](#_bookmark14)) corresponde a un tono gris-rosado, mientras que en

La Cangrejera posee un color gris claro uniforme a lo largo de todo el afloramiento, debido a la alteración hidrotermal ocurrida en esta zona.

Esta alteración hidrotermal también produjo otros cambios además del color, ya que la toba está más consolidada, razón por la cual es más difícil desprender un fragmento. Otro cambio ocurrido fue la piritización, en la cual se observan cristales diminutos de pirita, diseminados en ciertas superficies al momento de extraer la roca; por lo tanto no se encuentran diseminados en la matriz, sino que estas superficies fueron zonas de debilidad (fracturas, oquedades, etc.) por la que ascendieron los líquidos y que cuando se enfriaron se dio la mineralización.

Microscópicamente en La Cangrejera se logran determinar cristales de cuarzo secundario, olivino y pirita en una matriz de vidrio, sin embargo la roca está muy alterada y lo que más se observa es una pasta gris-blancuzca (ver descripción de la sección [CAN-1](#_bookmark143) en el anexo Análisis petrográfico). El espesor mínimo observado es aproximadamente de 2,5 m, tanto en el punto 24 como en la Cangrejera de la [figura 1](#_bookmark14).

#### Edad

Debido a que no existen dataciones para esta litología, la edad asignada corresponde con la unidad formal a la que se le asocia, descrita en Alvarado (2009) como Rocas y Sedimentos Epiclásticos del Cuaternario; por lo tanto la Unidad Toba Cangrejera se sitúa en el Cuaternario, aunque probablemente estos depósitos comenzaron a ser expulsados a inicios de este período.

#### Origen

La génesis de estos depósitos corresponde a flujos de alta densidad (conocidos como ignimbritas), expulsados durante el vulcanismo que originó la Formación Monteverde. Posteriormente la amplia actividad hidrotermal que presentó la zona en el pasado, produjo la mineralización de pirita observada en La Cangrejera. Finalmente los depósitos fueron afectados por agentes externos que borraron su presencia en algunos sectores, mientras que en otros modificaron su aspecto y características.

### Unidad Brechas Chachaguita (Q12-cg)

A continuación se presenta la descripción de la unidad informal designada como Unidad Brechas Chachaguita, que se definió según las litologías observadas en el campo. Esta unidad se encuentra asociada a las Rocas y Sedimentos Epiclásticos del Cuaternario.

#### Ubicación

Esta unidad se encuentra formando el lecho y márgenes de ríos y quebradas en el sector noreste del área en estudio. El nombre de esta unidad proviene de la quebrada Chachaguita, localizada al norte del área en estudio (debido a que no hay ninguna localidad o quebrada cercana con nombre). La localidad tipo es la quebrada (sin nombre) que recorre el Chachagua Rainforest Hotel & Hacienda (punto 25 en la [figura 1](#_bookmark14)); buenos afloramientos se localizan en los puntos 26 y 27 (ver [figura 1](#_bookmark14)), los cuales equivalen a las siguientes coordenadas: 263 351 N – 468 909 W y 263 318 N – 468 943 W respectivamente.

#### Litología y otras características

La clasificación textural de la litología observada concuerda con un conglomerado brechoso, debido a que se observan clastos redondeados a subangulosos, de forma esférica hasta elíptica. La granulometría es variada y por lo tanto la selección es mala, los clastos de mayor tamaño tienen aproximadamente 40 cm en el eje más largo, mientras que los de menores dimensiones presentan un diámetro de 3,5 mm. El aspecto general es masivo, con un grado consolidación moderado, aunque la matriz es sumamente deleznable. Los bloques, cantos y guijarros de composición primordialmente andesítica, se encuentran distribuidos de forma caótica flotando en una matriz arenosa de color gris, sin embargo cuando esta se meteoriza (caso más recurrente) cambia a tonos de café y beige, producto de la oxidación de los minerales (ver fotografías [14](#_bookmark175) y [15](#_bookmark177)).

En el recorrido realizado en la quebrada mencionada anteriormente, se apreciaron algunos *knick points* de reducidas dimensiones, encontrándose entre un rango de 50 cm a 2 m de altura. Estos probablemente se deben a la erosión propia del agua, sin que medie un

aspecto de origen tectónico, como se explica más adelante para los *knick points* observados en la Unidad Andesítica Basáltica Catarata.

El depósito posee un espesor mínimo de aproximadamente 3,5 m, observado en los márgenes de la quebrada (ver [fotografía 16](#_bookmark179)).

#### Edad

La edad corresponde al Cuaternario (Alvarado, 2009), sin embargo se pueden obtener dataciones más exactas de encontrarse restos fósiles acarreados junto a los depósitos litológicos circundante (los cuales no se observaron) a los que se les pueda aplicar al técnica de radio-carbono 14.

#### Origen

El origen de esta litología se debe a lahares que fluyeron por los ríos y quebradas. Estos consisten de flujo de agua que remueven fragmentos de las rocas preexistentes, los cuales durante el transporte son moldeados por la fricción, dando así las formas redondeadas de los bloques y cantos observados. Al cesar el fenómeno se depositaron los bloques y cantos dentro de la matriz de lodo con agua que los acompañaba, la cual al perder este último elemento se consolidó, permitiendo la preservación de los sedimentos transportados por el lahar.

### Unidad Depósitos Aluviales Chachagua (Q2-ch)

A continuación se presenta la descripción de la unidad informal designada como Unidad Depósitos Aluviales Chachagua, que se definió según las litologías observadas en el campo.

#### Ubicación

Esta unidad se encuentra a todo lo largo de los ríos y quebradas que se encuentran en la zona en estudio (ver [figura 5](#_bookmark28)). La localidad tipo aflora en el río Chachagua (ver [fotografía 17](#_bookmark181)). La distribución de los depósitos es conforme a la longitud del cauce.

#### Descripción

Corresponden a una acumulación de cantos en los fondos y orillas de los cauces. Los cantos presentan formas redondeadas a subredondeadas y la esfericidad puede variar en todo su rango, el tamaño varía de acuerdo al cauce desde centimétricos hasta métricos, sin embargo en ningún caso se llega a sobrepasar los 10 m en el eje largo. Los colores pueden variar debido a las características petrográficas así como al grado de meteorización de cada canto, sin embargo predomina el color gris en sus distintas tonalidades.

La composición de los cantos es homogénea debido a que la litología del área fuente es la misma (ver [apartado 3.1](#_bookmark32)), sin embargo se pueden dar pequeñas variaciones a nivel petrográfico tal como se mencionó anteriormente (ver descripción de la sección [RC-1](#_bookmark139) en el anexo Análisis petrográfico). En esta misma línea se debe mencionar que se observa una variación textural entre las muestra recolectadas en el río Chachagua y las recolectadas en la propiedad del Soltis Center, ya que si bien todas corresponden a andesitas basálticas, las concernientes a este apartado presentan plagioclasas en mayor cantidad, de tamaños más grandes (máximos 5,7x4,65 mm, 7,51x5,62 mm y 6,57x1,82 mm; mínimos 2,96x1,45 mm, 1,81x1,3 mm y 1,96x1,24 mm) y con formas redondeadas.

El hecho anterior se puede explicar por dos factores que están actuando simultáneamente, el primero de ellos es que las coladas de lava de las que provienen las

muestras tanto del río Chachagua como del Soltis Center son totalmente distintas y cada colada se formó bajo condiciones distintas, lo que explica la diferencia en abundancia y tamaño de las plagioclasas. El segundo factor, es que las muestras del río Chachagua al estar en un constante contacto con el agua hace que las plagioclasas se hidraten y aumenten su tamaño, de ahí la diferencia en forma y nuevamente en tamaño.

#### Edad y espesor

Se le adjudica una edad de Cuaternario con aportes hasta la actualidad. El espesor acumulado de los cantos es inconsistente aún en el mismo cauce, por lo que de realizarse un estudio hidrogeológico en una sección específica del río o quebrada, se recomienda medirlo para la misma.

#### Origen

El origen se debe a la acción erosiva de los agentes ambientales que desprenden fragmentos de roca que son transportados hasta los cauces, así como también al propio cauce que arrastra los cantos y los moldea.

### Unidad Depósitos Cuaternarios San Isidro (Q2-si)

A continuación se presenta la descripción de la unidad informal designada como Unidad Depósitos Cuaternarios San Isidro, que se definió según las litologías observadas en el campo.

#### Ubicación

Esta unidad se distribuye en toda la zona oriental del área en estudio (ver [figura 5](#_bookmark28)).

#### Descripción

La conforman los suelos lateritizados de color rojizo y pardo-anaranjado, junto a depósitos coluviales.

#### Edad y espesor

Se le adjudica una edad de Cuaternario. El espesor puede variar dependiendo del lugar, debido a que los agentes ambientales que actúan en la zona lo hacen de manera diferente dependiendo de la litología a la que afectan.

#### Origen

El origen se debe a la acción erosiva de los agentes ambientales (tales como agua, viento, etc.) que modifican la litología ya presente. También se debe a la depositación de sedimentos acarreados por los ríos y quebradas.

### STRUCTURAL GEOLOGY

This chapter covers two structural features: faults and joints. The first feature is subdivided into three kinds of faults: regional faults, observed faults and an inferred fault. The joints were observed at the top of the waterfall, where three families of joints were determined.

To have a wider view of tectonic control where the study area is located, was decided to remark about the nearest major faults of the zone, according to a bibliographic research. The first fault is called Chachaguita and is located to the northeast of the Soltis Center. It is a lineament with SW-NE direction, which follows Chachaguita creek. It is considered as a normal fault, the hanging wall corresponds to the SE block.

The Peñas Blancas fault receives his name from the river which goes along this lineament. The main direction is NW-SE and, it is possible to recognize it even on satellite images. At the field it presents scarps of hundreds of meters, which allow interpreting it as a normal fault where the NW block (footwall) is below the opposite one.

The Jabillos fault is considered by some authors as a continuation of Peñas Blancas fault, because it direction is very similar and they are almost juxtaposed; besides of those here is mention as a different fault. It is found southward of San Isidro town; it has an ENE- WSW direction, with a normal component where the south block corresponds to the hanging wall. According to empiric equations, was possible to determine a 6,3 maximum magnitude in case this fault might produce an earthquake.

Finally according to the regional geological map, the zone shows two major lineaments that cross the study area: one of them is an inferred fault and the other one is a hidden fault. Inside the study area there are three lineaments, for one of them was possible to determine a normal component. All of these structures present a N-S direction, but there is not description about them in the paper attached to the map.

Two observed fault were measured at the Soltis Center property, situated 100 meters downstream of the waterfall. These lineaments are in the Basaltic Andesite Catarata Unit, they present a S30°W and Ef direction, forming a 60° between them that indicates they are conjugated pair of faults. No kinematic indicators were found that allow checking the movement of these faults.

The inferred fault is a hypothesis to explain the lineament of the knick points observed at the Soltis Center property, which presents a SE-NW direction. This hypothesis requires more studies to check it or discard it.

The joints where found on the left margin of the Catarata River, at the superior knick point of the waterfall. The detachment of the rock produced by the joints was forming smooth planes that were measured. Also because of the detachment and the erosion of the water, at this point was forming an abrasion notch (see photographyies [9](#_bookmark162) and [10](#_bookmark165)).

### GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La siguiente descripción abarca las estructuras tectónicas en la zona en estudio, las cuales corresponden a fallas inferidas (ver [figura 5](#_bookmark28)), observadas y regionales (ver [figura 7](#_bookmark70)), junto con una serie de diaclasas observadas en la Catarata. La proyección estereográfica y la rosa de inclinación de las diaclasas se realizó en el *software* Tectonics FP versión 1.76.

#### Fallas

Los siguientes tres apartados describen las fallas que se encuentran en el área en estudio, las cuales se subdividieron en fallas regionales, descritas a partir de la información bibliográfica consultada; fallas observadas las cuales fueron determinadas en el trabajo de campo y finalmente fallas inferidas, deducidas a partir de la presencia de rasgos morfo- neotectónicos, tales como los *knick points* que se describen en el siguiente capítulo.

#### Regionales

Según Vargas (2001), existen tres fallas principales que se encuentran cerca del Soltis Center, conocidas como Chachaguita, Peñas Blancas y Jabillos (ordenadas desde la más cercana a la más lejana). Cabe aclarar que hay ciertos autores que toman la falla Peñas Blancas como una continuación de la falla Jabillos (Madrigal *et al*, 1995; Alvarado, 2009), debido a que estas presentan una dirección similar y se encuentran casi yuxtapuestas.

La falla Chachaguita (ver [figura 7](#_bookmark70)) se encuentra al noroeste del Soltis Center y presenta una dirección SW-NE. Es un alineamiento de 6 km de longitud que recorre la quebrada Chachaguita, se infiere que es una falla normal con el bloque SE levantado con respecto al bloque NW y que posee una fuerte inclinación hacia el noroeste (Vargas, 2001). La falla Peñas Blancas (ver [figura 7](#_bookmark70)) recorre el río del mismo nombre, posee una longitud de aproximadamente 20 km y rumbo SW-NE. Su reconocimiento es posible hasta en imágenes satélite, mientras que en el campo la tarea se facilita aún más por la presencia de escarpes en el río Peñas Blancas de hasta varios hectómetros y que permiten deducir que se trata de una falla normal en donde el bloque rebajado es el NW con respecto al bloque

opuesto, sin embargo tomando en cuenta el patrón regional de esfuerzos compresivos, es esperable que también presente un componente de desplazamiento de rumbo (Vargas, 2001).

La falla Jabillos (ver [figura 7](#_bookmark70)) se encuentra al sur de San Isidro de Peñas Blancas, recorriendo casi de forma paralela la calle que comunica la entrada de este pueblo con el pueblo de Jabillos. Esta falla es un alineamiento con rumbo ENE-WSW, con componente normal, donde el bloque S ha sido levantado con respecto al bloque N (Vargas, 2001). De acuerdo con Madrigal *et al* (1995), la asociación de la falla Peñas Blancas y Jabillos, posee una longitud de 15 km y una profundidad de 5 km, además la magnitud máxima esperada de producirse un sismo en esta falla es de 6,3, basándose en formulas empíricas que toman en cuenta las características mencionadas anteriormente.

Finalmente dentro del área en estudio, se observan en el mapa geológico de la hoja Fortuna (Alvarado, 2009), una serie de fallas con dirección N-S; para una de estas se determinó un componente vertical (ver [figura 7](#_bookmark70)), sin embargo en la descripción del mapa no se hace mención alguna a estos alineamientos.

#### Observadas

Se observaron dos alineamientos al noroeste del Soltis Center, específicamente en las rocas del fondo del cauce del río Catarata, aproximadamente 100 m río abajo de la Catarata. Estos alineamientos están afectando la unidad Andesítica Basáltica Chachagua y, poseen una dirección S30°W y Ef formando entre ellas un ángulo de 60°, por lo tanto se infiere que es un par conjugado de fallas, asociadas a las fallas regionales que se mencionaron anteriormente. Debido a que el tamaño de las fallas era muy pequeño no se presentan en el mapa geológico.El movimiento de las fallas es indeterminable hasta el momento, pues no se encontraron indicadores cinemáticos para determinarlo.

#### Inferida

De acuerdo a la orientación de los *knick points* observados dentro la propiedad del Soltis Center (ver [apartado 5.2.](#_bookmark88)), se deduce que estos corresponden con un alineamiento con dirección SE-NW (ver [figura 5](#_bookmark28)). Dicho alineamiento puede corresponder con una falla o el escarpe de esta, sin embargo esto es solamente una hipótesis que requiere de más estudios para su comprobación.

#### Diaclasas

Se observaron una serie de diaclasas (ver [figura 6](#_bookmark68)) en la margen izquierda del río Catarata, específicamente en el *knick point* superior de la Catarata (ver [apartado 5.2.](#_bookmark88) y [fotografía 10](#_bookmark165)). Las diaclasas se presentan afectando a las rocas de la Unidad Andesítica Basáltica Chachagua y formaban planos lisos al desprenderse la roca, por lo tanto se procedió a medir dichos planos. Bloques de roca desprendidos formaban aristas angulosas y se acumulan a la base del *knick point* superior de la Catarata, debido a este desprendimiento y la erosión del agua se estaba formando un nicho (ver fotografías [9](#_bookmark163) y [10](#_bookmark166)). A continuación se presenta las proyecciones estereográficas utilizando la red de Wulf y la rosa de inclinación para los planos de las diaclasas medidos.

#### Figura 6. Proyección estereográfica y rosa de inclinación de las diaclasas en el *knick point* superior de la Catarata.

**Glossary**

**Figura 7. Mapa de fallas regionales cercanas al Soltis Center.**

### GEOMORPHOLOGY

This chapter was divided in two main topics: regional and local geomorphology; the intention with this division was to show a wider view of the morphologies that surround the study area and then to focus on special features inside of the Soltis Center property and surroundings.

To the regional geomorphology the zone was extended from 6 km2 to 42,25 km2, in that area were observed six morphologies described below (see [figure 8](#_bookmark82)). The Peñas Blancas river is forming a canyon of an average 200 meters of deep with slopes of 40°. The Chachaguita creek is developing a gully with minimum and maximum deep of 80 m and 100 m respectively, the slopes on both margins present a difference, the left margin has homogenous slopes of 20° and the right margin has slopes within the range of 30°-40°.

On the right margin of the Peñas Blancas River there is a slump of 290 m2, comparing the satellite image and the aerial photography, this is an inactive slump. The Soltis Center is situated on denudational hills that have a highest elevation of 800 m.a.s.l. The slopes of this morphology are diverse, but the steepest slopes are found above the 530 m.a.s.l.

At the top of the denudational hills, there is a morphology called “Flow”, the origin of this flow might be a lava flow proceeding from the west, with a direction of ESE and then it has a slight rotation to the NE. The last morphology is the foothill located at the east, this comprehends the biggest area (32 km2) of the map and the slopes are in the range from 0 to 20°. The morphology is characterized for a wavy topography.

The local geomorphology includes there aspects: slumps, slopes and knick points. The slumps have a maximum area of 100 m2, with a rupture surface lower than 1 m deep. Because of the small area and the fact that they are covered with vegetation, it is impossible to locate the slumps on the map. The factors that influence the origin of these slumps are: the steep slopes and the intense weathering of the lithology.

The slopes on the mountain part of the study area are from 20° to approximately 50° steep. The 0 to 20° slopes are the most widespread and they are located on the east part. At the Catarata river the slopes are from 30° to 50° steep, which correspond to the observation made at the field.

Finally, because there are consecutive knick points on a same river or creek, was created a nomenclature to refer to them. The first knick point is located upstream and it is called “superior knick point”, the second is located downstream and it is named “inferior knick point” (see [figure 10](#_bookmark90)).

Consecutive knick points were found on the creek before the waterfall and the Catarata river, and another one on the first creek on the waterfall trial. All of these present certain lineament to the NW, which might indicate a tectonic structure, as was noticed on the structural geology chapter. Another knick point was found on the Catarata River, approximately 1 km downstream from the waterfall, this one presents a different height that might indicate that its origin is from a change of lithology.

### GEOMORFOLOGÍA

Este capítulo abarca la descripción geomorfológica regional y local, tomando en cuenta las observaciones de campo. La descripción regional se realiza con la delimitación de cada geoforma, asignándola a una unidad informal según la las normas establecidas por la International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC) y de acuerdo al “*Aerial* photo interpretation in terrains analisis and geomorphologic mapping” de Van Zoidan, (1975). El mapa geomorfológico se presenta en la figura 8. Los mapas tienen como base cartográfica el mapa de isolíneas de altura (cada 10 m), elaborado con el *software* Arcmap, versión 10.0, escala 1:50 000.

#### Geomorfología regional

Debido a que al área en estudio es bastante limitada, se enmarcó esta en un área mucho mayor, de manera que muestre la dinámica de los procesos erosivos y sedimentológicos, que afectan las geoformas presentes. En zona propuesta para el análisis geomorfológico se delimitaron cinco unidades geomorfológicas, las cuales se describen a continuación y se presentan en el mapa geomorfológico (ver [figura 8](#_bookmark82)).

#### Cañón fluvial

Este se ubica en el sector sur del mapa geomorfológico, sobre el río Peñas Blancas y es este quien lo origina. En la zona observada esta morfología abarca un área de 4,6 km2 y se extiende por 7 km aproximadamente. La profundidad promedio ronda los 200 m, mientras que la profundidad mayor sobrepasa ligeramente este valor. La pendiente media es de 40°, sin embargo este valor puede cambiar significativamente dependiendo del lugar que se observe. De acuerdo con (Alvarado, 2009) las rocas aflorantes en las vertientes del río Peñas Blancas corresponden a las formaciones Aguacate y Monteverde.

#### Barranco

Esta morfología es de orden menor que el cañón fluvial y se define como tal por las dimensiones significativamente menores. Se ubica en la zona norte del mapa geomorfológico, a lo largo de la quebrada Chachaguita y se extiende por aproximadamente 8 km y abarca una superficie de 1,6 km2. Las profundidades rondan los 80 y 100 m, las pendientes en la margen izquierda son bastante homogéneas, con un ángulo de 20° aproximadamente, mientras que en el margen derecha rondan los 30° a 40°. De acuerdo al mapa de Alvarado (2009), las litologías que comprende esta geoforma corresponden a la Formación Monteverde y las Rocas y Sedimentos Epiclásticos del Cuaternario.

#### Flujo

Así se le designa a la geoforma observada en la zona media más occidental del mapa geomorfológico, la cual presenta una apariencia de desplazamiento gradual, por lo tanto al relacionarla con la geología de la zona en la que se encuentra, se interpreta como una colada de lava ocurrida durante el vulcanismo del Pleistoceno (Formación Monteverde). Esta morfología presenta un área de 0,29 km2 con un aspecto ligeramente convexo y un movimiento hacia el ESE por 600 m, con una pequeña desviación hacia el NE por 650 m. Las pendientes en las zonas laterales y frontales se encuentran entre los 30° y 40°, mientras que en la zona central la pendiente ronda los 20°.

#### Deslizamiento

Se ubica en la margen derecha del río Peñas Blancas, entre las coordenadas 260 770 – 261 450 N y 468 000 – 468 750 W. Esta morfología presenta un desplazamiento hacia el norte, con zonas de pendientes de 10°, 20° y 30°, donde el promedio corresponde a 20°. El área que abarca es de aproximadamente 0,29 km2.

Al comparar la fotografía aérea de 1992 con la imagen satelital de Google Earth de 2013, se puede deducir que este es un deslizamiento inactivo, pues en la fecha más antigua el sector deslizado no presenta vegetación alguna, mientras que 21 años después la zona de la corona y la zona media se encuentran pobladas de bosque secundario.

#### Colinas denudacionales

Se localizan al oeste del mapa geomorfológico y dentro de esta geoforma se incluyen la propiedad del Soltis Center. Se extienden por 6,8 km2, con una diferencia altitudinal que ronda los 450 m, siendo la cota más baja de 350 m. Las pendientes son variadas, mayoritariamente se observan zonas entre los 10° y 30°, sin embargo en la zona central de la morfología, después de la cota 530 m.s.n.m. se dan sectores entre los 30° a 40° y una fracción mínima entre los 40° a 50°. El origen se debe al efecto de los agentes erosivos de la litología presente, la cual se relaciona con la Formación Monteverde.

#### Pie de monte

Se delimitan tres regiones en el mapa geomorfológico interpretadas como pie de monte: en la zona norte, al este de las colinas denudacionales y en la esquina sureste. El área que comprenden cada una de las regiones anteriores son: 10,1 km2, 20,3 km2 y 1,6 km2, para un total de 32 km2 de esta morfología. Las pendientes son muy homogéneas, rondan entre los 0° a 20°, disminuyendo progresivamente conforme se aleja de las montañas. Esta unidad se encuentra moderadamente disectada y presenta una topografía ondulada. La litología en la que se encuentra corresponde a las Rocas y Sedimentos Epiclásticos del Cuaternario (Alvarado, 2009).

#### Figura 8. Mapa geomorfológico regional.

* 1. **Geomorfología local**

A continuación se describen algunas de las morfologías más relevantes observadas en las inmediaciones del Soltis Center, las cuales tienen un valor intrínseco al relacionarse con otros aspectos mencionados anteriormente.

Durante las visitas al campo se observaron pequeños deslizamientos en las laderas que conforman los cerros en los que se ubica la propiedad del Soltis Center. Estos deslizamientos presentan una ruptura en superficie menores a un metro, además las dimensiones apenas abarcan un área no mayor a 100 m2, al añadirle que se encuentran cubiertos por la vegetación resulta casi imposible ubicarlos en los mapas o fotografías aéreas obtenidos para la zona.

Una de las razones de la gran cantidad de estos pequeños deslizamientos es el tipo substrato en que se dan, pues este consiste de suelos sumamente erosionados, de poca cohesión, provenientes de la meteorización de las lavas que conforman la litología de la zona (ver [apartado 3.1.2.](#_bookmark34)); otra causa son las fuertes pendientes que se observan en las laderas este de los cerros, punto a tratar a continuación.

Al observar la topografía en el mapa de ubicación (ver [figura 1](#_bookmark14)) así como al dirigirse al Soltis Center se puede percatarse de un cambio bastante radical, ya que en el centro de San Isidro la topografía es bastante plana, con pocos cerros de laderas suaves y poca altura hasta llegar a la entrada del Soltis Center, donde comienza a pronunciarse la pendiente y la altura comienza a aumentar rápidamente. Al recorrer los senderos, se puede observar como las laderas son todavía más empinadas. La [figura 9](#_bookmark84) muestra el mapa de pendientes, clasificadas en rangos de 10°. De acuerdo a los resultados obtenidos la pendiente más pronunciada es de aproximadamente 50°. Finalmente el [cuadro 2](#_bookmark87) presenta las áreas que cubren los diferentes rangos de pendiente.

**Glossary**

# Figura 9. Mapa de pendientes del área en estudio.

#### Cuadro 2. Área cubierta de los rangos de pendiente para el área en estudio.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Rango de pendiente** | **Área cubierta (km2)** | **Área cubierta (ha)** |
| 0° – 10° | 1,9 | 192,0 |
| 10° – 20° | 1,7 | 170,7 |
| 20° – 30° | 1,2 | 124,1 |
| 30° – 40° | 0,9 | 89,2 |
| 40° – 50° | 0,1 | 15,6 |
| >50° | 0,004 | 0,5 |

Del cuadro anterior se advierte que las pendientes entre los 0° y 20° son las más extensas en el área en estudio, sin embargo en la propiedad del Soltis Center las pendientes rondan los 20° a 40°, existiendo pequeños sectores con pendientes mayores a 40°. En los márgenes del río Catarata se observa como las pendientes se encuentran en el rango de 30° a 50°, lo cual corresponde con las observaciones hechas en el campo.

Un último aspecto a considerar en este apartado son los varios *knick points* presentes en la zona en estudio (ver fotografías [1](#_bookmark145), [2](#_bookmark148) y [3](#_bookmark150)), los cuales presentan cierta alineación NW-SE. Un *knick point* se pude definir como un cambio abrupto en el perfil longitudinal de equilibrio de un río (Lord *et al*, 2009). La causa más común de este cambio, es debido a la erosión regresiva del río a causa de un descenso del nivel del mar, sin embargo existen otros motivos por los cuales se puede originar esta morfología, tales como cambios en la litología, control tectónico, etc.

El cuadro 3 muestra la información recopilada en el trabajo de campo sobre los *knick points* observados en la propiedad del Soltis Center. En algunos casos estos podían presentarse de forma inmediata en el mismo río o quebrada, de tal manera se aclara que el *knick point* aguas arriba se le denomina como superior, mientras que aquel aguas abajo se le denomina como inferior (ver [figura 10](#_bookmark91)).

#### Figura 10. Esquema de los *knick points* observados en la Catarata, Soltis Center.

**Cuadro 3. Descripción de los *knick points* observados en el área en estudio.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Coordenadas | |  |  |
| Quebrada | *Knick Point* |  | Altitud (m.s.n.m.) | | Altura (m) |
|  |  | Norte | Oeste |  |  |
| Sin nombre 1 | – | 262 900 | 468 365 | 453 (Base) | 7 |
| Sin nombre 2 | Inferior | 263 226 | 467 863 | 548 (Base) | 8 |
| Superior | 7 |
| Catarata | Inferior | 263 270 | 467 563 | 600 (Cima) | 24 |
| Superior | 263 223 | 467 603 | 617 (Base) | 22 |
| Catarata | – | 263 016 | 468 813 | 387 (Base) | 4 |

Nota: Refiérase a la [figura 10](#_bookmark90) para los términos base y cima.

El origen de los primeros cinco *knick poins* se puede deber a dos causas, la primera de ellas puede ser que se deben a diferentes coladas de lava, expulsadas durante el vulcanismo de inicios del Pleistoceno, por lo tanto cada uno representa la parte más distal de la colada de lava; la segunda causa sería que los *knick points* provengan de un control tectónico en la zona, por lo que estos vendrían a conformar una especie de escarpe. La última opción es considerada más acertada en el presente trabajo, ya que se toma en consideración la falla al oeste del Soltis Center que presenta una dirección similar a la de los *knick points* y también que algunos se encuentran separados por una zona intermedia entre el nivel superior e inferior, descartando la opción de que sean el final de distintas coladas de lava.

Otro aspecto que apoya la hipótesis anterior es la similitud entre las alturas, tanto de los *knick points* que se localizan en las quebradas Sin nombre 1 y 2, así como en una misma quebrada como es el caso de los de los *knick point* inferior y superior del río Catarata y la quebrada Sin Nombre 2. En un análisis similar realizado en los perfiles longitudinales de los ríos Grande de Tárcoles, Grande y Virilla, Porras *et al* (2012) llegan a la conclusión de que este tipo de estructuras en los cauces mencionados anteriormente son de origen tectónico, lo cual refuerza la hipótesis de que los *knick points* encontrados en el Soltis Center son de origen tectónico.

Finalmente el último *knick point* se encuentra muy separado de los otros, por lo que no es probable que su origen sea el mismo; lo que parece ocurrir en este caso es un cambio de litología, ya que en este sector fue donde se encontró por primera vez la Unidad Toba La Cangrejera. Otro aspecto es que la altura de este último difiere a de los otros, lo que apoya la hipótesis de que la génesis de este *knick point* en particular es por causas distintas a la de los otros.

### HIDROGEOLOGY

This chapter starts with a bibliographic research of the aquifers present at the zone. The nearest hydrogeological information comes from the Poco Sol Hydroelectric Proyect, where four aquifers were defined according to wells lithologies and pumping tests. The first one is an unconfined aquifer and then continues with a semiconfined aquifer, the two final aquifers are confined. The unconfined aquifer is the one can be correlated to the study area, where the water table is cropping out at many levels.

The drainage frequency map presents the number of rivers on 1/16 of km2, on this map there are two aspects to highlight: the first one is the Catarata River presents many tributaries and the second one is a gradual increase of river to the east part of the map. The second map is about density drainage, which it shows the length of the rivers present on 1/16 of km2. The major feature observed on the contour density drainage map is a lineament at the center, with direction NW, this might be to the change of topography from a mountain zone to a plain zone.

The longest rivers are situated on the Breccias Chachaguita and the Tuff Cangrejera units, probably because this lithologies are the most heterogeneous and unconsolidated ones. Contrary to the anterior sentence, the Basaltic Andesite Catarata Unit presents a scarce frequency and density drainage pattern, due to the low development of the rivers on this lithology.

Many springs were found at the Soltis Center property and surroundings, cropping out on the Basaltic Andesite Catarata Unit and the Breccias Chachaguita Unit. Most of the springs present a considerable caudal and that is a reason with they are used to provide of water to the community and the Soltis Center.

Finally the Soltis Center property is cross by many rivers and creeks, which present big boulders that, indicate the strength of the river when a flash flood happens. Another characteristic of the rivers and creeks is the clear water that they carry; this might indicate high quality water. The quality and quantity of the water are one reason why the Soltis Center presents a high biodiversity and, that is why it should be care.

### HIDROGEOLOGÍA

La información hidrogeológica que se presenta a continuación se obtuvo de la observación en el campo de ríos, quebradas y nacientes, así como de la información bibliográfica recopilada sobre los acuíferos de la zona y de la aplicación de métodos morfométricos derivados del trazado del sistema de drenaje. Con esta se pretende discutir brevemente las características hidrogeológicas de la zona en la que se encuentra ubicado el Soltis Center, sin embargo a falta de datos precisos la siguiente discusión es muy general y lo que busca es concientizar al lector sobre el potencial hidrogeológico de la zona.

#### Acuíferos

La información sobre los acuíferos más cercana a la zona en estudio, se ubica dentro del área del Proyecto Hidroeléctrico (PH) Peñas Blancas y está basada en Vargas (2001). De acuerdo al estudio realizado para la casa de máquinas de este proyecto, se detectaron cuatro acuíferos, de los cuales uno es libre y los otros tres, definidos como Superior, Intermedio e Inferior, corresponden a semiconfinado el primero y confinados los dos últimos (Vargas, 2001).

El acuífero libre presenta un nivel freático relativamente somero, pues se encuentra en el contacto del suelo con la litología que lo subyace, en el caso de la casa de máquinas del PH Peñas Blancas, esta litología corresponde a una toba brechosa (Vargas, 2001). Las características de los acuíferos Superior, Intermedio e Inferior, se muestran en el [cuadro 4](#_bookmark97), las cuales fueron determinadas por el estudio de los pozos observación, pruebas de bombeo y el análisis de estas por los métodos de Jacob (ver anexo Metodología y conceptos: Método de Jacob) (Vargas, 2001).

#### Cuadro 4. Características de los Acuíferos, Casa de Maquinas.

**Modificado de Vargas, 2001.**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nombre del Acuífero** | **Piso-Techo (m.s.n.m.)** | **Espesor (m)** | **Nivel Piezométrico (m.s.n.m.)** | **Litología del Reservorio** | **Coeficiente de Almacenamiento** | **Transmisibilidad (m2/día)** |
| Superior | 150 – 178 | 24 – 28 | 190,89 – 192,38 | Megabrechas | 1,6x103 | 132,42 |
| Intermedio | 135 – 150 | 15 | 194,27 – 196,17 | Megabrechas | 3,35x104 | 79,96 |
| Inferior | ? – 130 | ? | 197,38 | Megabrechas | - | - |

* 1. **Patrón de drenaje**

Debido a que la zona en estudio es muy reducida para definir un patrón de drenaje, se utiliza el área del mapa geomorfológico como referencia (ver [figura 8](#_bookmark82)). A través de la distribución y arreglo de los cauces, se pueden observar dos tipos de patrones de drenaje (uno más definido que el otro), los cuales están influenciados por la litología en la que se encuentran.

El patrón de drenaje ubicado sobre la unidad Colinas denudacionales se encuentra poco desarrollado y es poco uniforme, sin embargo se tienen ciertos indicios que corresponde a un patrón subdendrítico, tales como un sutil paralelismo en algunos de los cauces y aumento en la pendiente del terreno. Además el control tectónico mencionado anteriormente concuerda con las características del drenaje subdendrítico.

El segundo patrón localizado en la unidad geomorfológica Pie de monte, se interpreta como subparalelo, donde los cauces presentan una dirección de escorrentía similar, en este caso hacia el este, con ligeras desviaciones de 10° a 20° hacia el sur y el norte.

Específicamente para el área en estudio se realizó un análisis cuantitativo del patrón de drenaje, siguiendo metodología de clasificación de Horton–Strahler (ver anexo Metodología y conceptos: [Método de Horton-Strahler](#_bookmark194)) para la jerarquización de la red de drenaje superficial, la cual se resume a continuación:

* + 1. A los cauces que son las nacientes de la red se les asigna el valor 1.
    2. La conjunción de dos cauces de orden 1, implica que la red de drenaje aumenta de magnitud por lo que a partir del lugar de confluencia se le asigna el valor 2.
    3. El lugar de encuentro entre dos cauces de orden 2 implica que la magnitud de la red de drenaje vuelve a ascender, por lo que el valor numérico correspondiente a partir de allí es 3.
    4. Así se procede sucesivamente hasta finalizar con la jerarquización de la red de drenaje.

De acuerdo a los pasos anteriores, se obtuvo el mapa hidrológico jerarquizado (ver [figura 11](#_bookmark101)). Seguidamente se muestran los resultados obtenidos del análisis de la cantidad de cauces y la longitud de cada orden, para posteriormente calcular con estos parámetros la relación de longitud [[1]](#_bookmark99) y la relación de bifurcación [[2]](#_bookmark100) que se muestran en las ecuaciones siguientes (ver [cuadro 5](#_bookmark104)).

R =  Lu [1]

L

Lu−1

Dónde:

RL: Relación de longitud

Lu: Longitud acumulada de cauces de orden u.

Dónde:

Rb: Relación de longitud

Nu: Cantidad de cauces de orden u.

R = Nu [2]

Nu+1

b

**Glossary**

# Figura 11. Mapa de jerarquía de cauces en el área en estudio.

#### Cuadro 5. Análisis de la jerarquía de los cauces en el área en estudio.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Orden de los cauces** |  | **Longitud de cauces** | | | **Relación de longitud**  **(RL)** | **Relación de bifurcación, (Rb)** |
| **Número de cauces** | **Total (m)** | **Promedio (m)** | **Acumulada (m)** |
| 1 | 27 | 14239,47 | 527,39 | 14 239 | 1,44 | 3,86 |
| 2 | 7 | 6238,91 | 445,64 | 20 478 | 1,14 | 3,50 |
| 3 | 2 | 2850,86 | 356,36 | 23 329 | 1,02 | 2,00 |
| 4 | 1 | 511,90 | 255,95 | 23 841 |  |  |
| Total | 51 | 23841,14 |  |  |  |  |

Al graficar la longitud promedio de cauces contra el orden, en una escala semilogarítmica en el eje Y, se observa una alineación casi perfecta de cada punto graficado, con un ligero decrecimiento en la longitud promedio conforme aumenta el orden del cauce (ver [figura 12](#_bookmark105)). Lo anterior es contrario a lo que cabría esperar, ya que en los análisis cuantitativos de patrones de drenaje, se tiene como axioma que la longitud de los cauces crece conforme la jerarquía aumenta, razón lógica si se considera que los cauces tienen a confluir en uno principal que se prolonga hasta desembocar en un cuerpo de agua mayor, ya sea el mar, un lago u otro río de dimensiones todavía mayores.

1000

100

**Longitud Promedio**

1 2 3 4

#### Número de Orden

**Figura 12. Gráfico de longitud promedio vs jerarquía de cauces (escala semilogarítmica).**

Para explicar este hecho insólito, la opción más acertada es que la localización del área en estudio así como la superficie que abarca (la cual es demasiado pequeña) influyen en el análisis, esto debido a que el desarrollo de los cauces de orden mayor esta apenas comenzando, lo que hace que la longitud dentro de la zona sea insignificante e incompleta si se compara con los cauces de orden 1, quienes son más numerosos y no quedan sesgados por los límites propuestos para el área en estudio.

En un gráfico de número de cauces contra el orden (ver [figura 13](#_bookmark107)), se obtiene un decrecimiento exponencial, en el cual según el orden de jerarquía aumenta disminuye la cantidad de cauces, lo cual concuerda con el planteamiento para el análisis de patrones de drenaje.

30



25

**Cantidad de cauces**

20

15

10

5

0

1 2 3 4

#### Número de Orden

**Figura 13. Gráfico de cantidad de cauces vs jerarquía de cauces.**

Finalmente se dividió el área en estudio en sectores de 1/16 de km2 y dentro de cada uno de estos cuadrantes se midió la longitud de los cauces y se contó la cantidad de estos. Con cada uno de esos valores se elaboraron mapas de contornos (utilizando el método de interpolación *kriging*) y de pixeles para obtener la frecuencia de drenaje [[3]](#_bookmark109), densidad de drenaje [[4]](#_bookmark109) y textura de avenamiento [[5]](#_bookmark109), parámetros definidos a continuación.

F = N° total de cauces [3]

d

Área

D = Longitud de todos los cauces [4]

d

Área

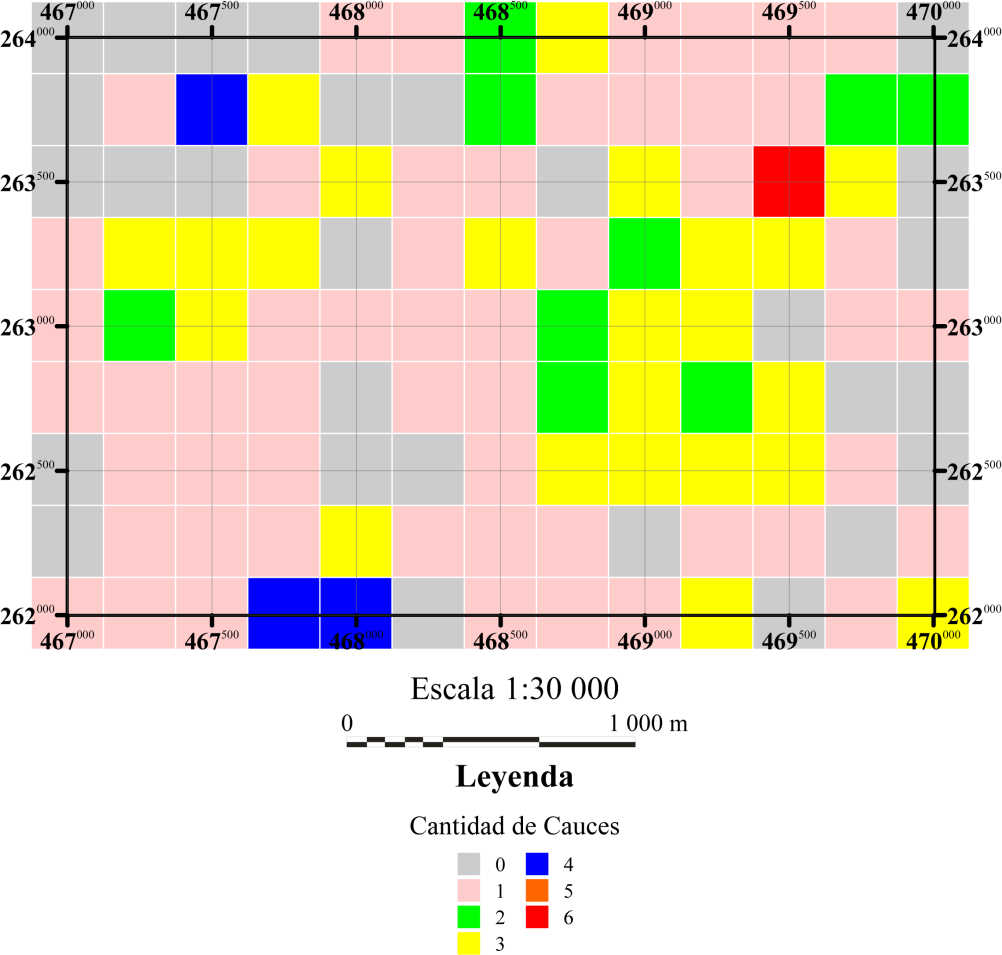
Ta = Fd × Dd [5]

Dónde:

Fd: Frecuencia de drenaje Dd: Densidad de drenaje Ta: Textura de avenamiento

A continuación se muestran los mapas para la frecuencia de drenaje (ver figuras [14](#_bookmark111) y [15](#_bookmark113)), en los cuales se observan dos aspectos importante, el primero de ellos es un incremento en la cantidad de afluentes al río Catarata en la zona montañosa y el segundo es un aumento gradual en el número de cauces hacia el este, conforme se desciende de las montañas y el patrón de drenaje se ha desarrollado más.

#### Figura 14. Mapa de contornos de la frecuencia de drenaje del área en estudio.



**Figura 15. Mapa de pixeles de la frecuencia de drenaje del área en estudio.**

Los mapas de densidad de drenaje (ver figura [16](#_bookmark116) y [17](#_bookmark117)), muestran longitudes menores a 1 km, debido a que los cuadrantes son apenas de 1/16 de km2. En el presente caso también se observan también dos picos con la misma localización que en los mapas de frecuencia de drenaje, sin embargo también se distingue otro rasgo, el cual consiste en alineamiento de los contornos con dirección NW a la mitad del mapa, el cual se relaciona con el cambio en la topografía del terreno, en donde colindan las unidades geomorfológicas de Colinas denudacionales y Pie de monte.

#### Figura 16. Mapa de contornos de la densidad de drenaje del área en estudio.

**Figura 17. Mapa de pixeles de la densidad de drenaje del área en estudio.**

En el caso de los mapas de textura de avenamiento (ver figuras [18](#_bookmark119) y [19](#_bookmark121)) se nota que la mayor cantidad de área la ocupan valores entre el rango de 0 – 0,289, además se dan las mismas concentraciones que se mencionaban anteriormente.

#### Figura 18. Mapa de contornos de la textura de avenamiento del área en estudio.

**Figura 19. Mapa de pixeles de la textura de avenamiento del área en estudio.**

Finalmente se puede concluir que la geología de la zona tiene una influencia directa en el drenaje, debido a que las mayores longitudes de los cauces se encuentran en las litologías más inconsistentes y heterogéneas (unidades Brechas Chachaguita y Toba Cangrejera), mientras que en la Unidad Andesítica Basáltica Chachagua el patrón de drenaje se encuentra poco desarrollado, con una densidad y frecuencia escasa.

#### Nacientes

La propiedad del Soltis Center así como las zonas aledañas presentan varias nacientes de agua, las cuales algunas son captadas y dirigidas para el abastecimiento de agua tanto del pueblo de San Isidro como del Soltis Center. Estas nacientes se dan al encontrarse el nivel freático por encima de la superficie del terreno, lo que permite que al agua emane sin la necesidad de ser extraída por una bomba.

La litología en la que se encuentran estas nacientes es variada, ya que dentro del terreno del Soltis Center se encuentran en la Unidad Andesítica Basáltica Chachagua, mientras que en el sector más oeste de la zona en estudio, fuera de los límites de la propiedad se encuentran aflorando en la Unidad Brechas Chachaguita. Todas estas nacientes brotan de fisuras en la roca, aunque en algunos sectores se encuentran escarpes de las que emergen gotas de agua, a la cuales se les suele llamar “paredes lloronas”.

Dentro del Sotis Center, las nacientes se observan en el sendero Ranario al sur de la Torre, en las siguientes coordenadas 262 628 N – 468 286 W (534 m.s.n.m.), esta tiene un caudal considerable y es utilizada para abastecimientos de los edificios del centro; al noroeste del comedor se encuentra una naciente de agua aflorando en la margen derecha de la quebrada (262 947N – 468 629 W, 408 m.s.n.m.), y consiste en un agujero por el que emana el agua, el cual posee aproximadamente 3 m de largo por 1 m de ancho y fue la naciente con mayor caudal de agua observado, en comparación con las demás nacientes (ver [fotografía 19](#_bookmark185)).

En el sendero Tomas de agua (tal como su nombre lo indica), se encuentran varios pozos así como en el sendero Paralelo al Río Chachagua. Las coordenadas de estas tomas de agua son las siguientes: 262 485 N – 468 458 W, 262 416 N – 468 256 W,

262 421N – 468 123W, 262 575N – 468 716 W (ver [fotografía 20](#_bookmark186)) y la altitud (en m.s.n.m.)

a la que se encuentran son 488, 504, 522, 460 respectivamente.

Finalmente, se encontraron varios riachuelos que desembocaban en el río Catarata, los cuales provenían de nacientes ubicadas a pocos metros, mayoritariamente en la margen izquierda de la quebrada. Las coordenadas en donde se observaron estas nacientes son las siguientes 263 379 N – 468 716 W, a una altitud de 392 m.s.n.m. El caudal que brotaba era

escaso aunque constante y excavando unos pocos centímetros en el suelo se puede hacer aflorar el nivel freático.

Al observar la litología en la que afloran las nacientes al oeste del área en estudio, se puede correlacionar con aquella que almacena el acuífero libre definido por Vargas, las cuales consisten de bloques de lava entremezclados con bloques de toba, todos en una matriz de ceniza (Vargas, 2001), dicha descripción es bastante similar a la mencionada para la Unidad Brechas Chachaguita (ver [apartado 3.3.2.](#_bookmark48)). Por lo tanto es factible considerar el acuífero libre definido por Vargas para el área de máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Peñas Blancas como el mismo que aflora al oeste del Soltis Center.

Considerando las alturas a las que se encuentran las nacientes y las tomas de agua[2](#_bookmark123), se elaboró un mapa del nivel freático[3](#_bookmark124) (utilizando el programa Surfer versión 9.0, método de interpolación *Natural Neighbor*), el cual muestra un flujo hacia el noreste, proviniendo de las montañas a las tierras más bajas. La [figura 20](#_bookmark125) muestra la superficie freática para la zona en estudio.

2 Debe aclarase que las tomas de agua están dentro de cajas de cemento por lo que no es posible observar dentro de ellas, sin embargo si poseen conductos de salida por la que se observó el caudal extraído. Para efectos del mapa del nivel freático, se tomaron las tomas de agua como nacientes.

3 El mapa que se presenta en la figura 20 es una simple aproximación de cómo puede darse el flujo del agua subterránea, por lo tanto debe considerarse que la falta de datos es un factor determinante a la hora de realizar la interpolación.

**Glossary**

# Figura 20. Superficie freática propuesta para el Soltis Center y sectores aledaños.

#### Ríos y quebradas

La propiedad del Soltis Center la atraviesan varios ríos y quebradas que mantienen en equilibrio los ecosistemas presentes, por lo tanto este apartado realiza una breve reseña (de forma cualitativa y subjetiva, debido a que no se realizó ninguna prueba de aforo, calidad del agua u otra) de las características observadas, tales como caudal, turbidez del agua, entre otras.

Aquellos cauces que se pueden catalogar como ríos serian el Chachagua y Catarata (nombre informal dado en el presente trabajo para fines de referencia, ver [figura 1](#_bookmark14)). Estos ríos presentan el mayor caudal observado en toda el área en estudio, especialmente el río Chachagua. El agua se observaba bastante límpida, aunque en aquellos sectores del río en donde se empozaba el agua esta se llenaba de sedimento.

Otro punto importante a tomar en cuenta son los cantos arrastrados por el río, ya que estos son indicadores de la fuerza de arrastre del agua durante crecidas, factor a considerar para prevenir desastres. En el caso del río Chachagua se observaron bloques de tamaños métricos, alcanzando hasta los 3 m de diámetro; en el caso del río Catarata se observaron también bloques de tamaño métrico, aunque significativamente menores en comparación con los vistos en el río Chachagua (máximo 1,5 m de diámetro). Lo anterior indica que durante la época lluviosa y en especial cuando se dan lluvias torrenciales, estos y en general todos los cauces que atraviesan el Soltis Center, son extremadamente peligrosos ya que el caudal aumenta considerablemente, dándose incluso lo que se conoce en CR como “cabezas de agua”, que son flujos turbulentos que ocurren rápidamente en ríos y quebradas, arrastrando todo tipo de escombros.

Las quebradas observadas fueron varias, algunas de las cuales estaban secas debido al clima inusual que se dio durante las visitas al campo, ya que los pobladores de la zona comentaban que usualmente no se da un período tan seco y prolongado. Las quebradas que presentaban un flujo de agua era de apenas unos pocos centímetros de profundidad, sin embargo el caudal era constante. El agua se observaba cristalina y al agregarle la fuente de la que provienen (nacientes) junto con el constante flujo, es de esperar que la calidad del agua sea alta. Los bloques acarreados por estas quebradas son en su mayoría de tamaños

decímetros, sin embargo ocasionalmente se pueden encontrar cantos alcanzando el metro de diámetro.

Debido a que estos ríos y quebradas son la base para los ecosistemas y la gran biodiversidad que habita tanto la propiedad del Solis Center como los bosques aledaños, es fundamental que sean cuidadosamente protegidos, de tal manera tanto la fauna y flora como los pobladores de la zona se beneficiaran, los primeros al tener fuentes de alimento, nutrientes y hábitat, mientras que los últimos al poder gozar de un paisaje y biodiversidad incomparable.

### GEOLOGICAL HISTORY

The origin of the lithology beneath the Soltis Center goes back to the Pleistocene, epoch where an effusive volcanism started and produced the Basaltic Andesite Catarata Unit (Q1-ct). To explain the lava flows at the Soltis Center property, there are two hypotheses, the first one is that they come from a fissure activity or the second one is they come from a volcano. The fissure activity finds more geomorphological evidence, because there are not volcanic structures near the zone that could eject the lava, on the other hand westward can be found several lineaments, which can coincide with the emission source.

The Tuff Cangrejera Unit (Q12-cj) is produced of an explosive volcanism, because the lithology corresponds to high density pyroclastic currents, capable of carrying fragments of rocks, pyroclastic products and ash. The emission source is located to the west, but cannot be defined with major exactitude because the environmental agents seemed to erase it from other places.

Later that the effusive and explosive activity decreased, the unique form of volcanism at the zone was the ascension of termal fluids, which formed the mineralization of pyrite at the Tuff Cangrejera Unit when they cooled. At recent times the zone of San Isidro does not show hydrothermal activity, it seems only to persist at the Poco Sol area.

At some moment ending Pleistocene and initiating Holocene epochs, the erosion of the rock and the important quantity of water at the region, triggered lahares that carry all kind of materials from the mountain zone to the plain zone, flattening the topography and producing the Breccias Chachaguita Unit (Q12-cg). Finally the erosion of the river and creeks that currently continues keeps leveling the topography and forming alluvial deposits.

### HISTORIA GEOLÓGICA

El origen de las rocas sobre las que se encuentra el Soltis Center se remontan a inicios del Pleistoceno, época en la cual comenzó una fase de vulcanismo efusivo que produjo la Unidad Andesítica Basáltica Catarata (Q1-ct). Para explicar el origen de las coladas de lava dentro de la propiedad del Soltis Center existen dos opciones, que provengan de la actividad fisural o de un volcán. La primera de ellas es la más plausible, pues no se existen remanentes de estructuras volcánicas cercanas, si no que al oeste de la zona en estudio se observan varios alineamientos en donde alguno de estos puede coincidir con la fuente de emisión.

La Unidad Toba Cangrejera (Q12-cj) es producto del vulcanismo explosivo, ya que la litología se relaciona con corrientes piroclásticas de alta densidad, capaces de acarrear bloques de fragmentos de roca, piroclastos y ceniza. La fuente de estos flujos se encuentra al oeste, sin embargo no se puede definir con mayor exactitud debido a que la litología se encuentra muy localizada, lo que parece indicar que esta fue borrada en otros sectores por los agentes ambientales.

Posteriormente con el declive de la actividad efusiva y explosiva, el único remanente de actividad volcánica en la zona fue el ascenso de fluidos termales ricos en minerales, que al enfriarse produjeron la mineralización de pirita en la Unidad Toba Cangrejera. En tiempos recientes la actividad hidrotermal parece haber cesado completamente en la zona de San Isidro, mientras que todavía persiste con fuerza en la zona de Poco Sol.

En algún momento a finales del Pleistoceno e inicios del Holoceno la erosión de las rocas existentes y la presencia importante de agua en la región, provocó que se dieran lahares, los cuales arrastraron todo tipo de materiales desde la zona montañosa hasta las zonas bajas, aplanando en un principio la topografía y dando origen a la Unidad Brechas Chachaguita (Q12-cg). Finalmente la acción erosiva de los ríos y quebradas que persiste en la actualidad, continúa nivelando el relieve y dejando a su paso depósitos aluviales.

### FINAL CONSIDERATIONS

This abstract summarizes the three final chapters, which are: conclusions, observations and recommendations. Beginning with the conclusions, this paper classified the lithologies found at the study area in five informal units. The Soltis Center is found over the Basaltic Andesite Catarata Unit (Q1-ct), which corresponds with the main unit and it is correlated with Monteverde Formation.

The knick points observed are one of the most outstanding characteristics. On the geological sphere these represents the better outcrops to see the fresh rock. From a geomorphological and structural point of view, these are unique morphologies specifically positioned which allow to see them as a greater structure, that might be a fault or at least a scarp.

On the hydrogeological field, the zone presents a moderate quantity of rivers and creeks that corresponds with the transition from a mountain zone to a plain. On the other hand the aquifer seems to crop out at many topographic levels, according to the high frequency of springs dispersed on the study area.

There are some observations to stand out; the first one is that the knick points and springs are the ideal outcrops in case to collect samples for radiometric dating. The second one is the hydrological potential of the zone, because the water is quite abundant, for that reason it should be carefully care.

The third observation is that the map of [figure 20](#_bookmark125) has many assumptions, for that reason it is advised to see it as a preliminary map that needs more data to assure a true representation of reality. Finally the knick point at the waterfall differs on height from the others, but it is not clear why.

The principal recommendations are: expand the mapping area so the structures and geological features can be seen with more clarity, realize a deepest analysis on the volcanology field that allow to explain the geological history of the zone in a better way, do a detail hydrogeological analysis (pumping test, water quality, infiltration test, etc.) that enable to determine the aquifer and perform a specialized investigation on the knick points to see if they really are from a tectonic control.

### CONCLUSIONES

* La clasificación de las litologías presentes en la zona en estudio, condujo a la definición de cinco unidades informales:
  + Unidad Andesítica Basáltica Catarata (Q1-ct) que se correlaciona con la Formación Monteverde y que posee una edad Pleistoceno.
  + Unidad Toba Cangrejera (Q12-cj) que se correlaciona con las Rocas y Sedimentos Epiclásticos del Cuaternario.
  + Unidad Brechas Chachaguita (Q12-cg) correlacionable con las Rocas y Sedimentos Epiclásticos del Cuaternario.
  + Unidad Depósitos Aluviales Chachagua (Q2-ch).
  + La Unidad Depósitos Cuaternarios San Isidro (Q2-si).
* En la zona se encuentran estructuras tectónicas como las fallas inferidas con rumbo SE-NW, evidenciada por el alineamiento de los *knick points* en las quebradas y ríos dentro Soltis Center.
* El análisis geomorfológico revela que existen cinco morfologías diferentes: Cañón fluvial, Barranco, Colinas denudacionales, Deslizamiento y Pie de monte. El área en estudio se ubica dentro de las unidades de Colinas denudacionales y Pie de monte, por lo que se observa un claro cambio en las pendientes y en la topografía, comenzando en pendientes suaves de poca altitud, para alcanzar pendientes fuertes por encima de los 500 m.s.n.m. en las que se localiza la propiedad del Soltis Center.
* El área presenta una frecuencia y densidad de cauces moderada, lo cual corresponde con la morfología, ya que esta es una zona de transición de montaña a llanura. Por otra parte la frecuencia de nacientes si es bastante elevada, ya que el nivel freático aflora a lo largo y ancho del área en estudio.
* La historia geológica del Soltis Center y alrededores abarca todo el Cuaternario, comenzando con la actividad efusiva de coladas de lava andesíticas, posteriormente se dieron flujos piroclásticos que fueron alterados hidrotermalmente y probablemente de manera coetánea se dieron lahares que aplanaron el relieve. Finalmente la actividad fluvial y atmosférica han estado presentes en todo momento, sin embargo la acción principal la han llevado a cabo en tiempo recientes.

### OBSERVACIONES

* Los afloramientos en mejor estado se encuentran en los *knick points* y las nacientes, por tal motivo son sitios ideales de realizarse dataciones en la zona.
* El potencial hidrológico que presenta la zona es muy sobresaliente por lo que optar por un cuidado especial hacia este es esencial, ya que no solo los habitantes de San Isidro de Peñas Blancas dependen del agua extraída del acuífero, sino que todo el ecosistema se basa en la presencia abundante de agua.
* El mapa de la [figura 20](#_bookmark125) posee muchos supuestos, indicados en las notas al pie de página, por lo tanto las líneas de flujo en la actualidad pueden cambiar de dirección. De esta manera se aclara nuevamente que el mapa puede no estar reflejando la realidad.
* No se tiene muy claro porque el *knick point* de la Catarata difiere en altura con respecto a los otros.

### RECOMENDACIONES

* Extender el mapeo del área a más sectores, para así entender y visualizar con mayor claridad la geología y los procesos geológicos del área estudiada.
* Realizar un análisis más profundo en el campo vulcanológico, que fortalezca algunos aspectos ya evaluados en el presente proyecto y que ayude a dilucidar más la historia geológica de la zona, especialmente en las características especiales indicadas en el [apartado 3.1.2.](#_bookmark32)
* De realizarse un estudio más detallado se recomienda realizar dataciones en la zona, con el fin de que se puedan diferenciar mejor las distintas coladas de la zona y a su vez los distintos pulsos efusivos que las originaron.
* Efectuar un análisis hidrogeológico detallado (análisis de pozos, pruebas de bombeo, de infiltración, aforos, calidad del agua, etc.) que determine el acuífero y que establezca en parámetros especializados el verdadero potencial hidrogeológico de la zona y que también permita delimitar con seguridad la superficie freática y las líneas de flujo.
* Hacer un análisis estadístico detallado de las diaclasas encontradas en la catarata superior, con el fin de determinar los esfuerzos que las produjeron.
* Según la cuarta observación, se recomienda un análisis más profundo, tanto para comprobar que el origen de todos los *knick points* sea por control tectónico, así como para determinar cuáles factores influyeron en que el *knick point* encontrado en la Catarata se acentuará más que los otros.

### REFERENCIAS

AIAZZI, D., FIORLETTA, M., CIVELLI, G., CHIESA, S. & ALVARADO, G., 2004:

Geología de la Hoja Cañas.- Rev. Geol. Amér. Central, 30: 215-223.

ALVARADO, G., 2009: Geología de la Hoja Fortuna, Alajuela, Costa Rica.- Rev. Geol.

Amér. Central, 41: 117-122.

ALVARADO, G. & GANS, P., 2012: Síntesis geocronológica del magmatismo, metamorfismo y metalogenia de Costa Rica, América Central.- Rev. Geol. Amér. Central, 46: 7-122.

ANÓNIMO, 1984: Hoja Topográfica Fortuna.- Escala 1: 50000, IGN, San José

GUILLOT, P., CHIESA, S. & ALVARADO, G., 1994: Chronostratigraphy of Upper Miocene-Quaternary volcanism in northern Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 17: 45-53.

LORD, M., GERMANOSKI, D. & ALLMENDINGER, N., 2009: Fluvial geomorphology: Monitoring stream systems in response to a changing environment.- En: YOUNG,

R. & NORBY, L. (eds.): Geological Monitoring.- The Geological Society of America: 69-103.

MADRIGAL, C., 2004: Modelo conceptual hidrogeológico de la sección de acuíferos ubicados bajo el sitio de la casa de máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Peñas Blancas, Costa Rica.- 71 págs. Universidad de Costa Rica, San José [Tesis M.Sc.]

MADRIGAL, C., BONILLA, J., ÁVILA, M., ALVARADO, G.E. & BARQUERO, R.,

1995: Estudio Geológico de las alternativas 1 y 5 del Proyecto Hidroeléctrico Peñas Blancas.- 24 págs + planos. Instituto Costarricense de Electricidad [Inf. interno].

MORA, S., 1977: Estudio geológico del cerro Chopo.- Rev. Geogr. Amér. Central, 1(5-6): 189-199.

PORRAS, H., CASCANTE, M., GRANADOS, R. & ALVARADO, G., 2012: Volcano-

estratigrafía y tectónica del Valle Central Occidental y las estribaciones de los Montes del Aguacate a lo largo de la ruta 27, Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 47: 63-93.

VARGAS, J., 2001: Geología, hidroheoquímica y modelo conceptual de reservorio para la prefactibilidad del campo geotérmico Poco Sol, San Ramón - San Carlos, Costa Rica.- 151 págs. Universidad de Costa Rica, San José [Tesis M.Sc.]

ŽÁČEK, V., VOREL, T., KYCL, P., HUAPAYA, S., MIXA, P., GRYGAR, R., HAVLÍČEK, P., ČECH, S., HRADECKÝ, P., METELKA, V., ŠEVCÍK, J. &

PÉCSKAY, Z., 2012: Geología y estratigrafía de la Hoja 3246-II Miramar, Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 47: 7-57.

### GLOSSARY

**Acuífero:** aquifer **Afanítico:** aphanitic **Afloramiento:** outcrop **Aflorar:** crop out **Alineamiento:** lineament

**Alteración hidrotermal:** hydrothermal alteration

**Altura:** height

**Aluviales:** alluvial

**Andesita basáltica:** basaltic andesite

**Anguloso:** angled **Augita:** Augite **Barranco:** gully, ravine

**Base:** base**Biodiversidad:** biodiversity

**Bloque:** boulder **Bosque:** forest **Brecha:** breccia

**Cabeza de agua:** flash flood

**Calle:** street **Camino:** road **Canto:** cobble

**Cañón fluvial:** river canyon **Casa de máquinas:** powerhouse **Cauce:** river channel

**Colada de lava:** lava flow

**Colinas denudacionales:** denudational hills

**Columna estratigráfica:** stratigraphic column

**Coluviales:** colluvial

**Comedor:** dining room

**Confinado [acuífero]:** confined [aquifer] **Consolidación:** consolidation **Coordenadas:** coordinates

**Cristal:** crystal **Cristalina:** see Límpida **Cumulito:** cumulite

**Curvas de nivel:** level contours **Debido a:** because of **Deleznable:** brittle

**Depósito:** deposit **Derecha:** right **Deslizamiento:** slump **Diaclasa:** joint

**Discordante:** disconformity **Diseminado:** disseminated **Distribución:** distribution **Dormitorios:** dormitories **Ecosistema:** ecosystem **Edad:** age

**Entrada:** entrance **Epiclástico:** epiclastic **Época lluviosa:** rainy season **Erosión:** erosion

**Escarpe:** scarp

**Estructura en flor:** flower structure

**Falla:** fault

**Fenocristal:** phenocrystal

**Figura:** figure

**Flujo:** flow

**Formación:** formation **Fotografía:** photography **Génesis:** genesis **Geomorfología:** geomorphology **Grande:** big

**Gris:** gray Guijarro: pebble

**Hidrogeología:** hydrogeology **Idiomórfico:** idiomorphic **Inclinación:** dip

**Indicador cinemático:** kinematic indicator

**Izquierda:** left **Jerarquía:** hierarchy **Ladera:** hillside **Lahar:** lahar

**Laja:** layered lava, national term to refer a piece of lava that it is layered

**Lámina delgada:** thin section **Lastre [camino]:** ballast [road] **Límpida [agua]:** clear [water] **Litología:** lithology

**Localidad tipo:** type locality

**Localidad:** locality **Macla:** twin **Mapa:** map

**Márgenes [río]:** margins [river]

**Matriz:** matrix

**Métodos morfométrico:** morphometric method

**Microcristalino:** microcrystalline

**Morfología:** morphology

**Morfo-neotectónicos:** morfo-neotectonic

**Naciente:** spring

**Nicho:** notch

**Nivel freático:** water table

**Nombre:** name **Olivino:** Olivine **Paisaje:** landscape

**Par conjugado [fallas]:** conjugate pair [faults]

**Paralelo:** parallel

**Paredes lloronas:** weeping walls, national term to refer a wall that constantly drips water

**Patrón de drenaje:** drainage pattern

**Pendiente:** slope **Pequeño:** little **Perfil:** Cross section

**Permeabilidad:** permeability **Petrográfico:** petrographic **Pie de monte:** foothills **Piritización:** pyritization **Plagioclasa:** Plagioclase **Porfirítico:** porphyritic **Pozo:** well

**Presenta:** presents

**Primario [Camino]:** primary [road]

**Profundidad:** depth

**Proyección estereográfica:** stereographic projection

**Proyecto Hidroeléctrico Peñas Blancas:** Peñas Blancas hydroelectric project

**Público:** public **Punto:** waypoint **Quebrada:** creek **Rosado:** pink

**Secundario [Camino]:** secondary [road]

**Sedimento:** sediment **Selección:** sorting **Sendero:** trail **Simbología:** symbology

**Subdendrítico:** subdendritic

**Tamaño:** size

**Tectónico:** tectonic

**Ranario:** frog pond **Redondeado:** rounded Represa: dam **Riachuelos:** streams **Río:** river

**Rocas:** rocks

**Sin nombre:** without name

**Terciario [Camino]:** tertiary [road]

**Tierra:** earth **Toba:** tuff **Ubicación:** location **Unidad:** unit **Vereda:** pathway

**Visita al campo:** field trip **Vulcanismo:** volcanism **Xenomórfico:** xenomorphic

### ANEXOS

### ANALISÍS PETROGRÁFICO

Código: CL-1

Procedencia: Soltis Center, corte en el sendero Catarata, 100 m antes de llegar a la Catarata Describió: Javier Oviedo González

#### Descripción macroscópica:

Roca color gris claro, poco meteorizada, con textura afanítica porfirítica, de grano fino a medio. Presenta fenocristales de plagioclasa con un tamaño mínimo de 2,12x0,95 mm y máximo de 5,03x2,14 mm, en aproximadamente un 30%; cristales de piroxeno con un tamaño mínimo de 0,86 mm de diámetro y máximo de 2,56x1,13 mm, con un porcentaje de 5% aproximadamente. La matriz es de color gris de grano fino con una proporción de 65%. La muestra presenta una pátina de meteorización de 9,94 mm de espesor.

#### Descripción microscópica:

Textura hipocristalina hipidiomórfica porfirítica con matriz hialopilítica.

#### Composición mineralógica:

##### Fenocristales 55%

**Plagioclasa:** cristales hipidiomórficos a ideomórficos con tamaño máximo 2,35x1,2 mm y mínimo 0,094x0,047 mm, presentan maclas polisintéticas. Se encuentran alteradas a arcillas y sericita. Representa aproximadamente un 37% del total de la muestra.

**Augita:** cristales hipidiomórficos de tamaño máximo 1,2x0,55 mm y mínimo 0,05x0,03 mm. Algunos cristales presentan alteración a hematita. Representa un 13% del total de la muestra.

**Hipersteno:** presenta forma hipidiomórfica, con tamaños máximos de 0,33x0,1 mm y mínimo 0,12x0,05 mm. Se encuentra en un 2%.

**Opacos:** cristales xenomórficos de pirita, con diámetros máximo 0,1 mm y mínimo de 0,01 mm, en aproximadamente un 3% del total de la sección.

**Accesorios:** se encuentran cristales de cuarzo con diámetro promedio de 0,14 mm

***Matriz* 45%**

Textura hialopilítica compuesta por microlitos de plagioclasa, augita, opacos y vidrio.

**Nombre:** Andesita con augita.

**Muestra CL-1. A – Muestra de mano. B – Microfotografía, nicoles cruzados, aumento 4X. C – Microfotografía, nicoles cruzados, aumento 4X.**

Código: RC-1

Procedencia: Soltis Center, bloque depositado por el río Chachagua a orillas del puente Describió: Javier Oviedo González

#### Descripción macroscópica:

Roca color gris oscuro, poco meteorizada, con textura afanítica porfirítica, de grano fino. Presenta fenocristales de plagioclasa con un tamaño mínimo de 1,97x0,8 mm y máximo de 3,9x2,32 mm, en aproximadamente un 20%; cristales de piroxeno con un tamaño promedio de 1,63 mm de diámetro. La matriz es de color gris de grano fino con una proporción de 76%. La muestra presenta una pátina de meteorización de 1,9 mm de espesor.

#### Descripción microscópica:

Textura hipocristalina glomeroporfirítica seriada con matriz de grano fino a medio hialopilítica.

#### Composición mineralógica:

##### Fenocristales 36%

**Plagioclasa:** cristales hipidiomórficos con tamaño máximo 2,82x2,82 mm y mínimo 0,094x0,024 mm, presentan maclas polisintéticas y zonación. Se encuentran alteradas a arcillas. Representa aproximadamente un 28% del total de la muestra.

**Augita:** cristales xenomórficos de tamaño máximo 1,88x0,94 mm y mínimo 0,024x0,03 mm. Representa un 6% del total de la muestra.

**Opacos:** cristales xenomórficos, con tamaños máximo de 0,47x0,235 mm y diámetro mínimo de 0,024 mm, en aproximadamente un 2% del total de la sección.

***Matriz* 64%**

Textura hialopilítica compuesta por microlitos de plagioclasa y poco vidrio.

**Nombre:** Andesita con augita.

**Muestra RC-1. A – Muestra de mano. B – Microfotografía, nicoles cruzados, aumento 4X. C – Microfotografía, nicoles cruzados, aumento 4X.**

Código: SC-1

Procedencia: Soltis Center, Catarata Describió: Javier Oviedo González

#### Descripción macroscópica:

Roca color gris oscuro, poco meteorizada, con textura afanítica porfirítica, de grano grueso. Presenta fenocristales de plagioclasa tabulares sin ninguna orientación, con un tamaño mínimo de 2,53x0,74 mm y máximo de 7,35x1,83 mm, en aproximadamente un 12%. La matriz es de color gris oscuro de grano fino con pequeños cristales de plagioclasa menores al milímetro, con una proporción de 88%.

#### Descripción microscópica:

Textura hipocristalina hipidiomórfica porfirítica con matriz de grano fino.

#### Composición mineralógica:

##### Fenocristales 16%

**Plagioclasa:** cristales hipidiomórficos a ideomórficos con tamaño máximo 8,7x1,9 mm y mínimo 0,58x0,44 mm, presentan maclas polisintéticas. Se encuentran alteradas a arcilla. Representa aproximadamente un 10% del total de la muestra.

**Olivino:** cristales hipidiomórficos de tamaño máximo 2,35x1,9 mm y mínimo 0,52x,0,36 mm. Algunos de los cristales se encuentran alterados a iddingita, especialmente en los bordes. Representa un 5% del total de la muestra.

**Opacos:** cristales xenomórficos, con diámetros máximo 0,71 mm y mínimo de 0,03 mm, en aproximadamente un 1% del total de la sección.

***Matriz* 84%**

Textura pilotaxítica intersertal, con microlitos de plagioclasa, augita y poco vidrio.

**Nombre:** Andesita con olivino.

**Muestra SC-1. A – Muestra de mano. B – Detalle del corte en la muestra de mano.**

**C – Microfotografía, nicoles cruzados, aumento 10X. D – Microfotografía, plagioclasa, nicoles cruzados, aumento 10X.**

Código: SC-2 Procedencia: Soltis Center

Describió: Javier Oviedo González

#### Descripción macroscópica:

Roca color gris claro, meteorizada, con textura afanítica porfirítica, de grano fino a medio. Presenta fenocristales de piroxeno con un tamaño mínimo de 0,79 mm y máximo de 2,4 mm de diámetro, con una abundancia de 10% aproximadamente. La matriz es de color gris claro de grano fino con una proporción de 90%.

#### Descripción microscópica:

Textura hipocristalina glomeroporfirítica seriada con matriz de grano fino y fenocristales de plagioclasa, augita, opacos e hipersteno.

#### Composición mineralógica:

##### Fenocristales 38%

**Plagioclasa:** cristales hipidiomórficos a ideomórficos con tamaño máximo 3,3x1,4 mm y mínimo 0,05x0,024 mm, presentan maclas polisintéticas y zonación. Se encuentran alteradas a arcillas. Representa aproximadamente un 30% del total de la muestra.

**Augita:** cristales hipidiomórficos de tamaño máximo 2,35x1,18 mm y mínimo 0,071x0,024 mm. Representa un 5% del total de la muestra.

**Hipersteno:** presenta forma hipidiomórfica, con tamaños máximos de 0,52x0,12 mm y mínimo 0,047x0,071 mm. Se encuentra en un 2%.

**Opacos:** cristales xenomórficos de pirita, con tamaño máximo de 0,47x0,35 mm y mínimo de 0,047x0,024 mm, en aproximadamente un 3% del total de la sección.

***Matriz* 62%**

Textura hialopilítica compuesta microlitos de plagioclasa (0,071x0,024 mm) y gran cantidad vidrio.

**Nombre:** Andesita con augita.

**Muestra SC-2. A – Muestra de mano. B – Detalle del corte en la muestra de mano.**

**C – Microfotografía, nicoles cruzados, aumento 4X. D – Microfotografía, cumulito, nicoles cruzados, aumento 4X.**

Código: SC-3

Procedencia: Soltis Center, corte en el sendero Torre Describió: Javier Oviedo González

#### Descripción Microscópica:

Textura hipocristalina porfirítica, con grado de meteorización muy avanzado. Se observan cristales de plagioclasa y principalmente fantasmas de plagioclasa y augita, con alteración en los bordes a hematita. Por comparación a las otras secciones petrográficas observadas y a la muestra de mano se puede deducir que la muestra corresponde a una andesita muy meteorizada.

Nombre: Andesita altamente meteorizada

**Muestra SC-3. A – Muestra de mano. B – Microfotografía, nicoles paralelos, aumento 4X. C – Microfotografía, nicoles cruzados, aumento 4X.**

Código: CAN-1 Procedencia: La Cangrejerra

Describió: Javier Oviedo González

#### Descripción macroscópica:

Roca color gris claro, sumamente alterada, con clastos de tamaño mínimo de 2,54x1,96 mm y máximo de 2,57x9,21mm, en aproximadamente un 35%. La matriz es arcillosa de color gris, en la que se observan cristales (indeterminables por la alteración), en tonos de gris más oscuro que el resto de la matriz y cristales de pirita, con tamaños menores al milímetro.

#### Descripción microscópica:

Textura hipocristalina porfirítica alterada hidrotermalmente, con matriz de grano fino y fenocristales de cuarzo, olivino y pirita.

#### Composición mineralógica:

##### Fenocristales 35%

**Cuarzo Secundario:** cristales xenomórficos con tamaño máximo 0,083x0,065 mm y mínimo 0,05x0,01 mm. Representa aproximadamente un 3% del total de la muestra.

**Olivino:** cristales xenomórficos de tamaño máximo 0,072x0,53 mm y mínimo 0,042x0,026 mm. Representa un 6% del total de la muestra.

**Líticos:** presentan formas redondeadas, elípticas hasta esféricas, con tamaños máximos de 9,81x7,51 mm y mínimo 2,13x1,60 mm. Se encuentra en un 17%.

**Pirita:** cristales xenomórficos, con tamaño máximo de 0,55x0,35 mm y mínimo de 0,07x0,04 mm, en aproximadamente un 9% del total de la sección.

***Matriz* 65%**

Textura vitrofírica.

**Nombre:** Toba lítica.

**Muestra Toba Lítica-1. A – Muestra de mano CAN-1, recuadro: detalle del corte. B – Muestra de mano recolectada en el punto 24. C – Microfotografía CAN-1, nicoles cruzados, aumento 10X. D – Microfotografía CAN-1, nicoles paralelos, aumento 10X.**

### OTRAS MUESTRAS

**Muestra Andesita Río Chachagua. A – Muestra de mano de un bloque arrastrado por el río Chachagua.**

**Muestra Toba Cangrejera. A – Muestra de mano con alteración hidrotermal y piritización****.**

### FOTOGRAFÍAS

**Fotografía 1. *Knick point* quebrada Sin Nombre 1**

**Fotografía 2. *Knick point* inferior quebrada Sin Nombre 2.**



**Fotografía 3. *Knick point* superior quebrada Sin Nombre 2.**

**Fotografía 4. *Knick point* inferior en el río Catarata.**

#### Fotografía 5. Detalle de la parte inferior de la Catarata.

**Fotografía 6. Detalle de la parte superior de la Catarata.**

**20. Naciente al final del sendero Tomas de Agua, punto 21.**

### MODELOS 3D

**Imágenes (Screenshots)**