UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Facultad de Ciencias Básicas

Escuela Centroamericana de Geología

Localización de recursos útiles de arcillas para la producción de cerámicas en la Región Chorotega de Costa Rica

Tesis para optar por el grado académico de Licenciatura

Diego Alejandro Guadamuz Vargas

A92844

Ciudad Rodrigo Facio

2019

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco el apoyo incondicional de mi familia, mis hermanas y de las personas que me han ayudado a terminar este trabajo final de graduación.

También le agradezco muchísimo a mi comité de tesis, el Msc. Luis Obando, Phd. María Pilar Madrigal y la Msc. Stephanie Maikut, que han tenido mucha paciencia y habilidad para encaminarme en la culminación de este ambicioso proyecto. Además, agradezco al Centro Nacional de la Cultura, a la Msc. Iria Salas, al Centro de Investigaciones Geológicas, al Instituto Costarricense de Electricidad y la geóloga Dione Barahona y el geólogo Mario Arias.

Finalmente, estas páginas están dedicadas a aquellas personas que han ofrecido años de su vida al rescate y continuación del arte de fabricar piezas indígenas, que son propias de nuestras raíces costarricenses, los miembros de las comunidades alfareras de San Vicente, Guaitil, El Rincón y El Silencio en Guanacaste, pero especialmente a Don Pastor, Junior, Miguel, Nuri Marchena y Luis Guillermo, personas llenas de sabiduría y mucha voluntad por salir adelante, a ellos mis amigos y amigas les agradezco mucho.

"Y cuando la montaña de la vida nos sea dura y larga y alta y llena de abismos, amar la inmensidad que es de amor encendida ¡Y arder en la fusión de nuestros pechos mismos!" (Rubén Darío).

"Debido al carácter innovador y a la calidad de la investigación de este Trabajo Final de graduación, se le concedió la mención honorifica el día 13 de Diciembre del 2019."

"Sursum corda"

Hoja de aprobación.

Trabajo Final de graduación sometido y aprobado por la Comisión de Trabajos Finales de graduación del Programa de Estudios de Licenciatura en Geología y el Comité Evaluador de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Geología.

Comité Asesor.

Msc. Luis Obando Acuña
Director de tesis

Msc. Stephanie Murillo Maikut
Miembro del comité asesor de tesis

Phd. Pilar Madrigal Quesada
Miembro del comité asesor de tesis

Msc. Giovanni Peraldo Huertas
Lector

Phd. Federico Muñoz Rojas
Vicedecano. Facultad de ciencias

Diego Guadamuz Vargas
Postulante

RESUMEN

La zona de estudio se ubica entre los cantones de Santa Cruz y Nicoya de Guanacaste, es un área geográfica de 382 km^2 con un clima tipo tropical seco y húmedo, en el que afloran rocas ígneas y sedimentarias en su superficie. Este trabajo de investigación evaluó y analizó las arcillas desde un punto de vista mecánico, edafológico y cerámico, para comprender la relación que existe entre el suelo, el producto cerámico que se generará y las rocas que dieron paso a que se formaran las arcillas.

Para llevar a cabo el análisis se estudiaron 44 muestras de suelos y se evaluaron las condiciones de las rocas y el relieve para seleccionar los mejores suelos para la fabricación de cerámicas. Además, se visitaron 172 puntos en la llanura aluvial y se tomaron 30 muestras de rocas.

Los resultados obtenidos demuestran que los basaltos alterados ricos en aluminosilicatos y las areniscas ricas en sílice, son las principales rocas precursoras de las arcillas utilizadas en la fabricación de cerámicas por los alfareros de la región Chorotega. Además, se comprueba que los suelos que tienen potencial minero para extraer arcillas del tipo *ballclay* y *fireclay* son los que presentan porosidades entre el 51 % y el 61 %, plasticidades del 14 a 29, densidades mayores a 1,7 g/cm^3, un contenido de finos superior al 59,9 % y que al cocinarse a 900°C, experimentan un encogimiento menor al 11 % y una pérdida de humedad inferior al 30 %.

Con los resultados obtenidos se confirma la existencia de nuevas fuentes de arcillas con espesores mínimos de 5 m en los sectores de La Florida, Arado, San Vicente y Guaitil, lo que demuestra que en la región Chorotega no se han acabado las fuentes de arcilla y se fortalece la visión de que en el futuro los miembros de estas comunidades contarán con su propia mina para la

extracción de barro.

Palabras claves: Arcillas, Cerámica, propiedades tecnológicas, Guaitil, San Vicente y Guanacaste.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos i

Resumen iv

Índice de contenido vi

Índice APÉndices y anexos x

Índice de figuras xi

Índice de tablas xvi

Capítulo I. Introducción 1

1.1. Ubicación 1

1.1.1. Clima y geografía 1

1.2. Justificación del tema 1

1.3. Objetivos 4

1.3.1. Objetivo general 4

1.3.2. Objetivos específicos 4

1.4. Antecedentes 5

1.5. Hipótesis 6

1.6. Metodología 6

Capítulo II. Marco geológico y estructural 12

2.1. Marco geológico 12

2.1.1. Complejo de Nicoya 12

2.1.2. Formación Puerto Carrillo 14

2.1.3. Formación Sabana Grande 15

2.1.4. Formación Nambí. 15

2.1.5. Formación Barrahonda. 16

2.1.6. Formación Descartes. 16

2.1.7. Depósitos no consolidados del Cuaternario 17

2.2. Marco estructural 19

Capítulo III. Marco teórico 21

3.1. Generalidades de las arcillas 21

3.1.1. Proceso de acumulación de las arcillas 21

3.1.2. Depósitos de arcillas 22

3.1.3. Composición de las arcillas 23

3.1.4. Pedología y su relación con la roca madre 25

3.1.5. Arcillas en la cerámica 25

3.1.6. Propiedades de las arcillas utilizadas en la creación de cerámicas 27

3.2. Difractometría de Rayos-X (DRX) 29

3.3. Fotointerpretación 30

3.4. Muestreo por bloques 30

3.5. Imágenes multiespectrales e imágenes satelitales 31

3.6. Sello de denominación de origen tipo Chorotega 32

3.6.1. Condición socioeconómica de los artesanos que tienen sus productos protegidos bajo el Sello de Denominación de Origen 34

Capítulo IV. Resultados 39

4.1. Geología local y descripción de los suelos 39

4.2. Geomorfología 39

4.2.1. Formas de origen denudacional 40

4.2.2. Formas sedimentarias de origen fluvial 41

4.2.3. Formas de origen estructural 42

4.2.4. Formas Kársticas 43

4.3. Geología local 45

4.3.1. Basaltos del Complejo de Nicoya 45

4.3.2. Formación Sabana Grande 47

4.3.3. Calcarenitas de la Formación Nambí 51

4.3.4. Calizas de la Formación Barrahonda 52

4.3.5. Depósitos del cuaternario 52

4.4. Descripción de los suelos 57

4.4.1. Características de los suelos en el bloque Santa Cruz (A) 61

4.4.2. Características de los suelos en el bloque La Florida (B). 62

4.4.3. Características de los suelos en el bloque Moracia (C) 63

4.5. Resultados de los análisis de laboratorio 67

4.5.1. Propiedades tecnológicas de los materiales arcillosos encontrados 67

4.5.2. Vitrificación y encogimiento 78

4.5.3. Mineralogía de las arcillas trabajadas 85

4.6. Selección de terrenos con base en la aptitud cerámica de los suelos 91

4.6.1. Delimitación de las nuevas fuentes de arcilla para la producción cerámica 94

Capítulo V. Discusión 97

Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones 101

6.1. Del capítulo de Geomorfología 101

6.2. Del capítulo de Geología local 101

6.3. De los análisis de laboratorio 102

6.3.1. Propiedades tecnológicas y cerámicas 102

6.3.2. Mineralogía de las arcillas 103

6.4. Nuevas fuentes de arcillas 103

6.5. Recomendaciones 104

Referencias 106

Glosario 113

ÍNDICE APÉNDICES Y ANEXOS

Apéndice 1, Análisis de suelos *in situ*……..116

Apéndice 2, Propiedades mecánicas y cerámicas de los suelos analizados. 121

Apéndice 3, Creacíon de los bloques de trabajo……128

Apéndice 4, Descripción de secciones delgadas de rocas……..137

Apéndice 5, Profunidades de las arcillas según descripciones de

pozos del SENARA…… 158

Anexo 1, Identificación difractométrica de arcilla y roca total a muestras varias provenientes de la Región Chorotega 160

Anexo 2,Tomografía electromagnética en La Florida de Nicoya,

Guanacaste……167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio 3

Figura 2.1. Mapa geológico regional de la zona de estudio 18

Figura 2.2. Mapa estructural de la zona de estudio 20

Figura 3.1. Un bloque que ha sido dividido en 12 subbloques diferentes 31

Figura 3.2. Mapa del área de la denominación de origen 33

Figura 3.3. A) Comal Zoomorfo, B) Figura Zoomorfa, C) Vasija de agua, D) Vasija pequeña, E) Replica indígena, F) Vasija alta y G) Ocarina Zoomorfa. 36

Figura 3.4. (A) Torno artesanal; (B) Horno de Barro; (C) Lugar donde almacenan las arcillas, la pila llena puede durar 3 meses. 38

Figura 4.1. Mapa con las morfologías identificadas con base en las fotografías del Proyecto TERRA 1995 44

Figura 4.2. Microfotografía de los basaltos de la Unidad de Basaltos (A). Basalto (B), Basalto (C) y (D) Basaltos alterados con presencia de augita y plagioclasa. 46

Figura 4.3. Brecha basáltica con cristales alterados de tonalidades blancas y amarillas 47

Figura 4.4. Lutitas y areniscas finas intercaladas, ambas presentan tonalidades grises y alta meteorización 48

Figura 4.5. Microfotografía de (A) Grawvaca Silícea (B), litoarenita con ceolita (C), Lodolita silícea (D), Arenisca feldespática 49

Figura 4.6. Microfotografía de una geoda en una roca silificada de la unidad Sabana Grande. 50

Figura 4.7. (A) Fotografía de la muestra Curiol; (B) Un artesano extrayendo curiol; (C) Fotografía sobre cómo se ve el curiol en el campo; (D) Zona de extracción del curiol. 50

Figura 4.8. Microfotografías de (A) Lodolita Arenosa en Nicoles cruzados (B), Lodolita Arenosa en nicoles paralelos (C), Lutita clástica en Nicoles cruzados (D), Lutita clástica en Nicoles paralelos 51

Figura 4.9. Sección delgada de las calizas de la Unidad de Calizas de Barrahonda 52

Figura 4.10. (A). Fotografía de un artesano transportando la arcilla para procesarse; (B) Afloramiento de areniscas de color grisáceo en el subbloque 3B..... 53

Figura 4.11. (A). Típico corte de donde extraen la "*Arena de iguana"*; (B) Hoyo de donde los artesanos extraen la "*Arena de iguana",* en las coordenadas CRTM05 1137624 N y 334459 W 54

Figura 4.12. Terreno en las coordenadas 335693 W y 1134852 N y corresponde a un corte con 2.4 m de espesor de suelos de color marrón.... 55

Figura 4.13. Mapa de afloramientos..... 56

Figura 4.14. Antiguo pozo de extracción de arcillas que se utiliza para describir un corte de suelo y que actualmente es usado como canal de desagüe 58

Figura 4.15. Agujero utilizado para evaluar los suelos de la zona de estudio, el pozo tiene una profundidad de 90 cm y 1 m de anchura 59

Figura 4.16. Mapa del Área de estudio divida en 3 bloques principales. El bloque Santa Cruz (A) al oeste, el bloque La Florida (B) en la parte central y el bloque Moracia (C)..... 60

Figura 4.17. Fotografía del subbloque 1-A del Bloque Santa Cruz, se trata de

terrenos de baja topografía rodeados por las serranías del complejo de Nicoya. 61

Figura 4.18. Subbloque 3-B del Bloque San Vicente, se trata de terrenos de baja topografía rodeados cerros del complejo de Nicoya y los cerros de Sabana Grande. 63

Figura 4.19. Fotografía del subbloque 1-C del Bloque Moracia, son terrenos de baja topografía rodeados por las serranías del complejo de Nicoya 64

Figura 4.20. Mapa de ubicación de los sitios de análisis *in situ* y los que se realizaron en el laboratorio 65

Figura 4.21. Mapa de ubicación de las muestras de suelos (44) y de rocas (30) 66

Figura 4.22. Distribución del contenido de finos tipo francoarcilloso en los suelos analizados. 69

Figura 4.23. Distribución de los valores de densidad de los suelos. 70

Figura 4.24. Áreas donde la de densidad y el porcentaje de finos de los suelos son los ideales para producir las piezas más resistentes. 71

Figura 4.25. Distribución de los valores de porosidad en los suelos analizados. 73

Figura 4.26. Distribución de los valores de plasticidad en los suelos 76

Figura 4.27. Áreas donde la de porosidad y la plasticidad los suelos son los ideales producir piezas cerámicas. 77

Figura 4.28. Piezas utilizadas para medir el porcentaje de encogimiento y pérdida de humedad en los suelos. Todas pueden utilizarse en alfarería. ... 79

Figura 4.29. Piezas utilizadas para medir el encogimiento y pérdida de

humedad en los suelos. Ninguna cumple con las condiciones para usarse en alfarería 80

Figura 4.30. Distribución del porcentaje de encogimiento de la pieza cerámica cocinada en los suelos estudiados..... 82

Figura 4.31. Distribución del porcentaje de humedad perdida por la pieza cerámica al cocinarse a 900°C..... 83

Figura 4.32. Distribución de las áreas donde los suelos presentaron las mejores características de cocción. 84

Figura 4.33. Difracción de la arcilla BT3 donde se identifican capas de Caolinita (k), Cuarzo (Q) y Tridimita..... 86

Figura 4.34. Difracción de la arcilla S-11, donde se identificaron: mezcla de capas de illita/ esmectita (I/Sm), Caolinita (k), cuarzo (Q) y un pico desconocido (Anexo 1) 87

Figura 4.35. Difractograma de la arcilla Alf01, donde se identifican minerales de la caolinita (k), esmectita (Sm) y cuarzo (Q) 88

Figura 4.36. Difractograma de la arcilla de la muestra MSPT, donde se identifican minerales de la esmectita (Sm), cuarzo (Q) plagioclasa (Plag) y calcita (Ca)..... 89

Figura 4.37. Difractograma de la muestra de roca R-24-1. 90

Figura 4.38. Difractograma de la muestra de roca RR-3..... 91

Figura 4.39. Áreas delimitadas con base en la prioridad para desarrollar estudios de prospección futuros..... 93

Figura 4.40. Nuevas fuentes de arcillas identificadas. 95

Figura 4.41. Tomografía eléctrica realizada en la finca de los Machado, se

observa 5.11 m de suelos finos a manera de canales o lentes..... 96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla comparativa entre las propiedades mecánicas de los suelos y de calidad de las piezas que pueden utilizarse en alfarería 80

Tabla 2. Tabla comparativa entre las propiedades mecánicas de los suelos y la calidad de las piezas que no pueden utilizarse en alfarería 81

Capítulo I. Introducción

1.1. Ubicación

La zona de estudio se ubica entre los cantones de Santa Cruz y Nicoya de Guanacaste. Cubre un área geográfica de 382 km^2, entre las coordenadas CRTM-05 114200N y 325000 W y las coordenadas CRTM-05 1126000 N, 345000 W (Figura 1).

1.1.1. Clima y geografía

El clima en el territorio de Nicoya es premontano y basal, las temperaturas rondan entre los 18°C y los 30°C, tiene precipitaciones anuales de 1000 mm a 2000 mm. Su principal afluente de aguas es el río Nicoya (Inder, 2016a).

En el territorio de Santa Cruz las temperaturas oscilan entre los 24°C y los 32°C, tiene precipitaciones anuales de 1600 mm, presenta alturas máximas de 64 msnm y mínimas de 13 msnm, con bosques tropical húmedo y tropical seco (Inder, 2016b).

1.2. Justificación del tema

La investigación se concentra principalmente en la problemática de las comunidades alfareras de San Vicente y Guaitil que no cuentan con un terreno propio para extraer arcillas, por lo que hace que los alfareros entren ilegalmente a fincas privadas, tengan un acceso limitado a las fuentes conocidas de arcilla y se ha desarrollado la creencia popular de que ya no hay fuentes adecuadas para obtener la materia prima. Esto desmotiva a las futuras generaciones y pone en riesgo la situación económica de muchas familias alfareras.

Por ello, se buscó incorporar un estudio geológico en la zona que tenga como objetivo buscar nuevas fuentes de arcillas para aumentar la posibilidad de que en el futuro las comunidades alfareras cuenten con su propia mina y de esta manera afianzar la autonomía de los alfareros como pequeños y medianos productores.

Este estudio a través de la descripción de suelos, nuevos datos geotécnicos, mineralógicos, geoquímicos y de calidad cerámica, mejora la información existente entorno a los suelos de la región Chorotega. Ya que, es importante conocer la composición de las arcillas, así como las características cerámicas del producto final, para determinar la calidad de un barro que va a ser utilizado en la producción de cerámicas.

También para facilitar la evaluación de los suelos en el área y para delimitar bloques de estudio, se utiliza la técnica de estereoscopía y herramientas tipo imágenes satelitales en sistemas de información geográfica (SIG).

En conclusión, este trabajo de investigación al aplicar métodos geoquímicos, análisis geotécnicos, pruebas cerámicas y técnicas de percepción remota, busca encontrar nuevas fuentes de arcilla aptas para la producción de cerámicas, reforzar la moral de los vecinos para que no se pierda la tradición de elaborar alfarería y generar nueva información sobre los depósitos sedimentarios del Cuaternario de la parte interior de la Península de Nicoya.

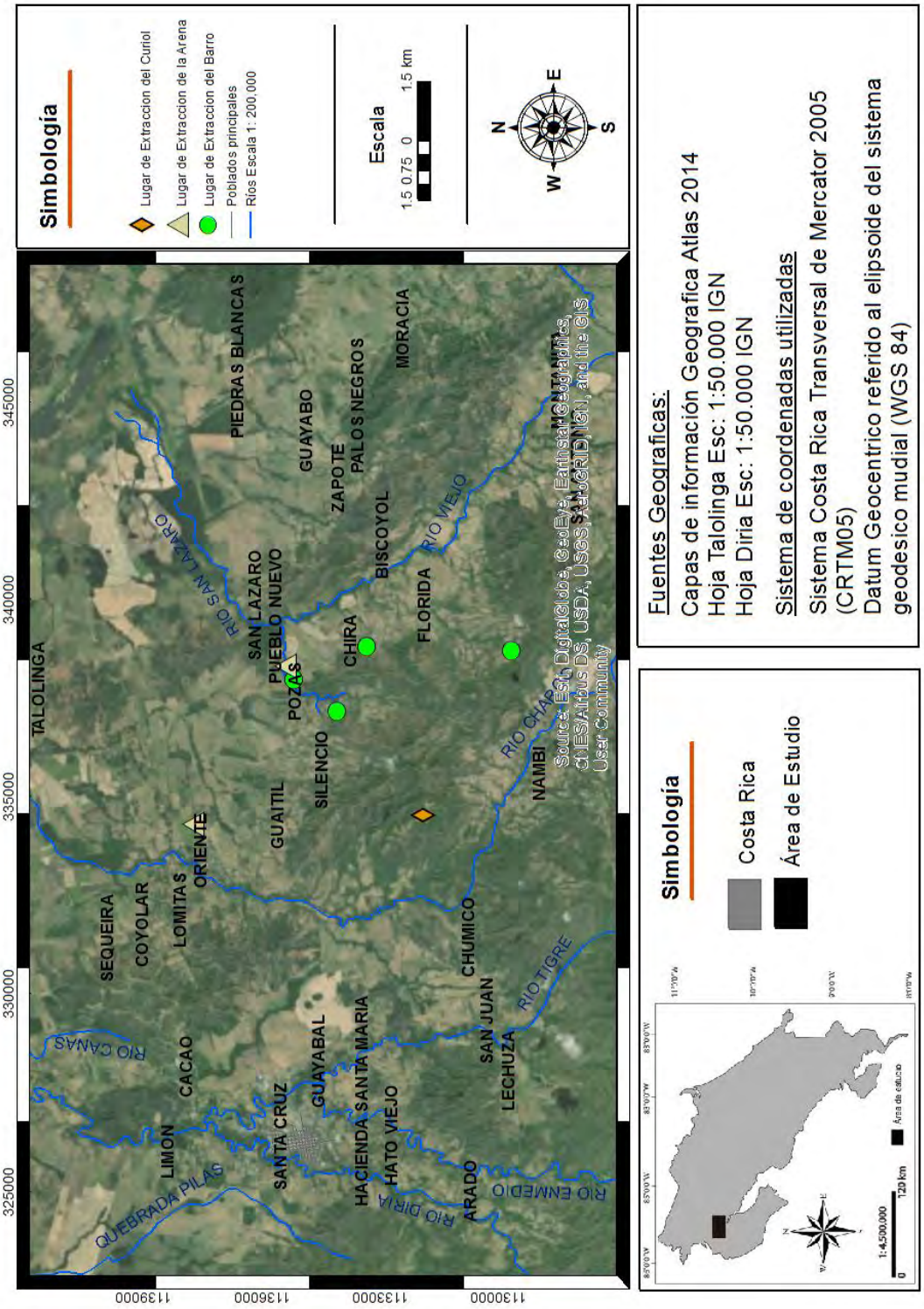


Figura 1. Ubicación del área de estudio

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar y evaluar las arcillas que se encuentran en los alrededores de las comunidades de Guaitil y San Vicente de Guanacaste, con el fin de localizar nuevos recursos de material arcilloso que sean aptos para la producción de piezas cerámicas tipo Chorotega (Denominación de origen), mediante el análisis mineralógico, ensayos mecánicos y pruebas de cocción a los suelos arcillosos..

1.3.2. Objetivos específicos

I. Conocer las propiedades mecánicas de los suelos ubicados en las cercanías de las comunidades de San Vicente, Guaitil, Santa Cruz y Moracia de Guanacaste mediante los ensayos ASTM de porosidad (D422), peso unitario (D423), granulometría (D424), gravedad especifica (D854) e índice de plasticidad (D2216 y D2487), para comprender la mecánica de los suelos y su distribución.

II. Valorar la calidad del material arcilloso mediante pruebas de cocción a cada una de las muestras de suelo ensayadas (con base en la norma ASTM de materiales), con el fin de elaborar un cuadro comparativo entre la mecánica del suelo y la pieza producida.

III. Evaluar la composición mineralógica del material arcilloso que se encuentra en el área de estudio, mediante pruebas de difracción de rayos X (DRX) a los suelos finos. Con el fin de conocer la calidad de la pieza cerámica que va a producirse de dicho suelo.

IV. Confeccionar un mapa temático de las zonas idóneas para la acumulación de arcillas que se utilizan en la producción de cerámicas tipo Chorotega mediante los datos de ubicación, mecánica de suelos, la calidad de la pieza elaborada y la composición mineralógica de las arcillas, con el fin de que esta información sea utilizada en estudios posteriores de mayor detalle.

1.4. Antecedentes

Existe poca información en torno a las propiedades químicas y mecánicas de las arcillas utilizadas por las comunidades de Guaitil y San Vicente de Guanacaste. Los estudios regionales son:

- Aguilar *et al.* (1989), describen los suelos de la Región Chorotega como suelos franco arcillosos y altamente arcillosos, de topografía suave y de nula pedregosidad. Además, mencionan que la diferencia entre los suelos franco arcillosos y los muy arcillosos se evidencia en el grado de humedad de la superficie, ya que los primeros presentan un mejor drenaje y menor humedad.

- Alvarado *et al.* (2010) mencionan que en la zona de Guanacaste muchas de las arcillas tienden a mostrar un dominio de la mineralogía halloysitica (arcillas con corto grado de vitrificación) y en menores cantidades cristobalita, goethita y montmorillonita.

- Alvarado, Mata y Chinchilla (2013) recopilaron información de estudios de arcillas en Costa Rica y concluyeron que la distribución de los estudios sobre la composición y propiedades de las arcillas es casi nula en la región de la Península de Nicoya, la zona norte del país y en la región este de la Cordillera de Talamanca.

- Denyer, Aguilar y Montero (2014), mencionan que existen grandes depósitos de arcillas y limos en los humedales de las hojas Diriá y Talolinga.

Además, para la zona existen estudios a menor escala y más locales como:

- Hernández (2012) llevó a cabo un análisis químico de las arcillas de las cuales se extrae el Curiol (pigmento utilizado para pintar las arcillas) y determinó que no existe peligro de toxicidad y que son arcillas ricas en óxidos de hierro.

- Salas, Camacho y Guier (2015) ubicaron las zonas donde en el pasado

los alfareros han encontrado fuentes de arcillas. Los puntos encontrados están cerca de las comunidades de San Vicente, La Florida de Nicoya y Moracia. Todos son terrenos de baja pendiente (<3°), presentan una capa orgánica de 20 cm y son de colores café, bayo, gris y negro.

- Padilla (2016), mediante pruebas SPT, determinó que los depósitos arcillosos presentes en la finca Solórzano (una zona histórica para extraer arcillas para producir piezas) tienen forma de cuerpos lenticulares, son no-homogéneos y son de espesores poco significativos entre 1,5 y 1,8 m. En este estudio, el autor determinó que los depósitos de arcillas son lenticulares aislados y tienen espesores menores a 2 m. Además, concluyó que la cantidad de arcilla en la propiedad analizada no cubre las necesidades de los 22 talleres principales.

1.5. Hipótesis

Las arcillas (de color bayo, gris y negro) de los depósitos aluviales de baja pendiente del cuaternario asociadas con las litologías de las Formaciones Sabana Grande, Nambí y el Complejo de Nicoya, presentan la mejor aptitud para la fabricación de cerámica tipo Chorotega. Por lo tanto, las parcelas que cumplan con estas condiciones, presentarán los suelos arcillosos con la mejor aptitud para la producción cerámica y son las propiedades que deberían priorizarse para llevar a cabo futuros estudios de prospección a detalle.

1.6. Metodología

Para esta investigación se analizan los suelos desde dos puntos de vista, desde un enfoque edafológico y desde la geotecnia, debido a que ambos conceptos permiten definir y caracterizar diferentes propiedades de los suelos que se emplearán para comprender el comportamiento cerámico que demostrará una pieza cerámica que se elabore a partir de este.

En la edafología el suelo es natural, organizado e independiente, sus propiedades y génesis son el resultado de agentes externos (clima, relieve,

organismos y tiempo) sobre la roca precursora. Desde la geotecnia el suelo es roca descompuesta a diferentes profundidades, además tiene un origen geológico y se estudian los suelos para predecir su comportamiento físico o mecánico.

Para analizar, evaluar y confeccionar las zonas de acumulación de suelos se siguió una serie de pasos:

a. Se recopiló la información relacionada con los suelos arcillosos y sus usos alfareros.

b. Se compiló información geológica, geotécnica, mineralógica, edafológica e histórica de la zona y se elaboró una base de datos con las características de los suelos.

c. Durante esta etapa se trabajó la interpretación de fotos aéreas, por medio de la estereoscopía de espejos, para definir las zonas en las que se llevarán a cabo las inspecciones de campo y las labores de recolección de muestras.

d. Se tomaron 44 muestras de suelos de 3 kg (apéndice 2), por medio de la Metodología de Bloques de Makisimov, Miloserdina y Eriomin (1973). Los primeros 2 kg se llevaron al laboratorio de Geotecnia de la UCR para su análisis y se guardó un kilogramo de cada muestra para llevarlo a la Escuela de Artes de la UCR.

En los 382 km^2 de la zona de estudio, un 42,41 % está cubierto por suelos (pastizales), un 29,09 % por suelos rocosos, un 23,73 % por árboles, un 1,33 % por agua y un 3,43 % por edificaciones (Apéndice 3). De esta manera, se decidió concentrar el muestreo de suelos en el 42,41 % correspondiente a pastizales, que son las zonas en las que extraían arcillas los indígenas Chorotegas precoloniales (Salas *et al.*, 2015). Después, se utilizó la herramienta de edición y selección del SIG *Arcgis,* para descartar los terrenos cubiertos por árboles, rocas, grandes poblados y cuerpos de aguas.

Por lo tanto, la inspección de suelos se llevó a cabo en el 42,41 % seleccionado y, además, se utilizaron los datos históricos, arqueológicos y

catastrales de las fincas, pues las dimensiones de las haciendas limitaron la recolección de datos y no todos los finqueros dieron acceso a sus propiedades.

Las visitas se hicieron acompañado de los artesanos, debido a que la memoria histórica de los alfareros da a conocer si los pobladores habían evaluado los terrenos o si los utilizaron en el pasado para la elaboración de cerámicas. Los bloques se delimitaron de la siguiente manera:

- El bloque A, Santa Cruz, compuesto por las comunidades de Limón, Diriá, Guayabal, Santa Cruz, Santa Cecilia, Hato Viejo, El Congal, Cacao, Chumico y San Juan.

- El bloque B, La Florida, donde están las comunidades de San Vicente y Guaitil y también las Pozas, Talolinga, Oriente, Coyolar, Silencio, Chira, La Florida, San Antonio y la Montanita. Los suelos al este y al noroeste de las comunidades de San Vicente y Guaitil de Guanacaste los utilizan las generaciones más jóvenes de alfareros para elaborar piezas de tipo Chorotega (Salas *et al.* 2015).

- El bloque C, Moracia, está compuesto por las comunidades de Palos Negros, Los Ángeles, Zapote y Pueblo Nuevo. En algunas de estas comunidades se han encontrado huacas de tiestos y antiguas zonas de extracción cerca de Moracia (Salas *et al.* 2015).

Después, cada bloque se fraccionó en 6 subbloques y se seleccionó un abanico aluvial en la zona de la Florida, para medir la forma en la que varía la calidad de la pieza conforme se aleja del cuerpo montañoso.

e. Para la inspección de los suelos, se hicieron orificios de 80 cm a 100 cm de profundidad, en los 172 puntos seleccionados, sobre la llanura aluvial y sobre pendientes menores a los 5 °, en los cerros denudacionales.

La recolección de los datos se dio en el periodo de agosto del 2016 hasta mayo del 2018, con 15 giras de 5 a 7 días de duración. Cada gira tenía como fin recolectar datos de las condiciones del terreno, levantar información de los suelos,

describir afloramientos de rocas y comprobar el análisis vertical que se llevó a cabo por medio de la Percepción Remota.

Para determinar la plasticidad *in situ* de los suelos se tomó de 100 a 200 g de muestra de suelo, y se hicieron biscochos de 5 a 10 cm de largo, entre más resistente el bizcocho más plástico es el suelo. Este es un método cualitativo utilizado por ceramistas para medir la plasticidad de un material y permite diferenciar de suelos plásticos poco plásticos o sin plasticidad (Apéndice 1).

f. Se tomaron 30 muestras de rocas y se analizaron petrográficamente 19 de estas (Apéndice 4), para un total de 202 afloramientos entre rocas y suelos.

Se analiza paralelamente y de manera macroscópica, la composición de la "*Arena de Iguana"*, para ello se separa los fragmentos de sílice de las muestras arenosas y se pesa el material restante.

g. En el laboratorio de Geotecnia se analizaron las muestras, según la norma ASTM de granulometría (D422), límite líquido (D423), límite plástico (D424), gravedad específica (D854), contenido de humedad (D2216) y clasificación de suelos (D2487) (SUCS). Además se realizan las pruebas de peso unitario (D424) y gravedad específica (D854) para obtener la densidad de los suelos.

También se obtuvieron los valores de las propiedades tecnológicas de dos muestras que son de buena calidad para hacer piezas cerámicas, la muestra Ba-Pa y Escazú (Apéndice 2). La primera se llama *Ba-Pa*, porque es el barro elaborado por los artesanos. La segunda es *Escazú* que es un barro de uso alfarero de alta calidad obtenido de la zona de Escazú, San José.

El fin de las pruebas mecánicas es medir cuantitativamente los aspectos de resistencia y capacidad de absorción del esmalte de la pieza. Luego se comparan los valores obtenidos con las pruebas *Escazú* y *Ba-Pa* que son suelos de calidad cerámica ya conocida.

h. Para las pruebas de cocción se elaboran 44 piezas cerámicas de 5 cm de

ancho por 12 cm de largo, que funcionaron para determinar la calidad de la pieza que se produce de la muestra de suelo (Apéndice 2).

Las piezas se elaboraron en colaboración con la Escuela de Artes de la Universidad de Costa Rica, por Msc. Iría Salas y Leonela Méndez. Para el análisis de la calidad de la pieza producida utilizaron tablas en las que cuantificaron la pérdida de humedad de la pieza y la cantidad que se encoge al cocinarse en un horno de Gas GLP a 900°C. Además, hicieron pruebas de plasticidad, como la habilidad que tiene la masa arcillosa para generar biscochos.

i. Se analizaron con difracción de rayos X (DRX) las arcillas que presentan las mejores características como piezas cerámicas y se clasificaron de acuerdo con Nelson (1960) en alguno de los 7 tipos de arcillas para alfarería.

Para esto, los ensayos se desarrollaron con el apoyo de la geóloga Lic. Dione Barahona del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en la Unidad de Petrografía y Difractometría. La separación de la fracción filosilicática involucró procesos de disgregación mecánica, vibrado y centrifugado, después se montaron las muestras arcillosas en portamuestras y se les hizo un barrido en seco y otro humedecido con etilenglicol (Glicolada).

Los barridos se ejecutaron con un rango de escaneo de 2,5° a 35° (2Θ), con un ancho de paso de 0,020 angstrom (Å) y velocidad de 2°/min. Además, para facilitar el proceso de análisis las muestras son solvatadas con moléculas orgánicas (Glicerol).

Se utilizó un Difractómetro de Rayos X, marca Rigaku, modelo Miniflex 600, con tubo de rayos X de Cu y monocromador de grafito perteneciente a la Unidad de Petrografía y Difractometría del Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos del ICE. Para el análisis cualitativo e identificación de los diferentes componentes se utilizó la base de datos PDF2 (PowderDiffraction File) del International Center for Diffraction Data (ICDD) (Anexo 1).

Del mismo modo, se efectuaron dos análisis de roca total, a dos de las

muestras recolectadas de rocas. Para esto, se contó nuevamente con el apoyo de la geóloga Dione Barahona del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en la Unidad de Petrografía y Difractometría. Para llevar a cabo el análisis se trituró la muestra y se colocó en un portaobjetos de vidrio; se barrió en un rango de escaneo de 2,5° a 75° (2Θ), con un ancho de paso de 0,020 angstrom (Å) y velocidad de 2°/min. Igualmente, se utilizó el Difractómetro de Rayos X, marca Rigaku, modelo Miniflex 600 de la Unidad de Petrografía y Difractometría del Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos del ICE.

j. Con el uso de la herramienta *ArcGIS (ArcMap)* se desarrollaron mapas a partir de la información de los ensayos de laboratorio y de las visitas al campo.

Se elaboró un mapa de suelos, un mapa geológico y un mapa con las formas identificadas en fotointerpretación. Además, se utilizaron los datos de plasticidad, densidad, peso unitario, porosidad y porcentajes de finos obtenidos en el laboratorio para generar isolíneas de valores, que se sobrepusieron para generar un mejor criterio de la manera en que se distribuyen las propiedades mecánicas y cerámicas de la suelos de la región.

k. Después, se delimitaron las zonas de mayor prioridad para que se hagan estudios de prospección a mayor detalle en el futuro, los terrenos idóneos para la acumulación de arcillas, y, finalmente, considerando las formas cóncavas de los abanicos aluviales, se localizaron los sectores donde se encuentran las nuevas fuentes de material arcilloso.

Capítulo II. Marco geológico y estructural

2.1. Marco geológico

La litología de las hojas Diriá y Talolinga es dominada por rocas de afinidad oceánica, que corresponden a un típico corte del lecho marino-profundo, cubierto por rocas sedimentarias del Cretácico-Paleógeno, rocas sedimentarias del Neógeno-Cuaternario, rocas volcánicas del Neógeno-Cuaternario y por depósitos no consolidados del Cuaternario (Denyer *et al*., 2014; Flores, Denyer y Aguilar, 2008; Kuijpers, 1979; Astorga, 1987; Dengo, 1962).

- **Geología regional**

Las formaciones geológicas presentes en la Península de Nicoya son de origen ígneo y sedimentario (Dengo, 1962). Las rocas ígneas que afloran en la región son el Complejo de Nicoya y sus unidades de Basaltos, de Radiolaritas y el Intrusivo Potrero (Denyer y Arias, 1993; Dengo, 1962; Kuijpers, 1979).

Las rocas sedimentarias que afloran en la región Chorotega pertenecen a las Formaciones Descartes, Miembro Zapotal, Puerto Carrillo, Nambí y Sabana Grande (Flores, 2003; Astorga, 1987; Denyer y Arias, 1993; Dengo, 1962). La secuencia estratigráfica se encuentra cubierta por los depósitos del cuaternario como los limos, los coluvios, las arenas, los sedimentos de zonas de manglar y los aluviones (Denyer *et al.*, 2014). La figura 2.1 muestra la geología regional del área de estudio.

2.1.1. Complejo de Nicoya

El Complejo de Nicoya es descrito por Dengo (1962) y Kuijpers (1979), como compuesto mayoritariamente por basaltos y litologías de afinidad oceánica, incluye a las radiolaritas, las rocas intrusivas y las rocas volcánicas extruidas durante el CLIP (*Caribbean Large Igneous Province*).

Dengo (1962) le asignó una edad del Jurásico al Cretácico al Complejo de Nicoya y lo describió compuesto por rocas ígneas y sedimentarias. Las rocas

sedimentarias son grauvacas grises, ftanitas, lutitas y calizas silíceas. Las rocas ígneas son coladas de lavas con conglomerados de basaltos e intrusiones de rocas máficas.

Después, Kuijpers (1979) dividió al Complejo en 3 unidades y lo describió conformado por rocas de origen máfico tipo basaltos toleíticos, diabasas ofiolíticas y rocas plutónicas como gabros. Además, el Complejo de Nicoya presenta estratos intermitentes de radiolaritas entre sus basaltos.

Por medio de la metodología $^{40}Ar/^{39}Ar$, Madrigal, Gazel, Flores, Bizimis y Jicha (2016), determinaron 5 edades para el Complejo de Nicoya: una edad de 137. 9 M.a. para El Coco, edades de 113,43 M.a. para Las Islas Murciélago, una edad de 89,3 M.a. para el interior de Nicoya, a Junquillal se le asignó una edad de 79,9 M.a. y una edad de 77,2 M.a. para Marbella.

2.1.1.1. Complejo de Nicoya - Unidad Basaltos

La unidad de basaltos es descrita por Dengo (1962) compuesta por basaltos toleíticos y fue denominada Unidad Esparza por Kuijpers (1979). Macroscópicamente, son flujos masivos de basaltos, de color verde a gris oscuro, cortados por varias generaciones de fracturas que están rellenas de zeolita, calcedonia, ópalo y calcita. Además, hay basaltos en almohadilla y microalmohadillas con una corteza de hialoclastita fracturada (Denyer *et al.*, 2014). Algunos presentan estructuras de *spinifex* y se ven asociados con secuencias ofiolíticas.

Microscópicamente, los basaltos de la Unidad son de grano fino, compuestos por plagioclasas, augita, clorita, óxidos de hierro y titanio, están asociadas con brechas y autobrechas (Tournon, 1984). Además, presentan mineralizaciones de manganeso asociados con jaspes (Kuijpers, 1979). La edad de la Unidad de Basaltos del Complejo de Nicoya es de los 139 M.a. a los 72,2 M.a (Sinton *et al.*, 1997; Hauff *et al.*, 2000; Madrigal *et al.*, 2016).

2.1.1.2. Complejo de Nicoya - Unidad Radiolaritas

Kuijpers (1979) describió una serie de radiolaritas con espesores de 30 m, intercalados con los basaltos y las colocó en la unidad Esparza. Soto y Alvarado (2012) les llaman peperitas, debido a que las radiolaritas se encuentran mezcladas con los basaltos.

Las radiolaritas del Complejo de Nicoya son rocas de grano fino a muy fino, compuestas por materiales de origen pelágico estratificados a manera de depósitos laminares y son de elevada dureza (Deyer *et al.*, 2014).

Baumgartner (1987) y, posteriormente, Denyer y Baumgartner (2006) determinaron que la edad para la Unidad es del Jurásico medio hasta el Albiano. La Unidad de Radiolaritas sobreyace disconformemente a la Unidad de Basaltos (Denyer y Arias, 1993).

2.1.1.3. Complejo de Nicoya - Unidad Intrusivo Potrero

Denominada por primera vez en Denyer y Arias (1993) para describir a los intrusivos gabroicos que afloran al NW de la península de Nicoya, compuesto por gabros, microgabros, plagiogranitos y diabasas.

Denyer y Arias (1993) describieron macroscópicamente a los gabros de la Unidad de coloraciones oscuras y de textura porfirítica con acumulaciones de piroxenos. Microscópicamente, son de textura holocristalina-hipidiomórfica-granular y tiene fenocristales de plagioclasa, augita titanífera, algunos opacos, olivinos y cloritas.

Madrigal *et al.* (2016), determinaron que la edad para los intrusivos de diabasas en las zonas de Junquillal, Marbella y en los interiores de Nicoya es de 79,9 M. a, 77,2 M. a y 89,3 M. a, respectivamente y los relacionaron a los pulsos principales y subsecuentes del C.L.I.P.

2.1.2. Formación Puerto Carrillo

La litología de la formación está compuesta por brechas estratificadas pobremente, de fragmentos basálticos, pedernales amarillos y rojos, con algunos

clastos de gabro. Además, presenta brechas interpuestas por lentes de arenitas y calcilutitas (Sprechmann 1984; Denyer *et al.*, 2014). Baumgartner *et al.* (1984) calculan edades que van del Campaniano-Superior al Maastrichtiano.

2.1.3. Formación Sabana Grande

Dengo (1969) definió a la Formación Sabana Grande conformada por calizas silíceas y lutitas silíceas con intercalaciones de radiolaritas, después Astorga (1987) limitó el estratotipo de la Formación Sabana Grande al área en los alrededores del poblado de Sabana Grande, al noroeste de Nicoya.

Según Flores *et al.* (2008) la litología de la formación Sabana Grande está compuesta por los sedimentos silíceos y carbonatados de origen pelágico, hemipelágico y turbidítico, de edades del Cenomaniano hasta el Coniaciano. Presenta lutitas silíceas, calcilutitas e intercalaciones de areniscas medias y finas. Las lutitas son de colores blancos, amarillos y verdes, las areniscas tienen espesores mínimos de 6 cm y las lutitas calcáreas son de colores grises con espesores de 5 a 10 cm (Denyer y Arias, 1993).

La edad para la formación con base en la datación hecha por Baumgartner *et al.* (2008), es del Cenomaniano al Santoniano. Estratigráficamente, la Formación Sabana Grande sobreyace a la Unidad de Basaltos del Complejo de Nicoya (Denyer y Arias, 1993) y su origen es producto de una sedimentación pelágica interrumpida por depósitos de arenitas turbidíticas (Baumgartner *et al.*, 2008).

2.1.4. Formación Nambí.

Dengo (1962) primeramente consideró a la Formación Nambí dentro de la Formación Rivas. Flores (2003) la llamó Formación Nambí y la definió influenciada por un complicado tectonismo y compuesta por los primeros depósitos turbidíticos de la región de Nicoya.

La litología de la Formación Nambí está compuesta por una serie de brechas basálticas, areniscas finas y areniscas gruesas. Las areniscas son de tonalidades

gris oscuro, están intercaladas a manera lentes en las lutitas café y exhiben laminación paralela y cruzada. Además, presenta series de calcarenitas grises (Denyer *et al.*, 2014). La edad de la formación Nambí es del Turoniano al Coniaciano (Flores *et al.*, 2008).

2.1.5. Formación Barrahonda.

Dengo (1962) definió a la Formación Barrahonda compuesta por una secuencia carbonatada extendida sobre el río Tempisque. Las calizas están pobremente estratificadas en la base y van cambiando a estratos más homogéneos conforme se sube en la secuencia estratigráfica.

Mora (1981) describe dos unidades, la primera es una miomicrita con variaciones locales a bioesparita y biopelmicrita, tipo Packstone con variaciones a Grainstone. La segunda unidad es una biolitita algal con áreas restringidas de biopelmicrita y es una Boundstone, que varía de Packstone a Wackestone.

Denyer et al. (2014) proponen una edad para la Formación del Paleoceno Superior al Eoceno inferior.

2.1.6. Formación Descartes.

En 1987, Astorga definió a la formación compuesta por sedimentos turbidíticos volcaniclásticos y carbonatados. La litología de la formación Descartes está conformada por 600 m de alternancias cíclicas de areniscas, conglomerados y brechas. Las areniscas varían de areniscas finas silíceas a más gruesas de tonalidades pardas y grises (Dengo, 1962). Los conglomerados que se presentan en esta formación están compuestos por clastos de calizas, jaspes, ftanitas, diabasas y otros productos erosionados de las formaciones Barrahonda, Sabana Grande y del Complejo de Nicoya (Denyer *et al.*, 2014).

Además, Herrera y Vargas (2012) describieron a la Formación compuesta por grauvacas líticas con una matriz rica en óxidos de hierro (55 %), clastos líticos (25 %), plagioclasa (12 %), augitas (8 %) y un poco de magnetita (1 %). Astorga

(1987) propuso una edad para la formación del Paleoceno Superior al Eoceno-Oligoceno, con una génesis asociada con flujos y eventos turbidíticos de depósitos volcaniclásticos y carbonatados. Flores (2003) redefinió la formación al incluir los miembros: Loma Danta, Cerco de Piedra y Zapotal.

2.1.6.1. Miembro Zapotal

El miembro Zapotal se encontraba asociado a la Formación Brito (Dengo, 1962; Rivier, 1983) hasta que Astorga (1987) la redefinió. Litológicamente, es una secuencia de alternancias de calcilutitas, calcarenitas, tobas finas y tobas (Rivier, 1983). Flores (2003) describió espesores con dimensiones mayores a los 2000 m y estratificaciones decimétricas a centimétricas.

En 1983, Rivier, a partir de dataciones paleontológicas, estimó una edad para el Miembro Zapotal entre el Paleoceno Inferior y el Eoceno Inferior. La génesis del Miembro la asoció a una secuencia turbidítica distal.

2.1.7. Depósitos no consolidados del Cuaternario

Los depósitos del cuaternario se asocian con morfologías de abanicos aluviales, terrazas aluviales, abanicos aluviales y son depósitos de arcillas, arenas y limos poco consolidados.

Los depósitos de arenas y limos son producto de humedales y terrenos pantanosos que, en la actualidad, se encuentran relativamente secos. Denyer y Arias (1993) mencionan que los depósitos del Cuaternario pueden alcanzar espesores de hasta 70 m y están afectados fuertemente por el tectonismo.

Padilla (2016), a través de ensayos tipo SPT (*Standard Penetration Test)* de recuperación de núcleo, obtuvo que el espesor de los cuerpos de arcillas es de 1,5 m, que son depósitos lenticulares y que son poco homogéneos.

Denyer *et al.* (2014) plantean que a causa de una constante erosión muchos depósitos aluviales se encuentran cubiertos constantemente por depósitos de sedimentos finos asociados con materiales francoarcillosos.

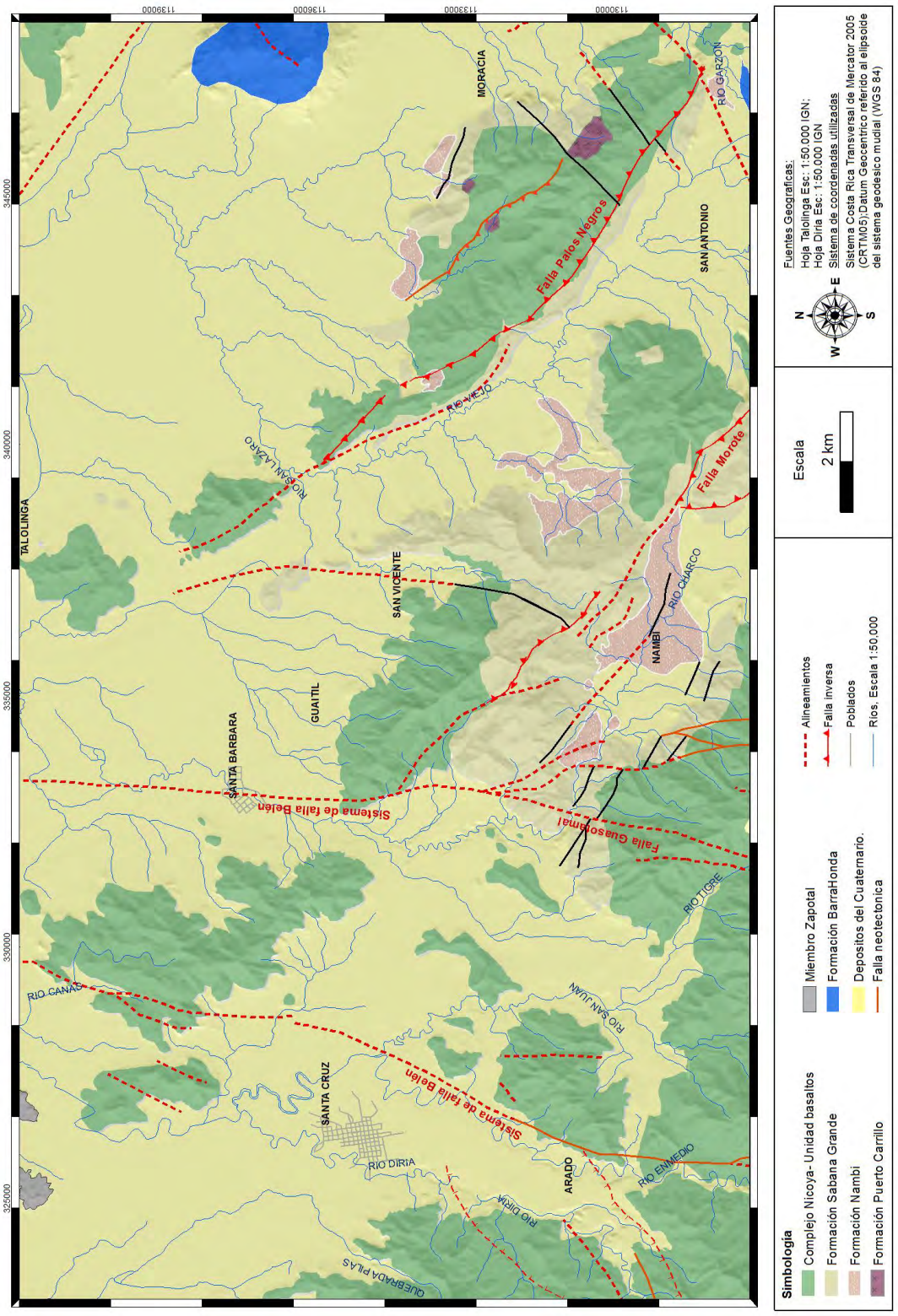


Figura 2.1. Mapa geológico regional de la zona de estudio

Fuente: tomado de Denyer *et al.* (2014).

2.2. Marco estructural

Whattam y Stern (2015) mencionan que el origen de la Península de Nicoya está relacionado con una serie de eventos como la subducción de la placa Cocos, los esfuerzos horizontales-oblicuos de las placas y la interacción de un pulso del manto lo suficientemente grande con una litosfera oceánica densa, fría y antigua.

En el Terciario, debido a procesos de convergencia, las rocas del Complejo de Nicoya se elevaron desde el lecho marino hasta aguas más someras (Vannucchi, Scholl, Meschede y Mcdougall-Reid, 2001) y, actualmente, la región se encuentra influenciada por la subducción de las placas Cocos y Caribe.

Demets (2001) estimó que la subducción de las placas Cocos-Caribe, es en dirección noreste a una velocidad de 7 mm por año y las morfologías en la región exhiben un mayor control estructural por parte de los procesos acrecionales, que por los procesos erosivos en la trinchera (Vannuchi *et al.*, 2001).

En cuanto al neotectonismo de la península de Nicoya Montero y Denyer (2011) y Denyer *et al.* (2014) demuestran que existe un arreglo de dos dominios para las fallas:

- El primer dominio consiste en fallas con un movimiento traslacional, con rumbo norte-sur y están localizadas al noroeste y en el centro de la Península de Nicoya. Las fallas que conforman este primer grupo son los Sistemas de fallas Los Chanchos y Belén y las fallas Carmona Juan de León, Lepanto y Miramar (Figura 2.2).
- El segundo dominio se localiza al sur de la Península de Nicoya y tiene un arreglo de fallas predominado por movimientos tipo siniestrales y dextrales, con desplazamientos que indican una traslación al norte y en menor grado al este de la Península (Denyer *et al.*, 2014) (Figura 2.2).

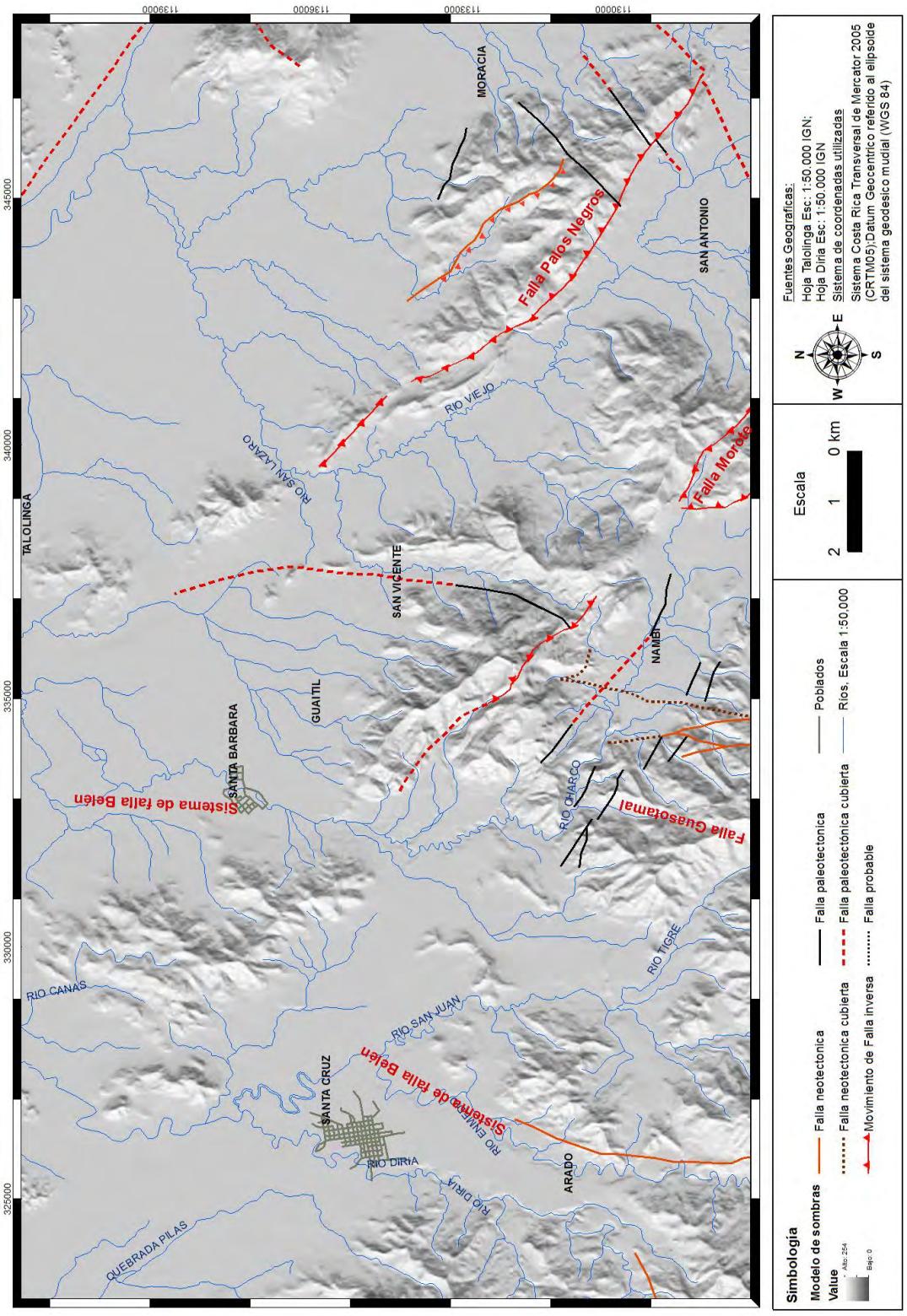


Figura 2.2. Mapa estructural de la zona de estudio

Fuente: Denyer *et al. (*2014).

Capítulo III. Marco teórico

3.1. Generalidades de las arcillas

Etimológicamente, la palabra arcilla se deriva del latín *argilla* y se refiere a cualquier material compuesto por minerales arcillosos, naturales y terrestres (Kogel, Trivendi, Barker y Krukowski, 2006).

Las arcillas pueden provenir de una gran variedad de rocas y pueden depositarse en casi cualquier ambiente y durante cualquier periodo geológico (Guilbert y Parks, 2007). Por esto, se pueden encontrar en: glaciares, suelos, aluviones, en lodos orgánicos, en las lutitas, en los esquistos y en las argelitas (Kogel *et al.*, 2006).

En las zonas en las que se acumulan las arcillas, se forman estructuras de desecación que, a través del tiempo, abren paso a la aparición de surcos y cárcavas. Son también producto de los movimientos de tierras por corrientes de lodos (Viers, 1974).

3.1.1. Proceso de acumulación de las arcillas

La manera en la que se acumulan las arcillas es en relieves cóncavos asociados con conos de deyección torrencial y reciben el nombre de *formas construidas*, debido a que el nuevo material sedimentario que se acumula no destruye el sustrato original (Viers, 1974).

Thomas (1974) describió el ciclo de acumulación de los suelos a partir de los principios de biostasia y rexistasia. Ambos términos están asociados al intervalo de tiempo que actúa un agente erosivo sobre un paisaje, al periodo de desarrollo de los suelos y a la renovación de la cobertura erosiva. Cuanto mayor sea el intervalo de tiempo en el que un suelo permanece estable con poca erosión, mayor es la evolución del suelo y cuanto más evolucionado el suelo, mayor es el contenido de arcillas de este (Besoain, 1985).

3.1.2. Depósitos de arcillas

Dresch (1953) y Ruhe (1956) indican que para estudiar un depósito arcilloso es importante considerar la región climatológica. Esto debido a que los agentes de erosión que operan sobre el paisaje (como las lluvias o vientos) son diferentes en regiones intertropicales, tropicales, templadas y glaciales. En cada región, la manera en que se lleva a cabo el proceso de acumulación de suelos y la evolución posterior de estos es distinta. Además, el tipo de depósito de las arcillas puede variar, según la región climatológica (Besoain, 1985).

En los trópicos, las zonas de pendientes menores a 1 grado tienen mantos de detritos transportados (los suelos) que pueden alcanzar espesores promedios de 2 m y se forman los depósitos de lateritas (suelos friables, de colores rojos y con contenidos de arcillas del 30 % al 40 %). Las lateritas se caracterizan por estar asociadas con fuertes lluvias, buen drenaje y a buenas condiciones de oxigenación y, según los minerales en los que esté enriquecido el suelo, pueden presentar tonos blancos o amarillos (Thomas, 1974).

La génesis de las arcillas se debe al proceso de hidrólisis y son los minerales de mayor dureza los que permiten la formación de nuevos minerales. En ambientes tropicales la formación de gibbsita o bohemita es lo más común, no obstante, también se obtiene como producto caolinita, que es un indicador de la presencia de aguas freáticas por debajo de los suelos y de que es un suelo rico en arcillas. Esto debido a que cuanto mayor sea el efecto de la hidrólisis en los suelos, mayor es la evolución del suelo y mayor es el contenido de caolinita en los suelos (Chamley, 1989; Besoain, 1985).

Los depósitos de detritos finos en las regiones tropicales tienen forma de capas o surcos y el espesor de los sedimentos es mayor en los terrenos de coluvios o abanicos aluviales (Thomas, 1974). Otra zona común para la acumulación de materias finas es el lecho de inundación de los ríos (Viers, 1968).

3.1.3. Composición de las arcillas

Los componentes arcillosos más comunes en las arcillas se agrupan en 8 grandes grupos, el de la Caolinita-Serpentinita, el de las Pirofilita-Talco, el de las Esmectitas, el de las Vermiculitas, el de las Micas, el de las Micas frágiles, el de la Clorita y el de la Palygorskita-Sepiolita (Chamley, 1989). No obstante, las arcillas también presentan otros minerales como feldespatos, micas, óxidos de hierro, partículas libres (como arenas o cascajos) y materia orgánica (Norton, 1979).

Los componentes no arcillosos presentes en las arcillas pueden ser de origen primario o secundario. Los minerales de origen primario son el cuarzo, la cristobalita, los feldespatos, las micas y otros minerales ferromagnesianos (Rhodes, 1973). Los minerales secundarios son más suaves como la gibbsita, las calcitas, los yesos, óxidos de titanio y los óxidos de hierro como la hematita, goetita y la lepidota (Chamley, 1989; Besoain, 1985).

La materia orgánica (MO) contenida en los suelos se presenta a manera de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, enzimas, restos de animales y plantas (Guilbert y Park, 2007).

3.1.3.1. Estructuras de las arcillas y su relación con la mineralogía de la arcilla

Las arcillas son silicatos de aluminio hidratados, conformados por cationes y aniones en acomodos tetrahedrales, octaedrales, dioctraedrales y trioctadrales (Moore y Reynolds, 1989), que permiten la foliación casi perfecta de las arcillas y su forma plana.

Con base en la manera en la que se acomodan los planos y la interacción de cargas entre las capas e intercapa (es el espacio entre las capas de carga neutra o positiva o negativa y es donde actúa con mayor intensidad el proceso de hidrólisis) las arcillas se clasifican en distintas familias o grupos mineralógicos. Cada grupo tiene diferentes propiedades y usos, algunos son útiles para los procesos de lavado, otros para perforación, producción de cerámicas ornamentales, cerámicas de refracción, otros para estética, etc.

Para fabricar cerámicas ornamentales, se utilizan 3 grupos mineralógicos: el de la Caolinita-Serpentina, el de la Vermiculita y el de las Esmécticas (Rhodes, 1973; Kogel *et al.*, 2006; Moore y Reynolds, 1989).

3.1.3.1.1. Grupo Caolinita – Serpentina

Es un grupo caracterizado por estar compuesto por planos simples de dioctraedros (Caolinitas) y trioctaedros (Serpentinitas). El grupo de la Caolinita es el más utilizado en la producción de cerámicas y se puede generar como producto de erosión o por la alteración hidrotermal de otros silicatos de aluminio. Entre las especies que lo conforman están la caolinita, la dickita, la nacrita y la halloysita. En la calificación de Nelson (1960) las Caolinitas son las arcillas comerciales tipo *ballclay* y *fireclay*.

Nicaragua, Panamá, Costa Rica y Guatemala son países en los que sus condiciones climáticas (clima tropical húmedo-seco) son ideales para la formación de arcillas de la familia de los Caolines, sin embargo, debido a las altas tasas erosivas es más común ver arcillas de la familia de la Vermiculita. A raíz de esto, en Costa Rica no hay inversión por parte de grandes empresas cerámicas para la extracción de arcillas y se prefiere utilizar las rocas y suelos ricos en caolín para la producción de vidrio que es más rentable (Kogel *et al.*, 2006). Las serpentinas son moléculas arcillosas de mayor tamaño como asbestos sedosos, cristobalitas, lizarditas y la antigorita (Moore y Reynolds, 1997).

3.1.3.1.2. Grupo de la Vermiculita

Este grupo se encuentra compuesto por planos dioctahedrales y trioctahedrales. Su génesis se atribuye a la alteración de biotitas, flogopitas o cloritas y es común encontrarla en suelos de áreas húmedas asociada con micas octaédricas (Moore y Reynolds, 1997).

3.1.3.1.3. Grupo de las Esmécticas

Este grupo se encuentra compuesto por planos dioctahedrales y

trioctahedrales, sus especies mineralógicas pueden expandirse o contraerse sin alterar la integridad cristalográfica (Moore y Reynolds, 1997), lo que hace que sean buenos productores de piezas cerámicas. Las Esmécticas están relacionadas con procesos de meteorización de rocas volcánicas y a partir de la alteración de caolinitas y cloritas (Moore y Reynolds, 1997). Se asocian a las arcillas comerciales tipo *fireclay.*

3.1.4. Pedología y su relación con la roca madre

Para los estudios pedológicos es muy importante correlacionar los suelos con su material parental, debido a la influencia de la mineralogía de la roca sobre las propiedades físicas y químicas de la regolita y los suelos que se generaron a partir de una roca madre (Gray, 2016).

Rocas básicas como los gabros y los basaltos dan paso a la formación de suelos del orden vertisoles y gleysoles (ricos en arcillas). Las rocas con bajo contenido de sílice forman suelos tipo alfisoles y molisoles (con un 30 % de arcilla) y rocas muy silíceas generan entisoles e inceptisoles (suelos en su mayoría arenosos) (Gray, 2015).

Otro factor que se debe considerar son las estructuras como diaclasas o fracturas, debido a que la presencia de planos de debilidad permite una mayor acción por parte del agua y se acelera el proceso de hidrólisis en las rocas y en los suelos, lo que facilita la formación de arcillas. Esto debido a que el proceso de hidrólisis y los efectos del clima desarrollan un papel vital en la formación de arcillas (Gray, 2011; Morales, 2005).

3.1.5. Arcillas en la cerámica

Definir las arcillas desde la cerámica es esencial para este trabajo de investigación. Para Norton (1979) y Nelson (1960), las arcillas son la espina dorsal de la cerámica y es todo mineral fino que puede amasarse, moldearse y calentarse a diferentes temperaturas.

Sin embargo, la principal definición es la de Nelson (1960), quien clasificó a

las arcillas con fines cerámicos con base en el depósito, de acuerdo con si estas han sido depositadas *in situ* (arcillas residuales) o si han sido transportadas grandes distancias (sedimentarias). Las arcillas residuales presentan una menor plasticidad que las depositadas lejos del lugar de origen. Una clasificación más amplia de las arcillas se hace con base en su contenido mineralógico, color y usos.

3.1.5.1. Tipos de arcillas cerámicas

Para Nelson (1960) el color de la arcilla, la mineralogía y el producto cerámico generado, sirven para clasificar las arcillas en 7 tipos: los caolines, las bolas de arcilla (*ballclay*), las arcillas para ladrillos rojos (*fireclay*), las arcillas compactas, las bentonitas, las *earthenware* y tipo *slip-clay*. Las tipo caolín y las *ballclay* son las más utilizadas para la producción cerámica de vasijas.

3.1.5.1.1. Los caolines

El caolín es una de las representaciones más puras de la arcilla (Nelson, 1960), es de color blanco y puede secarse a altas temperaturas, por lo que es un elemento esencial para la creación de vasijas y porcelanas blancas. Además, se usa como ingrediente en la masa arcillosa, para incrementar la dureza, dar un tono blanco a la pieza o aumentar la temperatura de cocción.

3.1.5.1.2. Las bolas de arcillas (ball clay)

Son arcillas de color gris a gris oscuro y, generalmente, son producto de los procesos de meteorización de rocas tipo graníticas, de acuerdo con Nelson (1960). Su principal característica es que contienen una importante cantidad de materia orgánica, debido a de los ácidos orgánicos y de los gases presentes en su ambiente de depositación.

Las bolas de arcillas pueden usarse en la masa sin agregar elementos extras e incrementan la plasticidad de la masa arcillosa. Tienen elementos de la familia del caolín y vermiculita y soporta altas temperaturas de cocción (1000°C). Su plasticidad varía con base en procesos de hidrólisis y fermentación en los suelos (Nelson, 1960).

3.1.5.1.3. Arcillas rojas (fireclay)

Estas arcillas se utilizan en la elaboración de ladrillos, tejas, etc. No existe una plasticidad definida para este tipo de arcillas, pero se caracterizan por tener óxidos de hierro y otros elementos férreos. Presentan un color terracota o rojo característico al cocinarse.

3.1.5.1.4. Earthenware clays

Es un grupo de arcillas con bajas temperaturas de cocción, entre los 900 y 1200 °C. Presentan un alto contenido de óxidos de hierro que reducen la temperatura de cocción de la arcilla. Se asocian con las arcillas prehistóricas en los depósitos de esquistos que, el pasar del tiempo, por las reacciones químicas y debido a la presión han dado paso a la formación de las arcillas tipo *earthenware*. El cuerpo cerámico producido presenta una porosidad del 5 al 15 % y una vez cocidas desarrollan una película blancuzca en su exterior.

3.1.5.1.5. Slip clay

Este grupo de arcillas se caracteriza porque pueden usarse para cerámica sin añadiduras de aditivos químicos conocidos como *fluxes*. Los *fluxes* son sustancias que se usan en la cerámica para disminuir el punto de ebullición de los principales componentes de la arcilla, generalmente, el sílice y el aluminio, junto al plomo, sodio, potasio, litio, calcio, magnesio, bario, zinc and manganeso, son los más utilizados. Estas arcillas pueden ser de colores azules y blancos, pero los tonos más comunes son terracota, rojo y café oscuro (Nelson, 1960).

3.1.6. Propiedades de las arcillas utilizadas en la creación de cerámicas

Las principales características de las arcillas que se consideran en la alfarería son la plasticidad, la resistencia del material, el grado de encogimiento, la temperatura de vitrificación y la porosidad de la masa arcillosa (Rhodes, 1973; Norton, 1979).

3.1.6.1. Plasticidad

Según Rhodes (1973) la plasticidad es la habilidad de la arcilla para sufrir deformación en cualquier dirección sin que suceda la ruptura. El ceramista es capaz de determinar el grado de plasticidad de una masa arcillosa al pinchar, al estripar o enrolar la masa. Los principales factores para definir la plasticidad de una masa arcillosa son el tamaño grano y la forma de los minerales arcillosos que contiene o por medio de pruebas físicas o mecánicas.

El método de Attenberg se utiliza para conocer cuánta cantidad de agua puede soportar el suelo antes de pasar del estado sólido al plástico y, finalmente, a un estado líquido. Es la mejor forma para medir plasticidad en los laboratorios y permite definir, con buenos resultados, el estado plástico en los suelos (Morales, 2005).

Para fines cerámicos también es necesario conocer la plasticidad que se obtendrá en el extruido (pasta trabajada) y la pasta sin trabajar (Messeguer *et al.*, 2009) por medio la técnica de generación de biscochos y de pruebas de cocción, para medir el grado de pandeo o deformación.

3.1.6.2. Resistencia del material

Según Rhodes (1973), esta propiedad considera la forma de los granos, el tamaño de estos y el grado de hidratación de la fracción más fina del material. Se mide a partir de los esfuerzos que resiste la arcilla como masa y como producto cocido, las arcillas densas con un contenido de finos elevado tienden a mostrar una mejor resistencia. Esta se relaciona también a un proceso de cocción adecuado y a un bajo contenido de materia orgánica en la masa arcillosa.

3.1.6.3. Encogimiento

Para Morales (2005), es la capacidad de secado y encogimiento que presenta el material en el momento de la cocción y determina la tendencia de la pieza a pandearse o a romperse durante el proceso de secado. El grado de encogimiento de una pieza ideal debe ser inferior al 15 %, si es mayor la pieza se considera inadecuada para elaborar cerámicas. Las piezas con un porcentaje de encogimiento

inferior al 11 % pueden utilizarse con fines ornamentales.

3.1.6.4. Vitrificación

De acuerdo con Morales (2005), la vitrificación es un proceso gradual de fusión de los constituyentes del material arcilloso, en el que se da un incremento en el contenido de líquidos en la muestra conforme la temperatura aumenta. Con el vidrio formándose como producto del proceso de fusión y enfriamiento de las moléculas del material.

3.1.6.5. Porosidad

Para Rhodes (1973), la porosidad de la arcilla es una propiedad relacionada con la dureza y la temperatura de vitrificación de la cerámica. Esta también determina el grado de *engobe* (absorción) del esmalte que se le aplica a la pieza cerámica, piezas muy porosas (>55 %) son fáciles de pintar y piezas de baja porosidad (<35 %) presentan dificultades para mantener el tinte o esmalte que se le ha aplicado (Norton, 1979).

De esta manera, las piezas muy porosas sirven para elaborar tejas, ladrillos y refractarios. En cambio, las piezas de menor porosidad son aptas para producir alfarería vitrificada y son las arcillas oscuras la que se emplean comúnmente en la generación de piezas ornamentales.

3.2. Difractometría de Rayos-X (DRX)

Es el método primario para la identificación y el análisis de arcillas. Moore y Reynolds (1997); Rhodes (1973) y Norton (1970) mencionan la importancia de utilizar la difracción de rayos X (DRX) para la descripción mineralógica de arcillas.

El método puede utilizarse de dos maneras: para analizar la difracción de rayos X en sustancias policristalinas y para analizar monocristales. En la difracción de rayos X para polvos policristalinos, se comparan los patrones que se obtienen de una muestra desconocida con patrones ya conocidos en la literatura (Moore y Reynolds, 1997).

Para el caso de las arcillas, esta metodología permite identificar el grupo de arcillas al que pertenece una muestra desconocida. Se trata de una gráfica que mide el ángulo de incidencia y el ángulo reflejado en un plano cristalográfico, en el que 2Ɵ (theta) es el ángulo creado entre el rayo transmitido y el rayo reflejado. Lo que se obtiene es una gráfica de tiempo *vs.* 2Ɵ y, para su interpretación, se comparan los picos obtenidos con los gráficos ya conocidos de los grupos mineralógicos de las arcillas.

3.3. Fotointerpretación

Para Torres (2002) la fotointerpretación vertical es una herramienta de análisis que permite determinar información, a partir de las texturas, colores, orientación, profundidad y tonos diferenciados en las fotos aéreas de un área específica. Las fotografías se interpretan como pares y ofrecen información fisiográfica de un terreno como la distancia horizontal, la distancia vertical, pendientes, buzamientos de las capas de suelo o roca y alineamientos.

Se utilizan los aparatos estereoscópicos, debido a que la visión binocular de pares fotográficos proporciona una impresión perfecta de la estructura del objeto observado y también brinda una gran variedad de detalles sutiles que no pueden observarse en fotografías aisladas (Torres, 2002).

3.4. Muestreo por bloques

El muestreo por bloques es una técnica de análisis que facilita dividir una gran área geográfica en sectores, lo que funciona para determinar cuáles son los bloques en los que se llevarán a cabo labores de inspección y muestreo y cuáles bloques se pueden descartar (Makisimov *et al.*, 1973) (Figura 3.1).

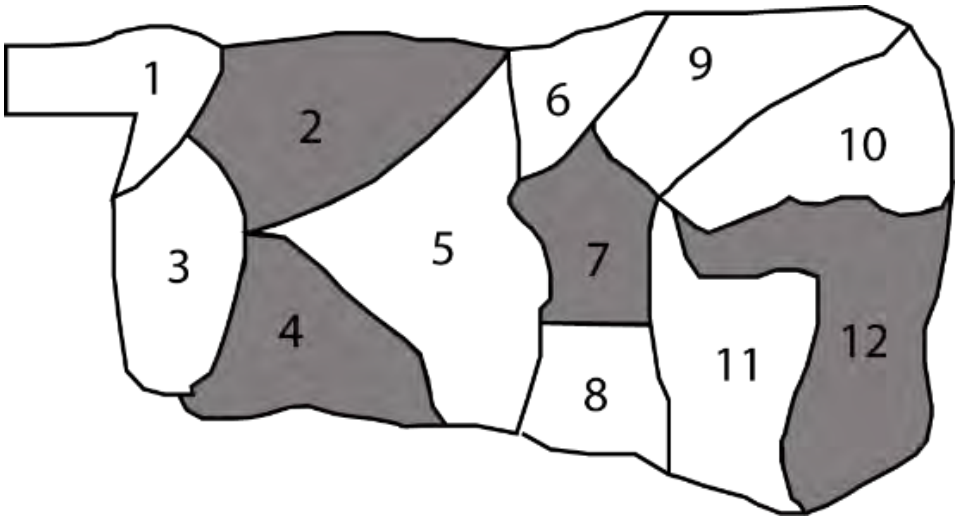


Figura 3.1. Un bloque que ha sido dividido en 12 subbloques diferentes

En este ejemplo se descartan los bloques de color grisáceo y se trabajan los bloques blancos.

Para el presente proyecto se utiliza la percepción remota y datos históricos para dividir el área de estudio en bloques. En este trabajo se descartan los bloques compuestos por bosques secundario, zonas montañosas y cuerpos acuosos.

3.5. Imágenes multiespectrales e imágenes satelitales

Una imagen satelital es diferente a una fotografía común, pues desde un satélite se capta, a intervalos regulares, la radiación que proviene de la superficie (Basterra, 2011).

Una imagen multiespectral es cuando la imagen digital, creada a través de la detección de los datos de radiación del terreno, debe registrar más de una banda del espectro electromagnético en una misma imagen. Las bandas contienen diferente tipo de información sobre la radiación del terreno y diferentes combinaciones, lo que permite conocer distintas características del terreno. En la Geología las combinaciones más comunes son el falso color y el infrarrojo, la primera es adecuada para identificar alteraciones y litologías. La segunda combinación es más utilizada para agricultura y para delimitar tipos de suelos (Torres, 2002).

3.6. Sello de denominación de origen tipo Chorotega

El sello de denominación de origen (DO) es un distintivo que garantiza la originalidad de un producto, pues les otorga una mayor reputación y calidad frente a otros productos similares (Salas y Hernández, 2012).

En un sello de denominación se despliegan las condiciones que enmarcan los fundamentos técnicos de carácter geográfico, histórico, antropológico, sociológico y arqueológico. Además de los estudios físico-químicos, que sustentan las vinculaciones geográficas y las prácticas humanas en torno a los productos que se pretenden proteger.

Las características propias de la cerámica Chorotega hacen que el producto sea merecedor de la protección del sello y garantizan su mantenimiento y fortalecimiento como marca local e intelectual. La evidencia arqueológica indica que en las Llanuras del Tempisque y de la Península de Nicoya se han generado artesanías desde hace 2500 años (Guerrero y Blanco, 1987).

Las artesanías tipo Cerámica Chorotega elaboradas tradicionalmente en las comunidades de Guaitil de Santa Cruz y San Vicente de Nicoya, de la provincia de Guanacaste, están protegidas por un sello de denominación de Origen Chorotega. Abarca las comunidad y suelos cercanos del área delimitada por los creadores del sello (Figura 3.2) y para que los productos reciban la protección intelectual del sello, deben cumplir con las condiciones descritas por Salas y Hernández (2012).

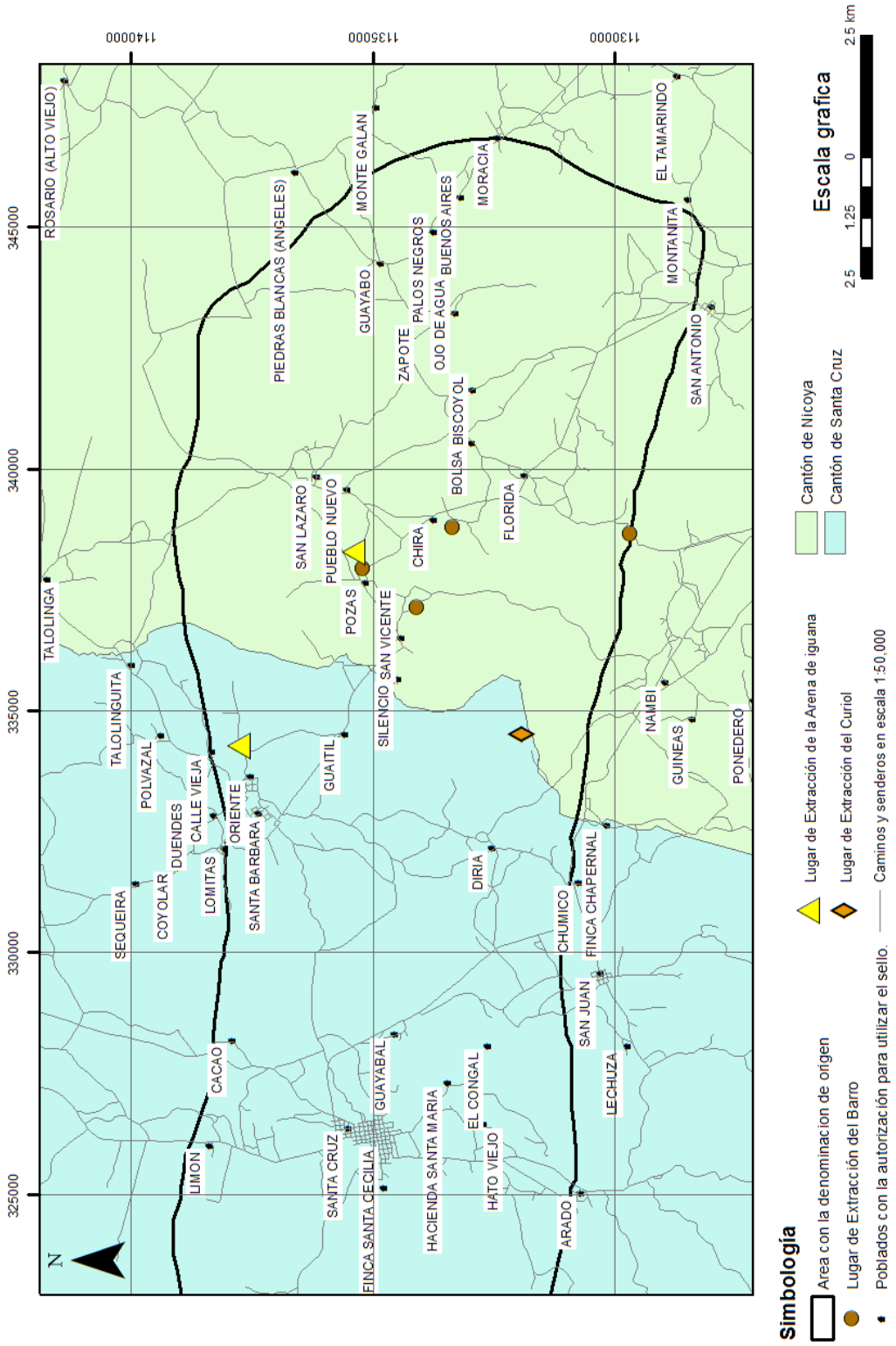


Figura 3.2. Mapa del área de la denominación de origen

Fuente: tomado de Salas *et al.* (2015).

Las condiciones que deben tener los productos protegidos por la denominación son (Salas y Hernández 2012):

- Ser decorado con trazos geométricos.
- Las piezas deben pintarse con la técnica del curiol, que son pigmentos naturales extraídos de las rocas del cerro San Vicente.
- Las materias primas deben ser barros (de colores grises, bayo y negros), la "*Arena de Iguana"* y debe pintarse con los tintes naturales llamados curioles, que son de color blanco, *fanta* (color naranja), amarillo, rojo y negro. El término *Bayo* ha sido acuñado por los artesanos para referirse a los barros con tonos intermedios entre rojo y marrón. El color de curiol blanco se utiliza para colocar la base de color de las piezas cerámicas y una vez que se coloca, se hornea nuevamente.
- Las piezas desarrolladas deben ser zoomorfas (forma animal) y solo se pueden animales autóctonos de la zona (tucanes, mariposas, monos, tortugas, iguanas y sapos), con adornos geométricos y deben utilizar únicamente los colores aprobados en el sello de denominación. En la figura 3.3 se muestran algunas piezas que cumplen con el sello de denominación de origen.
- Únicamente las comunidades que se ubican en los alrededores de los límites del sello (Figura 3.2) son las que pueden autentificar sus cerámicas bajo el nombre de cerámica Chorotega y los talleres donde se fabriquen deben estar empadronados debidamente en la cooperativa Coopesanguai.

3.6.1. Condición socioeconómica de los artesanos que tienen sus productos protegidos bajo el Sello de Denominación de Origen

La población de las comunidades alfareras protegidas por el Sello de Denominación se estima en unas 600 familias y de estas 200 son las que actualmente se dedican a la alfarería (Pizarro y Marchena, 2009), con un total de 74

talleres de cerámicas, de estos solo 22 se encuentran afiliados a Coopesanguai. Del total de artesanos que existen, un 39 % son mujeres y un 61 % son hombres, con edades promedio de 40 años, mínimas de 11 y máximas de 80.

El grado de educación de muchos de los artesanos es bajo y solo 12,7 % de la población ha terminado la secundaria. La principal razón que tienen muchos de los alfareros para iniciar en la actividad es obtener ingresos y llevar el sustento al hogar, mientras que una minoría entró en la actividad debido al futuro que le ven a esta actividad. Aunque este grupo minoritario al ver la pobre organización de la misma comunidad y la dificultad que representa adquirir las materias primas (sobre todo la arcilla) decide abandonar esta ruta y opta por continuar con sus estudios o por dedicarse a otras actividades (Rubí, 2011).

Por lo tanto, a pesar de que cerca del 33,33 % de los habitantes de la zona se dedican a la producción alfarera, los principales problemas que experimentan son una baja escolaridad, un problema con las técnicas de mercado, un turismo inestable. Además, por la falta de recursos se cometen actos de vandalismo para conseguir la materia prima arcillosa, esto genera que se incrementen las riñas vecinales (Rubí, 2011).

Por esto, se comprende que la dimensión socioeconómica de las personas y familias que se dedican a la producción de alfarerías esté entre pobreza y pobreza extrema (Rubí, 2011). Las familias que presentan la mejor condición (2,8 %) es porque se dedican a otras actividades o porque han complementado su economía con otros trabajos.

Figura 3.3. A) Comal Zoomorfo, B) Figura Zoomorfa, C) Vasija de agua, D) Vasija pequeña, E) Replica indígena, F) Vasija alta y G) Ocarina Zoomorfa.

3.6.1.1. Aspectos que deben considerar los artesanos, previo a la adquisición de un terreno.

En primer lugar, los artesanos han confeccionado cerámicas con técnicas heredadas de tiempos precolombinos pero las piezas que se producen no siempre tienen la misma calidad e inclusive hay piezas que pueden quedar crudas, debido a que los hornos presentan desperfectos como exceso de óxidos en su interior (hollín) y a que las piezas se cocinan por medio de leña a una temperatura de cocción desconocida (Figura 3.4b). Por lo tanto, además, hay una carencia de tecnología para la elaboración de alfarerías y el mayor elemento tecnológico es un torno que fabricaron los mismos artesanos (Figura 3.4a).

Otro aspecto que se debe considerar es que los artesanos no tienen una receta replicable, ni conocen cuanta cantidad de materia prima necesitan en el momento de generar cerámica y lo que se ha popularizado entre estos, para tratar de que las piezas tengan la misma calidad, es que en los 22 talleres se utiliza una relación aproximada de ⅔ de arcilla y ⅓ de “Arena de Iguana”. Además, por medio de conversatorios y visitas a los diferentes talleres, se reveló que la cantidad aproximada de arcilla que necesitan mensualmente es de 635 kg y, con base en la relación de la mezcla, esto implicaría 317 kg de arena de iguana. No obstante, lo mejor sería que los mismos artesanos decidan utilizar solo una relación y que también comiencen a medir con básculas o pesas la cantidad exacta que extraen de arcillas al mes. Esto es importante, debido a que en el momento de calcular las reservas, estas variaciones pueden generar problemas.

Figura 3.4. (A) Torno artesanal; (B) Horno de Barro; (C) Lugar donde almacenan las arcillas, la pila llena puede durar 3 meses.

Capítulo IV. Resultados

4.1. Geología local y descripción de los suelos

Los suelos son lateríticos, plásticos, están asociados a procesos de denudación, aluvionamiento y acumulación. Son tierras de color gris, negro, café, rojo y beige.

Las rocas, por otra parte, están dividas en 5 grupos: los basaltos del Complejo de Nicoya, las areniscas silificadas de Sabana Grande, las turbiditas de Nambí, las rocas carbonatadas de Barrahonda y los depósitos lateríticos del Cuaternario.

Los mejores afloramientos de rocas se presentan en las zonas montañosas, lejos de las morfologías de origen aluvial y son afloramientos escasos o están muy meteorizados. En las zonas con pendientes menores a los 2° hay grandes depósitos de arcillas y se encuentran clastos de rocas como basaltos y areniscas silificadas.

4.2. Geomorfología

La zona de estudio está compuesta principalmente por morfologías de origen denudacional y fluvial. El relieve muestra un control estructural con alineamientos en dirección norte-noreste, que coinciden con las fallas neotectónicas descritas en Montero y Denyer (2011).

Se identificaron formas denudacionales a manera de cerros con laderas de pendientes de 5° hasta los 25° de inclinación, también coluvios, montículos y peniplanicies. Formas de producto fluvial como fajas de meandros el en río Diriá, las llanuras de inundación de los ríos Diriá y Tempisque y los abanicos aluviales. Además, se delimitaron formas originadas por esfuerzos estructurales a modo de cerros testigos, cerros residuales y lineamientos y el cerro kárstico en Piedras Blancas de la Formación Barrahonda (Figura 4.1).

4.2.1. Formas de origen denudacional

Las formas denudacionales son producto de la erosión laminar y fluvial. Están asociadas con rocas principalmente del Complejo de Nicoya y a la erosión de rocas de las formaciones Sabana Grande, Nambí y del Miembro Zapotal. Estas morfologías predominan hacia el suroeste del área de estudio y son los cerros denudacionales del Complejo de Nicoya y los cerros testigos. Abarcan un 39,3 % del área de estudio (figura 4.1).

4.2.1.1. Cerros denudacionales de la Península de Nicoya (D1)

Esta unidad conforma la mayor parte de la Península de Nicoya. Presenta un relieve constituido por laderas fuertes (20-30°) y por divisorias angostas con valles angostos.

Estos cerros denudacionales están compuestos principalmente por las rocas del complejo de Nicoya, en especial basaltos asociados con pedernales y radiolaritas. Madrigal y Rojas (1980) mencionan que son formas producto de una denudación extrema. En las faldas de estos cerros denudacionales se han depositado coluvios de dimensiones menores a un 1 km^2.

Este tipo de relieve presenta dificultades para la extracción de material arcilloso por cuestión de acceso y los depósitos de finos son escasos o han sido transportados a las partes más planas y bajas de los cerros.

4.2.1.2. Cerros testigos (D2)

Estos cerros son pequeños, menores a los 0,6 km^2 y se encuentran sobre la planicie aluvial del río Cañas y la llanura aluvial del río Tempisque (Figura 4.1). La principal característica es que están compuestos por rocas distintas a las del Complejo, son empinados y algunos están prolongados en sentido noroeste. Su origen debe ser en el Terciario (Madrigal y Rojas, 1980).

Es común encontrar coluvios de detritos en sus faldas, producto de la erosión de las laderas. Los coluvios son de pequeña extensión, con alturas menores a los 65 msnm, abarcan áreas menores a 1 km^2 y están compuestos por clastos

redondeados y angulosos.

Además de los cerros testigos también se identifican Peniplanicies (D6) y montículos (D5). Se consideran montículos los relieves menores a los 40 msnm, pueden tener recursos de cuerpos arcillosos en las zonas de menor pendiente (<5°). En las visitas hechas a las zonas de coluvios, peniplanicies y montículos, se determinó por medio de la prueba de Pfefferkorn que los suelos son arenosos, con poca plasticidad y de colores rojizos y marrones.

4.2.2. Formas sedimentarias de origen fluvial

Las formas de sedimentación fluvial deben su origen al relleno efectuado por ríos o quebradas. En el área de estudio abarcan las zonas con pendientes menores a los 2° y son las formas más propensas a la acumulación de material fino. Comprenden un 46,4 % del área de estudio (figura 4.1).

Por medio de la fotointerpretación se identificaron abanicos aluviales, llanuras de inundación y elementos como zonas de descarga de meandros, meandros abandonados y barras longitudinales.

4.2.2.1. Abanicos aluviales (F3)

Son morfologías comunes en la provincia de Guanacaste y son depósitos de ladera generados a partir de la escorrentía, por cambios en la inclinación del cono de deyección. Los mejores ejemplos de estas formas están en las cercanías del Valle del Tempisque.

Los abanicos presentes en el área de estudio presentan diferentes tamaños, desde conos de deyección con dimensiones que van de los 8 a 6 km^2, correspondientes a los subbloques 6-A, 2-B, 3-B, 4-B, 6-B y 5-C, en las cercanías de las comunidades de San Vicente y Nambí, hasta conos con áreas menores a 1 km^2 en los alrededores de Talolinga y Santa Bárbara.

En cuanto al proceso de acumulación de arcillas, los abanicos aluviales son los relieves más favorables para la concentración de sedimentos finos y se estima una mayor acumulación de finos en las partes más distales de la morfología. Por

esto, se traza la zona que comprenden las partes más bajas de los abanicos aluviales, como principales puntos de muestreo de suelos.

4.2.2.2. Llanura del río Tempisque y llanura del río Diriá

La llanura del río Tempisque tiene una extensión de 60 km^2 y elevaciones cercanas a los 50 msnm.

La llanura del río Diriá se localiza en los alrededores de Santa Cruz y es un relleno aluvial conformado por aportes de los ríos Diriá y Cañas. Es una superficie plana con pequeñas quebradas intermitentes y en las partes de mayor inclinación, la planicie presenta pequeños conos gravitacionales.

Ambas llanuras aluviales abarcan un total de 168 km^2 del área de estudio, son zonas propensas a inundaciones y presentan 2 m de espesor de material limoso o francolimoso a manera de lentes o en canales de estiaje.

4.2.3. Formas de origen estructural

Son producto de los esfuerzos locales y regionales sobre los estratos, litofacies y suelos. En la zona de estudio se identificaron 3 estructuras básicas, entre estas, los alineamientos descritos en Madrigal y Rojas (1980); Denyer *et al*. (2014), en dirección noroeste (figura 2.2), que se alinean con la quebrada Danta y el río El Viejo (figura 4.1).

Se identificaron cerros aislados que indican disección por parte de alguna falla, sea nueva o antigua (S1). Mesas estructurales (S2), que son zonas donde los esfuerzos locales crean una estructura a manera de meseta o silla en la cima de los cerros. Abarcan un 9 % del área de estudio (figura 4.1).

Los alineamientos son en dirección noroeste, ejemplo de esto son los frentes montañosos de los cerros denudacionales y de la dirección en la que están acomodados los ríos San Juan, Tigre, San Lázaro y El Viejo. En cuanto a las mesas estructurales, estas se presentan principalmente en la cima del cerro Cacao, al norte de Santa Cruz.

Estos relieves carecen de importancia en cuanto a la acumulación de arcillas, pero son evidencias del control tectónico local de la región en la que se han depositado los sedimentos más recientes.

4.2.4. Formas Kársticas

En este grupo se identifica el cerro Piedras Blancas, en la zona de Los Ángeles al noreste de la comunidad de Moracia. Es un cerro aislado en el margen oeste del río Tempisque, tiene una dimensión de 5 km^2 y presenta una altura máxima de 123 msnm. Se asocia con la formación Barrahonda y los suelos encontrados en sus bases son suelos muy plásticos de colores oscuros. Ocupa un 1,6 % del área estudiada (figura 4.1).

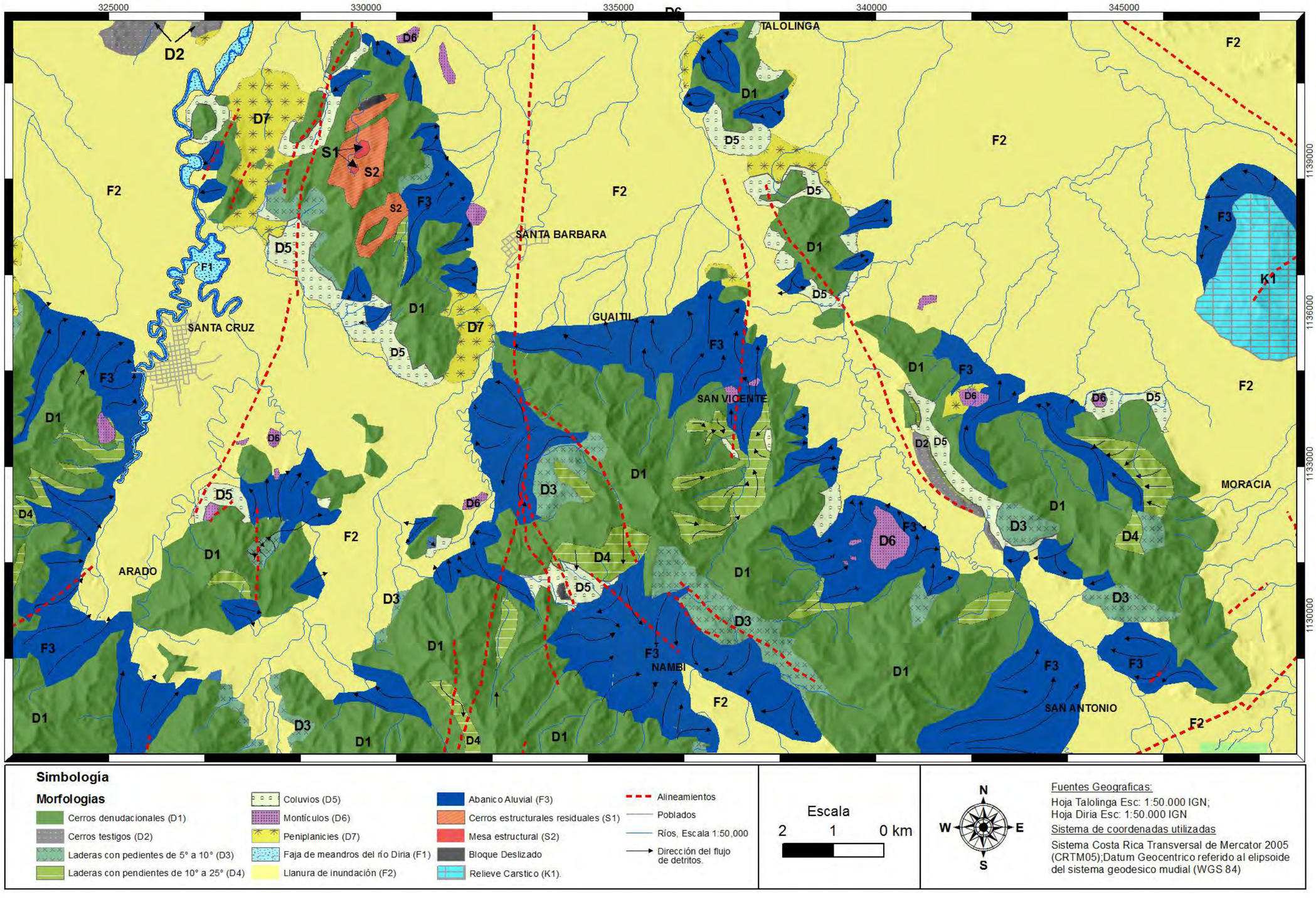


Figura 4.1. Mapa con las morfologías identificadas con base en las fotografías del Proyecto TERRA 1995

4.3. Geología local

A partir de las visitas de campo y de la descripción petrográfica, se obtuvo que en la zona hay basaltos ricos en augitas y plagioclasas ceolitizadas, areniscas, lutitas y al oeste de Moracia afloran las calizas de la Formación Barrahonda. Las areniscas son de colores grises y marrones, están silicificadas y son ricas en minerales de zeolita. Las lutitas encontradas tienen bajo contenido de clastos.

4.3.1. Basaltos del Complejo de Nicoya

La unidad aflora principalmente en el sector sur-suroeste del área de estudio, en las comunidades de Arado, Limón, San Antonio, Santa Bárbara, Finca Santa Cecilia y Santa Cruz. En la parte central aflora en los cerros cercanos a los pueblos de Biscoyal, Bolsa, Cacao, Talolinga, San Lázaro y al oeste de San Antonio (ver figura 4.2).

Son rocas de color marrón y rojizo en las laderas de mayor pendiente de los cerros denudacionales y se caracterizan por ser rocas meteorizadas abundantemente cortadas por diaclasas rellenas de cristales de ceolitas y cuarzo. Se trata de coladas de lavas de basálticas, basaltos en almohadilla y brechas.

Macroscópicamente, son basaltos de textura fanerítica porfirítica, compuestos por plagioclasas alteradas e hinchadas de colores amarillos y blancos de tamaños de 1 mm x 1 mm y augitas. Es común que los basaltos se encuentren meteorizados de forma esferoidal, la parte más sana soporta de 5 a 8 golpes de la piqueta y las capas más alteradas son menos resistentes (muchas no resisten ni un golpe de la piqueta de campo). Son rocas con alteraciones de hematita y también presentan minerales como magnetita y limonita (ver figura 4.2).

No se observan contactos con alguna otra formación, pues muchos afloramientos se encuentran cubiertos por suelos lateríticos y los afloramientos son escasos o están muy meteorizados. Es común encontrar bloques de basaltos y brechas basálticas de dimensiones de 50 cm hasta 1 m de espesor en los depósitos de coluvios. El mejor afloramiento de la zona de estudio se encuentra en el corte de

la carretera camino a Santa Cruz por la ruta 21.

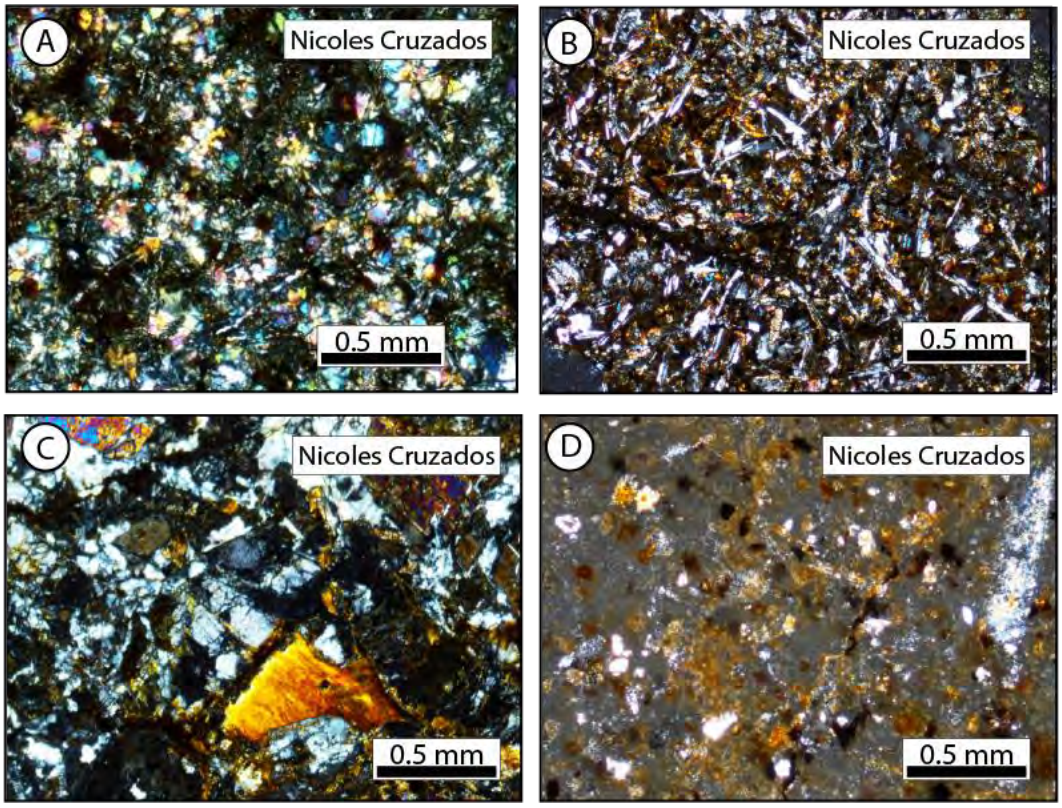


Figura 4.2. Microfotografía de los basaltos de la Unidad de Basaltos (A). Basalto (B), Basalto (C) y (D) Basaltos alterados con presencia de augita y plagioclasa.

Microscópicamente, son rocas de textura hipocristalina-hipidiomorfica porfirítica, con fenocristales de plagioclasa (20 %-40 %) y augita (5 %-25 %) en una matriz compuesta por microcristales de augita y plagioclasa (35 %-60 %). La matriz es de textura intergranular compuesta por microlitos de plagioclasa y augita, además, presenta vetas rellenas por ceolitas y calcita.

La mayoría las rocas que afloran están muy alteradas y algunas, por petrografía, solo se identifican como rocas ígneas de la familia de basaltos (ver figura 4.3).

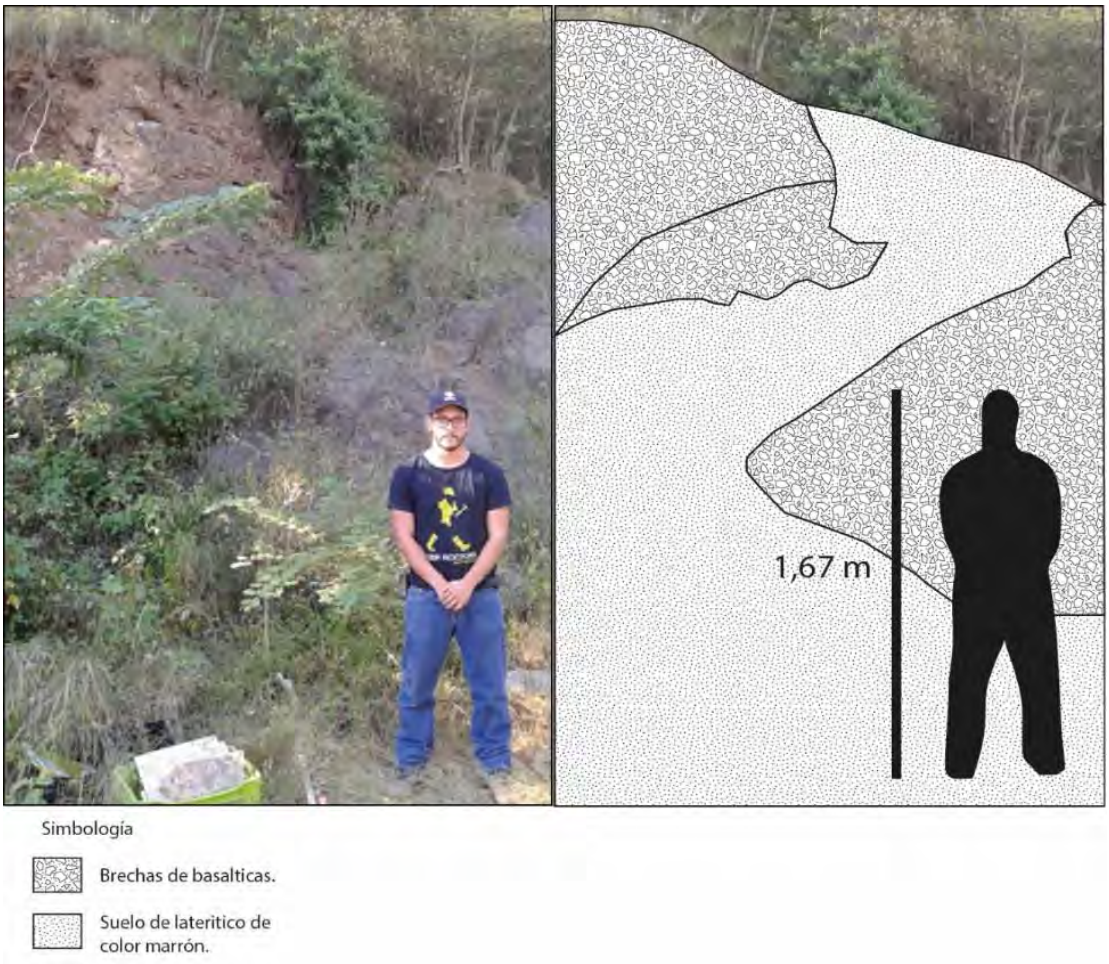


Figura 4.3. Brecha basáltica con cristales alterados de tonalidades blancas y amarillas

4.3.2. Formación Sabana Grande

Son areniscas finas y medias de coloraciones blanco-amarillas y grises, en algunos casos se encuentran intercaladas por areniscas medias y finas. Las rocas expuestas presentan plegamiento y son de texturas finas.

Los afloramientos presentan estratos de arenisca con espesores menores a 50 cm y lutitas de color gris y blanco (ver figura 4.4). Los mejores afloramientos se ubican en las cercanías del cerro San Vicente y de la fila de cerros denudaciones al este de la comunidad de La Florida. Otros están en las cercanías de la Florida, Moracia, Pozas, Chira y Palos Negros.

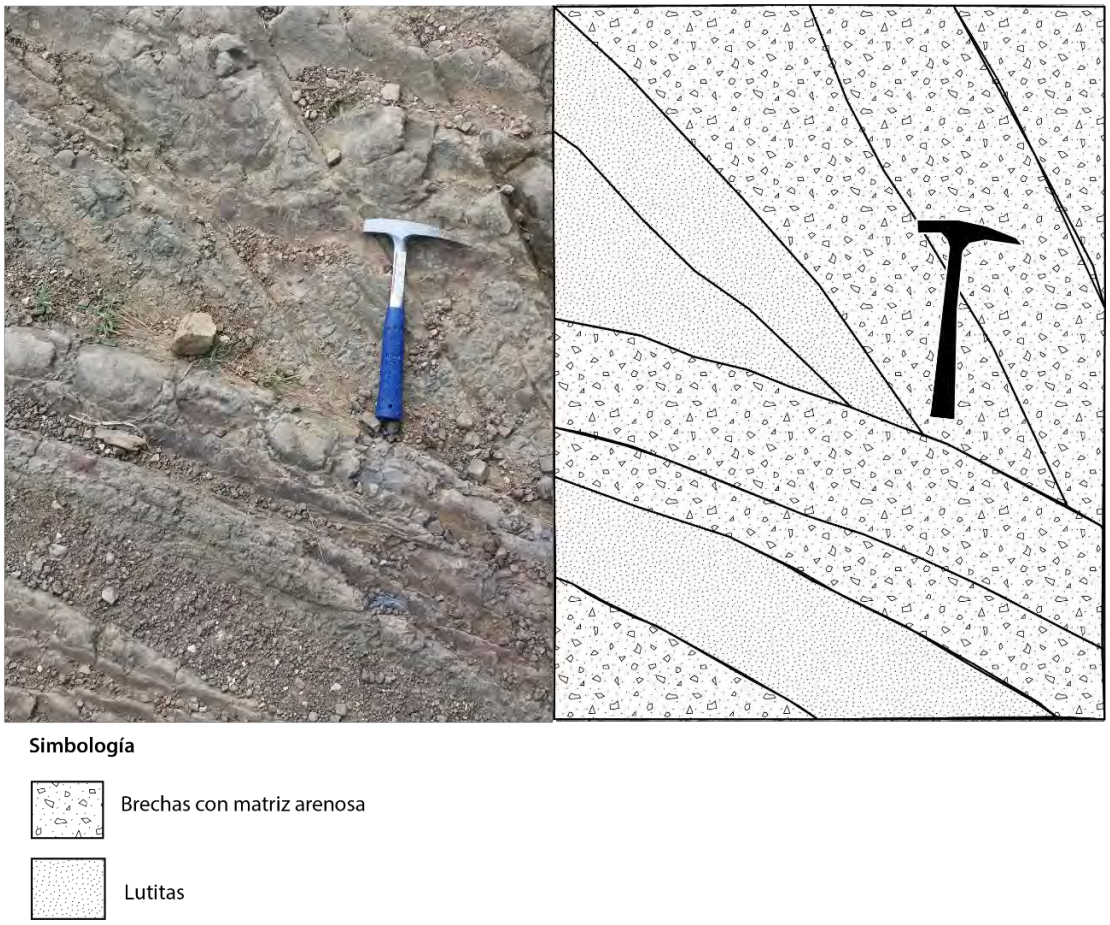


Figura 4.4. Lutitas y areniscas finas intercaladas, ambas presentan tonalidades grises y alta meteorización

Microscópicamente, tienen una matriz de arcillas y limos (25%) y presentan minerales de alteración como cloritas (0 %-5 %), óxidos de hierro (0 % - 25 %), ceolitas (0 % - 10 %), clastos líticos (35 % - 40 %) y en general, la matriz presenta un proceso de silicificación. Son rocas muy variadas que van de lutitas clásticas, lodolitas a grawvacas líticas silificadas (ver figura 4.5). Son rocas silíceas y en muchos casos se han hecho tajos clandestinos para el relleno de carreteras.

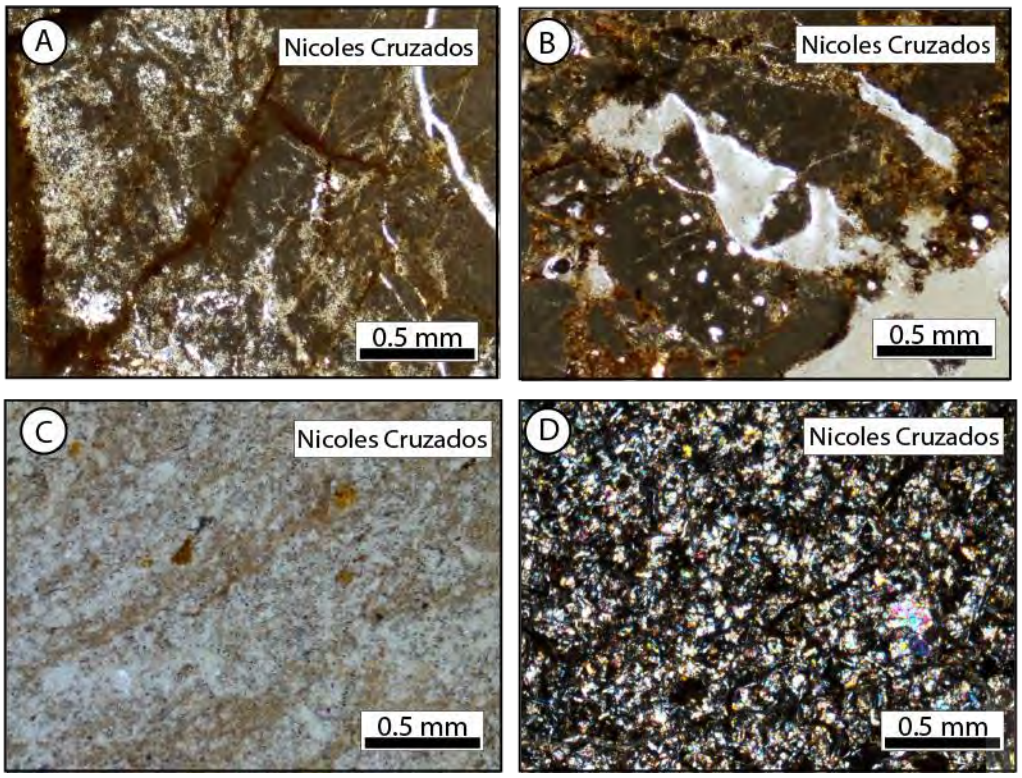


Figura 4.5. Microfotografía de (A) Grawvaca Silícea (B), litoarenita con ceolita (C), Lodolita silícea (D), Arenisca feldespática

En el oeste del cerro San Vicente, aflora una arenisca gris de pátina color beige con cristales de cuarzo color blanco. Microscópicamente, es una roca de grano fino, tiene componentes tamaño arena tipo cuarzos y zeolitas. Es enriquecida en sílice que, al estudiarse de manera microscópica, permite identificar 4 generaciones de cuarzos (Figura 4.6). Esta roca es una clara evidencia del alto enriquecimiento de sílice que presentan las rocas de la formación Sabana Grande.

Además, en esta formación es donde afloran las rocas de las que se obtiene el curiol (Figura 4.7) y donde se extrae la muestra Curiol, una lodolita silificada con óxidos de hierro (Apéndice 4), que al alterarse genera un aura de colores naranja, rojo y blanco, que son los tintes que utilizan los artesanos para pintar las piezas.

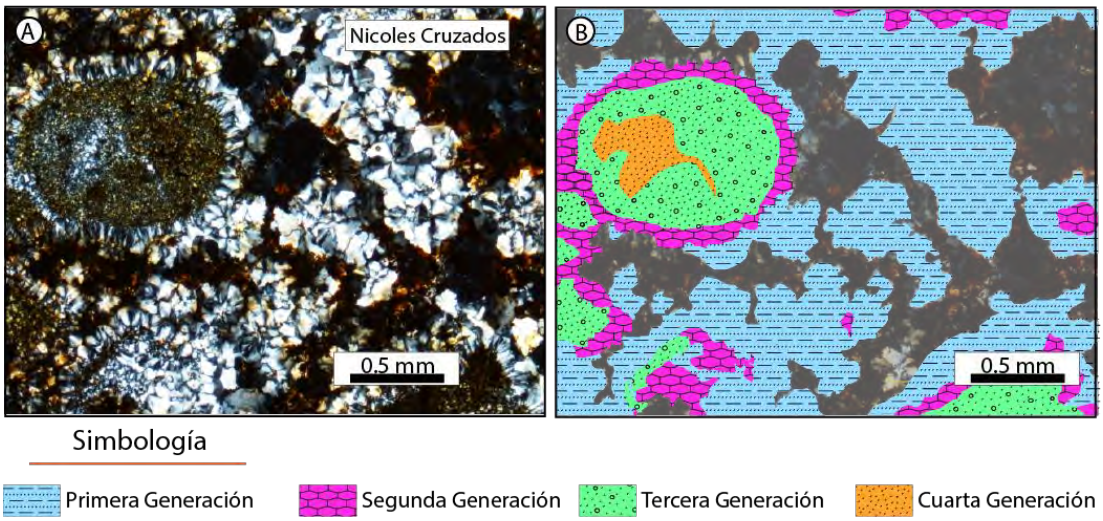


Figura 4.6. Microfotografía de una geoda en una roca silificada de la unidad Sabana Grande.

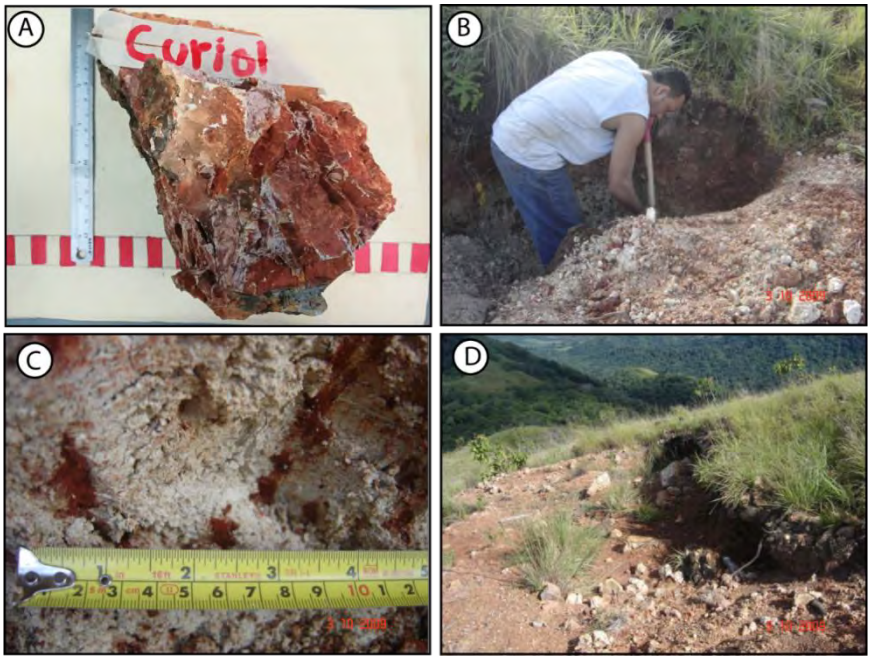


Figura 4.7. (A) Fotografía de la muestra Curiol; (B) Un artesano extrayendo el material curiol; (C) Fotografía sobre cómo se ve el material curiol en el campo; (D) Zona de extracción del material curiol.

4.3.3. Calcarenitas de la Formación Nambí

Son calcarenitas de color blanco o blanco grisáceo y presentan diferentes grados de meteorización.

Los afloramientos son muy escasos y presentan una leve reacción al HCl y se ubican en las laderas al suroeste de la comunidad de La Florida de San Antonio, Zapote de Moracia y de San Antonio.

Microscópicamente, son rocas volcaniclásticas, en las que los clastos presentan augitas (<5%) y plagioclasas alteradas a ceolitas (<15%). Se identifican minerales de augitas de dimensiones entre los 2 mm x 1,7 mm y minerales producto de la alteración de la roca como las calcitas, presenta una matriz rica en arcillas y limos (>25%) y un porcentaje de clastos que va de 25% al 30% del volumen de la roca. Además, hay rocas tipo lodolita arenosas, con clastos de dimensiones de 2 mm x 1,7 mm (50 %) y minerales de calcita (<10 %) (Ver figura 4.8).

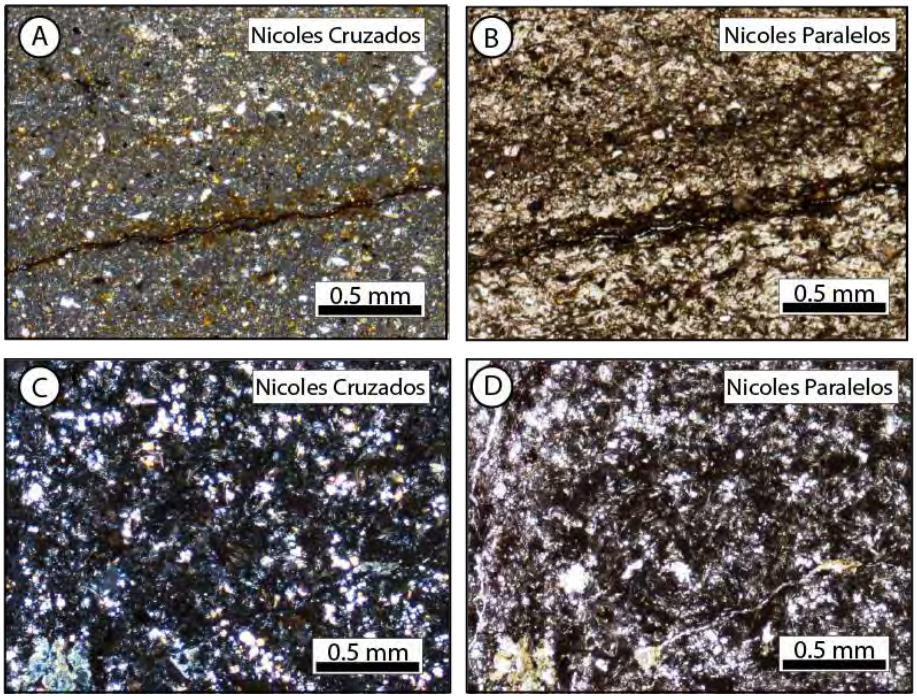


Figura 4.8. Microfotografías de (A) Lodolita Arenosa en Nícoles cruzados (B), Lodolita Arenosa en nicoles paralelos (C), Lutita clástica en Nícoles cruzados (D), Lutita clástica en Nícoles paralelos

4.3.4. Calizas de la Formación Barrahonda

Estas calizas afloran hacia el sector este de la zona de estudio y se presentan principalmente en el Cerro Los Ángeles, en el poblado de Piedras Blancas. Macroscópicamente, son calizas de color blanco, cristalinas, densas y no presentan clastos entre su matriz.

Microscópicamente, son rocas carbonatadas de grano fino con microfósiles rodeados en una matriz fina de cemento calcáreo. La matriz es rica en mícrita y esparita. Entre los elementos aloquímicos están los bentónicos (5,4 %), gasterópodos (4,7 %) en una matriz rica en algas y restos de fósiles (47 %) (Figura 4.9).

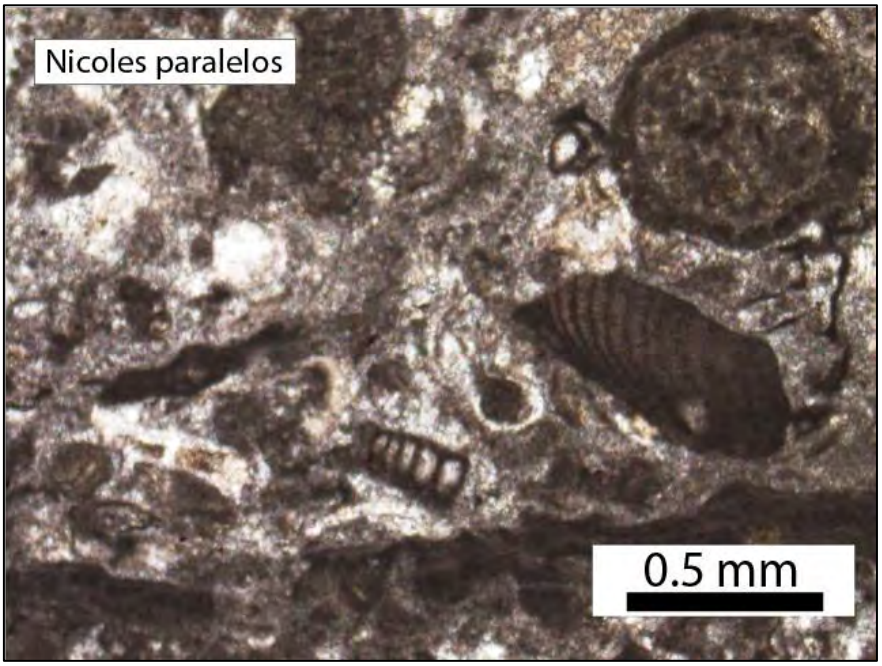


Figura 4.9. Sección delgada de las calizas de la Unidad de Calizas de Barrahonda

4.3.5. Depósitos del cuaternario

Los sedimentos fluviales recientes del Cuaternario son los depósitos que actualmente utilizan los vecinos de las comunidades de San Vicente y Guaitil para la extracción de arcilla. No obstante, en las cercanías del cerro San Vicente, los suelos arcillosos que se emplean para elaborar cerámicas están cerca de un

afloramiento de 3 m x 1,5 m de areniscas con un buzamiento de N36W/21° (Ver figura 4.10).

Son terrenos de topografía cóncava, bajas pendientes y se asocian con morfologías de coluvios, abanicos aluviales y llanuras de inundación de la cuenca Cañas y Tempisque. Cubren cerca del 46 % del área de estudio.

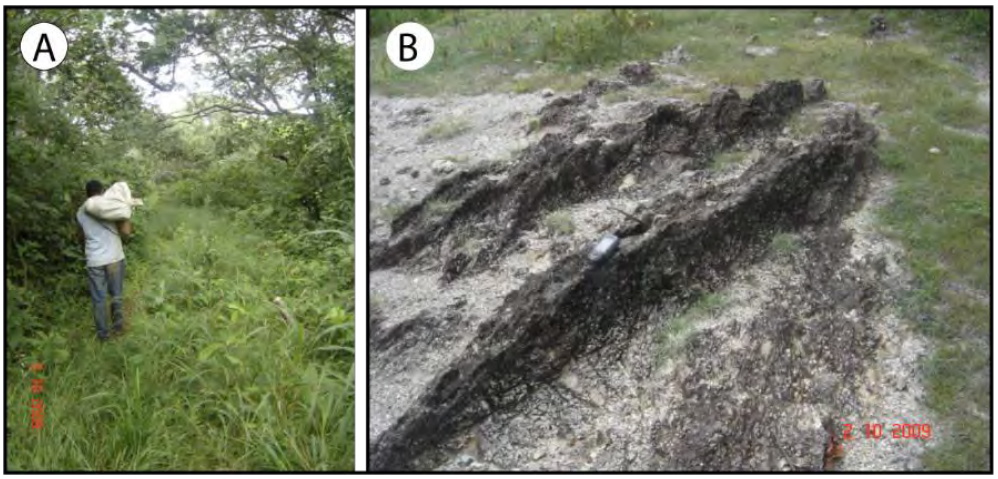


Figura 4.10. (A). Fotografía de un artesano transportando la arcilla para procesarse; (B) Afloramiento de areniscas de color grisáceo en el subbloque 3B.

De los depósitos del Cuaternario es de donde los artesanos obtienen lo que se conoce como "*Arena de Iguana"*, que son sedimentos arenosos de colores cafés y tienen un contenido de cuarzos tamaño arena del 45 %. Estos se extraen a partir de agujeros a profundidades de 10 cm a 30 cm. El nombre de este material se debe a que los vecinos lo asocian a *nidos de animales pequeños*, sobre todo iguanas (ver figura 4.11).

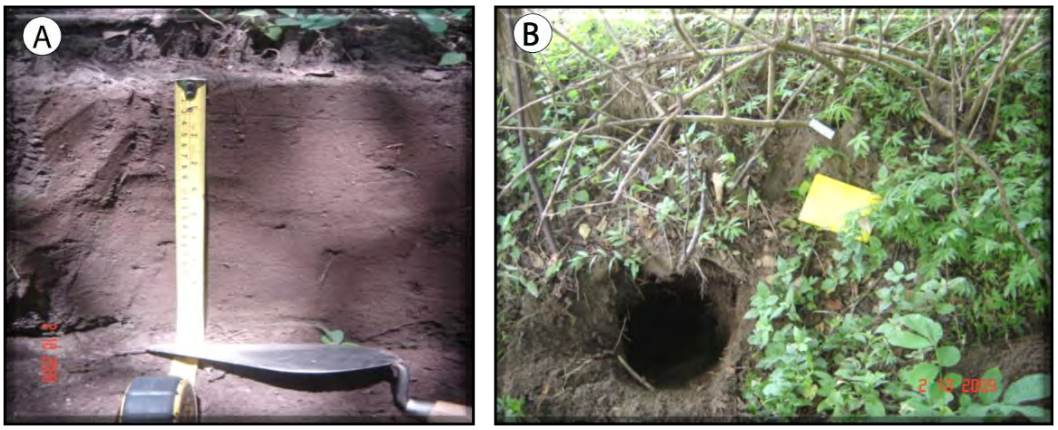


Figura 4.11. (A). Típico corte de donde extraen la "*Arena de iguana"*; (B) Hoyo de donde los artesanos extraen la "*Arena de iguana",* en las coordenadas CRTM05 1137624 N y 334459 W

Los afloramientos están compuestos por limos y arcillas de colores oscuros, producto de la erosión y meteorización sobre las rocas del Complejo de Nicoya, la Formación Sabana Grande, las calcarenitas de Nambí y las calizas de la formación Barrahonda. En las quebradas y ríos hay espesores de hasta 2 m de suelos arcillosos (ver figura 4.12).

Estos depósitos tienen horizontes con 20 cm de suelos de granulometría media, seguidos de más de 15 a 80 cm de suelos arcillosos-limosos. Es común que se presenten clastos de 1 cm x 1,5 cm hasta mayores a los 5 cm. En el caso de las cercanías al cerro Piedras Blancas, se observan cantos rodados mayores a 1 m.

Es recurrente observar pequeños depósitos lacustres en las zonas de Santa Bárbara, El Rincón, Guaitil, San Vicente Moracia y La Florida, durante todo el año. Un claro indicador de que los suelos mantienen condiciones de saturación a lo largo de casi todas las épocas del año.

Figura 4.12. Terreno en las coordenadas 335693 W y 1134852 N y corresponde a un corte con 2,4 m de espesor de suelos de color marrón

Con la información que se recopiló de las labores de campo, se desarrolló un mapa de afloramientos de las diferentes litologías encontradas en el área de estudio (Figura 4.13).

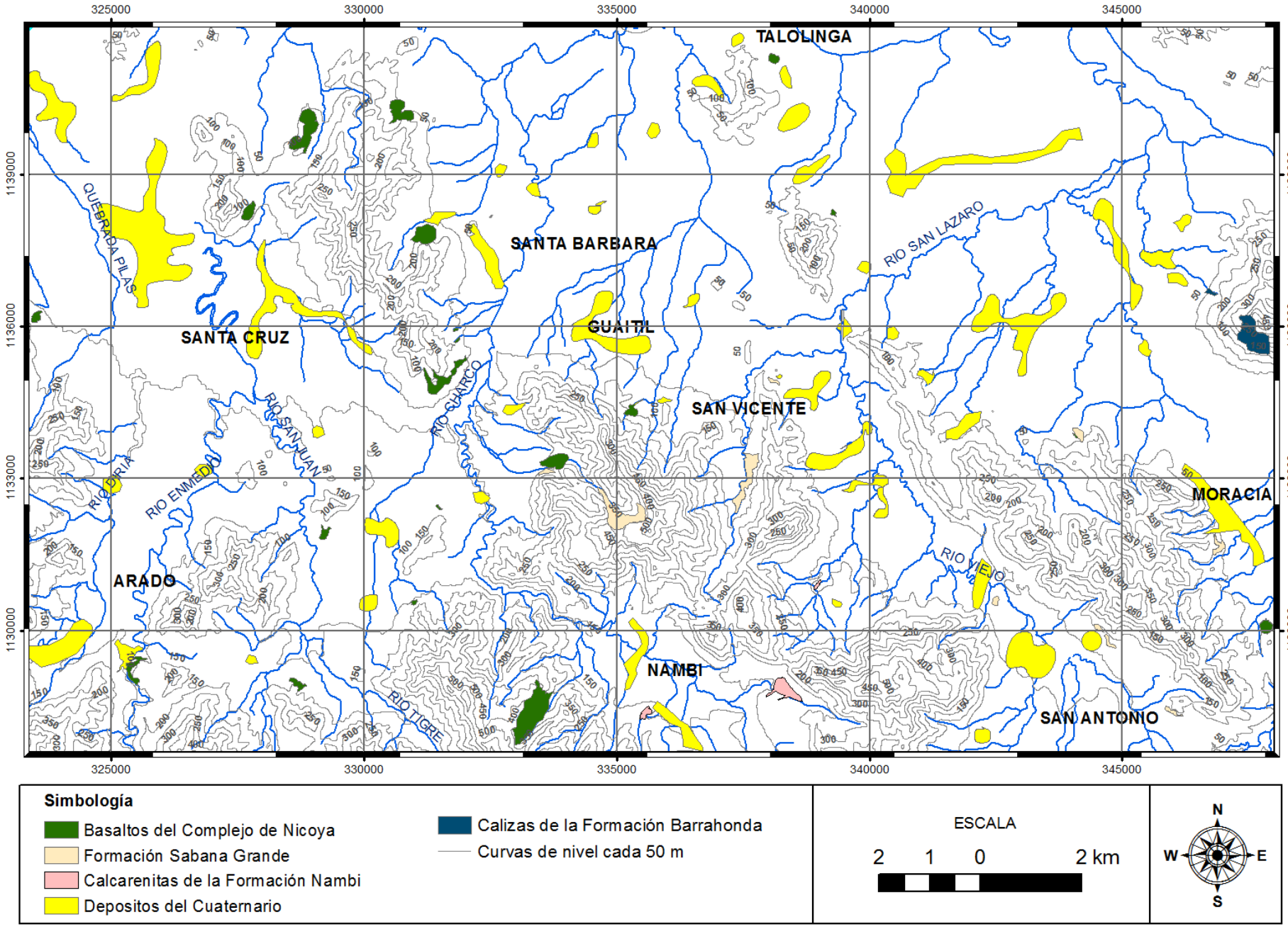


Figura 4.13. Mapa de afloramientos.

4.4. Descripción de los suelos

Son suelos muy cohesivos, de color oscuro, tienen espesores mayores a los 5 m y están sobre la llanura aluvial. Presentan una plasticidad que varía de baja a extremadamente alta (se utilizó el método del bizcocho para diferenciar de manera cualitativa el grado de plasticidad de los suelos), y son de 2 colores principales, bayo y negro. Desde el punto de vista de mecánica de suelos, son suelos limosos de baja y alta plasticidad y arcillas gruesas de alta plasticidad (Apéndice 2). Edafológicamente se relacionan con el orden vertisole y alfisole, producto de la depositación aluvial.

En los agujeros de inspección (figura 4.14 y 4.15) era común observar una secuencia de arenas, limos y arcillas de color gris, negro, café y bayo. Las arcillas de color negro, café y bayo aparecían a profundidades entre los 40 cm y 60 cm. Las arcillas grises, eran comunes en zonas en las que había un nivel freático alto.

Por lo que concierne a la distribución de los suelos, en las partes más cercanas de los cerros están los mayores espesores de limos arenosos del orden alfisole e inceptisole (<1 m) y para las partes más distales de los cerros, dominan los suelos limosos plásticos y arcillas gruesas del orden vertisole, en forma de cuña.

Figura 4.14. Antiguo pozo de extracción de arcillas que se utiliza para describir un corte de suelo y que actualmente es usado como canal de desagüe

Estos depósitos del Cuaternario están asociados con morfologías de topografía suave y a pendientes de baja (<5°) o nula inclinación. Algunos suelos presentan clastos de rocas sedimentarias como calizas, areniscas y lutitas, mientras otros presentan clastos aislados de rocas ígneas e incluso radiolaritas.

Figura 4.15. Agujero utilizado para evaluar los suelos de la zona de estudio, el pozo tiene una profundidad de 90 cm y 1 m de anchura

A continuación, se describen las principales características de los suelos en cada uno de los bloques generados (Figura 4.16).

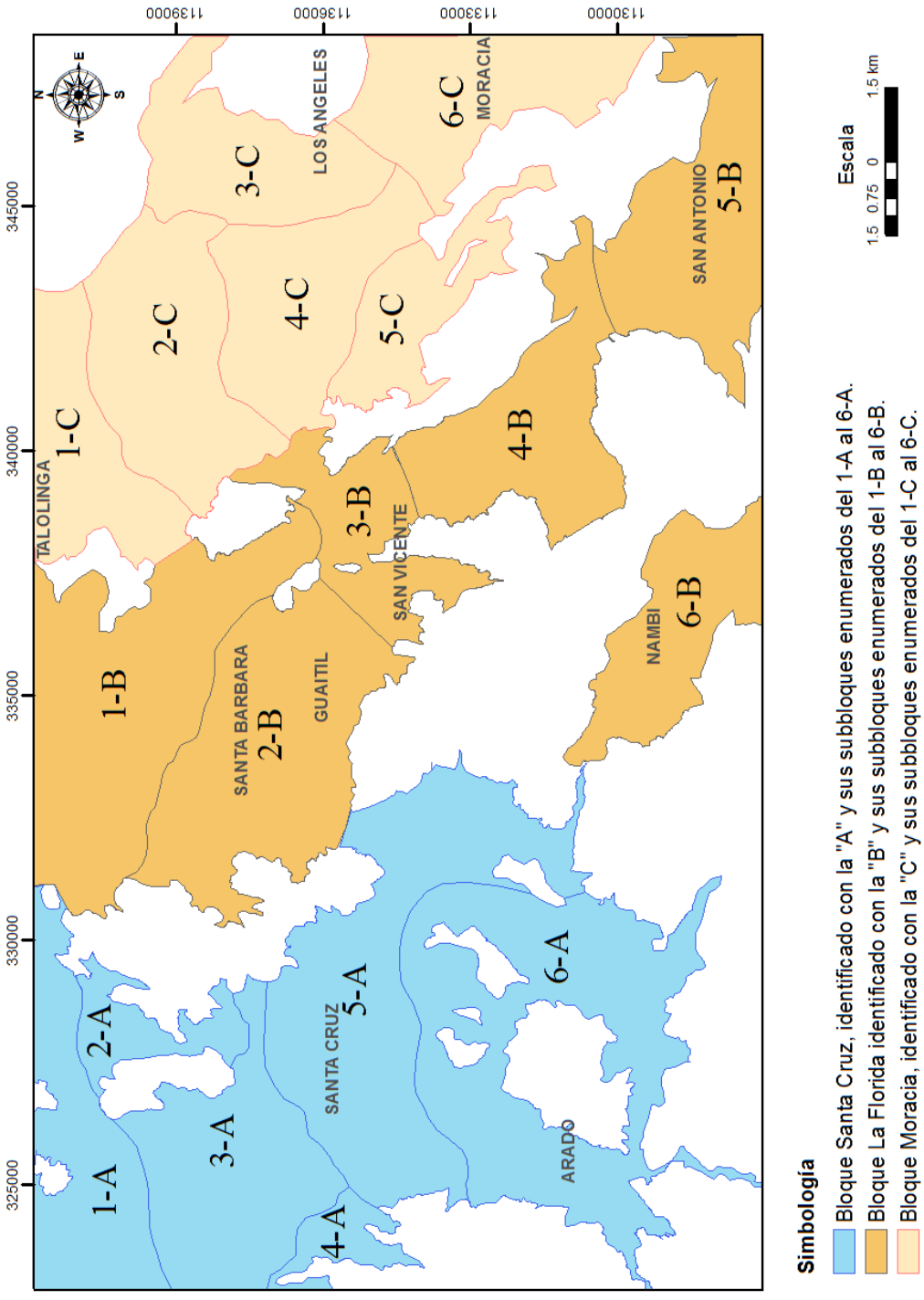


Figura 4.16. Mapa del Área de estudio divida en 3 bloques principales. El bloque Santa Cruz (A) al oeste, el bloque La Florida (B) en la parte central y el bloque Moracia (C). (Apéndice 3)

4.4.1. Características de los suelos en el bloque Santa Cruz (A)

Este bloque se extiende desde Limón, de Guanacaste, hasta 2 km al sur de la comunidad de Santa Cruz. Son suelos de color marrón, negro y rojizos, tienen clastos de tamaños centimétricos de colores marrones y grises.

Son terrenos de topografía plana y son suelos que se utilizan principalmente para el monocultivo, el desarrollo urbano y para la cría de ganado (figura 4.17). Estos suelos se asocian con las rocas del Complejo de Nicoya.

Figura 4.17. Fotografía del subbloque 1-A del Bloque Santa Cruz, se trata de terrenos de baja topografía rodeados por las serranías del Complejo de Nicoya.

Hay suelos de colores rojizo-bayos en dirección a los cerros del Complejo de Nicoya y al sur. Hacia el norte del bloque Santa Cruz, se encuentra una zona de *bajura* que son terrenos muy planos con suelos plásticos de color negro.

Según la memoria histórica de los pobladores, no es común utilizar los suelos de bajura para obtener piezas cerámicas y a pesar de que se han encontrado tiestos enterrados en pequeñas fosas en los alrededores de Santa Cruz (Salas *et al.* 2015), no existen pozos antiguos de extracción de gran relevancia y las piezas encontradas son de baja calidad.

Por lo tanto, este bloque carece de puntos antiguos de extracción, presenta suelos principalmente de colores negros y está dominado por morfologías de la llanura aluvial y las rocas del Complejo de Nicoya.

4.4.2. Características de los suelos en el bloque La Florida (B).

Este bloque abarca las comunidades de San Vicente, Guaitil, Talolinga y La Florida. Las principales características son que presentan la mayor cantidad de hallazgos arqueológicos como antiguas zonas de extracción y tiestos (Salas *et al.*, 2015). En este bloque es donde actualmente los artesanos extraen arcillas para la elaboración de piezas cerámicas (ver figura 4.18).

Son suelos de colores grises, bayos y negro, no obstante, los de color negro aparecen únicamente en los primeros 20 cm del perfil de los suelos, debido al contenido de materia orgánica de este primer horizonte.

En el boque B se llevó a cabo una evaluación de la forma en la que varían las propiedades de los suelos conforme se recolectaron muestras sobre un cono de deyección que se encuentra al este de la comunidad de La Florida, en el subbloque 4B.

Son terrenos de topografía suave y tienen pendientes menores a los 3°, pero hacia la comunidad conocida como el Rincón y sobre la ruta 150, el terreno es más accidentado (ver figura 4.18).

Figura 4.18. Subbloque 3-B del Bloque San Vicente, se trata de terrenos de baja topografía rodeados cerros del Complejo de Nicoya y los cerros de Sabana Grande.

Por ende, el bloque La Florida es el principal bloque para obtener datos de los suelos y está compuesto por suelos de color gris y bayo.

4.4.3. Características de los suelos en el bloque Moracia (C)

Son terrenos planos, de baja topografía y hacia el norte de Piedras Blancas se localizan los humedales de Puerto Humo (Figura 4.19). Hacia el este, en el subbloque 3-C, se encuentra el cerro en el que afloran las Calizas de Barrahonda y en el oeste aparecen los cerros aislados y las serranías compuestas por las unidades rocosas del Complejo de Nicoya y Sabana Grande. El bloque Moracia es el sector que presenta la menor cantidad de pendientes y son escasas las morfologías de abanicos aluviales (Figura 4.1).

Por medio del método del bizcocho se determina que son suelos muy plásticos de color negro y se han hallado tiestos en pequeñas huacas, pero, en general, autores como Salas *et al.* (2015) estiman que la zona no pudo haber sido para la extracción de arcillas, debido a que son suelos limosos y ricos en materia orgánica.

Si se utilizaron estas arcillas negras pudo ser solo para desarrollar comales y ornamentos de cocinas. Algunos artesanos han experimentado con estos suelos y los resultados obtenidos han sido principalmente negativos, pues las piezas se deforman o revientan al vitrificar la arcilla.

Figura 4.19. Fotografía del subbloque 1-C del Bloque Moracia, son terrenos de baja topografía rodeados por las serranías del Complejo de Nicoya

Descritos los bloques se toma la información obtenida del campo y se cartografía la ubicación de los suelos visitados (Figura 4.20) para obtener que solo un 68 % de los suelos son plásticos y el 32 % restante son arenas y limos arenosos.

Además de la labor de recolección de datos en los suelos se obtuvo que los suelos presentan colores rojos, grises, verdes, marrones, ocres y negros (Apéndice 1) y los colores más comunes para los suelos de la región son los de color marrón-rojizo (bayo). A partir de las pruebas *in situ* (Figura 4.21) se determinó que los suelos *bayos* son plásticos, capaces de elaborar buenos “biscochos”, y para llegar a estos es común que se tenga que remover una cubierta de 20 cm de materia orgánica, seguida de 10 cm a 25 cm de arenas, en los sectores con pendientes de los 2° a los 5°.

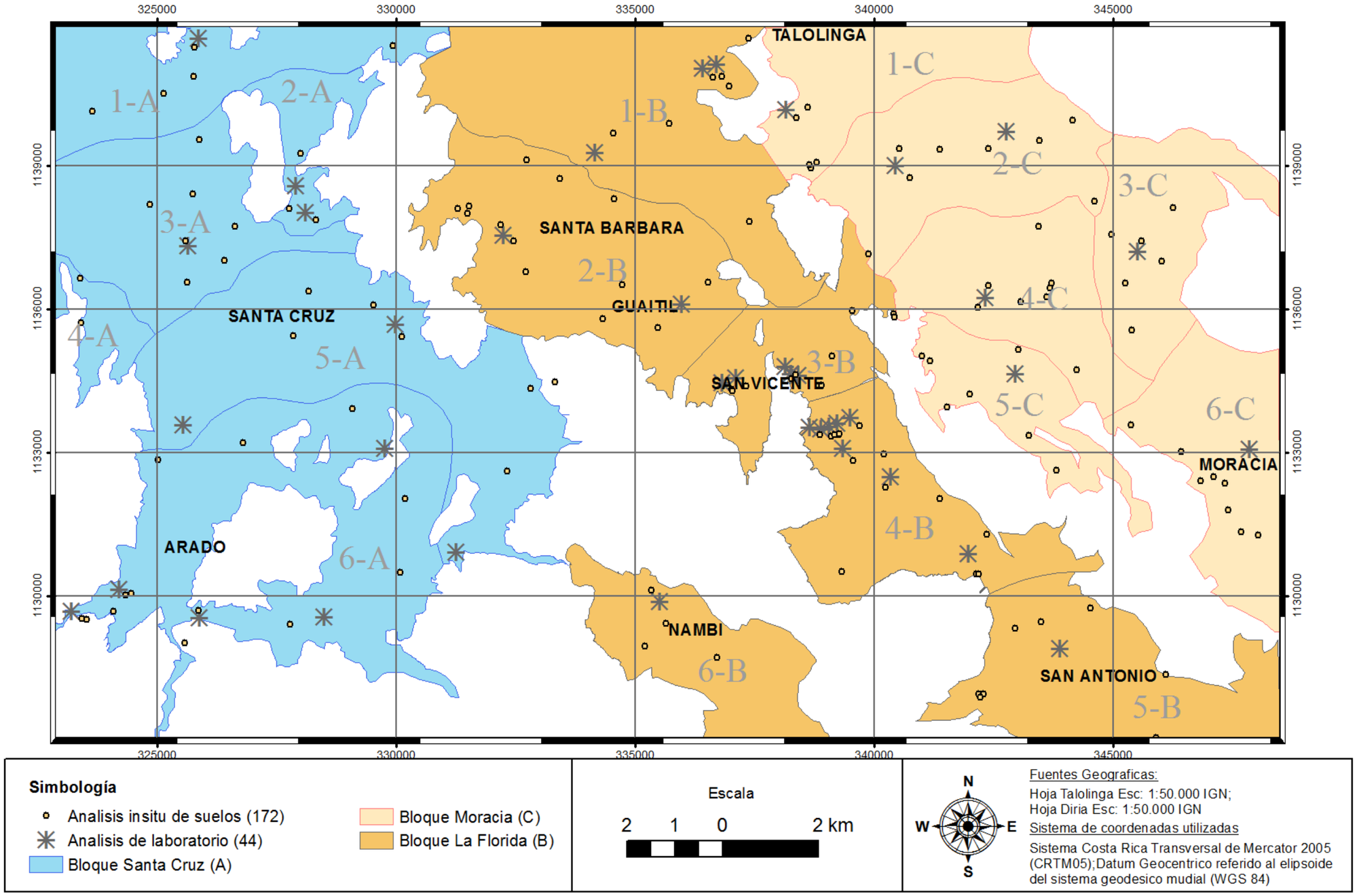


Figura 4.20. Mapa de ubicación de los sitios de análisis *in situ* y los que se realizaron en el laboratorio

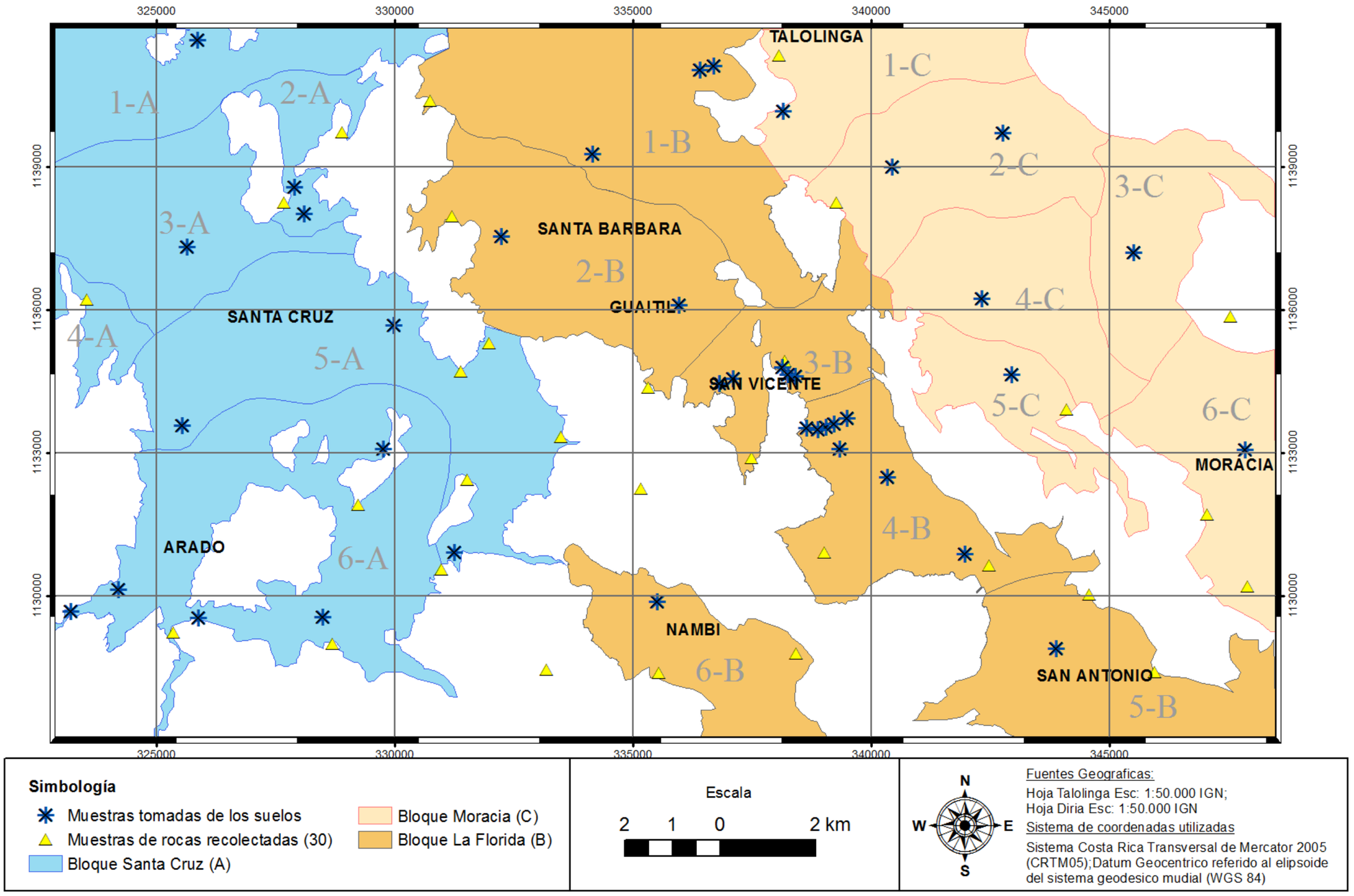


Figura 4.21. Mapa de ubicación de las muestras de suelos (44) y de rocas (30)

4.5. Resultados de los análisis de laboratorio

En esta sección se evalúan las características físicas de los suelos que permiten predecir cómo será el producto cerámico final. Además, para esta sección se buscó estandarizar los datos de los suelos, para esto, se tomaron dos muestras que son conocidas por dar buenos resultados cerámicos, la muestra *Ba-Pa* y la muestra *Escazú*.

Para esto, se evaluaron las propiedades cerámicas de los suelos finos encontrados, como la resistencia del material, las características mineralógicas, la plasticidad, el grado de encogimiento, la porosidad y el rango de temperatura de vitrificación. Estas propiedades se identificaron a partir del análisis del comportamiento mecánico de los suelos, con base en pruebas de cocción cerámica (Meseguer *et al.*, 2009) y mediante la difracción de rayos X (Chamley, 1989).

Además, para facilitar la visualización de los datos se generan mapas de isolíneas de valores, que después se utilizarán para determinar las zonas con los mejores valores para fabricar piezas cerámicas.

4.5.1. Propiedades tecnológicas de los materiales arcillosos encontrados

4.5.1.1. Resistencia del material, densidad y granulometría

La resistencia del material se mide a través de la norma ASTM-422 de granulometría de suelos, en conjunto con la norma ASTM C127-04 de densidad de los suelos (obtenida de la norma D423 y D854). La primera describe el proceso para analizar la granulometría, la segunda se utiliza para determinar la densidad o la porción sólida esencialmente de un agregado sólido, a partir del peso unitario de cada uno de los suelos.

La granulometría muestra que los suelos contienen de un 1 % a un 3 % de fracción gruesa y que un contenido superior al 50 % de finos pasan la malla ASTM N.º 200 (75 μm), que es la apertura estandarizada para arcillas.

De los suelos analizados, las muestras Ag24375247-M20, Ag243375408-M40 y 17nov367252-30T (Apéndice 2) tienen altos contenidos de arenas (>40 %); mientras que las muestras MCAL, MSPT, U50, La Florida1 y Moracia1, revelaron un contenido muy alto de finos superior al 80 % (Apéndice 2). De manera general, 14 muestras de suelos revelaron un contenido de arcillas superior al 65 % y, según Morales (2005), cuanto mayor sea el contenido de finos de los suelos mayor será la calidad de pieza cerámica a producir.

Para los suelos analizados, la densidad ronda los 1.84-1.55 g/cm^3 y los suelos arcillosos presentan densidades cercanas a las 1,7 g/cm^3 (Morales, 2005). Los suelos más densos se ubican en los subbloques 5-A, 6-A, 2-B y 3-B, en las cercanías de Santa Bárbara, San Vicente y Santa Cruz. Hay sectores con suelos de densidades inferiores a los 1,6 g/cm^3, debido a la presencia de limos elásticos y de limos. Asimismo, las muestras Ba-Pa y Escazú revelaron densidades entre 1,85 g/cm^3 y 1,95 g/cm^3 y un contenido de finos mayor al 80 %.

Con base en estos resultados se generaron las figuras 4.22 (porcentaje de finos) y 4.23 (densidad). En estas se muestra la manera en la que se distribuyen los valores de contenido de materia fina y de densidad de los suelos analizados. Por lo tanto, a partir de los datos de ambas figuras, se generó un mapa de conclusión en el que se señala el área donde las condiciones de densidad y de porcentaje de finos de los suelos son los ideales para producir las piezas más resistentes (Figura 4.24), con densidades mayores a 1,7 g/cm^3 y con un contenido de sedimentos finos superior al 59,9 %.

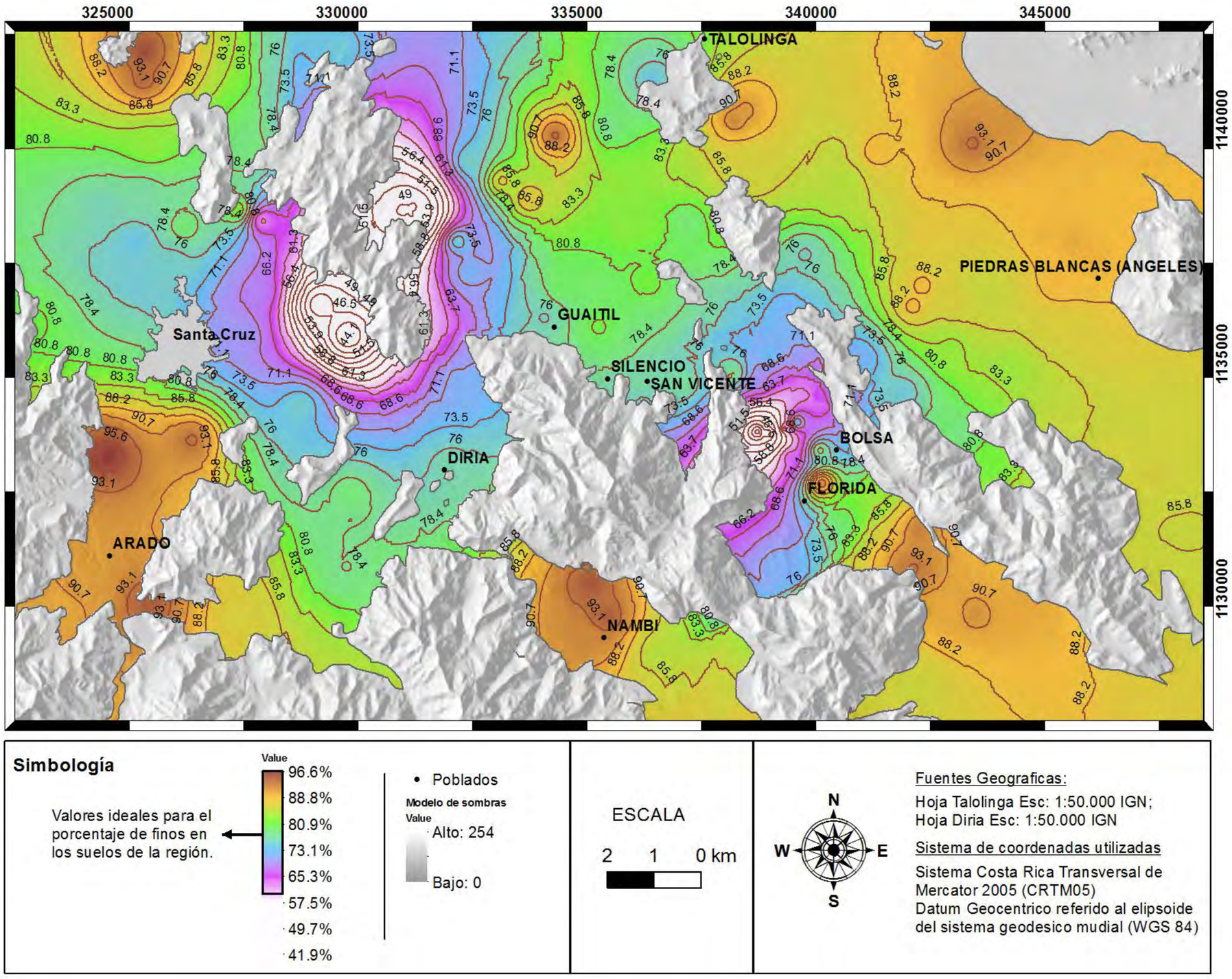


Figura 4.22. Distribución del contenido de finos tipo francoarcilloso en los suelos analizados.

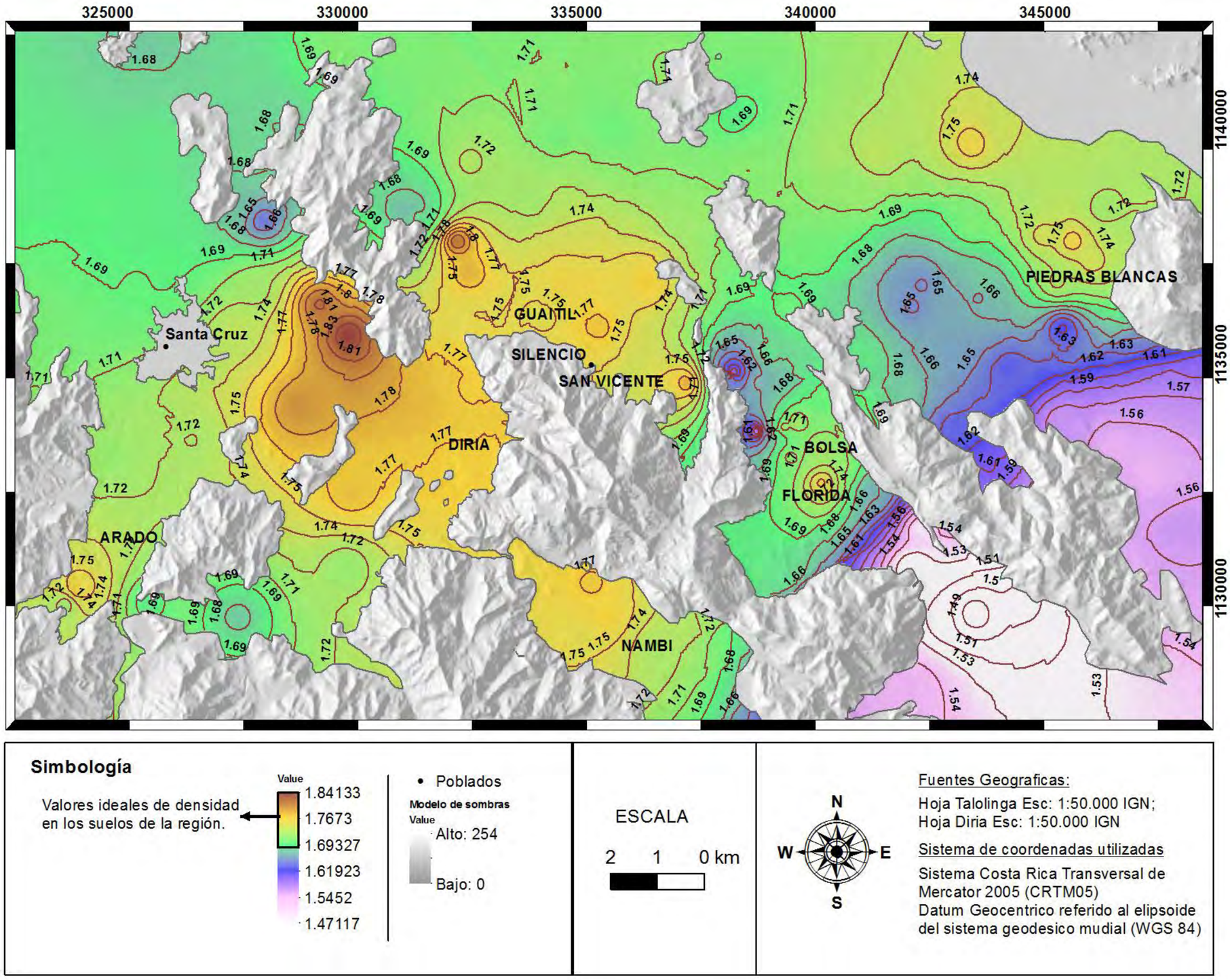


Figura 4.23. Distribución de los valores de densidad de los suelos.

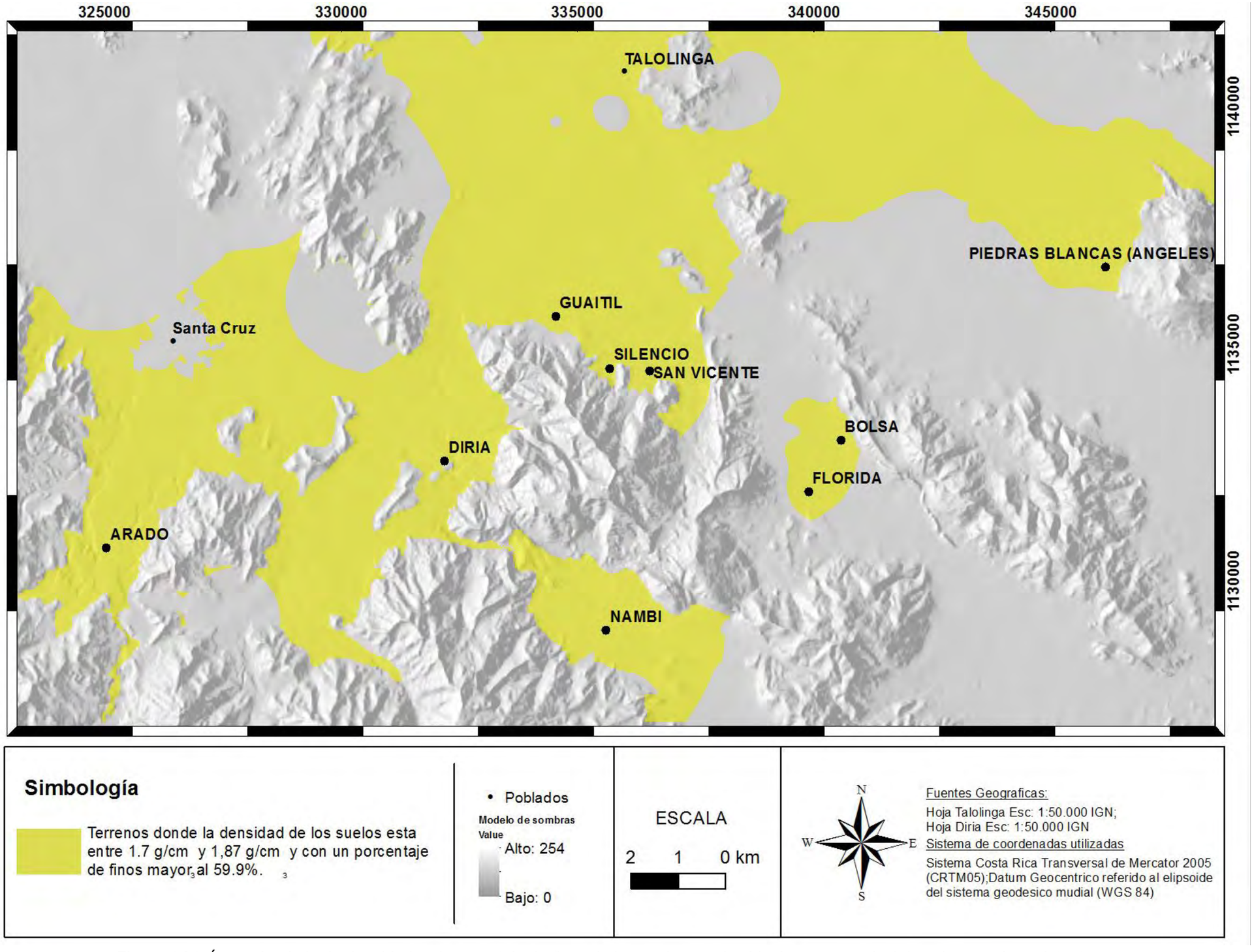


Figura 4.24. Áreas donde la de densidad y el porcentaje de finos de los suelos son los ideales para producir las piezas más resistentes.

4.5.1.2. Porosidad de los suelos

Los resultados de los valores de porosidad de los suelos en el área de estudio, mostraron rangos que van desde un 41 % hasta el 63 % de espacios vacíos, porcentajes típicos para suelos franco-arcillosos (Morales, 2005). Norton (1979) relaciona la dureza de una pieza cerámica y la capacidad para absorber el esmalte con la porosidad de la materia prima y señala que son las arcillas de porosidades intermedias (40 %-50 %) las que generan piezas de mejor calidad.

Los suelos de mayor porosidad se encuentran en los poblados de San Antonio, Montanita, Palos Negros, Cacao, Talolinga y Guayabo, con porosidades que van del 52 % hasta el 61 % (ver figura 4.25). Mientras que en las comunidades de Silencio, Pozas y San Vicente se muestran los valores más bajos de porosidad, con porcentajes que van del 44,9 % al 46 %.

Los valores de porosidad de 40-60 % son típicos en suelos de media a alta porosidad, por lo que los suelos de la zona Chorotega son de porosidades altas, típicas de suelos arcillosos o franco arcillosos y los valores ideales están representados por los colores azulados cercanos al 45 %. En cuanto a las muestras *Ba-Pa* y *Escazú*, presentan valores de porosidad inferiores al 42 %, por lo tanto, se comprueba que son los suelos de porosidad cercana al 45% los que deben considerarse de mayor prioridad.

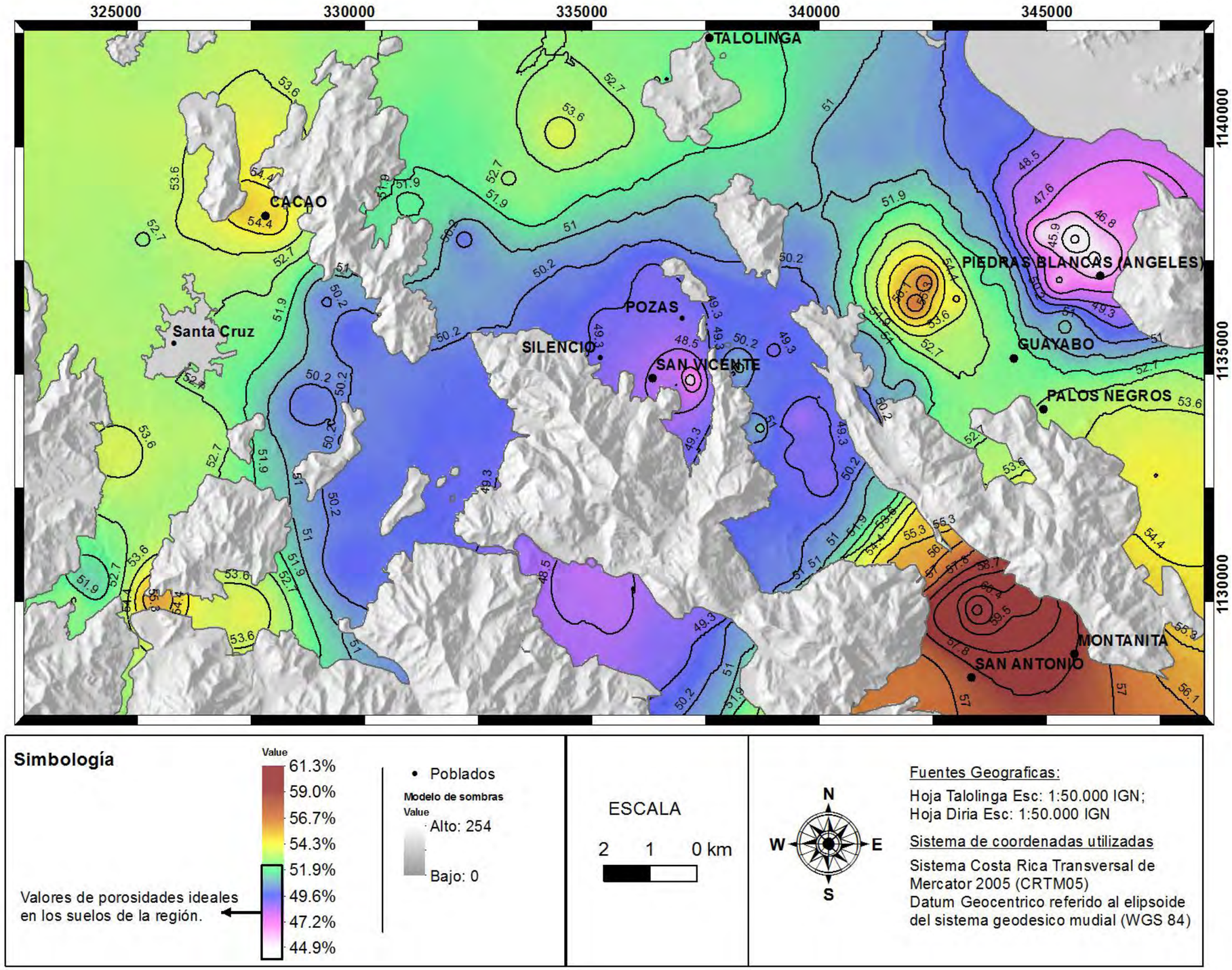


Figura 4.25. Distribución de los valores de porosidad en los suelos analizados.

4.5.1.3. Plasticidad determinada a partir del índice de plasticidad de los suelos

Los suelos ensayados presentan índices de plasticidad que van de 0 hasta otros muy elevados de 96. Los índices muy elevados son inadecuados, ya que la pieza tenderá a pandearse y a deformarse (Apéndice 2). En esta sección, se obtuvo que 61 % de los suelos son limos y 39 % son arcillas. No obstante, muchos de los que se clasifican como limos producen buenas piezas cerámicas y es probable que se clasifiquen como limos por ser terrenos en los que suceden largos y constantes periodos de inundación (Inder, 2014b).

A partir de la norma ASTM de clasificación de suelos (SUCS) se determinó que los suelos con índices de plasticidad igual a 0 corresponden a suelos limoarenosos de baja plasticidad, mientras que índices de plasticidad superiores a 90 se caracterizan como suelos limosos muy densos de plasticidad extremadamente alta (Apéndice 2). Además, los suelos con los índices de plasticidad entre 11,6 y 28,6 son los que dan los mejores resultados cerámicos, esto también al considerar que las muestras *Ba-Pa* y *Escazú* presentan plasticidades menores a 30.

Según la figura 4.26, los valores más bajos de plasticidad se encuentran en San Antonio y al sur de Palos Negros y Moravia. Los valores más elevados se encuentran en las cercanías de Nambí y en Los Ángeles, al norte de Limón y Cacao, con índices que van de 50 a 90. Mientras que valores intermedios se presentan en las comunidades de San Vicente, Santa Cruz, Diriá, Guaitil, San Lázaro, Hato Viejo y Pozas.

De los resultados se obtuvo que los suelos donde la topografía es muy accidentada o hay muchos afluentes de ríos, como el caso de la zona de la Florida y al norte de las comunidades de Cacao y Bolsón, son suelos de baja plasticidad. Las zonas más centrales del bloque B (2-B, 3-B y 4-B) son los sectores que presentan valores de plasticidad entre 25 y 50. Por esto, son los terrenos que están sobre la parte más distal y plana de los depósitos de abanicos aluviales los que presentan los mejores valores de índice de plasticidad.

La figura 4.27 muestra los sectores en los que se sobreponen los terrenos con los mejores datos de porosidad y plasticidad de los suelos analizados. De la unión de estos dos mapas se obtiene cuáles arcillas tendrán menos defectos en la etapa de decoración de la pieza.

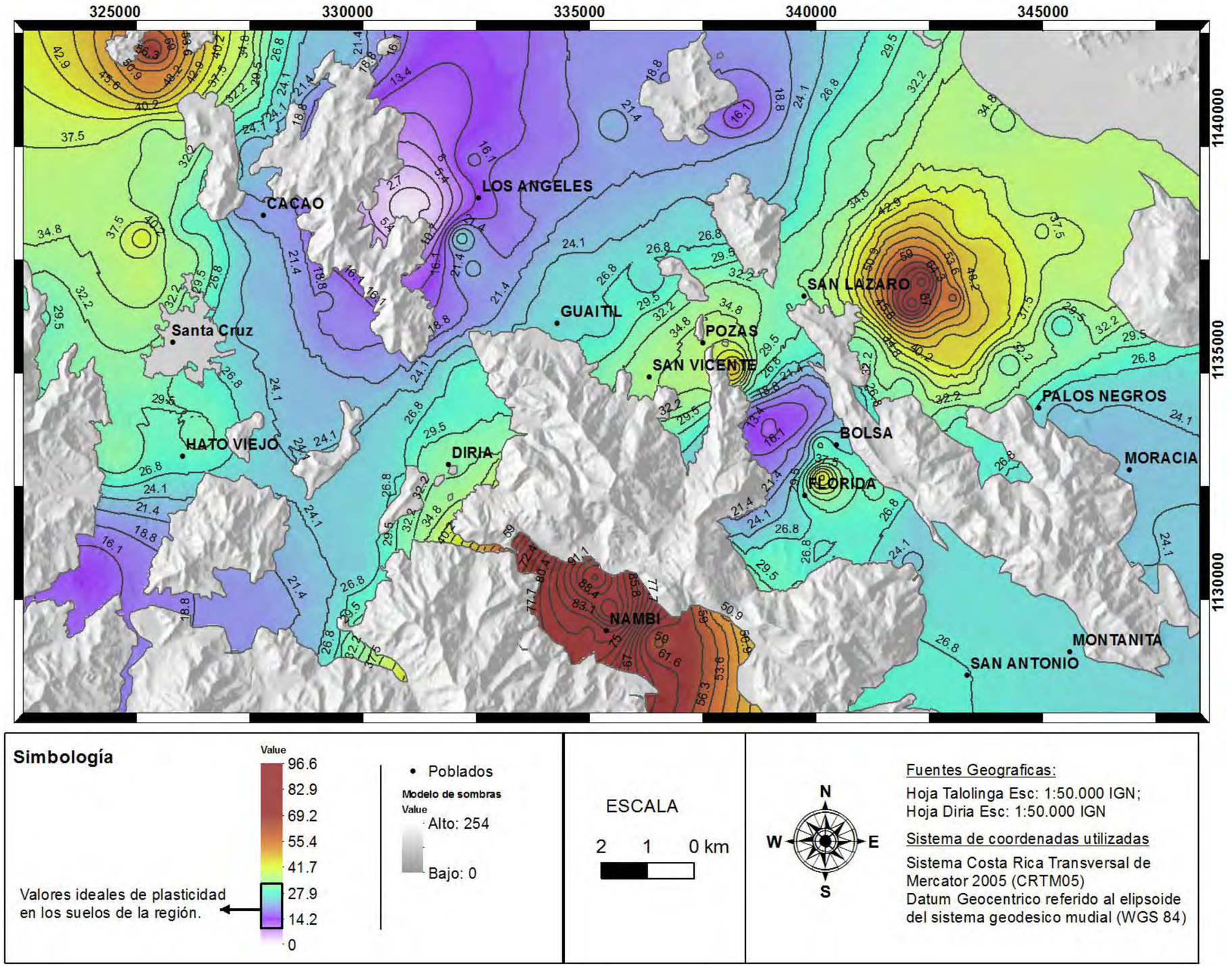


Figura 4.26. Distribución de los valores de plasticidad en los suelos

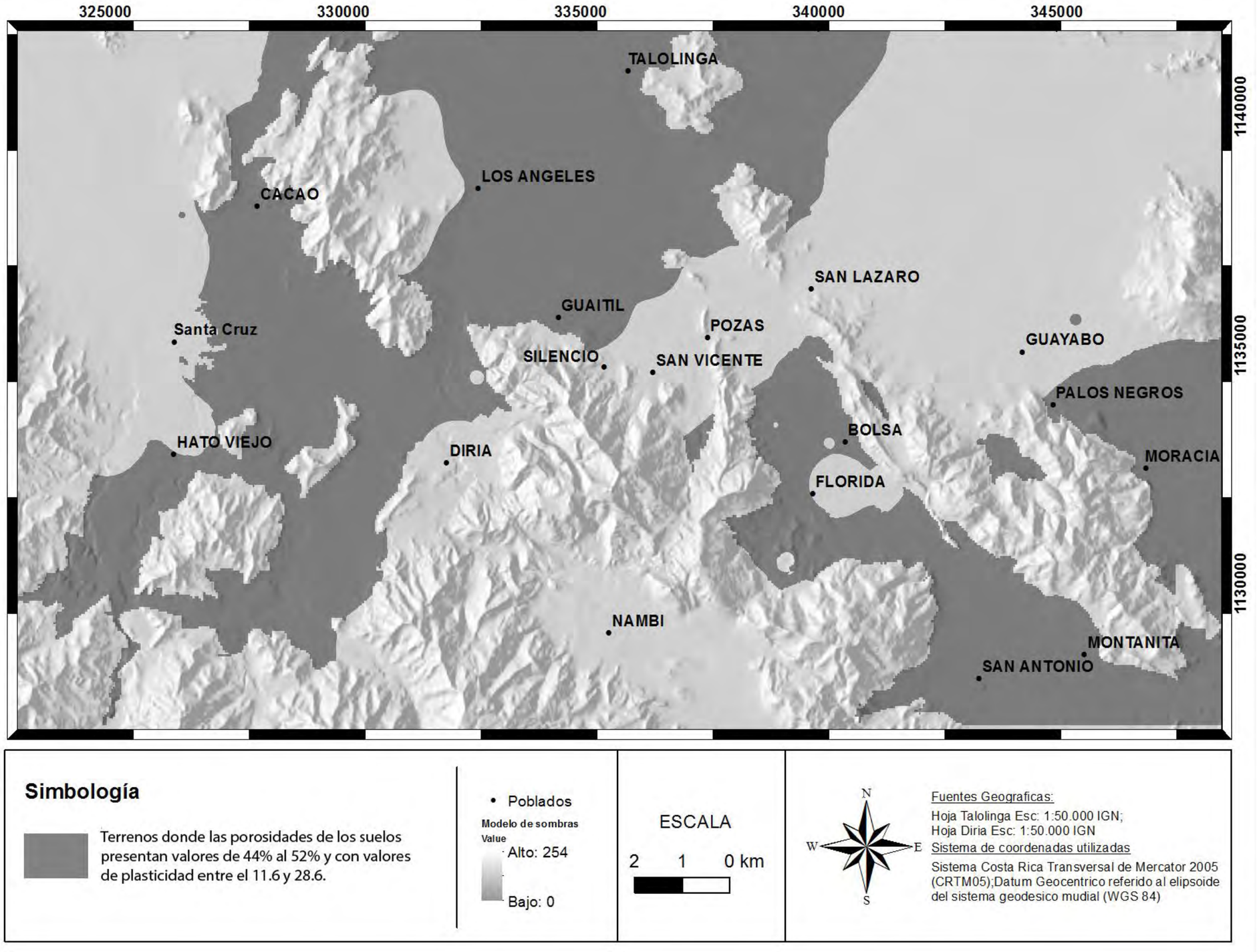


Figura 4.27. Áreas donde la de porosidad y la plasticidad los suelos son los ideales producir piezas cerámicas.

4.5.2. Vitrificación y encogimiento

A partir de la cocción es posible conocer el porcentaje de pérdida de humedad y el grado de encogimiento que presenta el material en el momento de calentarse y secarse (Morales, 2005). Con esta prueba se conoce la tendencia de la pieza a pandearse o a romperse durante el proceso de secado, por ejemplo, las arcillas con baja plasticidad tienden a “craquear” y las piezas muy plásticas a pandear (Morales, 2005). Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Los suelos muy arenosos no funcionan para la elaboración de cerámicas, pero si se aplican procesos adicionales es posible reducir el porcentaje del encogimiento. No obstante, la cerámica resultante es susceptible a “craquear” (ver glosario) y a quebrarse.

- Los suelos con las mejores características cerámicas se ubican en los sectores 6A, 2B, 3B y 4B, ya que tienen porosidades entre el 42 % y el 50 %, plasticidades del 14 a 29, densidades mayores a 1,7 g/cm^3, con contenidos de finos superiores al 59,9 %, un encogimiento menor al 11 % y donde la humedad perdida por las piezas al cocinarse a 900°C, es menor al 30 % (Tabla 1).

- Los suelos limosos plásticos encontrados en las cercanías a abanicos aluviales de las zonas de San Antonio y al este de Santa Cruz generan buenas piezas cerámicas con encogimientos inferiores al 4,26 % (Figura 4.30).

- La humedad perdida por los suelos es muy similar para toda el Área de estudio, con los sectores al norte de Limón, Nambí y Moracia, presentando los valores más elevados.

- Un 31,8 % de las piezas ensayadas son de buena calidad y un 15,9 % son muy plásticas (>32). Mientras que el 25 % de las piezas no son adecuadas para la fabricación de cerámicas debido a que fueron elaboradas a partir de suelos de baja densidad, con plasticidades inadecuadas y con un alto contenido de finos.

- Los suelos presentan un grado de encogimiento inferior al 15 %; no obstante hay muestras como S-05-1 (14%) y Moracia 1 (13%), que presentan valores de encogimiento muy cercanos al 15% (Tabla 2) (Figura 4.29) y las muestras SS-10, S-8.1, S-03-1, S-8.2, Humo 1 y S-12-II que superan el 15% de encogimiento (Apéndice 2).

- Los valores elevados de encogimiento (cercanos al 15 %) (Figura 4.30) y de pérdida de humedad (>48 %) (Figura 4.31) de las zonas de Limón, Nambí, Moracia y Piedras Blancas, indican que los suelos de estos sectores no son útiles para elaborar piezas cerámicas y pueden descartarse para estudios futuros. Los mejores valores para la pérdida de humedad son menores al 30%, debido a que son los que presentaron las piezas con menores defectos.

Figura 4.28. Piezas utilizadas para medir el porcentaje de encogimiento y pérdida de humedad en los suelos. Todas pueden utilizarse en alfarería.

Tabla 1. *Tabla comparativa entre las propiedades mecánicas de los suelos y de calidad de las piezas que pueden utilizarse en alfarería.*

MUESTRA	Densidad (g/cm^3)	Porosidad (%)	Granulometría fina (%)	Plasticidad.	Encogimient. (%)	Calidad de la pieza cerámica.
BT1	1,9	40,3	91	Baja	6	Buena
F01AE	1,8	47,7	77,1	Alta	11	Buena
MCAL	1,7	53,2	75,6	Alta	11	Buena
MSPT	1,8	43,3	79,1	Alta	11	Buena
Ag24-375243-U50	1,7	54,2	69,7	Alta	10	Buena
Ag24-375247-D40	1,8	48,5	64,6	Baja	10	Buena
18-nov360244-50	1,8	54,3	86,5	Alta	11	Buena
SS-1	1,8	48,9	93,9	Alta	10	Buena
SS-11	1,8	49,2	83,5	Alta	14	Buena

Figura 4.29. Piezas utilizadas para medir el encogimiento y pérdida de humedad en los suelos. Ninguna cumple con las condiciones para usarse en alfarería

Tabla 2. *Tabla comparativa entre las propiedades mecánicas de los suelos y la calidad de las piezas que no pueden utilizarse en alfarería*

MUESTRA	Densidad (g/cm^3)	Porosidad (%)	Granulometría fina (%)	Plasticidad.	Encogimient. (%)	Calidad de la pieza cerámica.
BT3	1,7	49,9	91	Alta	6	Mala
Ag24-375247-M220	1,6	51,8	60	Alta	4	Mala.
Ag24-375408-M220	1,5	52,3	64,6	No se pudo determinar	No puede utilizarse	No puede utilizarse
Ag24-3375408-M40	1,6	48,2	25,9	No se pudo determinar	No puede utilizarse	No puede utilizarse.
17-nov-367252-30T	1,7	51,9	48,3	No se pudo determinar	No puede utilizarse	No puede utilizarse.
17-nov-372255-60	1,6	56,1	74,8	Alta	10	Mala
17-nov-372255-60 (70)	1,7	53,7	69,3	Alta	11	Mala
17-nov-3734-30	1,5	52,6	92,1	Baja	5	Mala
18-nov-360244-60	1,8	51	81	Baja	5	Mala
S-05-1	1,7	49,4	41,2	Alta	14	Mala/ Pandeo.
Moracia 1	1,5	54,9	87	Baja	13	Mala

- Los suelos BT2, S-5-1, 18-nov-389235-30, MSPT, Ag24-375247D40, S-10-1, SS-11, SS-10, S-12II, 17-nov-373255-70 y SS-1, que son los suelos con densidades mayores a 1,65 g/cm^3, generan encogimientos inferiores al 10 % (Apéndice 2).
- Los suelos presentes en las comunidades del Silencio, Pozas, Chira, San Vicente, Florida, Arado, Lechuza, Talolinga y en la Hacienda Santa María exhiben un porcentaje de encogimiento entre el 5 % y el 11 %. Los suelos en Nambí, Zapote, San Lázaro, Santa Bárbara, Limón y Diriá tienen valores muy altos de encogimiento y son poco aptos para elaborar piezas cerámicas.

De la misma manera para las propiedades cerámicas de los suelos se desarrolló un mapa que ilustra cuáles son las áreas que presentan un encogimiento inferior al 11 % y pérdida de humedad inferior al 30 % (Figura 4.32).

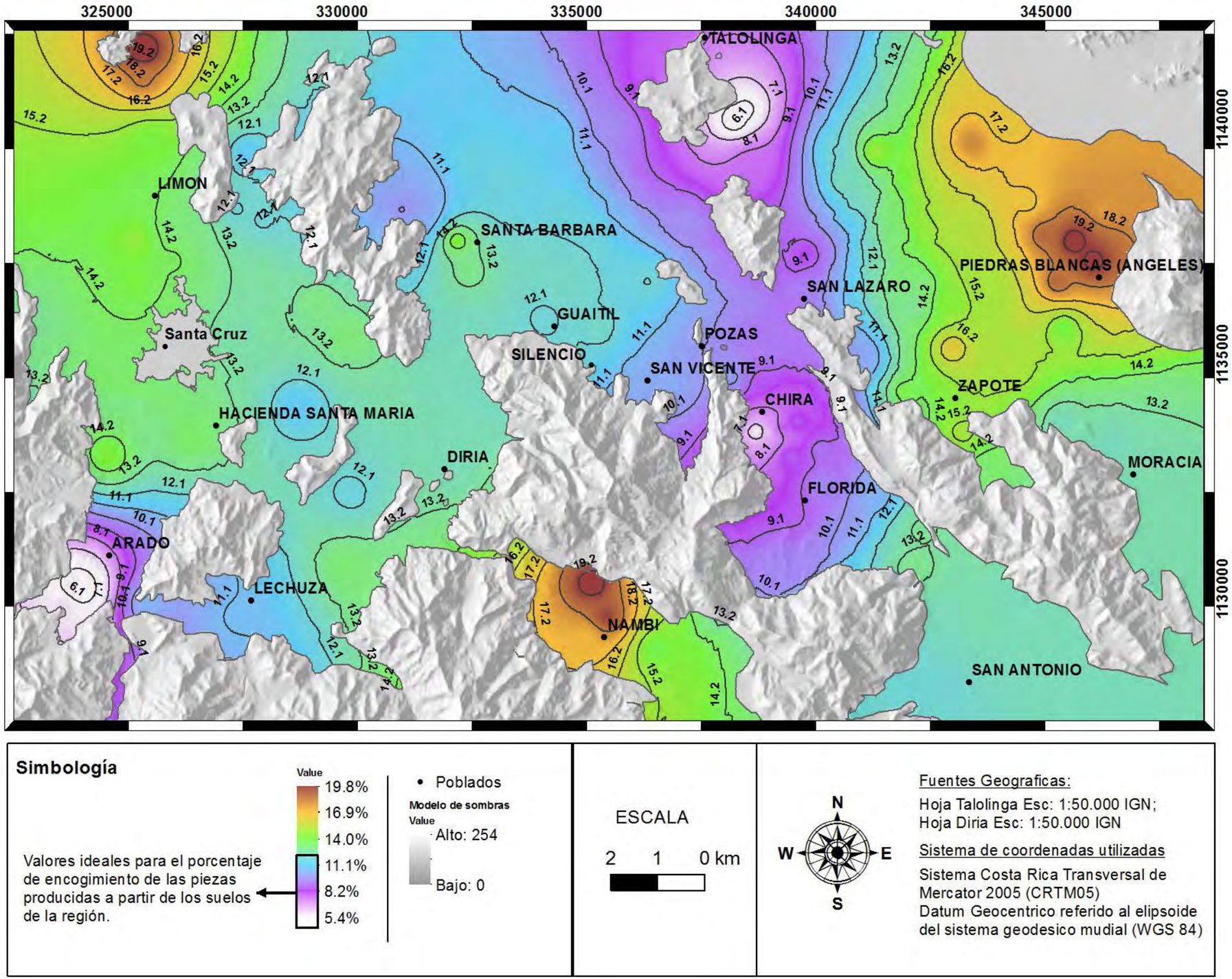


Figura 4.30. Distribución del porcentaje de encogimiento de la pieza cerámica cocinada en los suelos estudiados.

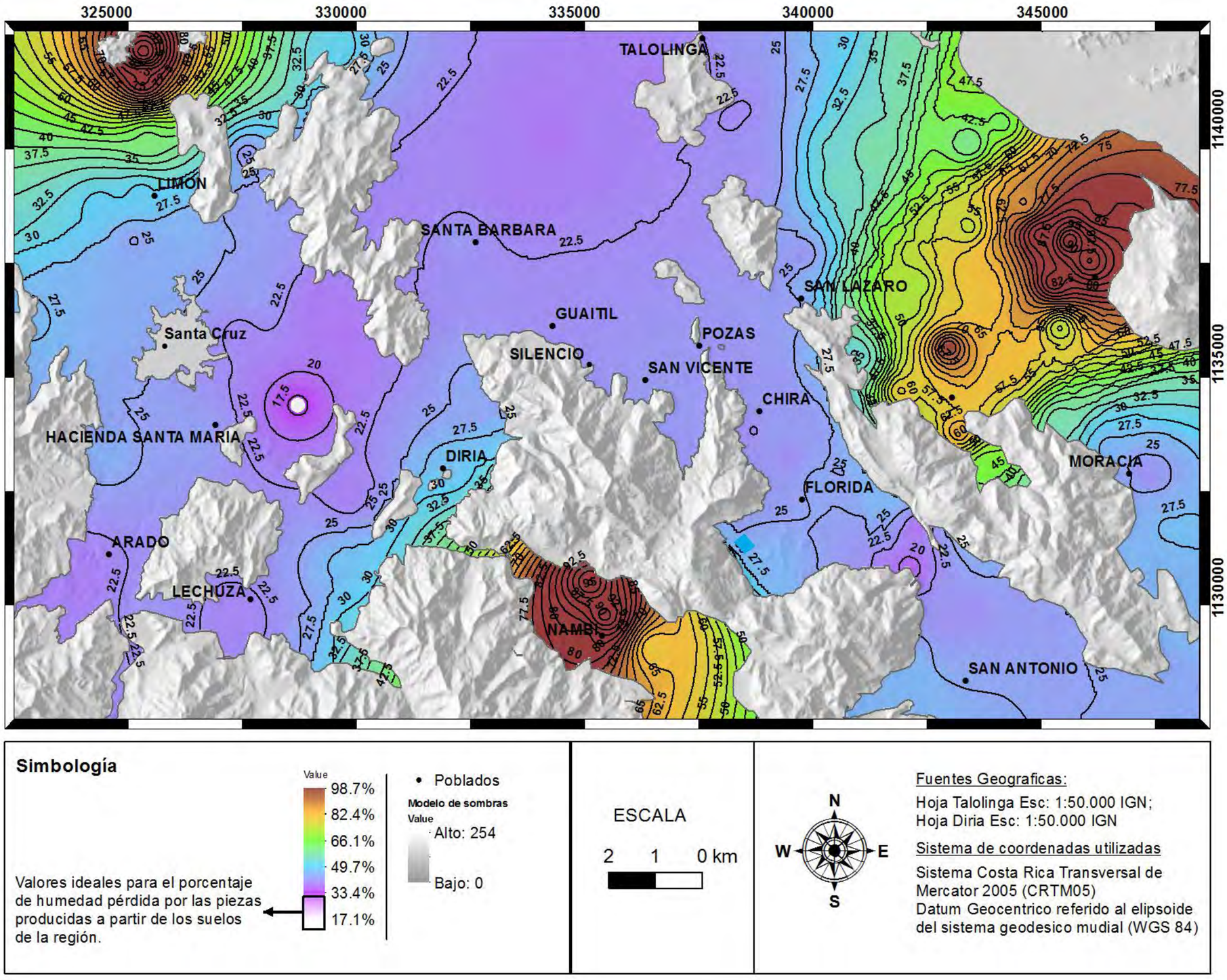


Figura 4.31. Distribución del porcentaje de humedad pérdida por la pieza cerámica al cocinarse a 900°C.

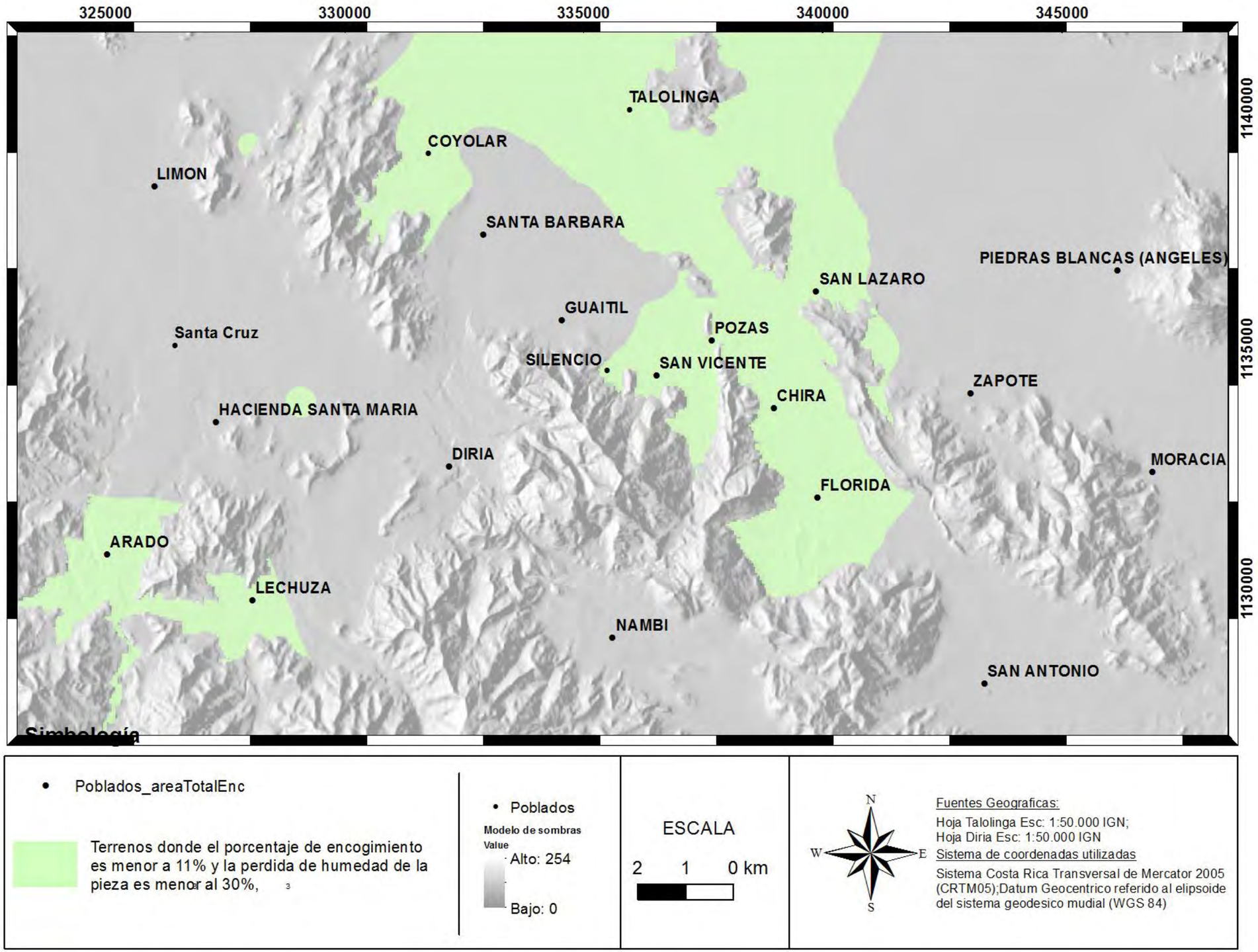


Figura 4.32. Distribución de las áreas donde los suelos presentaron las mejores características de cocción.

4.5.3. Mineralogía de las arcillas trabajadas

En esta sección se exponen los resultados del análisis de la mineralogía que se llevó a cabo en las arcillas utilizadas en la elaboración de cerámicas por los ceramistas de la zona de Guaitil y San Vicente. Algunas de las arcillas presentaron picos redondeados del mineral caolinita, lo que implica que son cristales poco cristalizados o desarrollados. Además, por medio de la roca total, se analizó el contenido mineralógico de las rocas encontradas al suroeste de las comunidades alfareras.

En la actualidad, para la zona de estudio no existen registros de análisis mineralógicos que utilicen la metodología de DRX y autores como Alvarado *et al.* (2010) y Alvarado *et al.* (2013) han determinado que se trata de arcillas de la familia de la Halloysita por métodos de extrapolación con datos circundantes.

4.5.3.1. Resultados de las pruebas de difracción de Rayos X a las muestras de color bayo, bayo claro, gris y negra

Las muestras utilizadas son BT1, SS-11, AlFI01 y MSPT (Apéndice 2), que son de colores bayo, bayo claro, gris y negro respectivamente. A cada una de se les realizó un proceso de separación de arcillas por medio de la técnica de análisis de polvos multicristalinos1 (Anexo 1).

La razón de que se eligieran las muestras mencionadas se debe a que son los suelos que actualmente utilizan los artesanos para la elaboración de cerámicas y debido a que, según los análisis mecánicos efectuados, son las arcillas con las mejores propiedades cerámicas. Las muestras se recolectaron en los subbloques 3B y 2B. Como resultado se obtuvo que:

1. La muestra BT1 de color bayo, contiene principalmente minerales del grupo de la Caolinita (K) con picos redondeados y otros minerales como cuarzo y tridimita. (Figura 4.33).
2. La muestra SS-11 de color bayo claro, contiene arcillas del grupo de la Illita/Esméctica (I/Sm), con minerales de Caolinita (K) con picos

redondeados. Además, presenta cuarzo (Q), plagioclasa (Plag) y calcita (Ca) (Figura 4.34).

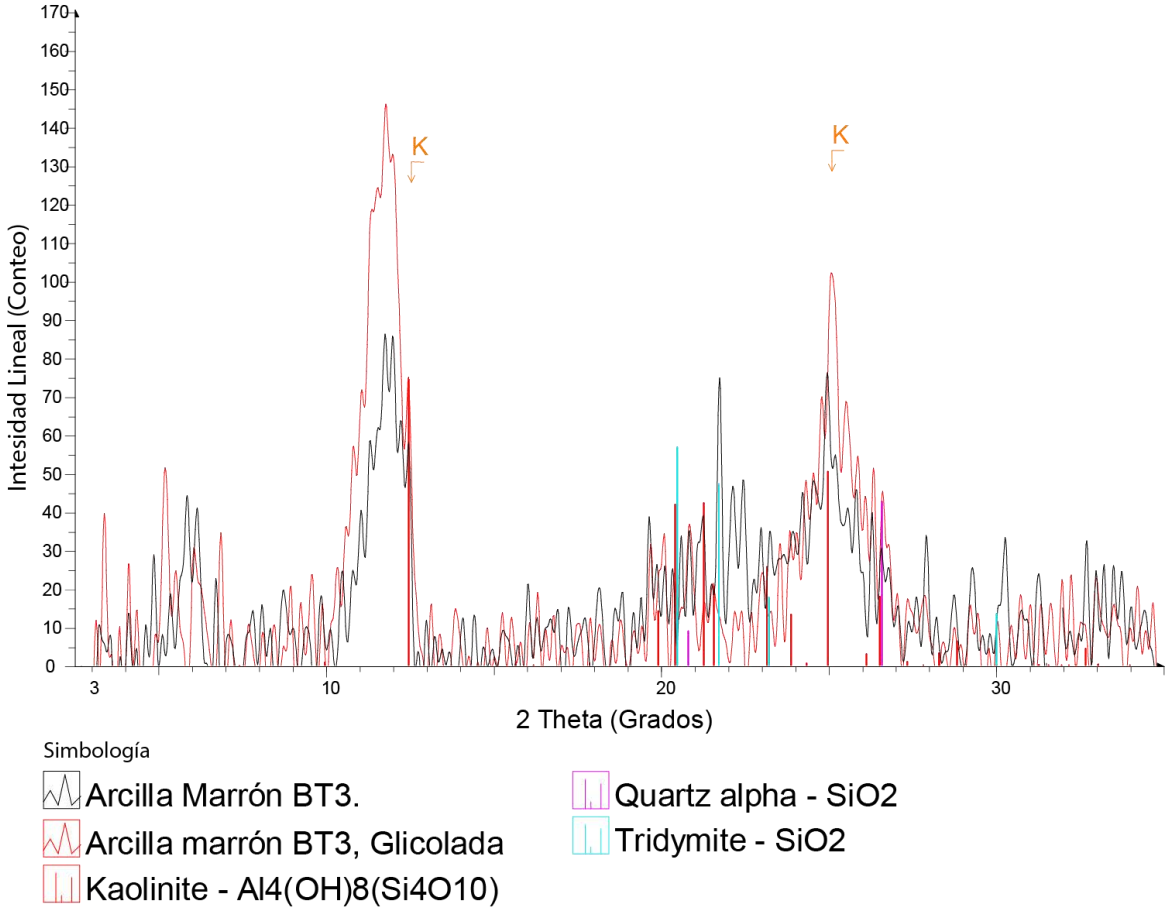


Figura 4.33. Difracción de la arcilla BT3 donde se identifican capas de Caolinita (k), Cuarzo (Q) y Tridimita.

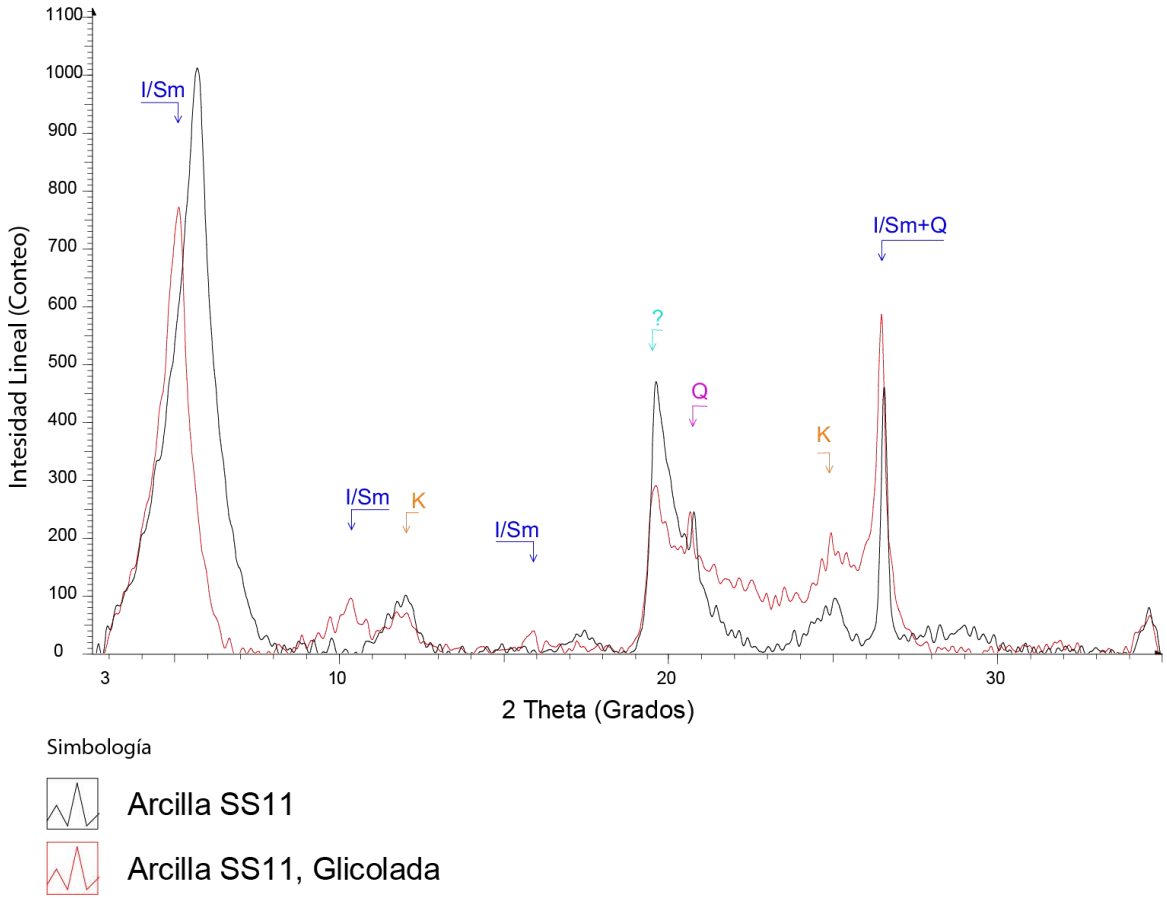


Figura 4.34. Difracción de la arcilla S-11, donde se identificaron: mezcla de capas de illita/ esmectita (I/Sm), Caolinita (k), cuarzo (Q) y un pico desconocido (Anexo 1)

3. Para la muestra AIFI01 con tonalidad gris, se identificaron arcillas del grupo de la caolinita (K) y minerales del grupo de la esméctica (Sm), con presencia de cuarzo (Q) (Figura 4.35).

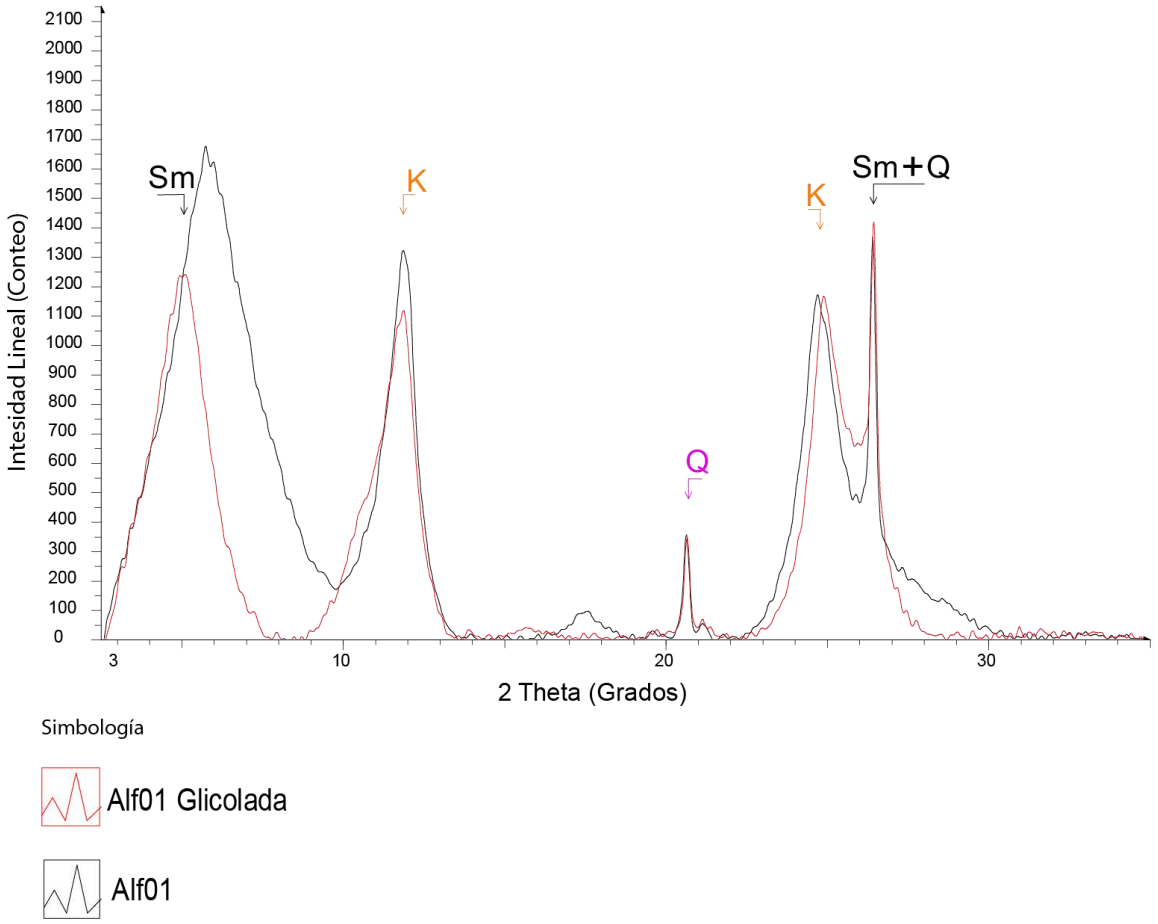


Figura 4.35. Difractograma de la arcilla Alf01, donde se identifican minerales de la caolinita (k), esmectita (Sm) y cuarzo (Q)

4. Para las arcillas de color negro, en la muestra tipo MSPT predominan minerales del grupo de la esmectita, acompañado por minerales de cuarzo (Q), plagioclasa (Plag) y calcita (Ca) (Figura 4.36).

Por lo tanto, con base en la información que se obtuvo de las pruebas de difracción de rayos-X, se determina que las arcillas utilizadas por los alfareros, presentes en los bloques 3-B y 2-B (figura 3.1), están compuestas principalmente por minerales de caolinita y esmectitas, que están asociadas con la familia de la Vermiculita y Caolinita.

Estos resultados, combinados con los de las pruebas mecánicas y de cocción, demuestran que las arcillas son del tipo cerámico *ballclay y fireclay*, por ser arcillas que no ameritan mezclarse con *fluxantes* y al cocinarse a 900° generan

piezas de colores rosados, rojizos y claros de buena calidad.

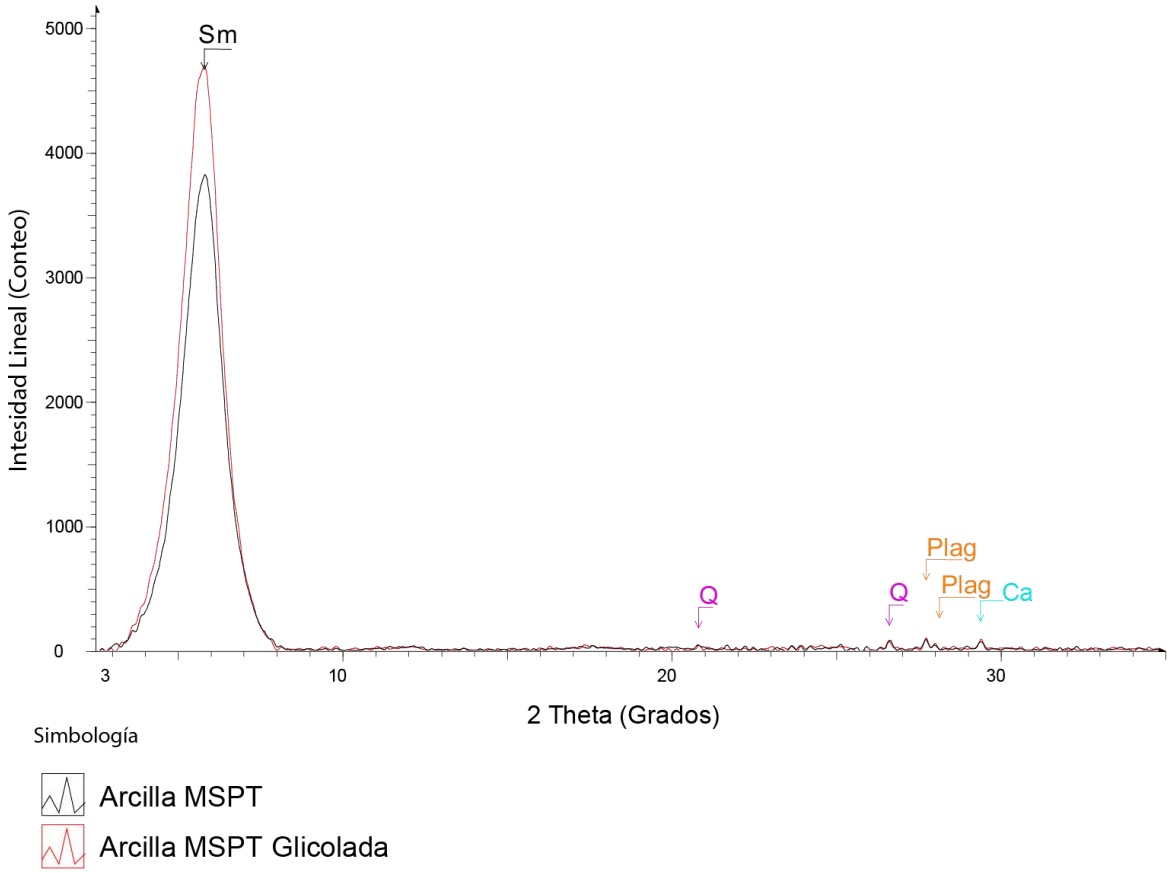


Figura 4.36. Difractograma de la arcilla de la muestra MSPT, donde se identifican minerales de la esmectita (Sm), cuarzo (Q) plagioclasa (Plag) y calcita (Ca)

Por último, los picos de sílice mostrados por los cuatro suelos evidencian que son suelos naturalmente ideales para la fabricación de cerámicas, debido a que el sílice contenido en los cuarzos es un agente común *fluxante* utilizado por muchos ceramistas y la presencia de estos cristales mejora la calidad de los suelos para usarlos en la fabricación de cerámicas. Un ejemplo de esto se observa en las muestras BT2, Alf01 y SS-1, que a pesar de que tienen una alta plasticidad (>40) no generan casi desperfectos cerámicos al cocinarse.

4.5.3.2. Resultados de las pruebas de difracción de Rayos X a las muestras de rocas

Las rocas analizadas corresponden a las muestras RR-3y R-24-1 y se aplicó

la metodología de Roca Total. Los resultados principales de este estudio son que la muestra R-24-1 (figura 4.37) contiene minerales de clinopiroxenos, minerales del grupo de la Zeolita (chabazita, thomsonita y levynita) y del grupo de la esmectita. Para el caso de los minerales de la muestra RR-3 (figura 4.38), esta contiene minerales del grupo de Zeolita (Heulandita) y del grupo de la Esméctica (Anexo 1).

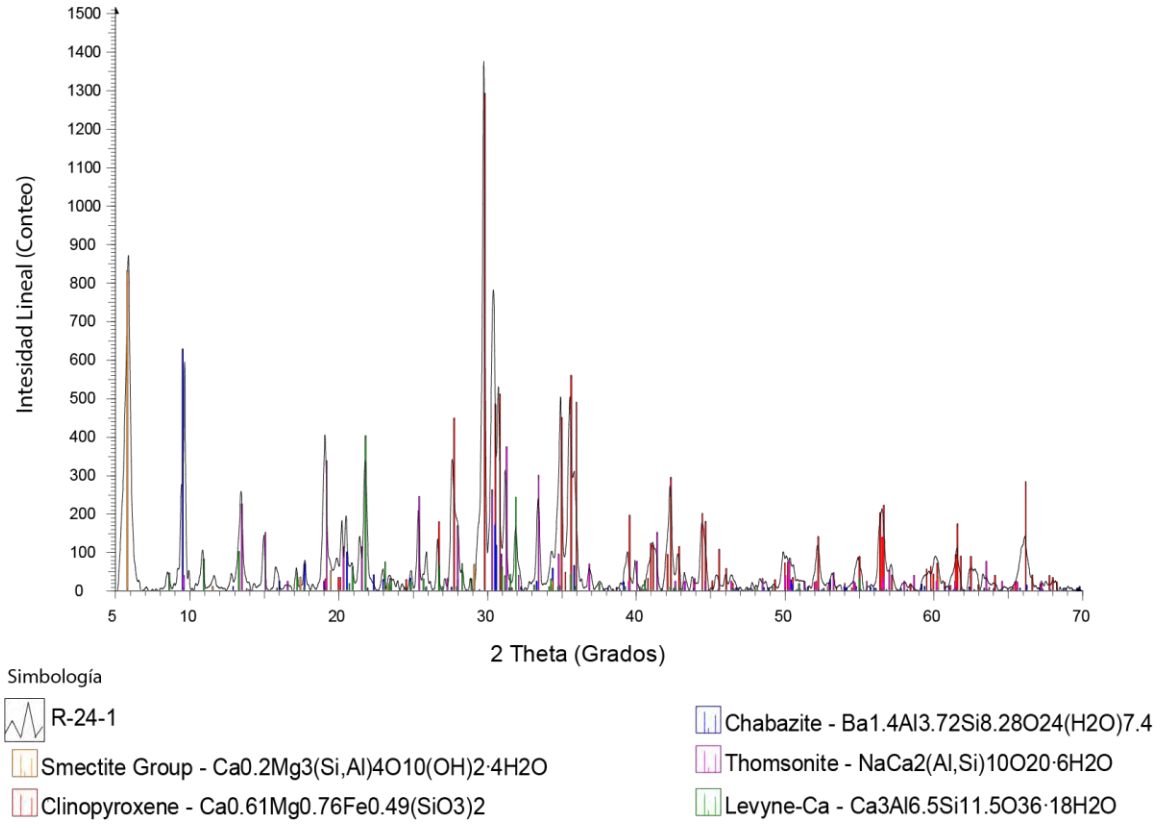


Figura 4.37. Difractograma de la muestra de roca R-24-1.

Estos resultados coinciden con lo descrito en la petrografía de las rocas de las unidades litológicas, en la que las rocas presentan minerales como cuarzos y zeolitas en abundancia, con una matriz arcillosa. Con esto también se confirma que los suelos finos en la zona de estudio son de la familia de los vertisoles, suelos ricos en arcillas y que las arcillas que los componen son de la familia de la Caolinita y de la familia de la Esmectitas, grupos mineralógicos muy utilizados para la elaboración de piezas alfareras ornamentales.

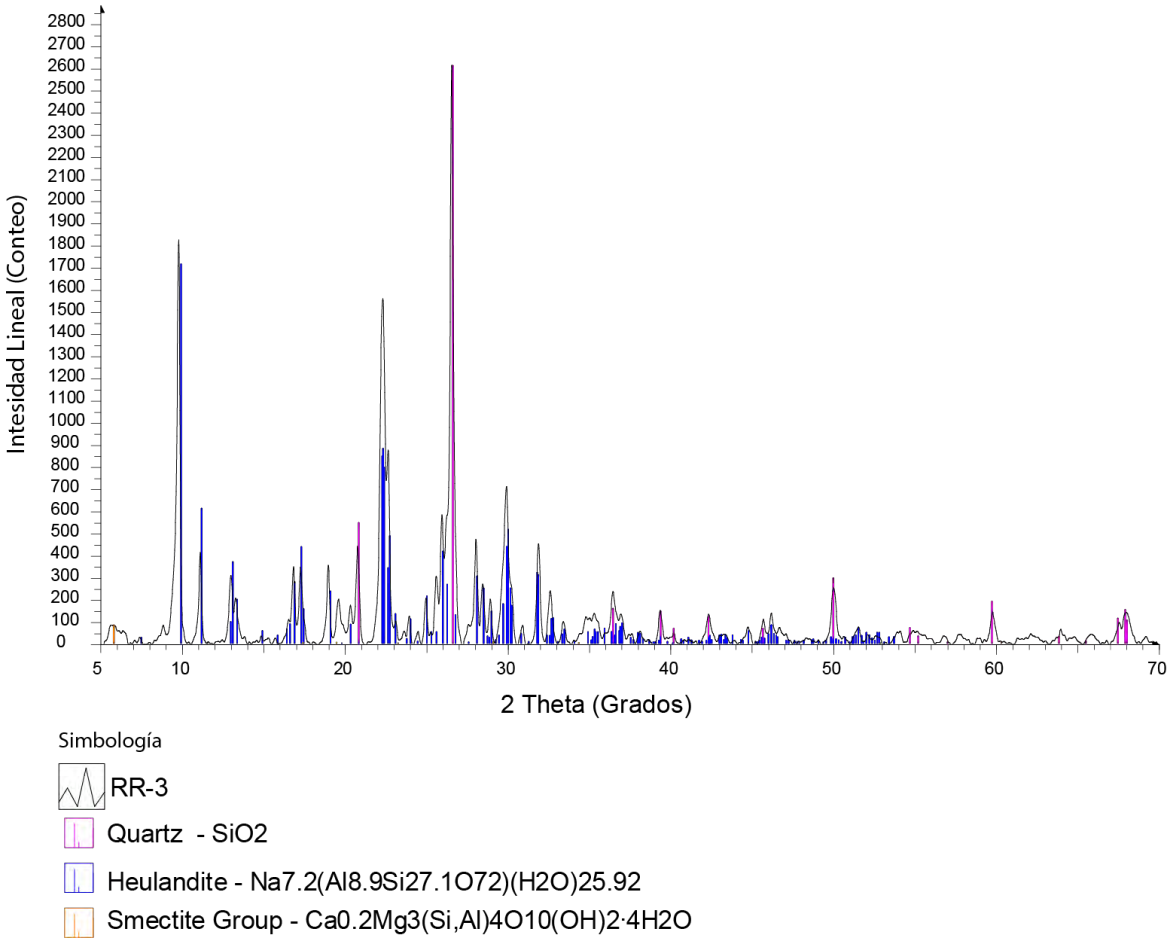


Figura 4.38. Difractograma de la muestra de roca RR-3.

4.6. Selección de terrenos con base en la aptitud cerámica de los suelos

A partir de la serie de datos obtenidos en la etapa de explotación de campo y de las pruebas hechas en la Escuela Centroamericana de Geología, en colaboración con la Escuela de Artes Plásticas de la UCR, se seleccionaron los terrenos que deben valorarse en futuros trabajos de prospección.

Se determinó que los suelos cercanos a las comunidades de Arado, Hato Viejo, San Juan, Chingas, Florida, Guaitil, Silencio, San Vicente, Santa Bárbara, Los Ángeles, Oriente, Talolinga, Piedras Blancas, Santa Cruz, Guayabal, Nambí y la Lechuza, tienen densidades típicas de arcillas con valores de 1,7 g/cm^3 a 1,86 g/cm^3. Los suelos de Chira, San Lázaro, Guayabo, Palos negros, Moracia, Zapote, San Antonio, Montanita, Cacao y Limón (Figura 4.23) presentan valores más bajos

de 1,47 g/cm^3 a 1,70 g/cm^3; los cuales que se pueden asociar a suelos con un mayor contenido de limos. Por lo tanto, los mejores suelos son los que se presentan en los subbloques 2B, 3B, 4B, 2C, 6A y 4A.

En cuanto a los suelos al norte de Guayabal y al suroeste de Chira tienen porcentajes de finos inferiores al 50 %. Además, los suelos al oeste de Coyolar, Lomitas y Oriente no presentan más de 50 % de finos en su granulometría (Figura 4.22).

Los suelos de Nambí, Chingas, al norte de Limón, Zapote y Piedras Blancas Biscoyol, pierden más del 30 % de humedad cuando se cocinan a 900° (Figura 4.31). Una pieza cerámica al cocinarse y perder entre el 35 % y el 50 % se considera frágil. Por lo tanto, los suelos de Nambí, Zapote, Piedras Blancas y Biscoyol, son muy frágiles para utilizarlos en la elaboración de piezas cerámicas.

Los suelos de Piedras Blancas, Nambí y Coyolar presentan porosidad adecuada (figura 4.25). Sin embargo, son zonas de muy baja prioridad para llevar a cabo estudios de mayor detalle debido a que los suelos tienen un comportamiento muy plástico (índices de plasticidad > 30).

Una vez que se sobreponen los resultados más importantes de los análisis de laboratorio (figura 4.24, figura 4.27 y figura 4.32) en el *software* Arcgis, se obtuvo que los suelos con la mejor aptitud cerámica están en las comunidades de Silencio, San Vicente, Florida, Talolinga, y Arado. Por lo tanto, estos deben priorizarse para llevar a cabo las futuras labores de prospección (figura 4.39).

Finalmente, estos son los terrenos que tienen las propiedades mecánicas más similares a las muestras tipo *Escazú* y Ba-Pa, con densidades mayores a 1,7 g/cm^3, con valores intermedios de plasticidad (11-35), de moderada porosidad (>40%) y las mejores características cerámicas con un encogimiento inferior al 11 % y una vez cocinados no pierden más del 30 % de humeda

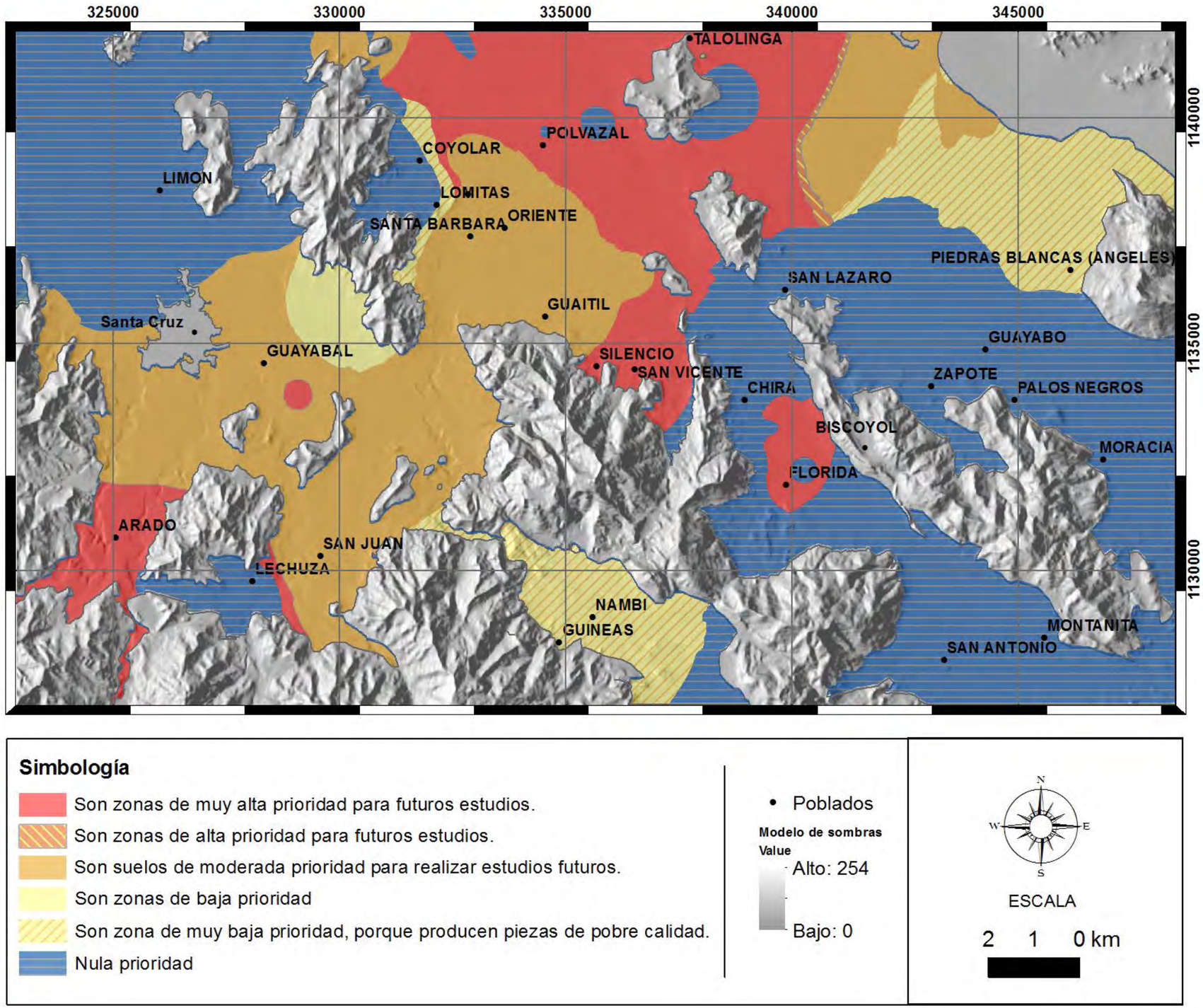


Figura 4.39. Áreas delimitadas con base en la prioridad para desarrollar estudios de prospección futuros.

4.6.1. Delimitación de las nuevas fuentes de arcilla para la producción cerámica

En la figura 4.39 se muestra en rojo las zonas que tienen el mayor potencial para ser nuevas fuentes de arcillas. Estos sectores en rojo se denominan *Sectores de muy alta prioridad* y marcan el orden jerárquico de la manera en la que se deben llevar a cabo las labores de prospección, hasta llegar a los sectores identificados con los colores amarillos los sectores de *Muy baja prioridad*. Mientras que los suelos de nula prioridad, se descartan para ser evaluados en un futuro.

Los suelos en La Florida son de muy alta prioridad y están conformados principalmente por las litologías de las rocas Sabana Grande, del Complejo de Nicoya y Nambí. Las partes más distales con respecto a los abanicos aluviales del cuaternario, de las zonas de Arado, San Vicente y Talolinga presentan las condiciones adecuadas para que existan fuentes potenciales de arcillas para su extracción (Figura 4.40). Asimismo los resultados de las de DRX en estos suelos (en los subbloques 3B y 4B) mostraron que son arcillas del grupo mineralógico de la Caolinita y Esmectita, lo que mejora el potencial de estos suelos como nuevas fuentes de arcilla.

Adicionalmente, para comprobar uno de los sectores que se ha delimitado como una nueva fuente de arcillas para elaborar cerámicas, se elaboró una imagen 2D en el sector de La Florida, en el bloque 3-B que muestra la forma en la que distribuyen los suelos hasta a 6m de profundidad. Con esta se determinó que los depósitos arcillosos (Anexo 2) para la zona son de forma lenticular y que los cuerpos de arcillas están dispuestos en canales de espesores mínimos de 5 m (Figura 4.41). Asimismo, se realizaron pozos de sondeo por medio de agujeros hasta los 1.92m para confirmar la información generada en el perfil geoeléctrico y se consiguió información de los pozos registrados en el SENARA (Apéndice 5) y con estos se comprobó que para el sector de La Florida hay espesores de arcillas de hasta 5 m (Anexo 2).

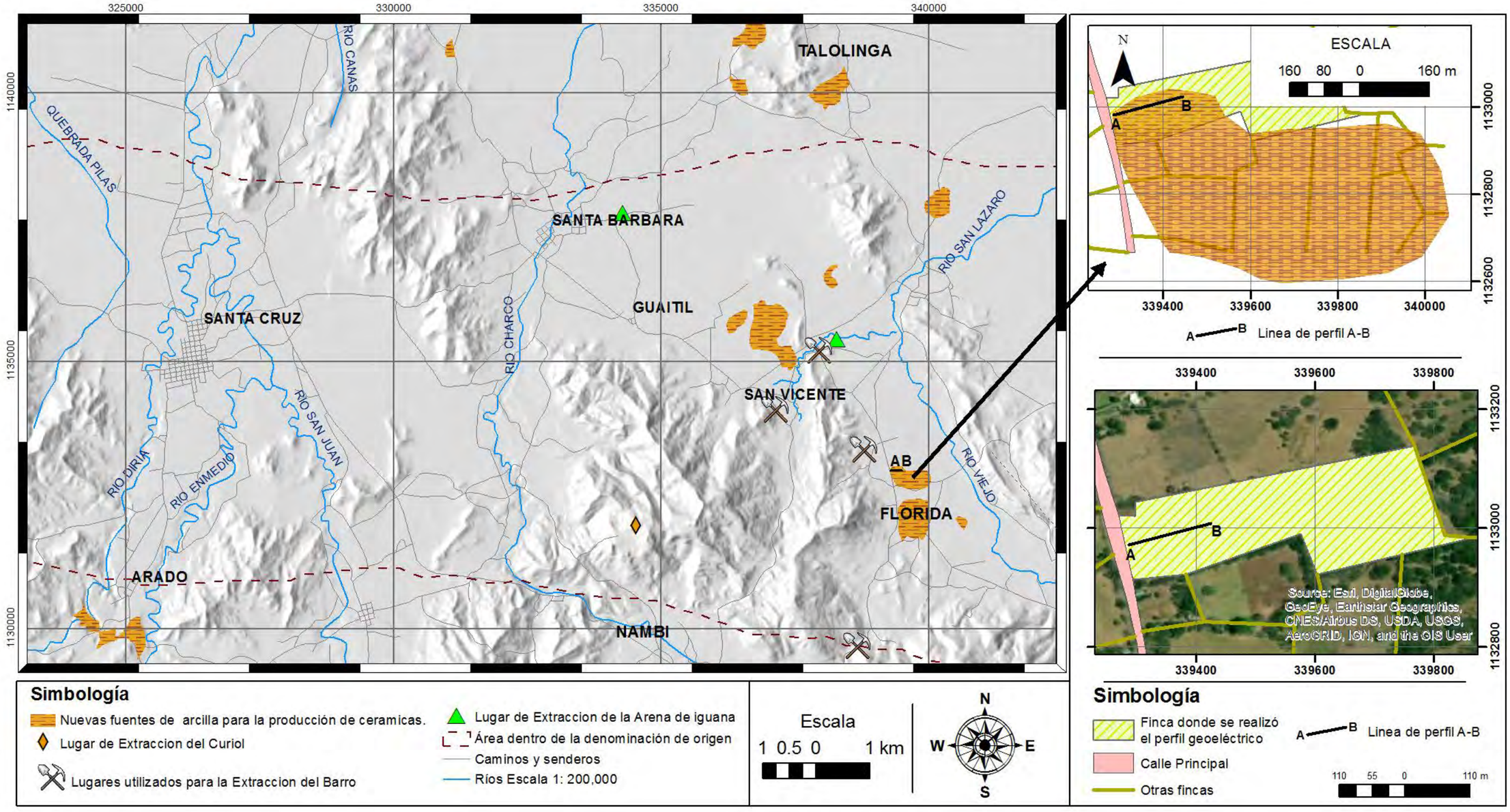


Figura 4.40. Nuevas fuentes de arcillas identificadas.

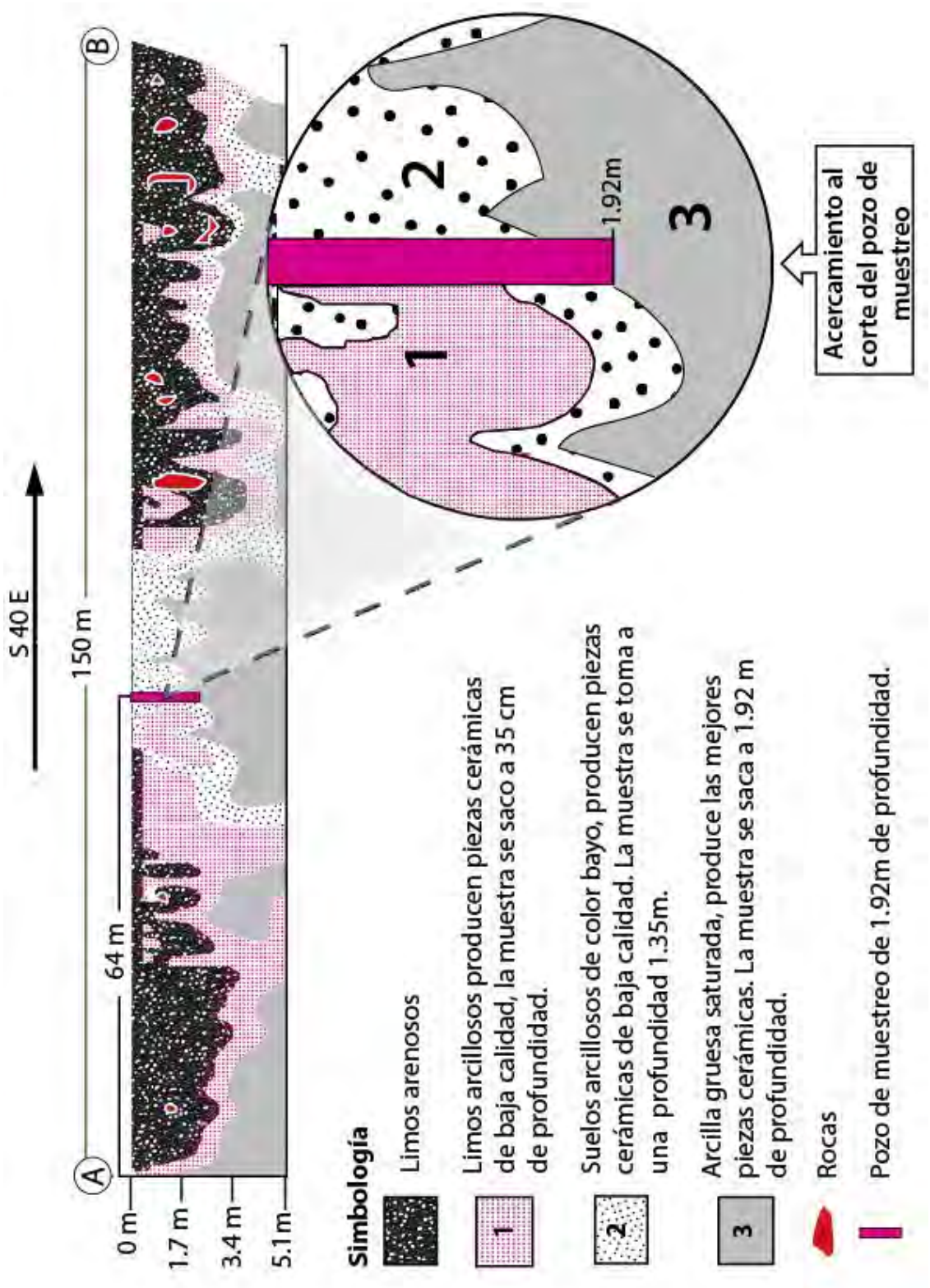


Figura 4.41. Tomografía eléctrica realizada en la finca de los Machado (Florida, Nicoya), se observa 5.11 m de suelos finos a manera de canales o lentes (Tomado de Arias, 2017).

Capítulo V. Discusión

Autores como Aguilar *et al.* (1989), Alvarado *et al.* (2010) y Alvarado *et al.* (2013) han determinado que los depósitos aluviales del Cuaternario de la zona Chorotega, son suelos francoarcillosos compuestos por limos, arcillas y arenas, con un contenido de gravas inferior al 10 %, con humedades menores al 44 % y que pertenecen al grupo mineralógico de la halloysita.

En este trabajo de investigación se verificó que no todas las arcillas encontradas en el sector Chorotega son apropiadas para la generación de piezas cerámicas de alta calidad.

Asimismo, los suelos con las mejores características mecánicas y cerámicas para emplearse en la producción de piezas ornamentales son los que se encuentran en las cercanías del Complejo de Nicoya y de la Formación Sabana Grande. Esto ya que a pesar de que hay una cobertura de hasta 160 km^2 de depósitos aluviales, no todos los suelos francoarcillosos producen piezas de buena calidad al cocinarse en hornos cerámicos.

El análisis del relieve de la zona mostró que esta se encuentra rodeada por cerros denudacionales, cerros aislados y cerros testigos, separados por una extensión de 168 km^2 de llanura aluvial y con abanicos aluviales de 8 km^2 de extensión. Además, se evaluó que los principales focos de depósitos de arcillas son los sectores compuestos por rocas ricas en minerales ferromagnesianos (Gray *et al.*, 2011) y por los sectores con grandes depósitos aluviales de baja inclinación (>2°), principalmente abanicos aluviales (Thomas, 1968), correspondientes a los subbloques 6-A, 2-B, 3-B, 4-B, 6-B y 5-C en la zona de estudio.

De la relación rocas y suelos se establece que los suelos donde solo afloran las rocas del Complejo de Nicoya son muy plásticos y de colores rojizos, los suelos donde afloran las calizas de Barrahonda son de colores oscuros y muy plásticos y los suelos donde afloran areniscas de la formación Sabana Grande o Nambí son suelos en su mayoría gruesos. En estos, cuanto más lejanos se encuentren de la roca precursora, mayor será el contenido de finos y de arcillas que se presenten en

los suelos.

Además, con base en lo obtenido de las visitas de campo, se identificó que son los suelos en los que afloran las areniscas silificadas junto a bloques métricos de basaltos, los que generan las arcillas de mayor potencial cerámico y esto se evidenció en los bloques 2-B, 3-B y 4-B. Mientras que los bloques 1-A, 2-A, 1-C, 2-C, 3-C, 5-B, 6-C y el 1-B se descartan principalmente por ser zonas en las que dominan rocas del Complejo de Nicoya y de la Formación Barrahonda.

De los resultados de las pruebas de laboratorio, se determinó que los suelos con las mejores características cerámicas son los que tienen porosidades entre el 42 % y el 61 %, plasticidades del 14 a 29, densidades mayores a 1,7 g/cm^3, con contenidos de finos superiores al 59,9 %, un encogimiento menor al 11 % y donde la humedad perdida por las piezas al cocinarse a 900°C es menor al 30 % y estos se ubican también en los sectores 6-A, 2-B, 3-B y 4-B.

Por otra parte, los suelos que no son aptos para la producción alfarera (52,2 %) se debió a que presentan una plasticidad alta (superior a 29) y una densidad menor al 1,5 g/cm^3. Para los casos en los que los suelos no mostraron un comportamiento ni plástico ni cerámico (el 22,7 % de los suelos analizados) se debió a un contenido de arenas superior al 50 % y fueron los que presentaron la mayor cantidad de defectos cerámicos como craquelado, baja dureza y deformaciones como pandeo.

El motivo de que no todos los suelos sean útiles para la producción alfarera se debe a que una pieza cerámica debe ser resistente, debe absorber adecuadamente los esmaltes de color, presentar una plasticidad adecuada, tener un grado de encogimiento menor al 15 % y porque se pueden generar piezas cerámicas de muchos tipos de arcillas diferentes, pero no todas las arcillas pueden ser utilizadas para la producción de lozas ornamentales.

En el caso de las muestras Ag24-375247- M220, Ag24-375408- M220, Ag24-3375408- M40 y 17-nov-367252- 30T, no pudieron utilizarse para la prueba del bizcocho por la carencia de plasticidad y por ser suelos similares a la “*Arena de*

Iguana", ya que son de granulometría arenosa, color marrón y es posible identificar en estos pequeños cristales de cuarzos.

Según Kogel *et al.* (2006) un buen depósito de arcilla debe estar formado por silicatos, aluminosilicatos y por compuestos de Fe_2O_3 y de K_2O, por esto, se analizaron las arcillas por medio de la difracción de rayos X en los bloques 2-B, 3-B y 4-B. De este análisis se obtuvo que las arcillas presentes son de la familia de la Caolinita y Vermiculita, las cuales, con base en la clasificación de Nelson (1960), son arcillas cerámicas del tipo *ballclay* y *fireclay*. El resultado es pionero para la zona, debido a que la información mineralógica que se tenía de estas era muy limitada o producto de la extrapolación de datos (Alvarado *et al.* 2013).

Los minerales encontrados en las rocas de la zona de estudio demostraron ser plagioclasas, augitas y óxidos de hierro en las rocas basálticas del Complejo de Nicoya, cuarzos, zeolitas, calcedonias, calcitas, esparita y micritas, igualmente silicatos y óxidos de hierro y potasio en las rocas sedimentarias de las formaciones del sitio. Estos minerales, a partir de la meteorización, originan el material arcilloso, apto para elaborar piezas cerámicas. Además, la presencia de esmectitas en las rocas cercanas a los bloques 2-B, 3-B y 4-B mejora el potencial de estas para producir arcillas, pues si llega a ocurrir un proceso de hidrólisis intenso pueden ser enriquecidas, al igual que los suelos de los alrededores, en minerales del grupo de la Caolinita.

La figura 4.21 muestra que las áreas señaladas tienen arcillas con buenas aptitudes para ser trabajadas en la alfarería. Los depósitos de arcillas encontrados en los sectores 6-A, 3-B, 2-B y 4-B, presentan las características cerámicas adecuadas y las propiedades tecnológicas ideales para producir piezas de porcelana.

Asimismo, con base en una imagen geoeléctrica 2D (Figura 4.39), se demostró que las capas de arcillas tienen espesores aproximados de hasta 5 m por 6 m de largo, de forma lenticular; no obstante este perfil geoeléctrico no permite calcular reservas, debido a que se desconoce un volumen ni por cuánto tiempo puede abastecer a los talleres de la zona. Así que para un futuro se recomienda

realizar prospecciones geoeléctricas y perforaciones con el fin de conocer a mayor detalle el volumen de estos lentes y poder realizar un adecuado cálculo de reservas.

De esta forma, se obtuvo que la zona presenta nuevas fuentes en los sectores cercanos a Guaitil, San Vicente, Arado y La Florida, con cuerpos arcillosos de buena calidad de hasta 5 m y que son los suelos de estas zonas los que deben priorizarse en estudios posteriores.

Desde el punto de vista minero, actualmente los alfareros de estas comunidades no cuentan con los recursos económicos, humanos, ni tecnológicos para desarrollar una mina. Por tanto, se requiere de una mayor especialización en temas mineros y de una mejor organización social. De esta manera, se podría poner en marcha algún proyecto minero y se obtendrá una reducción de los conflictos entre los vecinos y el fortalecimiento de la economía de las comunidades que se encuentran protegidas por el Sello de Denominación de origen Chorotega.

Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Del capítulo de Geomorfología

1. Las zonas con mayor contenido de arcillas se encuentran asociadas con morfologías de origen fluvial y sobreyacen a los depósitos recientes del cuaternario. Además, se asocian con las litologías de las Formaciones Sabana Grande y Complejo de Nicoya.
2. Los abanicos aluviales tienen extensiones de 8 km^2 y de 1 km^2, se concentran principalmente en los bloques 3B, 2B, 4B y 6A.
3. Los depósitos aluviales comprenden un 46,4 % del área de estudio y los cerros denudaciones un 39,3 %.
4. Los suelos encontrados en los coluvios mostraron importante cantidad de clastos subangulosos y de arenas. Por otra parte, los suelos asociados con grandes llanuras de inundación (la del río Tempisque y río Cañas) muestran un alto contenido de limos debido a la capacidad boyante y la facilidad de depósito de los limos. Por lo tanto, es común que existan limos mezclados con arcillas en los suelos analizados.

6.2. Del capítulo de Geología local

1. Las zonas cercanas a las formaciones Sabana Grande y al Complejo de Nicoya son las que tienen la mayor probabilidad de presentar recursos útiles de mineral arcilloso para la producción de cerámicas. La DRX evidenció que son suelos pertenecientes a las familias de la Caolinita y la Vermiculita.
2. Los suelos asociados con la Formación Barrahonda son muy plásticos y expansivos, además de colores negros. Por lo tanto, esta zona se descarta para estudios posteriores, ya que son suelos útiles esencialmente para la producción de comales y ollas de baja calidad.

6.3. De los análisis de laboratorio

6.3.1. Propiedades tecnológicas y cerámicas

1. En general, los suelos de color gris y los de color bayo presentan una mayor plasticidad que los de color negro.
2. Los suelos poseen un contenido de material francoarcilloso del 41 % al 96 % y densidades de 1,47 g/cm^3 a 1,84 g/cm^3. Los que tengan un contenido de arcillas superior al 50 % y una densidad igual o mayor a 1,7 g/cm^3, generarán piezas resistentes y de buena calidad.
3. Las porosidades de los suelos van del 40 % al 60 % y los mejores valores de porosidades van del 42 % al 51,3 %.
4. Las plasticidades superiores a 27.9 no generan piezas de buena calidad.
5. De los suelos analizados, un 52,3 % no funciona para la producción de alfarerías. Mientras que un 47,7% funcionan para producir piezas cerámicas.
6. De la totalidad de piezas ensayadas, un 31,8 % de las piezas ensayadas son de buena calidad y un 15,9 % son útiles pero son muy plásticas, por lo tanto pandean.
7. El 25 % de las piezas evaluadas no son adecuados para la fabricación de cerámicas debido a que son quebradizas de baja densidad (<1.7 g/cm^3) y de plasticidades inadecuadas. Mientras que un 22,7% y un 4,5% de las piezas mostraron no ser adecuadas debido a un alto contenido de arenas (>30).
8. La información obtenida en las pruebas de cocción y por medio de las pruebas geotécnicas concluyen que las zonas con suelos limosos de baja plasticidad y tipo limo arenoso no tienen aptitud cerámica.

6.3.2. Mineralogía de las arcillas

1. Las arcillas contienen principalmente minerales poco cristalizados del Grupo de la Caolinita, minerales del Grupo de la Esmectica y cuarzo.
2. Por medio del análisis de roca total, las rocas mostraron tener minerales del grupo de la Esmectica y zeolitas como minerales de alteración.
3. Los suelos utilizados mineralógicamente durante el periodo prehispánico pertenecen a las familias de los Caolines y de la Vermiculita. Aunque en el pasado se consideró que en realidad son miembros de la familia de las montmorillonitas y halloysistas.
4. Con base en los colores de cocción y a la mineralogía que contienen las arcillas de la zona Chorotega, en la clasificación de Nelson (1960) son del tipo *ballClay* y *fireclay*, lo que significa que son suelos arcillosos con buen potencial cerámico.

6.4. Nuevas fuentes de arcillas

1. Existen nuevas zonas sin explorar con potencial como fuente de materia prima para la producción de cerámicas, como se mostró en el estudio (Figura 4.39).
2. Se comprobó que existen nuevas fuentes de arcillas con espesores de 5 m, información validada por medio de una tomografía eléctrica en los suelos de la Florida (Figura 4.40) y la información de pozos del SENARA (Apéndice 5).
3. Las nuevas fuentes de arcillas pueden encontrarse en los alrededores de Talolinga, San Vicente, La Florida, Arado y El Silencio, debido a que presentan la mejor aptitud cerámica y las propiedades mecánicas más similares a otros materiales cerámicos de uso más conocido, como las muestras *Escazú* y *Ba-Pa*.

6.5. Recomendaciones

1. Se recomienda para el futuro explorar en las zonas altas de los cerros de los alrededores de Moracia, ya que se encontró un tajo de color blanco con una roca muy similar a la que aflora sobre el cerro San Vicente y que se utiliza para la elaboración del tinte Curiol (Salas *et al.* 2015).

2. Se recomienda realizar más pruebas de difracción de rayos X a los suelos de la región, principalmente en los sitios delimitados en la figura 4.40. Se recomienda realizar pruebas de DRX a otras muestras de arcillas para continuar con la recopilación de datos mineralógicos de las mismas.

3. Se recomienda que los artesanos comiencen a utilizar las propiedades de los suelos y desarrollar un método para poder caracterizarlos en torno a características como plasticidad, resistencia y capacidad de absorción del esmalte. Ya que los artesanos deben ser capaces de poder reconocer las propiedades físicas de los suelos para poder distinguir entre los suelos que generan buenas piezas cerámicas y los que no,

4. Se recomienda incorporar a un trabajador social en el grupo de trabajo en la zona que sirva como mediador de conflictos, debido a que se necesita convocar a la comunidad por medio de talleres para identificar los problemas que agravan la condición socioeconómica del lugar. El fin es presentar iniciativas que permitan solucionar los problemas que los aqueja.

5. Se aconseja involucrar a un geólogo minero o un economista geológico para que desglose, de mejor manera, la forma en la que se llevarán a cabo los costos de prospección y exploración minera.

6. Se recomienda cambiar o reparar los hornos que utilizan los artesanos para cocinar las piezas cerámicas, debido a que los hornos presentan problemas como hollín y óxidos en su interior. Lo que genera problemas al momento de cocinar alfarerías.

7. Se propone incorporar un método para medir la temperatura máxima a la que llegan los hornos de barro, una opción son los termómetros de precisión industriales, por ejemplo una termocupla. Para que la temperatura de cocción alcance los 900°C.

8. Se sugiere estandarizar la mezcla que se utiliza para la elaboración de piezas cerámicas, esto para generar un estándar de producción.

9. Se sugiere mejorar el conocimiento de los artesanos en cuanto a la elaboración de las piezas cerámicas. Por medio de talleres de cerámica y capacitaciones.

10. Se aconseja continuar con ensayos en los terrenos seleccionados (Figura 4.40) y llegar a acuerdos para la compra y posterior adquisición de uno de estos.

11. Se necesita continuar con las labores de prospección en alguno de los terrenos seleccionados (Figura 4.40).

12. Se recomienda realizar prospección del tipo geoeléctrica con la metodología de Sondeos Eléctricos verticales, debido a que se obtiene mejores resultados que con pruebas tipo SPT.

13. Se recomienda realizar labores de búsqueda de nuevas fuentes de la materia prima de la "*Arena de Iguana*", de preferencia que sean sitios con las mismas características a los utilizados en la actualidad por los alfareros.

14. Se recomienda analizar las arcillas con la metodología de Fluorescencia para conocer con mejor detalle su composición y evaluar la existencia de Manganeso en los suelos de colores más oscuros.

15. Se recomienda analizar los talleres y sectores que no fueron incluidos en la delimitación de la Denominación de Origen, debido a que existen artesanos de descendencia Chorotega fuera de los límites del Sello.

Referencias

AGUILAR, M., ALVARADO, A., ÁLVAREZ, E., GUEVARA, G., LÓPEZ, J. & VILLALOBOS, M. (1989). Proyecto de Cooperación técnica en identificación, preparación y ejecución de proyectos de desarrollo rural, en organizaciones de pequeños productores. Coope Avate, San José [Informe].

ALVARADO, A., BERTSCH, F., BORNEMISZA, E., CABALCETA, G., FORSYTHE W., HENRÍQUEZ C., MATA R., MOLINA E. & SALAS, R. (2010). Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.

ALVARADO, G., DENYER, P. & GAZEL, E. (2009). Endeavor Research into envolving paradigmas around ofiolithe: the case of the oceanic igneous complex of Costa Rica. - Rev. Geol. Amer. Central, 40: 49-73.

ALVARADO, A., MATA, R. & CHINCHILLA, M. (2013). Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el periodo 1931-2014: i. Historia, metodología de análisis y mineralogía de arcillas en suelos derivados de cenizas volcánicas. - Agronomía Costarricense, 38 (1): 75-106.

ASTORGA, A. (1987). El cretacico superior y el Paleógeno de la vértice pacífica de Nicaragua Meridional y Costa Rica Septentrional: el origen y dinámica de las cuencas profundas, relacionadas con el margen convergente de Centroamérica. Univ. de Costa Rica, San José. [Tesis Lic.]

BASTERRA, I. (2011). Teledetección imágenes satelitales – Procesamiento digital de imágenes. UNNE. Corrientes, Argentina.

BAUMGARTNER, P., BANNDINI, A., DENYER, P., FLORES, K. & JACKETT, S. (2008). Late Cretaceous and Paleogene radiolarian from the Nicoya Penninsula, Costa Rica: a tectonostratigraphic application. - Stratigraphy, 5:

3-21.

BAUMGARTNER, P. (1987). Tectónica y sedimentación del Cretácico Superior en la zona pacífica de Costa Rica.- Univ. Autónoma de Nuevo León 1987, México.

BENNETT, R., BYANT, W. & HULBERT, M. (1991). Microstructure of fine-grained sediments. Ed. Springe-Verlag, New York.

BESOAIN, E. (1985). Mineralogía de arcillas de suelos. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. CATIE, Costa Rica.

BOWLES, J. (1981). Manual de laboratorios de suelo en Ingeniería Civil. Editorial Mc Graw Hill, México.

CALVO, C. (1987). Las calizas neríticas de la Vertiente Pacífica del norte de Costa Rica y sur de Nicaragua, épocas y sistemas asociados con la apertura y evolución del margen convergente de la América Central meridional. UCR, San José. [Tesis de Lic].

CALVO, C. & BOLZ, A. (2003). Nuevos datos bioestratigráficos y sedimentológicos sobre el origen del Complejo básico de Quepos, Costa Rica. - Rev. Amer. Central. 28: 31-45.

CHAMLEY, H. (1989). Clay sedimentology. University of Lille, I., Paris.

DEMETS, C. (2001). A new estimate for present-day Cocos- Caribean plate motion: Implications for slip along the Central America volcanic arc. – Geophysical Research Letters. 28 (21): 1- 4.

DENGO, G. (1962). Estudio Geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional, San José.

DENYER, P. & ARIAS, O. (1993). Geología del norte de la Peninsula de Nicoya, Costa Rica.-Rev. Geol. Amér. Central, 16: 69-84.

DENYER, P., AGUILAR, T. & MONTERO, W. (2014). Cartografía geológica y la Península de Nicoya. Univ. de Costa Rica, San José

DENYER, P. & BAUMGARTNER, P. (2006). Emplacement of Jurassic-Lower Cretaceous radiolarites of the Nicoya Complex (Costa Rica). - Geological Acta, 4: 203 - 218.

DRESCH, J. (1953). Morphologie de la chaîne d'Ougarta.- Inst, de Rech. Sahariennes, Travaux, 9: 25-38.

FLORES, K. (2003). Propuesta tectonoestratigráfica de la región Septentrional del Golfo de Nicoya. Univ. de Costa Rica, San José. [Tesis Lic.]

FLORES, K., DENYER, P. & AGUILAR, T. (2008). Nueva propuesta estratigráfica: Geología de las hojas Matambú y Talolinga Guanacaste, Costa Rica.- Rev. Geol. Amer. Central. Vol (28): 131-138.

GRAY, J., HUMPHREYS, G. & DECKERS, J. (2011). Distribution patterns of World Reference Base soil groups relative to soil-forming factors. – Geoderma, 163: 373-383.

GRÄFE, K., FRISCH, W., VILLA, I. & MESCHEDE, M. (2002). Geodynamic evolution of southern Costa Rica related to low-angle subduction of the Cocos Ridge Constrains from thermochronology. – Thermophysics, 384: 187-204.

GUERRERO, J. & BLANCO, A. (1987). La Ceiba un asentamiento del Policromo Medio en el Valle del Tempisque con actividades funerarias. Univ. de Costa Rica, San José. [Tesis Lic.]

GUILBERT, J. & PARKS, C. (2007). The Geology of Ore Deposits. -Waveland Press. California, EUA. [Edición reeditada].

HAUFF, F., HOERNLE, K., VANDERBOGAARD, P., ALVARADO, G. & GARBE-

SCHÖBERG, D. (2000). Age and geochemistry of basaltic complexes in western Costa Rica: Contributions to the geotecnic evolution of Central America. - Geochemistry Geophysics Geosystems. 1 (5). DOI: 10.1029/1999GC000020.

HERNÁNDEZ, S. (2012). Informe muestras de campo proyecto de certificación de origen de las cerámicas de Guaitil y San Vicente, Nicoya, Guanacaste. - San José, Costa Rica. [Documento digital] [Inedito].

HERRERA, P. & VARGAS, A. (2012). Geología Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica.- Rev. biol. trop vol.(60).

INDER. (2016a). Plan de desarrollo rural Territorial 2016-2021, Consejo territorial de Desarrollo Rural Nandayure-Hojancha-Nicoya. INDER, San José. [Informe].

INDER. (2016b). Caracterización del Territorio Santa Cruz-Carrillo. INDER, San José. [Informe].

JACCARD, S., MÜNSTER, M., BAUMGARTNER, P., BAUMGARTNET-MORA, C. & DENYER, P. (2001). Barrahonda (Upper Paleocene- lower Eocene) and el Viejo (Campanian-Maastrichtian) carbonate platforms in the Tempisque Area (Guanacaste, Costa Rica). - Rev. Geol. Amér. Central, 24: 9-27.

JUSTO, A. & MORILLO, E. (1999). Técnicas de difracción de Rayos X para la identificación cualitativa y cuantitativa de minerales de arcilla. - Ciencia y Tecnología de Materiales, 2: 77-86. Recuperado de: http://hdl.handle.net/10261/79501.

KEAREY, P., BROOKS, M & HILL, I. (2002). An Introduction to Geophysical Exploration. – EUA. Black Science Lab, Oxford.

KOGEL, J., TRIVEDI, N., BARKER, J. & KRUKOWSKI, S. (2006). Industrial Minerals y Rocks, Commodities, Market and Uses. SME, Colorado.

KUIJPERS, E. (1979). La geología del Complejo ofiolítico de Nicoya, Costa Rica.- Inf. Sem. IGN, 1979 (2): 15 - 75.

MADRIGAL, P., GAZEL, E., FLORES, K., BIZIMIS, M. & JICHA, B. (2016). Record of massive upwellings from the Pacific large low shear velocity province. - Nature Communications, 7 (13309): 1-12, DOI: 10.1038/ncomms13309

MADRIGAL, R. & ROJAS, E. (1980). Manual descriptivo del mapa Geomorfológico de Costa Rica, escala 1: 200,000 [1° Ed]. Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria, Costa Rica.

MAKSIMOV, G., MILOSERDINA, N. & ERIOMIN, N., 1973: Breve curso de prospección geológica. MIR, Moscú.

MESEGUER. S., JORDAN. M., SANFELIU, T., GONZÁLES. I. & QUIROZ, M. (2008). Prospección Geológica, Minera y Ceramicidad de las arcillas grises de Punta Arenas (Chile). - Macla, 9: 157-158.

MONTERO, W. & DENYER, P., 2011: Fallamiento neotectónico de la península de Nicoya y su relación con el escape tectónico del antearco centroamericano.- Rev. Geol. Amér. Central, 45: 09-52

MOORE, D. & REYNOLDS, R. (1997). X- Ray Difraction and the indentification and Analysis of Clay mineral. Oxford, Inglaterra. [3° Edición]

MORA, S. (1981). Barrahonda. UNED. San José. [Tesis Lic.]

MORALES, J. (2005). Tecnología de los materiales cerámicos. Diaz de Santos. Madrid, España.

NELSON, G. (1960). Ceramics, a potter handbook. Holt. Michigam [1° Edición].

NORTON, F. (1979). Cerámica para el artista alfarero [1° Ed]. Continental, México.

PADILLA, A. (2016). Prospección de arcilla para materia prima de Cerámica Chorotega. Min. Hacienda, San José [Informe final].

PIZARRO, Y. & MARCHENA, J. (2009). Aportes para la comprensión de la cerámica de Guaitil y San Vicente, Guanacaste. Masterlitho, Costa Rica [Documento digital] [Inedito].

RIVIER, F. (1983). Síntesis geológica y mapa geológico del área de bajo Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. Inf. Sem. IGN, 1983 (1): 7-30.

RHODES, D. (1973). Clay and Glazes for the Potter. Pitman. Hereford.

RUBÍ, J. (2011). Diagnóstico de las comunidades productoras de Cerámica Chorotega, Guaitil y San Vicente de la provincia de Guanacaste en Costa Rica. Masterlitho, Costa Rica [Documento digital] [Inedito].

RUHE, R. (1956). Geomorphic surfaces and the nature of Soils. - Soil Science, 84: 441-456.

SALAS, I., CAMACHO, F. & GUIER, I. (2015). Huellas de nuestra raíz Chorotega, Recorrido histórico de los primeros pobladores en la Gran Nicoya.. San José, Costa Rica [1° Edición].

SALAS, I. & HERNÁNDEZ, S. (2012). Descripción de origen de la Cerámica Chorotega. Masterlitho, Costa Rica [Documento digital] [Inedito].

SINTON, C., DUNCAN, R Y DENYER, P. (1997). Nicoya Penninsula: A single suit of Caribbean Oceanic Plateu magmas. - Journal of Geophysical Research, 102(B7):15,507 – 15,520.

SOTO, D. & ALVARADO, G. (2012). Peperitas de Costa Rica. - Rev. Amer. Central, 47: 55-68.

SPRECHMANN, P. (1984). Manual de Geología de Costa Rica. UCR, San José.

TOURNON, J. (1984). Magmatismes du Mezoique a l’ actual en Amerique

Centrale: L’ exemple de Costa Rica, des ophiolites aux andesites. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris [Tesis Phd].

THOMAS, M. (1974). Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes. MacMillan, London. [1° Edición].

TORRES, C. (2002). Manejo de suelos y aguas, Fotointerpretación. Universidad de San Carlos, Guatemala [Informe].

VANNUCCHI, P., SCHOLL, D., MESCHEDE, M. & MCDOUGALL-REID, K. (2001). Tectonic erosión and collapse of the Pacific mergin of Costa Rica: Combined implication from ODP Leg 170, seismic offshore data, and regional geology of the Nicoya Peninsula. – Tectonics, 20 (5): 649-668.

VIERS, G. (1974). Geomorfología. Oikos-tau, Barcelona. [1° Edición].

WHATTAM, S. & STERN, B. (2015). Late Cretaceous plume-induced subduction initiation along the southern margin of the Caribbean and NW South America: The first documented example with implications for the onset of plate tectonics. - Gondwana Research, 27 (1): 38-6

Glosario

Abanico aluvial.- Material detrítico depositado en forma de abanico, por una corriente acuosa, al cambio de pendiente de un torrente o cercano a su nivel de base.

Abanico fluvial.- Material clástico depositado en forma de abanico, en una superficie subhorizontal, transportado por una corriente fluvial, cerca de su desembocadura en el mar, lago o un río de mayor caudal.

Afluente.- Curso de agua cuyo volumen o descarga contribuye con aumentar el caudal del río, en el cual desemboca, puede tratarse también de un lago, laguna o mar.

Arenisca.- Roca sedimentaria clástica, resultado de la consolidación y diagénesis de la acumulación de arena.

Basalto.- Roca ígnea volcánica básica. Contiene esencialmente minerales ferromagnesianos (augita, hornblenda), feldespatos, plagioclasas y olivino.

Barro: - Sinónimo alfarero para referirse a las arcillas.

Bizcocho.- Es la arcilla modelada, que ha sido estrujada, aplastada y redondeada a manera de cilindro. El cilindro luego es deformado a manera de lazo.

Bizcocho cerámico.- El bizcocho cerámico es el resultado de la primera cocción de arcilla de baja temperatura. Piezas de arcilla blanca cocida a 1050ºC listas para esmaltar.

Color Bayo. - Color que combina los tonos amarillos, negros y rojizos.

Curiol. - Esmalte utilizado para pintar las piezas de alfarería tipo Chorotega, son de colores fanta, blanco, marrón y negro.

Craquear .- Grietas que se originan en la superficie del esmalte cerámico al sacarlas del horno o algún tiempo después.

Denudación.- Trabajo gliptogenético de devastación de las rocas de la superficie terrestre, realizado por los diversos agentes de erosión. Los terrenos sedimentarios formados por los materiales detríticos son la mejor prueba de la destrucción de las rocas preexistentes.

Depósito.- Conjunto de materiales sólidos acumulados. Según el agente más importante que concurrió para la acumulación de las rocas, así como el lugar de deposición se les denomina: depósitos aluviales, depósitos deltaicos, depósitos glaciares, depósitos pelágicos, depósitos abisales, depósitos eólicos, depósitos

marinos, depósitos continentales, depósitos subaéreos, depósitos subacuáticos, depósitos terrígenos, depósitos de talud, depósitos coluviales, depósitos fluviales, depósitos torrenciales, etc.

Depósito de talud o talud de escombros.- Depósitos acumulados en la base de una escarpa. Este material, generalmente, es acarreado por acción de la gravedad y algunas veces por acción de las corrientes de agua superficial. Además, se le denomina depósito de gravedad.

Edafología.- Ciencia parte de la agronomía que estudia el suelo relacionándolo con su origen, evolución y aprovechamiento. Es sinónimo de la palabra pedología.

Escarpe.- Fuerte desnivel en los terrenos que delimita a dos superficies más o menos planas. Ej. la escarpa del acantilado de Lima, que delimita el cono aluvial del Rímac con la plataforma litoral.

Formación.- Es una secuencia de rocas, generalmente de características semejantes, en cuanto a litología, fósiles y edad. Por lo tanto, poseen una facies semejante, cuencas de deposición semejantes y cercanas y fuentes de aportes de materiales también semejantes. Algunas formaciones tienen gran extensión territorial.

Fotografías aéreas.- Son fotos de la superficie terrestre tomadas por aviones especiales y sirven para llevar a cabo estudios geológicos, mineros, planeamientos urbanísticos, carreteras, etc. Se tienen fotografías aéreas en blanco y negro y a colores, también se tienen fotos aéreas verticales y oblicuas.

Falla.- Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante con este o de ambos bloques, a través de un plano denominado *plano de falla*. Las fallas son producto de esfuerzos tectónicos, producto de la epirogénesis, orogenia, diastrofismo, tectónica de placas o cualquier otro tipo de desplazamiento de parte de la corteza. Una falla ocasiona discontinuidad de las estructuras geológicas.

Fluxante. – Producto que disminuye la plasticidad de una arcilla determinada.

Granulometría.- Tecnología que se encarga de dictar las normas correspondientes para determinar las dimensiones y las formas de los fragmentos de los materiales detríticos.

Método del bizcocho.- Es un método cualitativo que es utilizado para diferenciar entre suelos plásticos, poco plásticos y sin plasticidad. Es un método muy popular y practico, que es también practicado por los ceramistas Chorotegas.

Miembro.- Unidad litológica conformada por dos o más pisos.

Llanura aluvial.- Porción de valle más o menos plana formada por sedimentos transportados por un proceso fluvial.

Limo.- Fragmentos o partículas de las rocas o minerales cuyas dimensiones están comprendidas entre 0.02 y 0.002 mm.

Lutita.- Roca formada por la consolidación de partículas muy finas, arcillas. Presenta estructura laminar, muy fina, friable.

Porosidad.- Es la relación existente entre el volumen de los intersticios porosos y el volumen de la roca o suelo.

Silicificación.- Es la sustitución parcial o total del carbonato de calcio o de los elementos orgánicos por sílice, bajo la forma de ópalo o calcedonia. La silicificación es el proceso que se realiza sobre los seres vivos después de su muerte, conservando totalmente su forma y tamaño convirtiéndolos en fósiles. Además, se designa a este proceso como fosilización. La silicificación también se realiza en los procesos hidrotermales en los que las soluciones cargadas de sílice y a alta temperatura silicifican los materiales rocosos preexistentes siendo indicativos de la presencia de posibles yacimientos hidrotermales.

Radiolarios. - Microorganismos marinos, protozoarios rizópodos, de esqueleto silíceo y de una sustancia compuesta esencialmente de sulfato de estroncio y que en forma de finísimo enrejado protege el protoplasma. Su hábitat es pelágico, se sedimenta en los fondos marinos en conjunto con otros materiales fragmentarios y, posteriormente, dan lugar a los yacimientos

Radiolarita.- Roca silícea formada por la silicificación y diagénesis de los depósitos de radiolarios en los fondos marinos.

Roca madre.- Es la roca que por alteración da lugar a la formación de suelos que cubren la roca original o roca madre.

Vitrificación.- Fusión superficial de un sólido por una fuente de energía o calor cercana, debido principalmente a la acción de los gases volcánicos y su consecuente solidificación.

Apéndice 1.

Análisis de suelos *in situ*

Numero	X	Y	Color	Plasticidad	Profundidad (m)
1	329935	1141497	Marrón	Si	100
2	336631	1140834	Marrón	Si	80
3	336958	1140657	Marrón	Si	100
4	336811	1140859	Marrón	Si	100
5	320332	1143052	Marrón	Si	100
6	320673	1139175	Marrón	Poca	100
7	338802	1139067	Marrón	Poca	100
8	328002	1139245	Marrón	Si	100
9	340526	1139346	Rojizo	Poca	100
10	341376	1139325	Rojizo	Poca	100
11	338670	1138936	Marrón	Poca	100
12	338635	1139013	Marrón	Si	125
13	340743	1138734	Rojizo	Si	100
14	327757	1138095	Marrón	Si	100
15	344610	1138248	Marrón	Poca	100
16	331481	1137986	Marrón	Poca	100
17	328309	1137856	Marrón	Si	100
18	343445	1137727	Marrón	Si	100
19	326616	1137729	Rojizo	Si	100
20	339875	1137151	Marrón	Si	100
21	344960	1137543	Marrón	No	100
22	332462	1137418	Rojizo	Si	100
23	326398	1137003	Rojizo	Si	100
24	332700	1136775	Rojizo	Si	100
25	325615	1136555	Marrón	Si	100
26	345259	1136537	Marrón	No	100
27	343715	1136528	Marrón	Si	100
28	328160	1136360	Rojizo	Si	100
29	340428	1135841	Bayo	No	100
30	329518	1136070	Rojizo	Si	100
31	327849	1135440	Marrón	Si	100
32	330119	1135417	Rojizo	Si	100
33	340996	1135000	Marrón	Si	100
34	337022	1134318	Bayo	Si	100
35	338272	1134541	Bayo	Poca	100
36	338352	1134621	Marrón	Poca	100
37	341528	1133935	Marrón	Poca	100
38	329082	1133904	Rojizo	Poca	100
39	339259	1133368	Marrón	Poca	100
40	345364	1133572	Marrón	Poca	100
41	343808	1132614	Marrón	Poca	100
42	346829	1132400	Marrón	Poca	100

43	341365	1132017	Rojizo	Si	100
44	347407	1131779	Marrón	Si	100
45	347680	1131334	Marrón	Si	100
46	348037	1131266	Marrón	Si	100
47	342126	1130441	Marrón	Si	100
48	342188	1130442	Marrón	Si	100
49	339313	1130505	Marrón	Si	100
50	324339	1130005	Marrón	Poca	100
51	324339	1130005	Marrón	Si	100
52	324449	1130032	Marrón	Si	200
53	323511	1129501	Marrón	Si	80
54	323416	1129511	Marrón	Si	100
55	324086	1129663	Marrón	Si	100
56	325853	1129686	Marrón	Si	100
57	325566	1129013	Marrón	Poca	100
58	327767	1129396	Marrón	Poca	100
59	346097	1128352	Marrón	Poca	100
60	343518	113643	Bayo	Si	100
61	347070	1334992	Marrón	Si	100
62	334545	1139677	Marrón	Si	100
63	333415	1138713	Marrón	Poca	100
64	334563	1138298	Negro-gris	Si	100
65	339562	1132815	Marrón	Si	100
66	340194	1132961	Marrón	Si	100
67	340228	1132259	Marrón	No	100
68	325757	1140860	Marrón	Si	100
69	343449	1139511	Marrón	Poca	100
70	342392	1139346	Marrón	Si	100
71	325579	1137418	Negro y Marrón	Si	100
72	343683	1136438	Negro y Marrón	Si	100
73	334312	1135788	Negro y ocre	Si	100
74	343012	1135138	Negro y bayo	Si	100
75	344243	1134723	Negro y Marrón	Si	100
76	337028	1134286	Bayo y negro	Si	100
77	339273	1133380	Negro y Marrón	Si	100
78	339695	1133554	Negro y Marrón	Si	100
79	335336	1130111	Negro y Marrón	Si	200
80	335198	1128939	Negro y Marrón	Si	150
81	336711	1128700	Negro y Marrón	Si	100
82	335701	1139865	Ocre	Si	100
83	332721	1139107	Negro y Marrón	No	120
84	331516	1138142	Ocre	Si	100
85	331290	1138087	Ocre	Si	100
86	323391	1136637	Ocre	Si	100

87	336514	1136547	Negro y Marrón	Poca	100
88	334732	1136495	Negro y Marrón	Poca	100
89	323407	1135702	Ocre	Poca	100
90	335468	1135593	Negro y Marrón	Si	100
91	339099	1133328	Ocre	Si	100
93	343232	1133338	Ocre	No	100
94	325013	1132835	Ocre	Si	100
95	326795	1133189	Ocre	No	100
96	343488	1129450	Ocre	Si	100
97	344532	1129738	Ocre	Si	100
98	342282	1127931	Ocre	Si	100
99	342190	1127946	Ocre	No	100
100	342227	1127874	Ocre	Si	100
101	337365	1141649	Basalto	No	100
102	332181	1137752	Basalto	Si	100
103	340405	1135885	Basalto	Si	100
104	325776	1141468	Marrón	Si	100
105	338369	1140000	Negro	Si	100
106	338609	1140214	Negro	No	100
107	344148	1139936	Negro	Si	100
108	325869	1139543	Marrón	Si	100
109	324848	1138174	Negro	Si	100
110	325734	1138392	Marrón	Si	100
111	346247	1138102	Marrón	Si	100
112	337382	1137814	Negro	Si	100
113	345594	1137418	Marrón	Poca	125
114	346019	1136993	Marrón	Si	100
115	343601	1136241	Negro	Si	100
116	342381	1136474	Marrón	No	100
117	343062	1136138	Negro	Si	100
118	340427	1135813	Negro	Si	100
119	339542	1135959	Negro	Si	100
120	342174	1136029	Marrón	Si	100
121	345386	1135549	Negro	Poca	100
122	341162	1134900	Negro	Poca	100
123	339109	1135014	Negro	Poca	100
124	337311	1134383	Negro	Poca	100
125	333319	1134470	Negro	Poca	159
126	332815	1134337	Negro	Poca	100
127	338900	1134405	Negro	Poca	100
128	341995	1134211	Negro	Poca	100
129	338855	1133356	Negro y Marrón	Poca	139
130	339170	1133358	Negro	Poca	100
131	346417	1133013	Negro	Poca	100

132	332318	1132602	Negro y Marrón	Poca	100
133	347099	1132478	Negro	Poca	100
134	347334	1132343	Negro	Poca	100
135	330189	1132022	Negro	Poca	126
136	342359	1131272	Negro	Poca	100
137	330087	1130478	Negro	Poca	100
138	342948	1129312	Negro	Poca	107
139	335645	1129419	Negro	Poca	100
140	345898	1127028	Negro y Marrón	Poca	100
141	338139	1134781	Negro y Marrón	Si	100
142	338396	1134603	Negro y Marrón	Si	100
143	338253	1134641	Gris	Si	100
144	338253	1134641	Negro y Marrón	Si	100
145	336815	1134446	Negro	Si	100
146	337098	1134543	Negro	Poca	100
147	338642	1133516	Marrón	Si	100
148	339482	1133714	Marrón	Si	100
149	339216	1133604	Marrón	Si	100
150	338957	1133518	Marrón	Si	100
151	338886	1133488	Marrón	Si	100
152	339046	1133528	Marrón	Si	100
153	331392	1138123	Marrón	Poca	125
154	336396	1141027	Marrón	Poca	100
155	336488	1141057	Marrón	Poca	100
156	336695	1141104	Marrón	Poca	100
157	338156	1140160	Marrón	Poca	100
158	323203	1129671	Marrón	Poca	100
159	328479	1129552	Marrón	Poca	100
160	324199	1130123	Marrón	Si	100
161	325922	1129337	Negro y Marrón	Poca	100
162	327544	1138255	Negro y Marrón	Poca	100
163	328096	1138016	Negro y Marrón	Poca	100
164	329764	1133077	Negro y Marrón	Poca	100
165	325851	1141647	Negro y Marrón	Poca	159
166	334157	1139259	Negro	Poca	100
167	325644	1137307	Negro	Poca	100
168	329970	1135669	Negro	Poca	100
169	345500	1137202	Negro y Marrón	Poca	139
170	342317	1136223	Negro	Poca	100
171	332232	1137531	Negro	Poca	100
172	330311	1130703	Negro y Marrón	Poca	100

Apendice 2.

Propiedades mecánicas y
cerámicas de los suelos analizados.

Muestra	Coordenadas		Peso Unitario	Contenido de Humedad (%)	Porosidad (%)	Relación de vacíos	Densidad (g/cm3)	Gravedad especifica	Contenido de gruesos (%)	Contenido de arenas (%)	Contenido de finos (limos/arcillas) (%)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	(S.U.C.S)	Humedad perdida por la pieza luego de la cocción	Encogimiento de la pieza	Fotografía de la pieza.
	X	Y																
BT1	338139	1134781	18,5	20,9	40,3	0,7	1,9	2,6	0,0	9,0	91,0	35,8	22,7	13,1	**Arcilla delgada con grava (CL)**	19	6	
BT2	338396	1134603	14,9	21,0	53,1	1,1	1,5	2,7	8,6	13,0	78,4	73,0	24,3	48,7	**Arcilla gruesa con arena (CH)**	23	10	
BT3	338253	1134641	16,6	28,1	49,9	1,0	1,7	2,6	8,1	14,1	77,7	82,0	30,8	51,2	**Arcilla gruesa con arena (CH)**	26	11	
F01AE	338253	1134641	17,2	26,3	47,7	0,9	1,8	2,7	12,1	10,8	77,1	85,7	31,8	53,9	**Arcilla gruesa con grava (CH)**	25	11	
MCAL	336815	1134446	16,6	33,3	53,2	1,1	1,7	2,7	12,8	11,7	75,6	60,3	26,1	34,1	**Arcilla gruesa con grava (CH)**	25	11	
MSPT	337098	1134543	18,0	21,6	43,3	0,8	1,8	2,7	11,5	9,4	79,1	64,8	27,2	37,6	**Arcilla gruesa con grava (CH)**	24	11	
Ag24-375243-U50	338642	1133516	17,0	35,3	54,2	1,2	1,7	2,7	12,9	17,4	69,7	74,0	23,5	50,5	**Arcilla gruesa arenosa (CH)**	25	10	
Ag24-375245-D35	339482	1133714	17,2	29,8	47,6	0,9	1,8	2,6	1,4	13,6	85,1	47,6	37,8	9,8	**Limo (ML)**	24	10	

Ag24-375247-D40	339216	1133604	17,9	29,5	48,5	0,9	1,8	2,7	27,0	8,4	64,6	55,8	33,0	22,8	**Limo elástico gravoso (MH)**	28	10	
Ag24-375247-M220	338957	1133518	15,6	28,3	51,8	1,1	1,6	2,6	0,9	39,1	60,0	0,0	0,0	0,0	**Limo Arenoso.**	24	4	
Ag24-375408-M220	338886	1133488	14,5	18,4	52,3	1,1	1,5	2,6	16,0	51,7	32,4	40,5	26,2	14,3	**Arcilla delgada arenosa con grava (CL)**	18	6	
Ag24-3375408-M40	339046	1133528	15,9	21,8	48,2	0,9	1,6	2,6	30,1	43,9	25,9	0,0	0,0	0,0	**Limo arenoso con grava**	27	0	
17-nov-367252-30T	331392	1138123	16,3	35,2	51,9	1,1	1,7	2,6	2,6	49,1	48,3	0,0	0,0	0,0	**Limo arenoso**	22	0	
17-nov-372255-60	336396	1141027	15,7	36,0	56,1	1,3	1,6	2,7	1,9	23,3	74,8	76,3	37,8	38,5	**Arcilla gruesa con arena (CH)**	22	10	
17-nov-372255-60 (70)	336488	1141057	16,7	33,7	53,7	1,2	1,7	2,8	0,0	30,7	69,3	48,5	32,4	16,1	**Limo arenoso (ML)**	22	11	
17-nov-373255-70	336695	1141104	17,4	28,0	49,1	1,0	1,8	2,7	2,6	19,4	78,0	35,9	24,6	11,3	**Limo con arena (ML)**	21	7	
17-nov-3734-30	338156	1140160	16,6	29,2	52,6	1,1	1,7	2,8	0,0	7,9	92,1	47,6	33,9	13,7	**Limo (ML)**	22	5	

18-nov-359243-20	323203	1129671	15,0	38,2	58,3	1,4	1,5	2,7	0,0	14,7	85,3	64,0	42,4	21,6	**Limo elástico (MH)**	23	11	
18-nov-360244-50	328479	1129552	16,3	36,6	54,3	1,2	1,7	2,7	0,0	13,5	86,5	55,2	37,2	18,0	**Limo elástico (MH)**	21	11	
18-nov-360244-60	324199	1130123	17,4	32,3	51,0	1,0	1,8	2,7	0,0	9,0	91,0	40,6	27,2	13,4	**Limo (ML)**	21	5	
18-nov-360244-70	325922	1129337	16,5	39,2	56,2	1,3	1,7	2,8	1,1	3,7	95,2	62,1	44,9	17,2	**Limo elástico (MH)**	24	11	
18-nov-364252-40	327544	1138255	16,6	42,3	55,3	1,2	1,7	2,7	0,0	6,3	93,7	50,3	30,8	19,5	**Arcilla Gruesa (CL)**	23	11	
18-nov-364252-80	328096	1138016	16,0	36,1	55,0	1,2	1,6	2,7	0,0	38,1	61,9	66,5	46,3	20,2	**Limo elástico arenoso (MH)**	24	12	
18-nov-389235-30	329764	1133077	18,1	37,5	48,0	0,9	1,8	2,6	2,0	17,3	80,6	53,7	29,8	23,9	**Arcilla gruesa con arena (CH)**	12	10	Sin fotografía
S-03-1	325851	1141647	16,4	39,2	53,0	1,1	1,7	2,6	0,0	4,3	95,7	103,5	42,4	61,1	**Arcilla orgánica (OH) extremadamente plástica**	90	20	
S-01-1	334157	1139259	16,6	41,7	54,7	1,2	1,7	2,6	0,0	3,9	96,1	52,8	37,5	15,3	**Limo Elástico (MH)**	20	12	

S-02-1	325644	1137307	16,6	27,6	52,6	1,1	1,7	2,8	5,6	20,3	74,1	65,3	42,3	42,3	**Limo elástico con arena (MH)**	25	15	
S-05-1	329970	1135669	18,1	27,6	49,4	1,2	1,8	2,7	25,8	33,1	41,2	46,3	28,2	18,1	**Limo arenoso con grava (MH)**	20	14	
S-8.1	345500	1137202	17,3	20,1	44,7	0,8	1,8	2,7	0,0	10,1	89,9	81,8	43,6	38,2	**Limo orgánico (OH) de alta plasticidad.**	92	19	
S-8.2	342317	1136223	16,1	44,7	57,0	1,3	1,6	2,6	0,2	10,8	88,9	113,6	43,5	70,1	**Arcilla orgánica (OH) extremada mente plástica**	100	19	
S-10-1	332232	1137531	17,9	31,9	49,7	1,0	1,8	2,7	2,4	22,3	75,3	56,6	30,0	26,6	**Limo orgánico (OH) de alta plasticidad.**	24	15	
S-11-1	330311	1130703	16,8	28,3	49,3	1,0	1,7	2,6	0,8	21,0	78,2	61,5	37,1	24,4	**Limo con arena (MH)**	29	14	
S-12-II	335506	1129868	17,4	29,2	48,1	0,9	1,8	2,7	0,0	4,5	95,5	144,4	44,3	100,1	**Arcilla orgánica (OH) extremada mente plástica**	98	19	
S-13-1	325779	1132941	16,9	35,9	54,1	1,2	1,7	2,8	0,0	1,4	98,6	72,5	34,8	34,8	**Limo elástico (MH)**	27	16	
S-15-1	339331	1133069	17,1	29,6	48,3	0,9	1,7	2,6	8,4	26,1	65,5	45,8	29,9	15,9	**Limo arenoso (ML)**	20	10	

SS-1	340338	1132486	17,4	31,2	48,9	1,0	1,8	2,6	0,1	6,0	93,9	83,5	35,5	47,9	**Arcilla gruesa (CH)**	26	10	
SS-10	342756	1139708	17,4	34,9	49,7	1,0	1,8	2,6	1,2	4,7	94,2	77,5	42,0	35,5	**Limo orgánico (OH) de alta plasticidad.**	38	19	
SS-11	335965	1136093	17,7	32,2	49,2	1,0	1,8	2,7	3,7	12,8	83,5	54,8	31,3	23,5	**Limo elástico con arena (MH)**	23	14	
Florida 1	343884	1128890	14,1	44,4	63,8	1,8	1,4	2,8	1,9	5,8	92,3	74,0	48,0	26,0	**Limo elástico arenoso (MH)**	22	13	
Florida 2	346355	1134534	14,7	27,2	53,6	1,2	1,5	2,5	1,9	10,3	87,8	48,0	32,0	16,0	**Limo arenoso (ML)**	21	10	
Moracia 1	341972	1130868	14,7	44,0	56,2	1,3	1,5	2,4	0,0	5,7	94,3	68,0	45,0	23,0	**Limo elástico arenoso (MH)**	17	14	
Moracia 2	347651	1133179	15,1	33,5	54,9	1,2	1,5	2,6	0,4	12,6	87,0	62,0	39,0	23,0	**Limo elástico arenoso (MH)**	18	13	
Humo 1	342317	1139223	16,1	44,7	57,0	1,3	1,6	2,6	0,2	10,8	88,9	113,6	43,5	70,1	**Arcilla orgánica (OH) extremadamente plástica**	93	19	Sin fotografía
Arado 4	325851	1141647	18,5	20,9	40,3	0,7	1,9	2,6	0,0	9,0	91,0	35,8	22,7	13,1	**Arcilla delgada con grava (CL)**	19	6	Sin fotografía

Muestra	Lugar de extracción	Peso Unitario	Contenido de Humedad (%)	Porosidad (%)	Relación de vacíos	Densidad (g/cm3)	Gravedad especifica	Contenido de gruesos (%)	Contenido de arenas (%)	Contenido de finos (limos/arcillas) (%)	Límite Líquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad	(S.U.C.S)	Humedad perdida por la pieza luego de la cocción	Encogimiento de la pieza
Ba-Pa	Es un barro obtenido en las cercanías de San Vicente que se ha mezclado con arena de iguana, que es rica en sílice.	18,2	6,4	34,5	0,5	1,9	2,7	0,0	15,1	84,9	44,3	30,1	14,2	**Limo de baja plasticidad (ML)**	20	5
Escazú	Es un barro arcilloso de la zona de Escazú, es un producto utilizado para la fabricación de cerámicas ornamentales	19,1	23,1	41,1	0,7	2,0	2,7	0,0	10,5	89,5	52,6	25,2	27,4	**Arcilla densa de alta plasticidad (CH)**	28	6

Apendice 3.

Creacíon de los bloques de trabajo.

APÉNDICE 3, Creación de los bloques de recolección de datos.

1. Creación de la imagen Satelital multiespectral.

Para este estudio, se utiliza el Sistema de Información Geográfica, *Arc-gis*, se utilizó la imagen multiespectral del *Sentinel-2* del barrido que realizo sobre Costa Rica el 7 de junio del 2016. Además, para complementar la información se cruzan los datos de la fotointerpretación, modelos de elevación digitales y un modelo de pendientes.

Primero se toman las 12 bandas espectrales del Sentinel-2 y se combinan, para generar la imagen multiespectral a analizar. Luego se combinan las bandas 08 -11 -04 (infrarrojo cercano-Onda infrarroja corta-rojo) para crear una imagen infrarroja (Figura 1). Esta combinación de bandas muy popular y muy práctica para hacer estudios de vegetación, monitorización de drenajes, y hacer análisis de diferentes tipos de suelos y estados de crecimiento de los cultivos (Torres, 2002).

1.1. Resultados.

Se obtiene una imagen infrarroja, que permite distinguir los suelos de mayor y menor reflectividad (Figura 1).

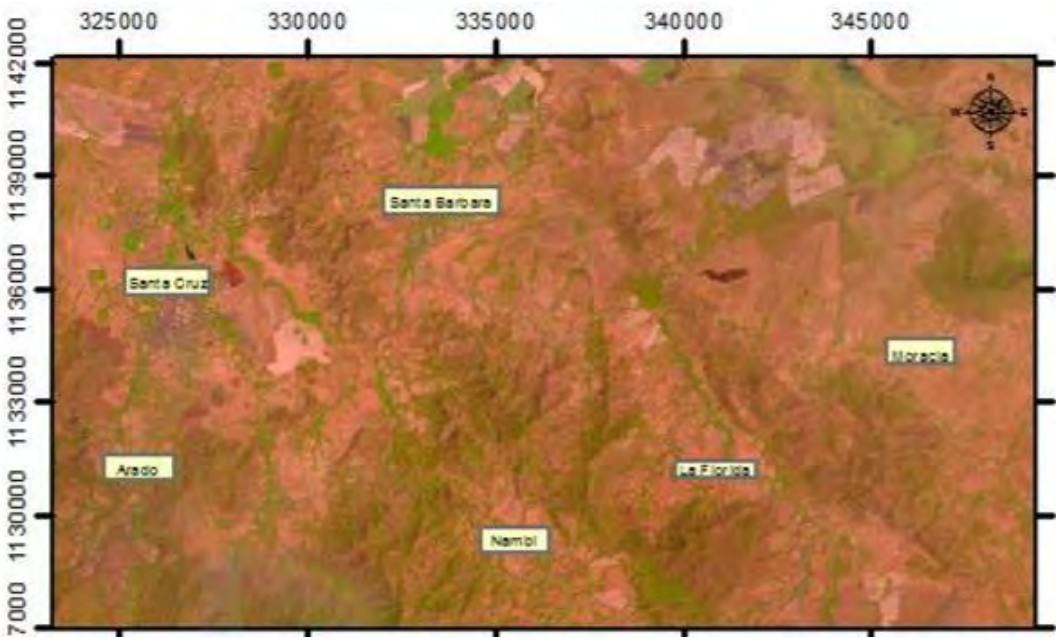


Figura 1, Imagen multiespectral infrarroja, combinando las bandas 8-11-4 del Sentinel-2

1.2. Clasificación supervisada de la imagen multiespectral generada.

Una vez creada la imagen infrarroja, se procede a analizar la dispersión de los pixeles.

Para el análisis de pixeles, primero se realiza el entrenamiento de cada valor de pixel a partir de visitas a la zona de estudio, también se toman muestras de pixeles hacia el NE del área de estudio, pues son terrenos de grandes depósitos lacustres, depósitos que en este momento no pueden ser evaluados como potencial minero, debido a que son humedales y estos están protegidos por ley en el país.

1.2.1. Resultados.

El resultado obtenido fue que de los 382 km^2, analizados, un 42,41% está cubierto por suelos (pastizales), un 29,09% por suelos rocosos, un 23,73% por árboles, un 1,33% por agua y un 3,43% por edificaciones (Tabla 1).

Tabla 1, Grupos de pixeles identificados en base a la técnica de clasificación supervisada.

Tipo de cobertura	Porcentaje total del área	Cobertura en km^2
Suelos	42,41%	162
Cobertura rocosa	29,09%	111.12
Arboles	23,73%	90.65
Agua	1,33%	5
Edificios	3,43%	13,1

De manera adicional, el análisis arroja que existen 6 tipos de coberturas de suelos distintas, 2 coberturas rocosas, 2 tipos de cuerpos de agua, 2 coberturas boscosas y al menos un tipo de construcción antrópica, cada grupo de pixel es identificado con distintos colores para distinguir de manera más simple el tipo de cobertura a la que se asocia (figura 2). A continuación, se describe brevemente las características de los grupos de pixeles encontrados:

- **Arboles:** La primera clase identificada corresponde a los bosques primarios y secundarios que se encuentran en las zonas más elevadas, sobre las serranías del complejo de Nicoya o cubriendo los cerros testigos de las formaciones Sabana Grande y del miembro Zapotal. La segunda clase son arbustos, que han sido colocados por los propietarios de fincas en las cercanías de los cuerpos de agua o para marcar el límite de sus propiedades.
- **Cobertura rocosa:** Se distinguen 3 tipos, el primero se extiende sobre la sección sur del área de estudio y es el de mayor tamaño, ubicándose principalmente sobre las Serranías del Complejo de Nicoya y en las zonas de mayor altura. Las otras dos coberturas rocosas son más aisladas y son afloramientos de menor tamaño.
- **Aguas:** Se identifican dos grupos, el primero corresponde a grandes cuerpos de agua a manera de ríos o quebradas, como el río Diría. Y el segundo grupo son los cuerpos de aguas aislados que se presentan en el terreno (lagunas, estanques, etc.).
- **Edificaciones:** Corresponden a caminos y a pequeños poblados, siendo el polígono de mayor tamaño la ciudad de Santa Cruz.
- **Suelos:** Se identifica un total de 6 suelos, de estos los suelos de tipo 1 y 2 (Figura 2), son suelos utilizados principalmente para la ganadera y grandes pastizales. Los suelos tipo 3, 4 y 5 son suelos utilizados para monocultivos como la caña de azúcar, palma de coyol y de arroz. El sexto tipo de suelo se asocia a humedales y son suelos con poca cobertura de pastos. No obstante, todos los 6 tipos de suelos identificados se encuentran sobre la llanura de inundación y son terrenos de topografía suave y bajas pendientes (<3°).

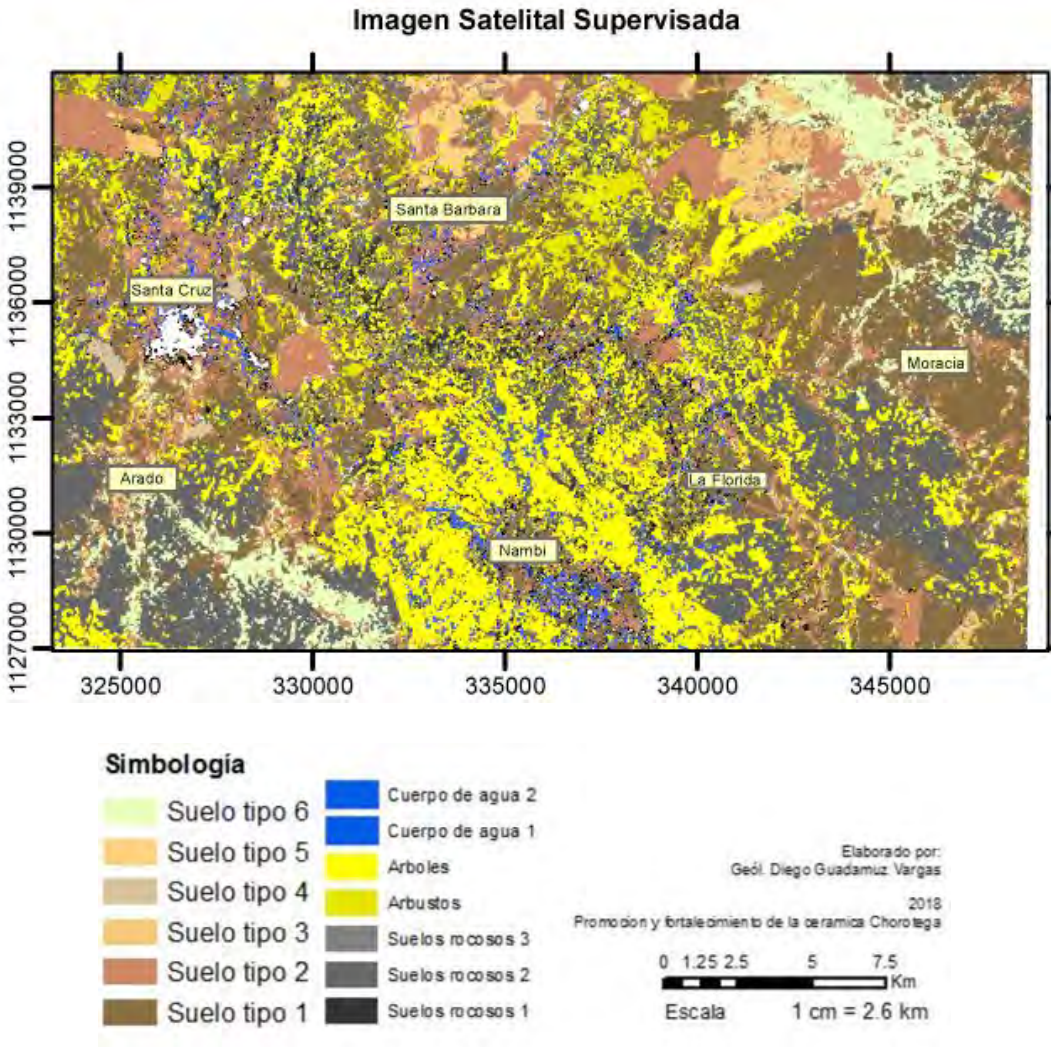


Figura 2, Imagen Satelital supervisada del Satélite Sentinel-2.

2. Selección de los bloques para realizar las labores de recolección de datos.

Debido a que el área de estudio es muy extensa y existen zonas con extensas coberturas boscosas (23,73% del área de estudio) y zonas rocosas (29,09% del área de estudio), se opta por descartar estas regiones para realizar muestreos de suelos a detalle y se utilizan solo en caso de que sea necesario entrar a una quebrada para la recolección de muestras de roca. Además, autores como Gillbert y Frederick (2007), Kogel et al. (2006), Thomas (1980), Viers (1968), Dresch (1953) y Ruhe (1956), han indicado que las zonas en ambientes tropicales las formas

cóncavas de baja pendiente asociadas a flujos en masa son los mejores terrenos para el depósito de arcillas.

Se utiliza la herramienta de edición y selección del SIG Arcgis para eliminar de manera sistemática los terrenos cubiertos por árboles y rocas. También se eliminan los grandes poblados y los cuerpos de aguas de gran tamaño. También se utilizan los datos de la fotointerpretación y de la geología, para determinar cuáles son las zonas de baja pendiente asociadas a rocas ricas en silicatos, aluminio y ferro magnesianos y a los mayores flujos de lodos. Debido a que estas caracterizas aumentan la probabilidad de encontrar materiales arcillosos y finos en los suelos (Kogel et al., 2006).

2.1. Resultados.

A partir del resultado de la herramienta de selección creada, se reduce el área de estudio (figura 3) y se obtiene que el muestreo de suelos se concentrará en el 42,41% de la zona de estudio que corresponde a coberturas de pastizales o monocultivos, que son los que presentan mayor parentesco con las zonas donde extraían arcillas los indígenas Chorotegas pre coloniales.

A la hora de generar los bloques también se debe incorporar la memoria histórica y estudios arqueológicos previos (Salas, Camacho & Guier, 2015), debido a que permite disponer los bloques de manera de que se cubra parte o una antigua zona de extracción. De los resultados, de esta sección, se demuestra que los terrenos seleccionados para realizar el muestreo en su mayoría presentan condiciones muy similares, siendo las características que más las diferencia el tipo de roca asociada y el método de transporte que han sufrido los suelos.

Así es como la zona para realizar el muestreo de suelos queda separada según lo ilustra la figura 4, en tres grandes bloques: El bloque A, Santa Cruz; El Bloque B, La Florida; y el bloque C, Moracia.

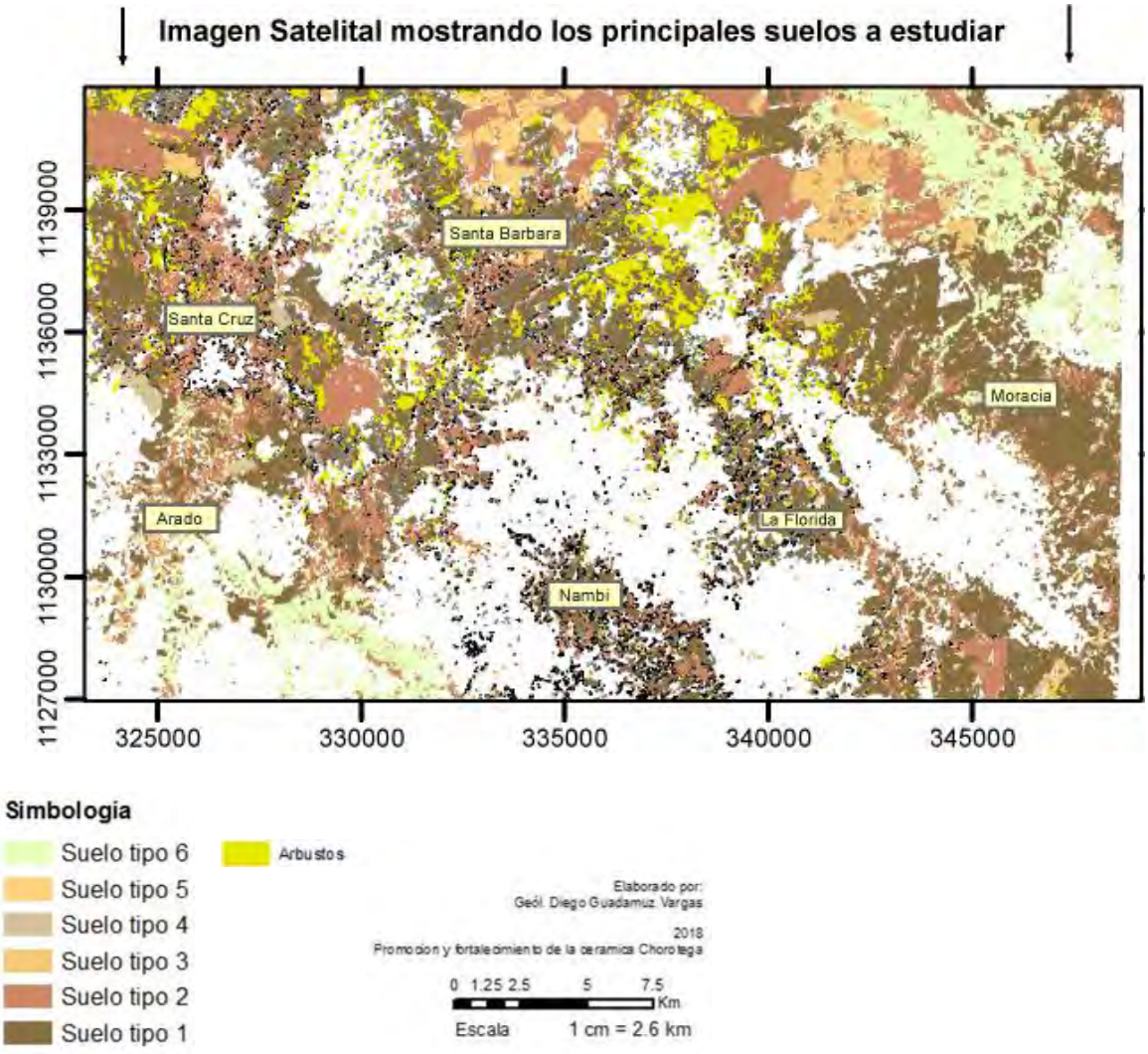


Figura 3, se remueven las capas de Rocas y árboles para obtener la imagen, dejando únicamente los 6 tipos de suelos principales.

En las zonas dominadas por grandes fincas se obra que sean de mayor tamaño, ya que son zonas que para retirar las muestras se requiere de mayores permisos y contar con el acceso adecuado, y que en el terreno delimitado debe de tener al menos una muestra caracterizada en base a las propiedades mecánicas y la calidad de las arcillas contenidas en los suelos para generar cerámicas. Lo que finalmente termina generando 6 subbloques para cada bloque, para un total de 18 bloques (figura 4).

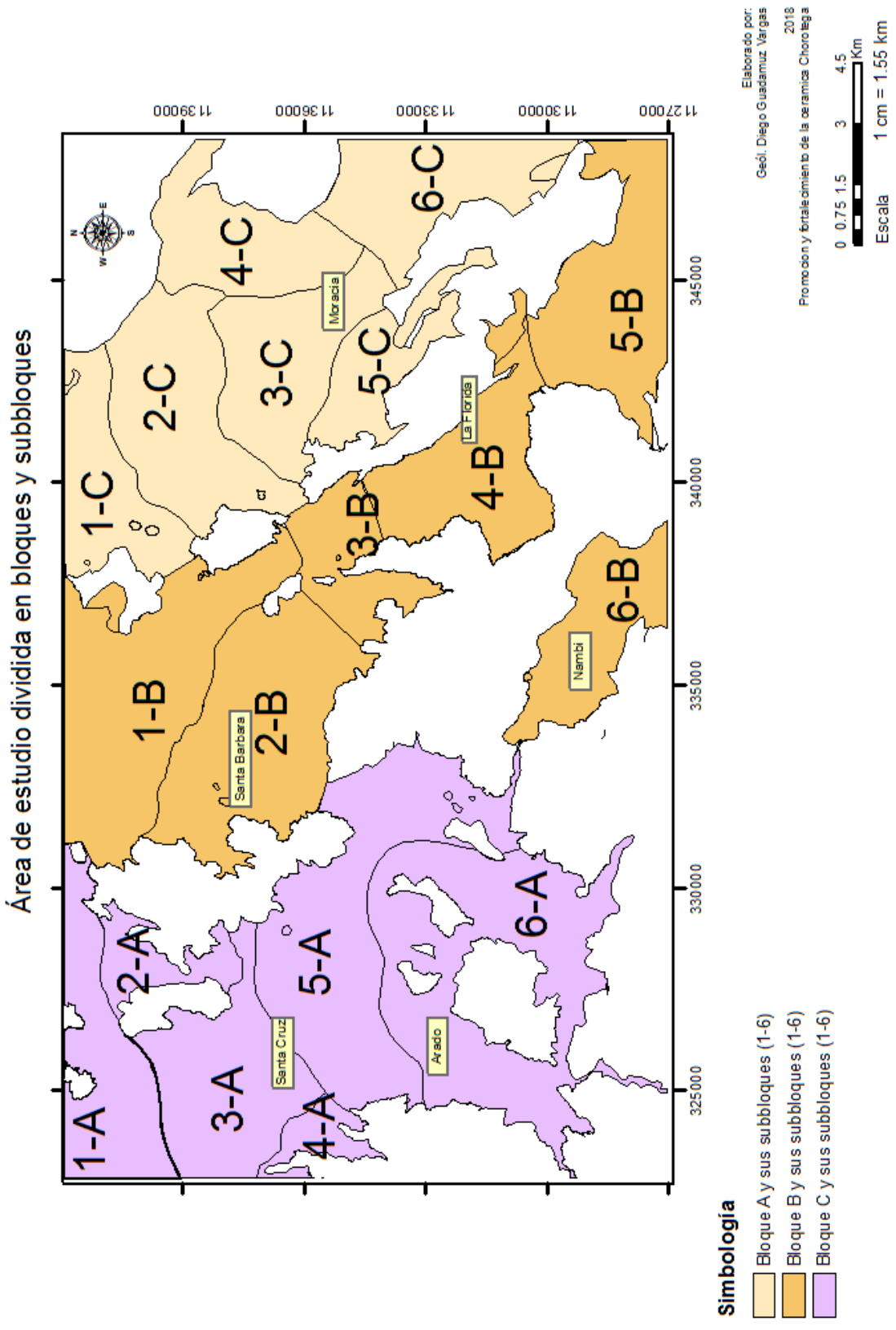


Figura 4. Imagen que muestra la división del área de estudio en 3 bloques y 18 subbloques.

3. Referencias.

DRESCH, J., 1953: Morphologie de la chaîne d'Ougarta.- Inst, de Rech. Sahariennes, Travaux, 9: 25-38.

GUILBERT, J. & FREDERICK, C., 2007: The Geology of Ore Deposits. -Waveland Press.- 985 págs, California, EUA. [Edicion reeditada.]

KOGEL, J., TRIVEDI, N., BARKER, J. & KRUKOWSKI, S., 2006: Industrial Minerals & Rocks, Commodities, Market and Uses. – 335-892 págs. SME, Colorado.

TORRES, C., 2002: Manejo de suelos y aguas, Fotointerpretación.- 6 págs. Universidad de San Carlos, Guatemala.

THOMAS, M., 1974: Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes. - 460 págs. MacMillan, London. [1° Edición].

SALAS, I., CAMACHO, F. & GUIER, I., 2015: Huellas de nuestra raíz Chorotega, Recorrido histórico de los primeros pobladores en la Gran Nicoya. - 45 págs. San José, Costa Rica [1° Edición].

Apendice 4.

Descripción de secciones delgadas de rocas

Descripción de las secciones delgadas de muestras de rocas.

Numero de muestra:	R-20-1		
Nombre	Basalto		
Coordenadas			
Coordenada X	325353	**Coordenada Y**	1129230
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Roca de color marron-grisaseo de dureza intermedia, presenta cristales hinchados de colores naranjas y amarillos. Se puede tratar de una roca ígnea básica muy meteorizada.			
Descripción			

Textura

Es una roca de textura hipocristalina-hipidiomorfica porfiritica, con fenocristales de plagioclasa. Presenta una matriz de textura intergranular compuesta por microlitos de plagioclasa y augita, además de vetas rellenas por ceolitas y calcita.

Composición mineralógica

Plagioclasa	Son cristales hipidiomorficos y se presentan dentro de la matriz de la roca y a manera de fenocristales. Presentan habito tabular y relieve alto, con colores bajo de birrefringencia de gris del primer orden, tiene tamaños máximos de 1.4mm x 0.42mm y presentan el maclado de Karlsbad. Aproximadamente un 45.35 % del volumen de la roca y representa el 57% de la matriz de la roca.
Óxidos de Hierro	Se presentan rellenando espacios, son cristales xenomorficos y no presentan habito. Son de color café-rojizo, con colores rojos de birrefringencia del 2° orden, sin pleocroísmo. Aproximadamente un 12.75 % del volumen de la roca.
Ceolitas	Se presentan a manera de vetas, son cristales xenomorficos, son incoloros y de bajo relieve. Tiene un color de birrefringencia de gris del primer orden y evidencian extinción en forma de abanico. Aproximadamente un 1.62 % del volumen de la roca.
Calcita	Se encuentra rellenando las vetas de la roca, es xenomórfica, presentan un alto pleocroísmo de relieve. Es incolora y presenta colores de gris de 4° orden, además evidencia un maclado polisintético. Aproximadamente un 2.5% del volumen de la roca.
Augitas	Se presentan como microlitos en la matriz y forman la textura intergranular en conjunto con las plagioclasas, son de color turbio sin pleocroísmo, presentan buena exfoliación y una birrefringencia baja de 2° orden de color amarillo y turquesa. Aproximadamente un 34.25 % del volumen de la roca y representa el 57% de la matriz de la roca.
Matriz	La matriz de la roca esta conformada por plagioclasas y augitas en una textura intergranular, con los espacios rellenados por los óxidos de hierro e illita a manera de arcillas. Aproximadamente un 75 % del volumen de la roca.

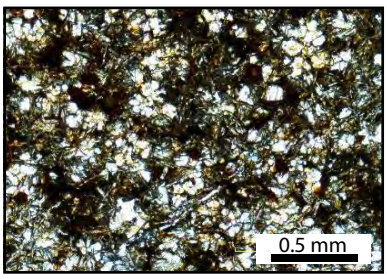
Observaciones

La roca presenta un elevado grado de meteorización pero es posible identificar los microcristales de la matriz.

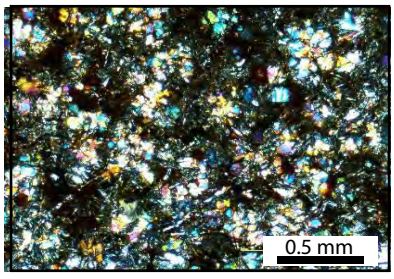
Fotografía de la sección delgada

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	RR-4		
Nombre	Basalto		
Coordenadas			
Coordenada X	347894	**Coordenada Y**	1130200
Foto macroscópica de la roca:			

Descripción:

Roca de color marrón de dureza intermedia y presenta cristales hinchados de color amarillo. Se puede tratar de una roca ígnea básica muy meteorizada.

Descripción

Textura

Roca con textura holocristalina-porfiritica en una matriz microcristalina conformada por cristales de plagioclasa, augita y óxidos de hierro. Presenta fenocristales de augitas y plagioclasas.

Composición mineralógica

Plagioclasa Se presentan dentro de la matriz microcristalina, de color incolora, con colores de birrefringencia gris bajos de 1° orden, presentan maclas simples de Karlsbad y son cristales hipidiomorficos con habito prismático. También se presentan como fenocristales con tamaños máximos de 1x0.3 mm La extinción se presenta a lo largo del eje mayor del cristal. Aproximadamente el 40% del volumen de la roca.

Augita Se presentan dentro de la matriz microcristalina, formando una estructura intergranular con los cristales de plagioclasa. Son cristales incoloros turbios y sin pleocroísmo, de colores de birrefringencia del 2° orden. También se presentan como fenocristales con tamaños máximos de 0.59 x 0.3 mm, con un ángulo de extinción de 20°. Aproximadamente el 27.5% del volumen de la roca.

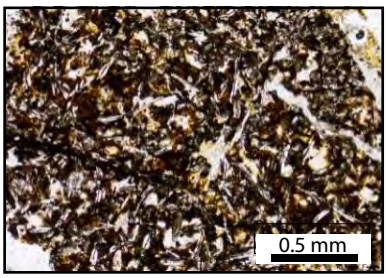
Óxidos de Hierro Se presentan rellenando espacios, son cristales xenomorficos y no presentan habito. Son de colo café-rojizo, de color de birrefringencia medio del 2° -3° orden, con un pleocroísmo muy leve. Aproximadamente un 18.3 % del volumen de la roca.

Matriz Producto de la meteorización de la roca han aparecido arcillas tipo illita, presenta micro cristales de augitas. También se encuentran óxidos de hierro rellenando fisuras y la matriz es de estructura criptocristalina. Aproximadamente un 6.7% del volumen de la roca.

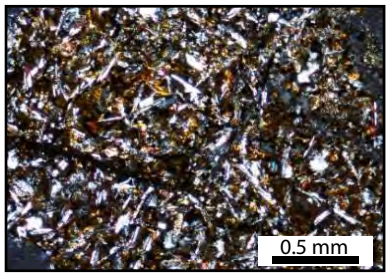
Observaciones *La roca esta muy alterada pero presenta microcristales de plagioclasa*

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	R-17-1		
Nombre	Basalto (?)		
Coordenadas			
Coordenada X	329231	**Coordenada Y**	1131856
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Roca de color marrón de dureza intermedia y presenta cristales hinchados de color amarillo. Se puede tratar de una roca ígnea básica muy meteorizada, ya que parece también una arenisca fina de manera macro.			
Descripción			

Textura

Roca con textura holocristalina- glomoporfiritica, con fenocristales de augitas, ortosas, plagioclasa, ceolita en forma de abanico y epidota a manera de minerales producto de alteración. Con vetas rellenas de vidrio volcánico

Composición mineralógica

Plagioclasa	Tamaños máximos de 0.2mm x 0.23, alterada. La alteración que presenta es por caolinización, son de forma alargadas y con color de birrefringencia gris de 1° orden, de color gris con macla de Karlsbad simple y periclina. Presenta extinción a lo largo de su eje mayor. Aproximadamente el 1% del volumen de la roca.
Augita	Tamaños máximos de 0.8 x 0.3 mm, presentan diferentes grados de alteración, con formas prismáticas. En nicoles paralelos es de color verde turbio, no presenta pleocroísmo, con color de birrefringencia verde y violeta de 2° orden. Presenta un ángulo de extinción de 50°, a a partir del eje largo. Aproximadamente el 22.1 % del volumen de la roca.
Epidota	Xenomorfica de verde y alterada, con color de birrefringencia verde-amarillo de 2° orden, se encuentra rellenado espacios y es un mineral de alteración. Presenta extinción casi paralela al eje mas largo y presenta un relieve alto. Aproximadamente el 1.5% del volumen de la roca.
Ceolita	Presenta bajo relieve y es incolora, color de birrefringencia de gris del primer orden. Son xenomorficas, pero presentan extinción a manera de abanico. Aproximadamente el 28.7% del volumen de la roca.
Limonita	Se presenta rellenando espacios entre, es xenomórfica y de color anaranjado, con color de birrefringencia anaranjado de primer orden. Es un oxido de hierro producto de la meteorización y representa aproximadamente 21.9%.
Matriz	Producto de la alteración de la roca han aparecido arcillas tipo illita en la matriz, presenta estructura criptocristalina y algunos microcristales de augitas. También se encuentra rellenando fisuras. Aproximadamente un 19% del volumen de la roca.

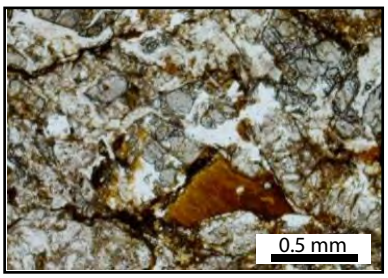
Observaciones

No es posible graficar la roca en el diagrama debido al alto grado de alteración de la roca

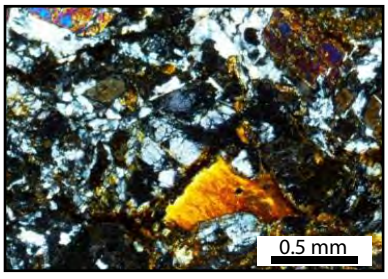
Fotografía de la sección delgada

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	R-22-1		
Nombre	Basalto (?)		
Coordenadas			
Coordenada X	338071	**Coordenada Y**	1141335
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Roca de color marrón de dureza intermedia y presenta cristales hinchados de color amarillo. Se puede tratar de una roca ígnea básica muy meteorizada, ya que parece también una arenisca fina de manera macro.			
Fotografía de la sección delgada			
Descripción			

Textura

Textura holocristalina-porfiritica, muchas de las augitas muestran una estructura glomeroporfiritica. Presenta fenocristales de plagioclasas y augitas, que han sido muy alterados y muchos se presentan a la manera de fantasmas. La matriz presenta sustitución de los cristales por óxidos de hierro y arcillas.

Composición mineralógica

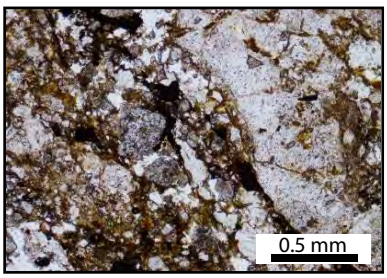
Plagioclasa	Son cristales tabulares, hipidiomorficos, con dimensiones máximas de 1.3mm x 0.3mm y presentan un alto grado de alteración. Son incoloros y de birrefringencia baja color gris. Aproximadamente un 29% del volumen de la roca.
Óxidos de Hierro	Se presentan rellenando espacios, son cristales xenomorficos y no presentan habito. Son de color café-naranja, de color de birrefringencia medio de naranjas del 2° -3° orden, sin pleocroísmo. Aproximadamente un 18.4% del volumen de la roca.
Ceolita	Se encuentran como microcristales aislados dentro de la matriz. Tienen un color gris de birrefringencia bajo del primer orden. Junto a las ceolitas se observan pequeños cristales de augitas. Aproximadamente un 7.3% del volumen de la roca
Augita	Son cristales hipidiomorficos, granulares y se presentan junto a las plagioclasas a manera de textura intergranular. Presentan posible uralilitacion y son fenocristales de dimensiones de 0.8 mm x0.23 mm,no presentan pleocroísmo, con color de birrefringencia verde y violeta de 2° orden.
Matriz	Es producto de la erosión de la roca, es criptocristalina y presenta arcillas tipo illita, presenta óxidos de hierro. En la matriz se evidencia una sustitución de los ferromagnesianos por óxidos de hierro y arcilla, no es posible distinguir claramente lo minerales de alteración que la componen. Aproximadamente un 17.25% del volumen de la roca.

Observaciones

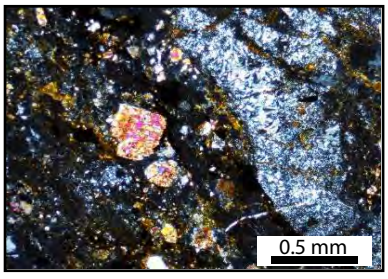
Los fenocristales que estaban presentes en la roca se han conservado parcialmente, debido a que gran mayoría aparece recubiertos por los óxidos de hierro y la matriz que es rica en arcillas.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Proyecto:
Cerámica Chorotega

Descripción de sección delgada

Analizada por:
Diego Guadamuz Vargas

Numero de muestra:	RR-1		
Nombre	Basalto Alcalino - (Arenisca Feldespatica?)		
Coordenadas			
Coordenada X	344571	**Coordenada Y**	1130017
Foto macroscopica de la roca:			
Descripcion: Roca de color marron- grisaseo de dureza intermedia y presenta clastos de colores blancos. Se puede tratar de una roca ignea basica muy meteorizada, ya que parece tambien una arenisca silificada fina de manera macroscopica.			
Descripción			

Textura

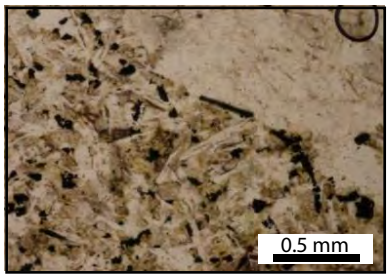
Hipocristalina-glomeroporfiritica con textura intercristalina, presenta microcristales de plagioclasa, augita. Presenta minerales de alteración como la calcita, la ceolita y los oxidos de hierro que han rellenado oquedades y minerales secundarios como el cuarzo.

Composicion mineralogica

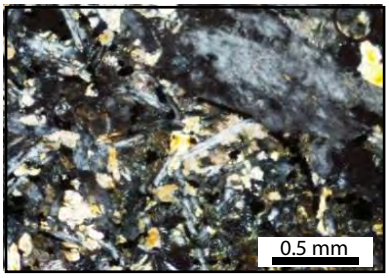
Plagioclasa	Son cristales tabulares, hipidiomorficos, presentan alteraciones de ceolitizacion, son incoloros y de birrefringencia baja color gris de primer orden. Los cristales tienen dimensiones maximas de 0.27mm x 0.06 mm y se presentan como parte de la matriz microcristalina de la roca junto a cristales de piroxenos.Aproximadamente un 29% del volumen de la roca.
Oxidos de Hierro	Se presentan rellenando espascios, son cristales xenomorficos y no presentan habito. Son de color café-rojo, de color de birrefringencia medio de naranjas del 2° orden, sin pleocroismo. Aproximadamente un 18.4% de volumen de la roca.
Ceolita	Son cristales xenomorifcos, han sustituido parte de las plagioclasas de la roca.Tienen un color gris de birreferencia bajo del primer orden. Presentan una extincion en forma de abanico. Exhiben tamaños promedios de 0.1mm x 0.23mm .Aproximadamente un 7.3% del volumen de la roca.
Augita	Son cristales hipidiomorficos, granulares, son de colores turbios y con un color de birrefringencia medio de amarillo-azul del 2° orden. Son fenocristales de dimensiones de 0.11 mm x0.16 mm. Aproximadamente un 26.6% del volumen de la roca.
Calcita	Son cristales xenonomorficos, incoloros, presenta alto relieve y con un color de birrefringencia alta del 4° orden. Se encuentra asociada a cristales de cuarzo y se encuentra junto a los de cristales de cuarzo y junto a otras calcitas. Los fenocristales presentan maclado polisin y enen dimensiones de 2.35mm x 1.65mm. Aproximadamente un 19.87% del volumen total de la roca.
Cuarzo	Son cristales xenomorficos, incoloros, con color de birrefringencia bajo del 1°orden. Se encuentran, principalmente, rodeado los crsitales de calcita.a. Aproximadamente un 4.5% del volumen total de la roca.
Matriz/cemento	Es producto de la erosion de la roca, es criptocrsitalina y presenta arcilllas tipo illita y oxidos de hierro. En la matriz se evidencia una sustitucion de los ferromagnesianos por oxidos de hierro y arcilla con un bajo porcentaje de vidrio volcanico. Aproximadamente un 17.25% del volumen de la roca.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	R-28-1		
Nombre	Basalto		
Coordenadas			
Coordenada X	333624	**Coordenada Y**	1128375
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Roca de color marrón de dureza intermedia, presenta cristales hinchados de plagioclasa. Se puede tratar de una roca ígnea básica muy meteorizada.			
Fotografía de la sección delgada			
Nicoles Paralelos		Nicoles cruzados	
Descripción			

Textura

Textura hipocristalina-porfiritica, con fenocristales de plagioclasas y de ceolitas, en una matriz arcillosa compuesta por óxidos de hierro y vidrio.

Composición mineralógica

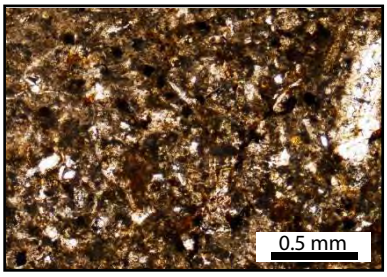
Plagioclasa	Son cristales hipidiomorficos y se presentan dentro de la matriz de la roca y a manera de fenocristales. Presentan habito tabular y relieve alto, tiene tamaños máximos de 1.4mm x 0.42mm y presentan el maclado de Karlsbad. Aproximadamente un 11.12% del volumen de la roca.
Óxidos de Hierro	Se presentan rellenando espacios, son cristales xenomorficos y no presentan habito. Son de color café-rojizo, de color de birrefringencia medio de rojos del 2° -3° orden, con pleocroísmo muy leve. Aproximadamente un 16.12% del volumen de la roca.
Ceolita	Se encuentra a manera de vetas y como cristales aislados xenomorficos, no presentan habito, son incoloras y con color del birrefringencia baja de gris del primer orden. Presentan tamaños máximos de 0.39x0.38 mm. Aproximadamente un 11.75% del volumen de la roca.
Matriz	Es producto de la erosión de la roca, son arcillas tipo illita, presenta óxidos de hierro. También se encuentra rellenando fisuras. Aproximadamente un 55.5% del volumen de la roca.

Observaciones

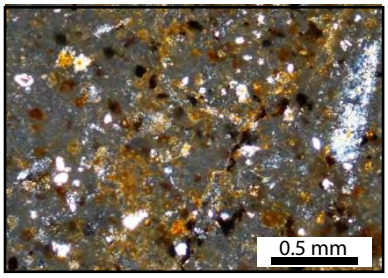
La roca presenta una meteorización muy alta y no se han conservado muchos de los cristales.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	R-16-1		
Nombre	Lutita silícea con ceolita		
Coordenadas			
Coordenada X	330976	**Coordenada Y**	1130552
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Roca de color marrón de dureza intermedia, presenta clastos blancos. Se puede tratar de una arenisca muy fina, silificada.			
Descripción			

Es una roca fina de cemento silíceo, con fósiles de algas con una abundancia del 7% en la matriz, no se observan clastos. Los minerales y fósiles se encuentran de manera flotante.

Composición mineralógica

Componentes ortoquimicos

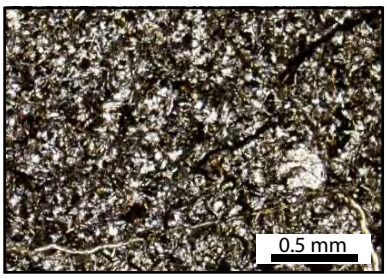
***Cuarzo**	Se encuentran rellenando vetas y de manera aislada como microcristales aislados dentro de la matriz. Tienen un color gris de birrefringencia bajo del primer orden. Dentro de los conglomerados de ceolitas se observan pequeños cristales de augitas. Aproximadamente un 5.375 % del volumen de la roca.
***Ceolita**	Se encuentran rellenando vetas y de manera aislada como microcristales aislados dentro de la matriz. Tienen un color gris de birrefringencia bajo del primer orden. Dentro de los conglomerados de ceolitas se observan pequeños cristales de augitas. Aproximadamente un 12% del volumen de la roca.
Matriz	Es producto de la erosión de la roca, son arcillas tipo illita. La matriz esta compuesta por arcilla, dentro de esta matriz se pueden localizar fósiles de algas, foraminíferos, rodeados de sílice. Aproximadamente un 8.625% del volumen de la roca.

Observaciones

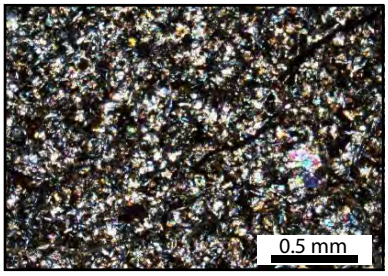
La roca presenta varios fósiles de macroforaminíferos dentro de una matriz fina con cemento silíceo, donde sus elementos están de manera flotante.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	R-16-1		
Nombre	Basalto (?)		
Coordenadas			
Coordenada X	330976	**Coordenada Y**	1130552
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Roca de color marrón de dureza intermedia, presenta clastos blancos. Se puede tratar de una arenisca muy fina, silificada.			
Descripción			

Textura

Es una roca de textura hipocristalina, con cristales alterados de plagioclasa y augita. La roca presenta óxidos de hierro y una matriz compuesta por arcillas y vidrio.

Composición mineralógica

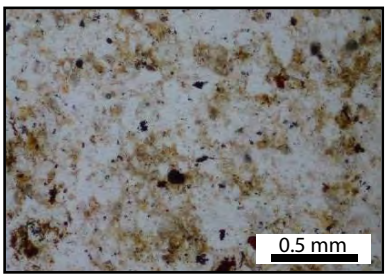
Plagioclasa	Son cristales tabulares, hipidiomorficos, presentan alteraciones de caolinización, son incoloros y de birrefringencia baja color gris de primer orden. Los cristales tienen dimensiones máximas de 0.07mm x 0.045 mm y se presentan como parte de la matriz microcristalina de la roca junto a cristales de piroxenos. Aproximadamente un 29% del volumen de la roca.
Augita	Son cristales hipidiomorficos, granulares, son de colores turbios y con un color de birrefringencia medio de amarillo-azul del 2° orden. Son fenocristales de dimensiones de 0.09mm x0.05 mm. Aproximadamente un 26.6% del volumen de la roca.
Óxidos de hierro	Se presenta rellenando espacios entre los cristales y presentan una birrefringencia de color rojo del 2° orden. Son de color naranja-rojo turbio y e presentan en un 2.15% de l volumen de la roca.
Ceolita	Se encuentran rellenando vetas y de manera aislada como microcristales aislados dentro de la matriz. Tienen un color gris de birrefringencia bajo del primer orden. Las ceolitas se encuentras interdigitadas en la matriz con microcristales de ceolita. Aproximadamente un15% del volumen de la roca
Matriz	Es producto de la erosión de la roca, son arcillas tipo illita, presenta óxidos de hierro. En la matriz se evidencia una sustitución de los ferromagnesianos por óxidos de hierro y arcilla, además de la presencia de vidrio volcánico. Aproximadamente un 27.25% del volumen de la roca.

Observaciones

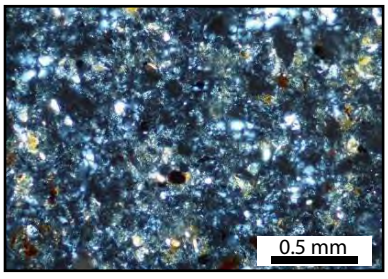
La roca esta muy meteorizada y es difícil distinguir todos los elementos que la conforman

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra	R-26-1		
Nombre	Grauvaca volcaniclásticas		
Coordenadas			
Coordenada X	337487	**Coordenada Y**	1132889
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Roca de color gris, presenta clastos de colores marrones y vetas rellenas de sílice. Se trata de una arenisca fina o un basalto muy meteorizado.			

Descripción

Es una roca conformada por clastos líticos de rocas volcánicas, estos clastos presentan augitas y plagioclasas alteradas a ceolitas. También se presentan bloques con minerales de alteración como la calcita y ceolita, junto a las augitas. Son bloques de dimensiones mínimas de 2mm x 1.7 mm.

Composición mineralógica

Componentes ortoquimicos

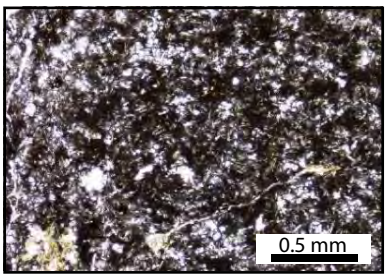
***Ceolita**	Se encuentran en conglomerados y son microcristales aislados dentro de la matriz. Tienen un color gris de birrefringencia bajo del primer orden. Dentro de los conglomerados de ceolitas se observan pequeños cristales de augitas. Tienen dimensiones de 0.1mm x 0.1 mm. Aproximadamente un 21.25% del volumen de la roca.
***Calcita**	Son cristales xenomorficos, incoloros, presenta alto relieve y con un color de birrefringencia alta del 4° orden. Se encuentra asociada a cristales de cuarzo y forma una estructura de conglomerado de cristales junto a otras calcitas. Los fenocristales presentan maclado polisintético y tienen dimensiones de 0.17 mm x 0.075 mm. Aproximadamente un 6.25%.
***Augita**	Son cristales hipidiomorficos, tabulares. Son de coloración turbio y presentan colores de birrefringencia verdes del 2° orden. Presentan líneas de exfoliación. Son microcristales de dimensiones de 0.1 mm x 0.06mm. Aproximadamente un 10% del volumen de la roca.
Clastos	Los clastos son del tipo lítico, de origen volcánico con la presencia de cristales de augita, ceolita y calcita, producto de la erosión. Son clastos producto de la erosión de lavas basalticas o gabros. De dimensiones mínimas de 2mm x 1.7 mm.
Matriz	Es producto de la erosión de la roca, son arcillas tipo illita, presenta óxidos de hierro. La matriz esta compuesta por arcilla, además de la presencia de vidrio volcánico. Aproximadamente un 62.5% del volumen de la roca.

Observaciones

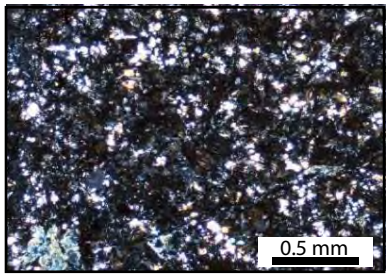
Es una arenisca muy fracturada con presencia de fósiles (posiblemente nummulites) y esta en la presencia de calizas.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	R-26-1		
Nombre	Es una litoarenita con ceolita.		
Coordenadas			
Coordenada X	337487	**Coordenada Y**	1132889
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Roca de color gris, presenta clastos de colores marrones y vetas rellenas de sílice. Se trata de una arenisca fina o un basalto muy meteorizado.			
Descripción			

Textura

Es una roca de grano fino a medio, de cemento silíceo, con clastos líticos flotando en una matriz fina silícea con cristales de ceolitas. Los clastos son subangulosos y también presentan minerales de ceolita, estos clastos tienen dimensiones de 3.75 mm x 2.3 mm. Los clastos están muy pobremente clasificados.

Composición mineralógica

Componentes ortoquimicos

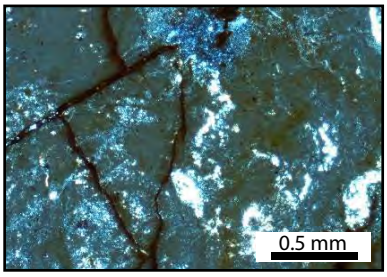
***Ceolita**	Se encuentran aislados dentro de la matriz y en vetas. Tienen un color gris de birrefringencia bajo del primer orden. Tienen dimensiones de 0.1mm x 0.1 mm. Aproximadamente un 20% del volumen de la roca.
***Clastos**	Los clastos son angulosos, con tamaños de 3.75 mm x 2.3 mm, presentan ceolita, algunos presentan foraminíferos que han sido sustituidos por sílice. Los clastos son de areniscas finas bioclásticas silificadas. Se encuentran a manera de contactos puntuales y flotantes. En una abundancia del 30% del volumen de la roca.
Matriz	La matriz esta conformada por componentes ortoquimicos y aloquimicos. Los componentes ortoquimicos son ceolitas alteradas y los aloquimicos son foraminíferos silíficados, o que han sido sustituidos por sílice. Los fósiles de la matriz presentan dimensiones de 0.06 mm x 0.1 mm. Abarca un 50% del volumen de la roca.

Observaciones

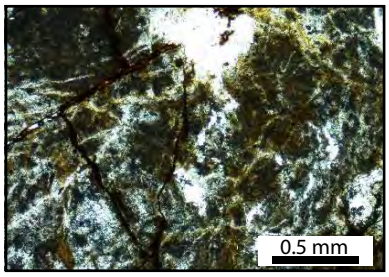
Es una roca muy fina, con presencia de ceolitas producto de la alteración de los minerales que componían a la roca promotora y también por sustitución de los microformaminiferos presentes.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Proyecto: Descripción de sección delgada Analizada por:

Cerámica Chorotega. Diego Guadamuz Vargas

Numero de muestra:	R-02		
Nombre	Basalto (?)		
Coordenadas			
Coordenada X	331392	**Coordenada Y**	1134709.492
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Roca densa de color marrón, presenta coloraciones amarillas en su superficie. Se puede tratar de una roca ígnea básica muy meteorizada.			
Descripción			

Textura

Textura holocristalina-porfiritica, con microcristales de plagioclasas y augitas, que conforman una matriz intergranular, muchas de las augitas muestran una estructura glomeroporfiritica. La matriz presenta sustitución de los cristales por óxidos de hierro y arcillas.

Composición mineralógica

Plagioclasa	Son cristales tabulares muy finos con dimensiones 0.17mm x 0.1 mm, son hipiomorficos y presentan un grado de alteración por caolinización. Son incoloros y presentan baja birrefringencia de color gris. Aproximadamente un 29.4% del volumen de la roca.
Óxidos de Hierro	Se presentan rellenando espacios, son cristales xenomorficos y no presentan habito. Son de color café-naranja, de color de birrefringencia medio de rojos del 2° -3° orden, con pleocroísmo muy leve. Aproximadamente un del volumen de la roca. Aproximadamente un 16.5% del volumen de la roca.
Ceolita	Se encuentran como microcristales aislados dentro de la matriz, junto a las augitas y a las plagioclasas. También se encuentran rellenando vetas y son incoloras, con un color gris de birrefringencia bajo del primer orden. Aproximadamente un 10.9% del volumen de la roca.
Augita	Se presentan como microlitos en la matriz y asemejan una textura intergranular junto a las plagioclasas, son de color turbio sin pleocroísmo, presentan buena exfoliación y una birrefringencia baja de 2° orden de color amarillo y turquesa. Tienen dimensiones promedio de 0.12 mm x 0.13 mm. Aproximadamente un 20.6% del volumen de la roca.
Matriz	En la matriz se evidencia una sustitución de los ferromagnesianos por óxidos de hierro y arcilla, no es posible distinguir claramente lo minerales de alteración que la componen. Aproximadamente un del volumen de la roca. Aproximadamente un 18.4% del volumen de la roca.

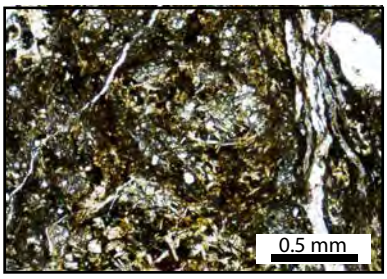
Observaciones

Los fenocristales que estaban presentes en la roca se han meteorizado y aparecen como fantasmas o han dejado un oquedad donde se encontraba anteriormente. *a*

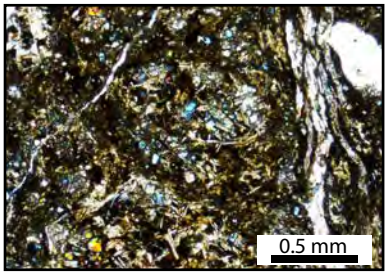
Microfotografia de la sección delgada.

Fotografi

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	RR-5		
Nombre	Lodolita silícea.		
Coordenadas			
Coordenada X	347047	**Coordenada Y**	1131706
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Roca de color gris, presenta clastos de colores marrones y vetas rellenas de sílice. Se trata de una arenisca fina o un basalto muy meteorizado.			
Descripción			

Es una roca de granos finos y grano gruesos. La matriz esta conformada por arcilla y limos, donde se presentan vetas rellenas de ceolita (SiO_2), también presenta precipitados de sílice y con algunas zonas de las vetas mostrando óxidos de hierro. Los tamaños de los cuerpos van de los 1.95 mm x 3 mm a los 0.25 mm x 0.2mm.

Composición mineralógica

Componentes ortoquimicos.

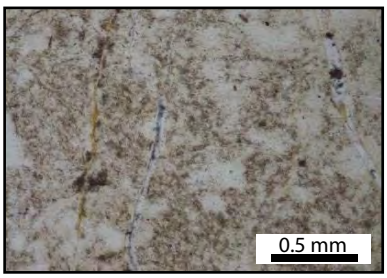
***Clorita**	Son cristales incoloros con una tonalidad turbia de color verde, son xenomorficos y presentan una alta birrefringencia del 2°-3° orden de color parda. Se encuentran flotando dentro de la matriz. En una abundancia del 7.875% de la roca.
***Ceolita**	Se encuentran aislados dentro de la matriz y en vetas. Tienen un color gris de birrefringencia bajo del primer orden. Tienen dimensiones de 0.1mm x 0.1 mm. En una abundancia del 8.875% del volumen de la roca.
Clastos	Los clastos líticos presentan tamaños de 1.95mm x 3 mm, con una abundancia del 2%, también hay clastos de rocas líticas de dimensiones de 0.25 mm x 0.2 mm en una abundancia del 2% . Estos clastos se presentan flotando en la matiz
Matriz	La matriz esta conformada por componentes ortoquimicos, como los minerales de colorita, ceolita y augita. El principal componente de la matriz son arcillas y limos con tonos pardos y esta conformada por cemento silíceo. En una abundancia del 78.8 %.

Observaciones

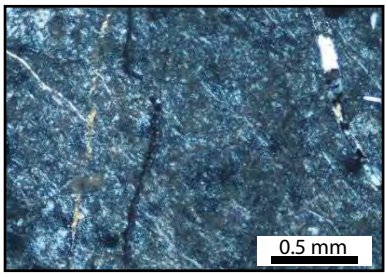
Es una roca muy fina, con presencia de ceolitas producto de la alteración de los minerales que componían a la roca promotora y también presenta precipitados que posiblemente dieron origen a la alteración de minerales originales a clorita.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	RR-3		
Nombre	Lodolita		
Coordenadas			
Coordenada X	345945	**Coordenada Y**	1128401
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Es una roca suave de blanco, no se observan granos ni fósiles, y puede ser rayada con la uña. Parece producto de un tipo de alteración hidrotermal.			

Descripción

Es una roca de grano fino, sin clastos, presenta una matriz de arcillas y limos silíficados, con una laminación a manera de flujo. En la matriz se presentan elementos ortoquimicos como cuarzos y cloritas. Presenta micro fracturas rellenas de óxidos de hierro y su matriz es rica en arcillas y muchas de ellas son caolinitas.

Composición mineralógica

Componentes ortoquimicos

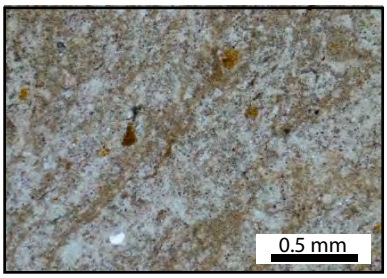
***Clorita**	Es un mineral de bajo relieve, que exhibe de poco a nulo pleocroísmo, es de color verde y presenta colores de birrefringencia bajos de verde. Tienen habito escamoso. Se presentan como elementos flotantes en la matriz fina de la roca. Tiene tamaños de 0.25mm x 0.125 mm y una abundancia de 7%.
***Cuarzo**	Es un mineral incoloro, de poco relieve y presenta colores bajos de birrefringencia de gris del 1° orden. Son Xenomorficos y se encuentran de manera flotante dentro de la matriz. En una abundancia del 10% del volumen total de la roca.
Matriz	La matriz esta principalmente conformada por arcillas y limos y presenta componentes ortoquimicos (principalmente producto de alteración), es posible identificar elementos pertenecientes a la familia de kaolinita dentro de las arcillas que la componen debido al color pálido de las mismas. La matriz también presenta microfracturas rellenas por óxidos de hierro, posible hematita. Pero en general la matriz presenta un proceso de salificación al estar cubierta por zonas ricas en sílice y la presencia de cuarzos. En una abundancia del 83% del volumen total de la roca.

Observaciones

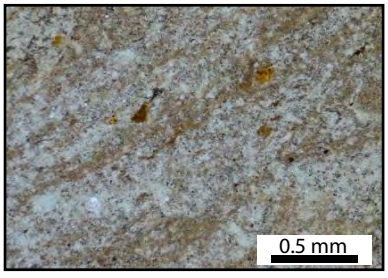
Es una roca que ha sido alterada por la acción de una fuente de calor ya que principalmente contiene cloritas, óxidos de hierro y cuarzo en un matriz de color blanco.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	R-04-1		
Nombre	Grawvaca Lítica sin fósiles.		
Coordenadas			
Coordenada X	338594	**Coordenada Y**	1128285
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Roca de color gris presenta clastos de tamaños milimétricos, es dura y es macroscópicamente una arenisca.			
Descripción			

Es una roca con clastos líticos angulosos, que contienen ceolitas aisladas dentro del mismo. Presenta cemento silíceo y sus clastos están bien seleccionados. No presenta fósiles, pero presenta vetas rellenas de ceolitas. Los clastos líticos tienen tamaños de 3mm y 0.75 mm.

Composición mineralógica

Componentes ortoquimicos

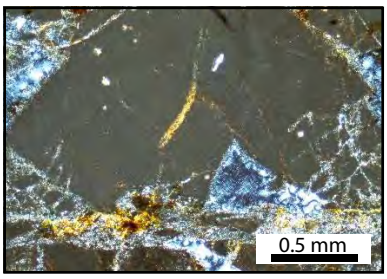
***Ceolita**	Se encuentran aislados dentro de la matriz y en vetas. Tienen un color gris de birrefringencia bajo del primer orden. Tienen dimensiones de 0.1mm x 0.1 mm. En una abundancia del volumen de la roca. En una abundancia de 2.67% del volumen de la roca.
Clastos	Los clastos líticos son angulosos y terrígenos. Los clastos presentan contactos tipo longitudinales, con buen sorteo con tamaños promedios de 3mm x 2.35 cm y otros clastos que son mayores a los 3mm. No presentan fósiles ni estructuras orgánicas. Algunos de estos clastos tienen vetas de ceolita. En una abundancia de 46.7% del total de la roca.
Matriz	La matriz esta principalmente conformada por arcillas y limos, aunque de manera aislada se encuentran ceolitas de tamaños de 0.1mm x 0.1 mm y tamaños promedio clastos de 0.6 mm x 0.75mm, además presenta cementación por la acción del sílice. En una abundancia del 48.8 %.

Observaciones

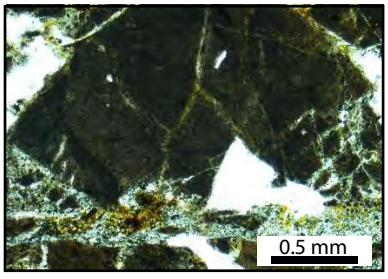
Es una roca fina, y también presenta precipitados de sílice originarios de la alteración de la roca. La roca experimenta un aumento porcentual de la cantidad de matriz, evidenciando una disminución de los clastos de tamaños cercanos a los 2.5 mm.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	R-04-1		
Nombre	Grawvaca Lítica silificada (Arenisca con clastos de radiolaritas)		
Coordenadas			
Coordenada X	339331	**Coordenada Y**	1133069
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Es una roca dura de color rojo-marrón, no se observan granos ni fósiles, además experimenta una fractura concoide parcial.			
Descripción			

Es una roca de grano grueso, con clastos que superan los 5.75 mm (12.5%) y otros menores de 3.75 mm (26.25%) y 2,3 mm (15%)de diámetro, todos están fuertemente silificadas y presentan una laminación a manera de flujo compuesta por material orgánico. Los clastos están moderadamente sorteados y son redondos a sub redondeados. La roca además se encuentra cortada por vetas de ceolita.

Composición mineralógica

Componentes ortoquimicos

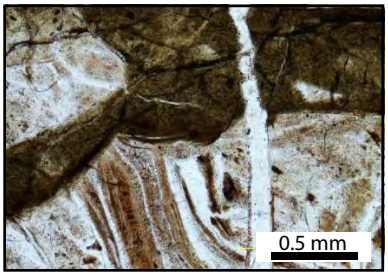
***Ceolita**	Principalmente a manera de vetas, cortando las clastos al igual que la matriz. En una abundancia del 5.35%.
Clastos	Los clastos líticos son angulosos y terrígenos. Los clastos presentan contactos tipo longitudinales, con buen sorteo con tamaños promedios de 3mm x 2.35 cm y otros clastos que son mayores a los 3mm. No presentan fósiles ni estructuras orgánicas. Algunos de estos clastos tienen vetas de ceolita. En una abundancia de 53.75% del total de la roca.
Matriz	La matriz esta principalmente conformada por arcillas y limos y tamaños promedio clastos de 0.6 mm x 0.75mm, además presenta cementación por la acción del sílice. En una abundancia del 40.87%.

Observaciones

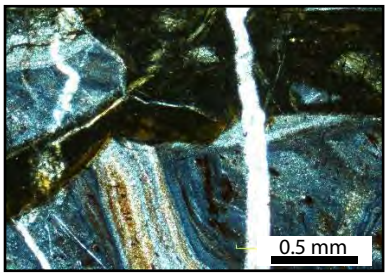
Es una roca de grano grueso que presenta precipitados de sílice originarios de la alteración de la roca. La roca presenta clastos conformados por materia orgánica silificada y son clastos de tamaños superiores a los 5.75 mm

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Proyecto: Descripción de sección delgada Analizada por:
Cerámica Chorotega. Diego Guadamuz Vargas

Numero de muestra:	R-11-1		
Nombre	Cuarzoarenita con esferoides.		
Coordenadas			
Coordenada X	326946	**Coordenada Y**	1133955
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Es una roca de color beige y que se encuentra poco alterada. Presenta pequeños clastos de color blanco y es densa. Se trata de una arenisca fina con cuarzo.			
Descripción			

Es una roca de grano fino, con presencia de componentes tamaño arena como los cuarzos y los oolitos. Presenta cemento silíceo en una matriz compuesta por arcillas y limos. Los cuarzos son lo elementos de mayor abundancia. Los granos se encuentran moderadamente sorteados.

Composición mineralógica

Componentes Ortoquimicos

***Ooides** Son componentes cristalinos formados por carbonatos, esféricos con dimensiones de 1mm x 0.5 mm. Algunos se encuentran sustituidos por cuarzo. En una abundancia del 11.9 % del volumen de la roca.

***Calcedonia** Es un conjunto de minerales con textura sacarosa y un bajo color de birrefringencia blanco y gris, están rellenando espacios entre la matriz y los conglomerados de cuarzo. En una abundancia del 29 % del volumen de la roca.

***Cuarzo** Es un mineral incoloro, de poco relieve y presenta colores bajos de birrefringencia de celeste y gris del 1° orden. Son Xenomorficos y se forman conglomerados de cuarzo, presentan contacto longitudinal y puntal. Tienen tamaños promedios de 0.3mmx 0.3 mm. Son de forma redondeada a subredondeada. En una abundancia del 33.4 % del volumen de la roca.

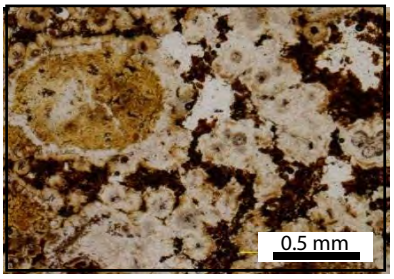
Matriz La matriz esta principalmente conformada por arcillas y limos y presenta componentes ortoquimicos como cuarzos tamaño arena, calcedonia y ooides. La matriz también presenta micro fracturas rellenas por óxidos de hierro, posible hematita. Pero en general la matriz presenta un proceso de salificación al estar cubierta por zonas ricas en sílice y la presencia de cuarzos. En una abundancia del 25.75% del volumen total de la roca.

Observaciones

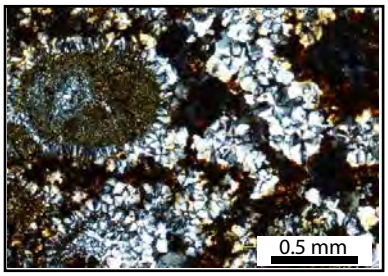
Tiene grandes cantidades de elementos cuarzosos como la calcedonia y los cuarzos, que además forman esferoides de cuarzo }ha llegado a sustituir al antiguo carbonato que estas tenían. Parecen existir 4 generación de congregaciones de cuarzo. Ademas aparece también a manera de vetas.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	R-11-1		
Nombre	Lodolita Arenosa (Lutita Arenosa)		
Coordenadas			
Coordenada X	335547	**Coordenada Y**	1128375
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Es una roca marrón fina sin clastos notables y fisible. Es poco densa, no reacciona al HCl y se trata de una arenisca fina.			
Descripción			

Es una roca fina que presenta microlaminaciones propias de diferentes cambios de granulometría, donde las laminas más oscuras están conformadas por arcillas y limos, mientras que las de colores más claros presenta una alta densidad de cuarzos tamaño arcilla y sin conglomerados. Los ortoquimicos y la matriz arcillosa esta en una proporción 2:1

Composición mineralógica

Componentes ortoquimicos.

***Cuarzo** Es un mineral incoloro, de poco relieve y presenta colores bajos de birrefringencia de gris del 1° orden. Son Xenomorficos y se encuentran de manera flotante dentro de la matriz con dimensiones de 0.1 mm x 0.07mm (granos tipo arena). En una abundancia del 33.75%

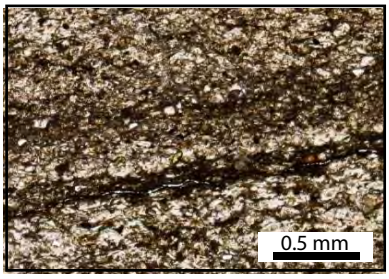
Matriz La matriz esta principalmente conformada por arcillas y limos y presenta componentes ortoquimicos como cuarzos tamaño arena. La matriz también presenta microfracturas rellenas por óxidos de hierro, posible hematita. Pero en general la matriz presenta un proceso de silificacion al estar cubierta por zonas ricas en sílice y la presencia de cuarzos. En una abundancia del 66.25% del volumen total de la roca.

Observaciones

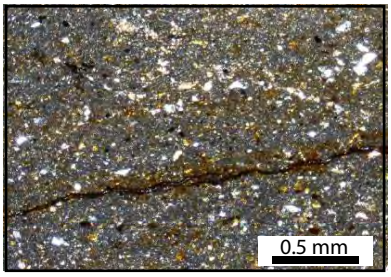
Es una lutita terrígena con areniscas finas en su interior ubicadas en estructuras a manera de microlaminaciones, se pueden distinguir por la mayor cantidad de cuarzos tamaño arena en la microestructuras laminadas de la roca que se intercalan con laminas de color más oscuro y con granos más pequeños.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	RR-6		
Nombre	Packstone		
Coordenadas			
Coordenada X	347135	Coordenada Y	1135243
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Es una roca de color marrón-Beige, no presenta clastos y reacciona al HCl.			
Descripción			

Es una roca de grano fino que presenta microfósiles flotando en una matriz fina rica en cemento calcareo, entre los elementos aloquimicos están las algas, los bentónicos, gasterópodos y formas esféricas ricas en carbonatos, oolitos. La roca esta soportada por los fragmentos esqueletales que se presentan y es una matriz rica en micrita y esparita (micrita recristalizada).

Composición mineralógica

Componentes ortoquimicos

Esparita Son cristales de calcita que se encuentre rellenando cavidades que se crean entre los fósiles y la matriz de rica en micrita. También a parece como cemento de la roca. Presentan tamaños máximos de 0.8mm x 0.35 mm. En una abundancia del 28.7% del volumen de la roca.

Micrita Se presenta dentro de la matriz y es su principal componente, esta compuesta por granos carbonatados de dimensiones menores a los 2 micrómetros y en sección delgada aparece a manera de una pasta. Se caracteriza por ser criptocristalina y oscura. En una abundancia del 19.7% del volumen de la roca.

Componentes aloquimicos

Gasterópodos Son fósiles de gasterópodos con dimensiones de 0.3 mm y cementado por medio del carbonato de la roca. Se encuentran enteros y poco se encuentran fragmentados. En una abundancia del 4.7% del volumen de la roca.

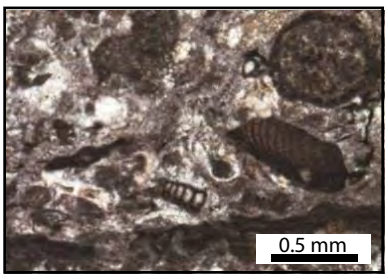
Foraminíferos Se observan como cuerpos ovalados en la sección delgada y están poco diferenciados ya que parece que ha sido retrabajados por los clastos y reacciones químicas en la roca. En una abundancia del 5.4% del volumen de la roca.

Fragmentos de fósiles Los fragmentos de fósiles están compuestos por fragmentos de bivaldos, foraminíferos y algunas algas azules. En una abundancia del 41.5 % del volumen de la roca.

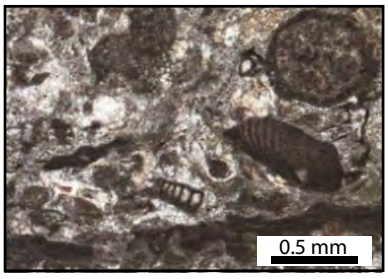
Matriz La matriz esta compuesta principalmente por micrita y existen zonas donde por efectos químicos se ha recristalizado la micrita para formar esparita. La micrita se encuentra rellenado los espacios que existen entre los componentes aloquimicos. La matriz esta conformada por 59.2% de micrita y 40.8 % de esparita, para un total del 48.4% del volumen total de la roca.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



Numero de muestra:	Curiol		
Nombre	Lodolita silificada con óxidos de hierro.		
Coordenadas			
Coordenada X	334556	**Coordenada Y**	1131870
Foto macroscópica de la roca:			
Descripción: Es una roca que presenta un alto grado de meteorización, presenta vetas de sílice y es de color blanco lechoso en las partes más sanas y tiene una patina de meteorización naranja.			
Descripción			

Textura

Es una roca de grano fino formada principalmente por una matriz rica en arcillas y limos. No presenta clastos bien diferenciados y los granos que la componen presentan un buen sorteo de sus componentes y contiene óxidos de hierro dentro de su matriz arcillosa.

Composición mineralógica

Componentes ortoquimicos.

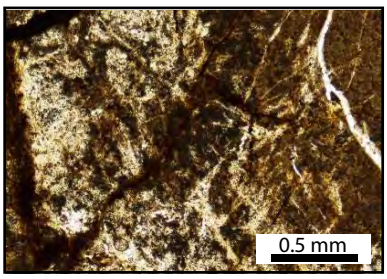
***Óxidos de Hierro**	Se presentan rellenando espacios, son cristales xenomorficos y no presentan habito. Son de color café-rojizo, de color de birrefringencia medio del 3° orden, sin pleocroísmo. Aproximadamente un % del volumen de la roca. En una abundancia del 6.25% del volumen total de la roca.
***Calcedonia**	Se presenta rellenando vetas y oquedades en la sección delgada. Presenta textura sacarosa y colores bajos de birrefringencia de gris de 1° orden e incoloro en nicoles paralelos. En una abundancia del 10.75% del volumen total de la roca.
Matriz	La matriz esta compuesta principalmente por arcillas y limos, con zonas de la matriz presentando silificacion y sin cemento, es una matriz de color beige-rojiza. Sus componentes son menores de 0.06 mm. En una abundancia del 83% del volumen total de la roca.

Observaciones

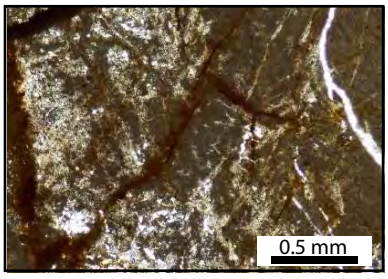
Es una roca muy fina con mucha arcilla que ha sido afectada por procesos de alteración muy intensos que permitieron la depositación de mucho sílice y la perdida de otros componentes. De esta roca los artesanos extraen el color "Fanta" y "blanco" para pintar las piezas cerámicas.

Microfotografia de la sección delgada.

Nicoles paralelos



Nicoles cruzados



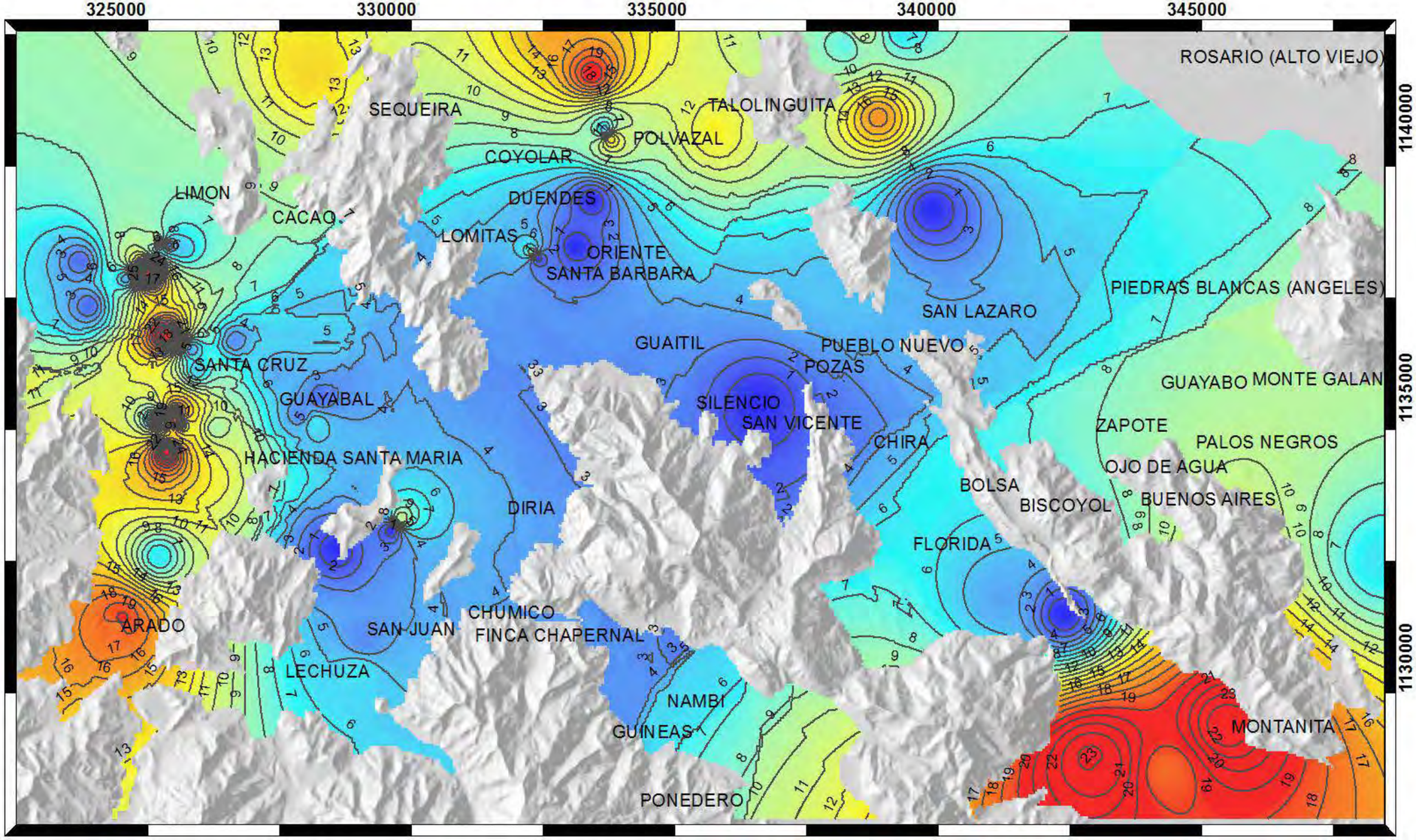
Apéndice 5.

Profunidades de las arcillas según descripciones de pozos del SENARA.

Apéndice 5

Pozos de la zona.

Información de los espesores de arcillas en pozos de la zona de estudio



Simbología

Pozos

Espesores de arcillas en metros

Valores

29.6 m

17 m

5 m

ESCALA

1.5 0.75 0 1.5 km

N W E S

Fuentes Geograficas:

Hoja Talolinga Esc: 1:50.000 IGN;
Hoja Diria Esc: 1:50.000 IGN

Sistema de coordenadas utilizadas

Sistema Costa Rica Transversal de Mercator 2005 (CRTM05);Datum Geocentrico referido al elipsoide del sistema geodesico mudial (WGS 84)

Anexo 1.

Identificación difractométrica de arcilla y roca total a muestras varias provenientes de la Región Chorotega

Instituto Costarricense de Electricidad

Ingeniería y Construcción

Centro de Servicio Recursos Geotérmicos

Área de Desarrollo y
Explotación de Yacimientos Geotérmicos

Grupo de Geología

Identificación difractométrica de arcilla y roca total a muestras varias provenientes de la Región Chorotega

Realizado por: *Geóloga, Licda. Dione Barahona Oviedo*
Responsable de: Unidad de Petrografía & Difractometría

Octubre, 2018

 Geól. Diego Guadamuz
MSc. Luis Obando
Escuela Centroamericana de Geología

Asunto:
Identificación difractométrica de arcillas y roca total a muestras varias como parte de proyecto de licenciatura de la Escuela Centroamericana de Geología denominado: “Localización de recursos útiles para la producción de Cerámicas en la Región Chorotega de Costa Rica”.

Se recibieron en total 6 muestras, de las cuales a 4 de ellas se les realiza proceso de separación de arcilla y 2 mediante roca total para la identificación de especies minerales de forma cualitativa por medio de difracción de rayos X (ver tablas 1 y 2).

La separación de la fracción filosilicática involucró procesos de disgregación mecánica, vibrado y centrifugado para posteriormente a estas muestras arcillosas obtenidas montarlas en portamuestras y realizarles un barrido en seco y otro humedecido con etilenglicol. Los barridos se ejecutaron con un rango de escaneo de 2,5° a 35° (2Θ), ancho de paso de 0.020 y velocidad de 2°/min. Para el análisis de roca total se tritura la muestra y se coloca en un portaobjetos de vidrio; se barre en un rango de escaneo de 2,5° a 75° (2Θ), con un ancho de paso de 0.020 y velocidad de 2°/min. Para ambos análisis se utilizó un Difractómetro de Rayos X, marca Rigaku, modelo Miniflex 600, con tubo de rayos X de Cu y monocromador de grafito perteneciente a la Unidad de Petrografía & Difractometría del Centro de Servicio de Recursos Geotérmicos del ICE.
Para el análisis cualitativo e identificación de los diferentes componentes se utilizó la base de datos PDF2 (PowderDiffraction File) del International Center for Diffraction Data (ICDD).

Estimados señores:
En las muestras analizadas se identificaron los siguientes minerales arcillosos y no arcillosos según se puede observar en las tablas y figuras respectivas.

Tabla 1. Minerales identificados mediante análisis de separación de arcillas

Código muestra	Minerales identificados
Arcilla Gris ***(Figura 1)***	Mineral del grupo de la Caolinita (K) y mineral del grupo de la Esmectita (Sm). Además: cuarzo (Q).
Arcilla Marrón ***(Figura 2)***	Mineral del grupo de la Caolinita (K) poco cristalizado. El resto de picos corresponden con ruido (radiación de fondo), materiales amorfos o con muy baja cristalización. Además, posible cuarzo y tridimita.
Arcilla Negra ***(Figura 3)***	Mineral del grupo de la Esmectita (Sm). Además: Cuarzo (Q), plagioclasa (Plag) y calcita (Ca).
Arcilla Verde-Bayo ***(Figura 4)***	Mezcla de capas de tipo illita/esmectita (I/Sm), también mineral del grupo de la Caolinita (K) poco cristalizado. Además: cuarzo (Q) y un pico sin identificar (?) ya que no fue posible asociar con algún patrón de la base de datos de referencia.

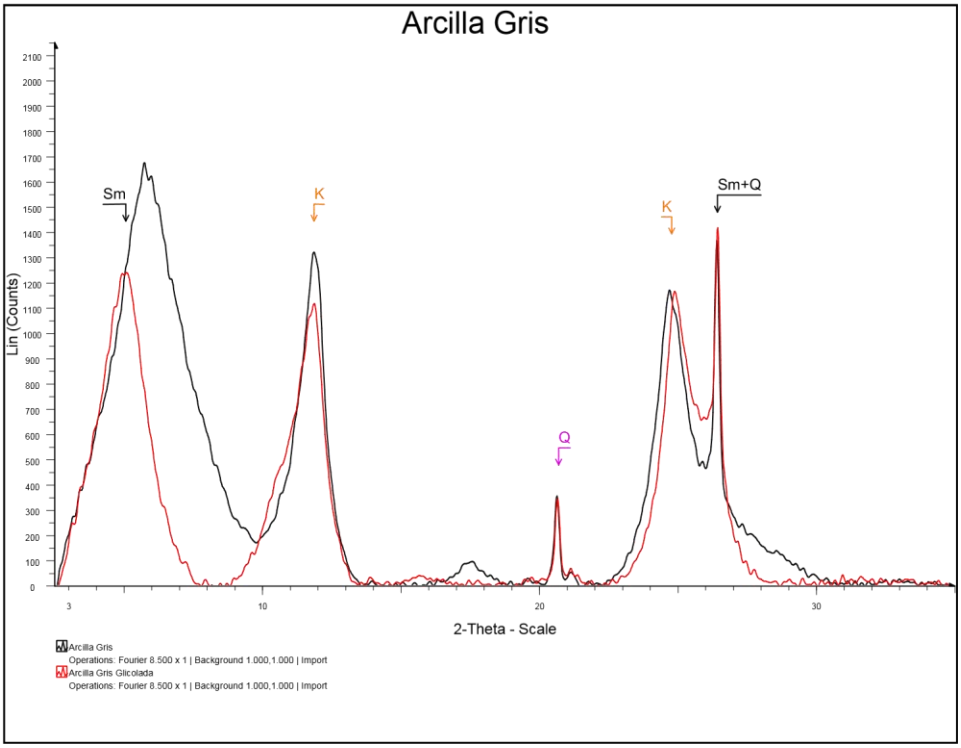


Figura 1. Difractograma de arcillas de la muestra código Arcilla Gris donde se identificaron: mineral del grupo de la Caolinita (K) y mineral del grupo de la Esmectita (Sm); además cuarzo (Q).

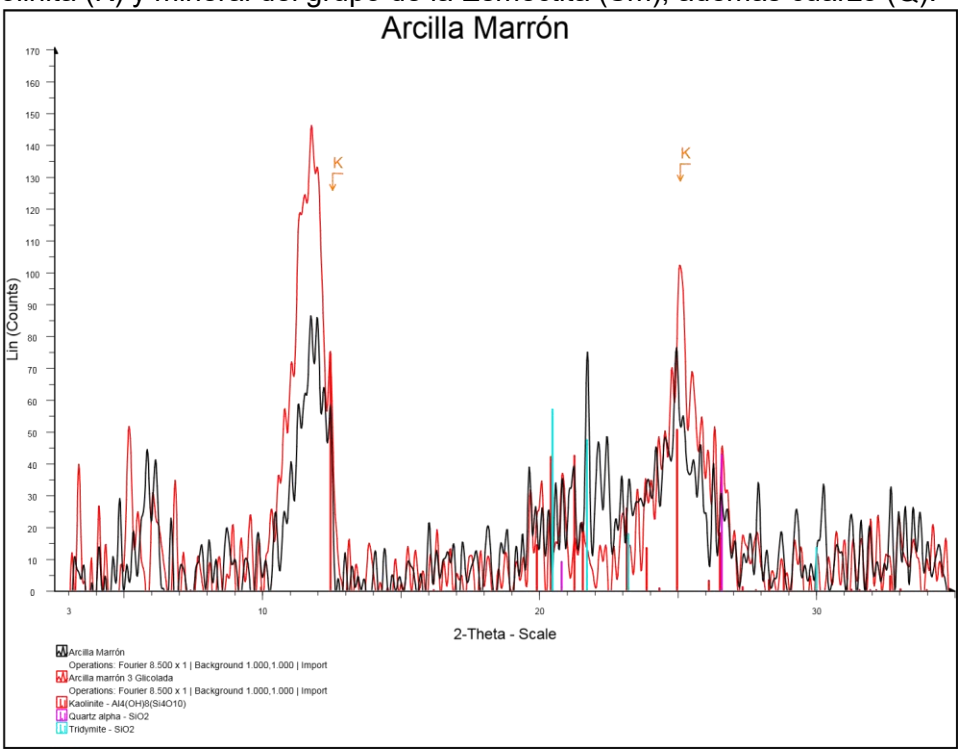


Figura 2. Difractograma de arcillas de la muestra código Arcilla Marrón donde se identificaron: mineral del grupo de la Caolinita (K) poco cristalizado; además, posible cuarzo y tridimita.

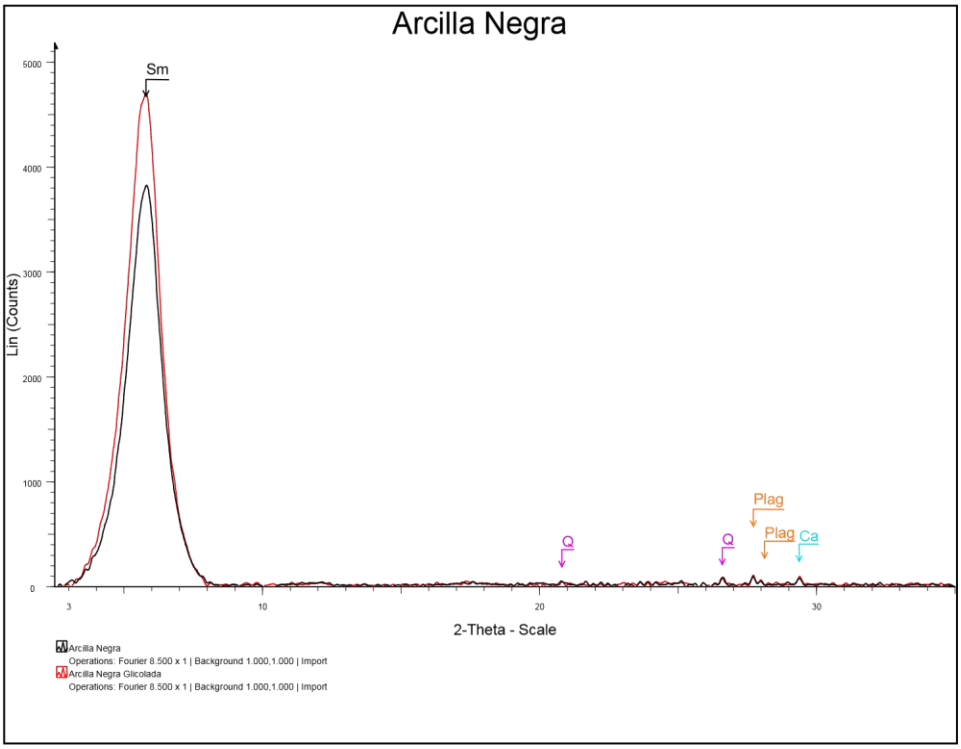


Figura 3. Difractograma de arcillas de la muestra código Arcilla Negra donde se identificaron: mineral del grupo de la esmectita (Sm). Además; cuarzo (Q), plagioclasa (Plag) y calcita (Ca).

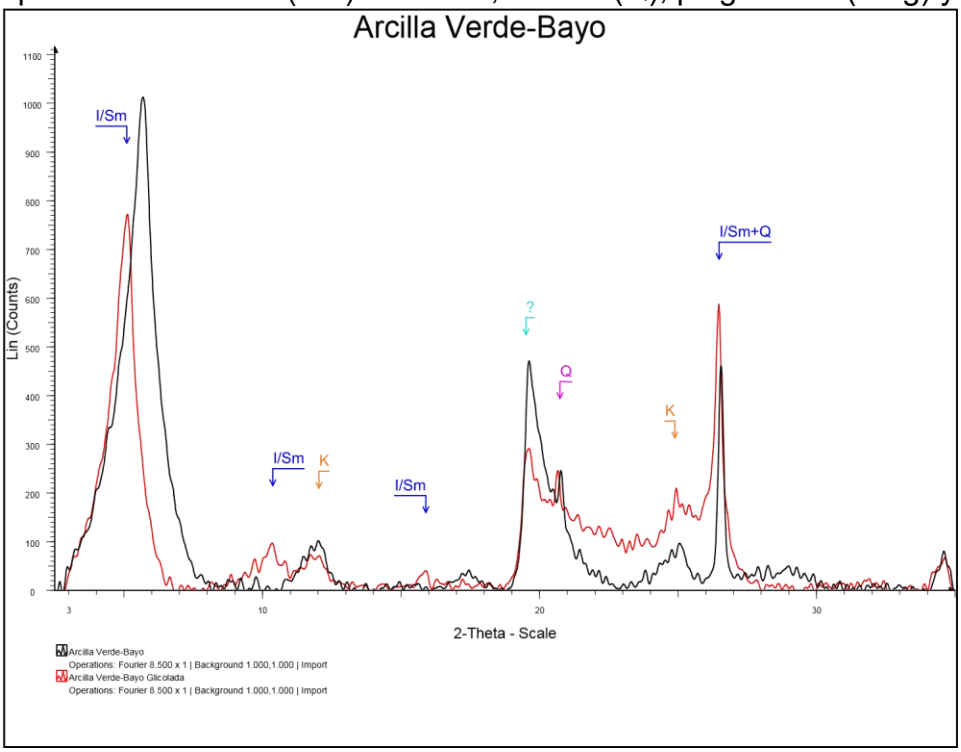


Figura 4. Difractograma de arcillas de la muestra código Arcilla Verde-Bayo donde se identificaron: mezcla de capas de tipo illita/esmectita (I/Sm), también mineral del grupo de la Caolinita (K) poco cristalizado. Además: cuarzo (Q) y un pico sin identificar (?).

Tabla 2. Minerales identificados mediante análisis de roca total	
Código muestra	**Minerales identificados**
R-24-1_Roca Total ***(Figura 5)***	Clinopiroxeno, minerales del grupo de las Zeolitas (Chabazita,Thomsonita y Levynita) y mineral del grupo de la Esmectita.
RR-3_Roca Total ***(Figura 6)***	Cuarzo, mineral del grupo de las Zeolitas (Heulandita) y posible mineral del grupo de la Esmectita.

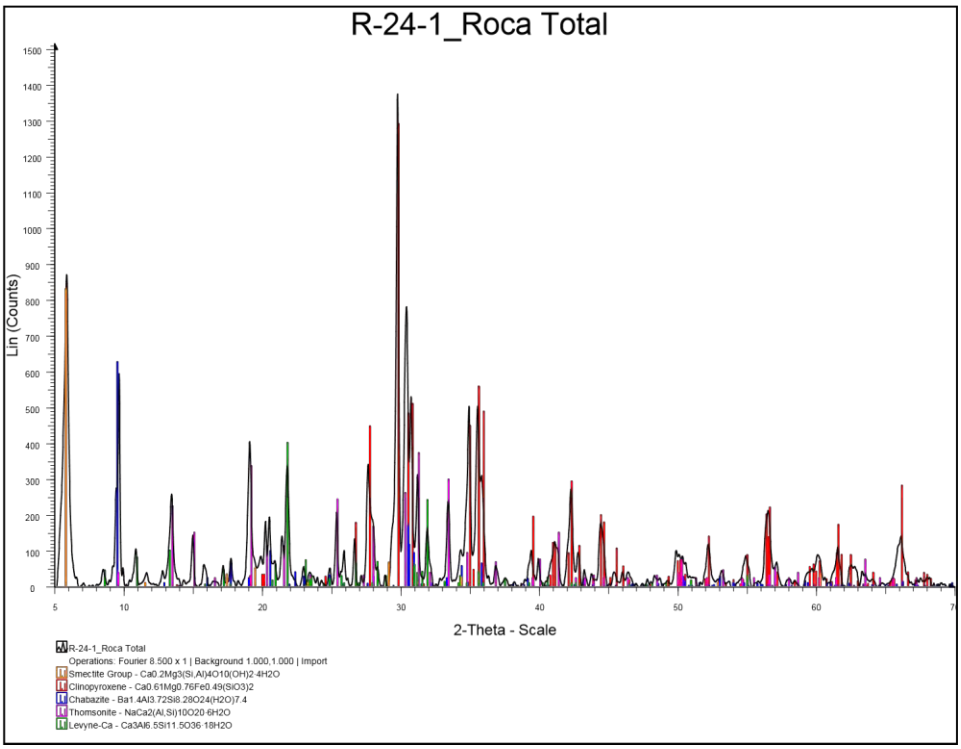


Figura 5. Difractograma de roca total de muestra código R-24-1 donde se identificaron: clinopiroxeno, minerales del grupo de las Zeolitas (Chabazita, Thomsonita y Levynita) y mineral del grupo de la Esmectita.

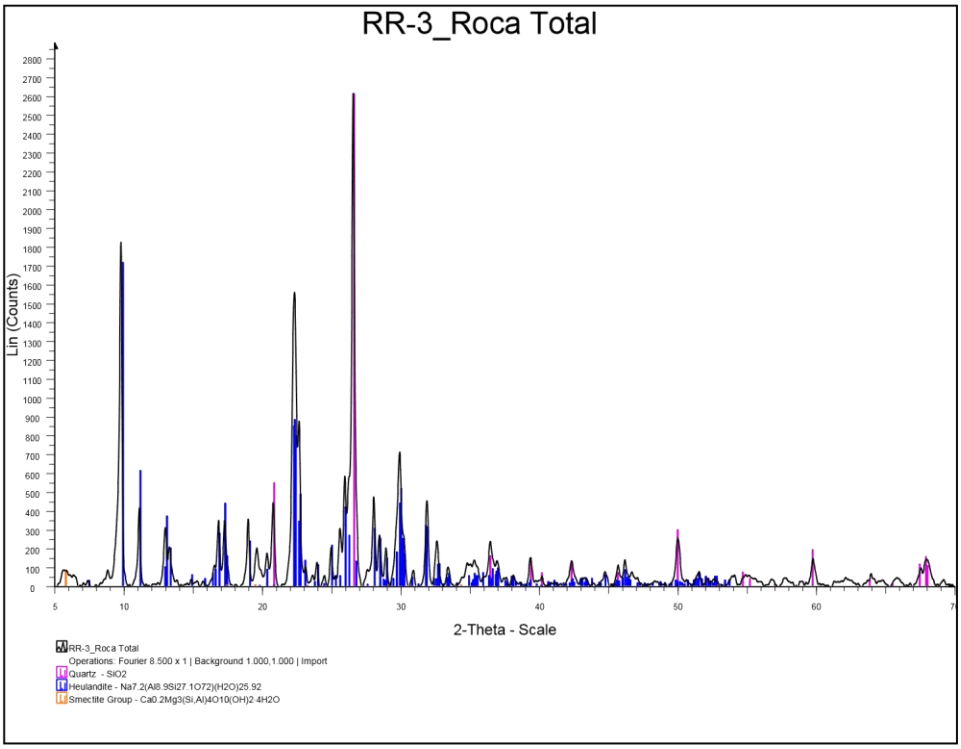


Figura 6. Difractograma de roca total de muestra código RR-3 donde se identificaron: cuarzo, mineral del grupo de las Zeolitas (Heulandita) y posible mineral del grupo de la Esmectita.

Anexo 2.

Tomografía electromagnética en La Florida de Nicoya, Guanacaste

TOMOGRAFÍA ELECTROMAGNÉTICA EN LA FLORIDA DE NICOYA, GUANACASTE

Mario Enrique Arias Salguero
Investigador responsable
Noviembre, 2017

INTRODUCCIÓN

A partir del mes de setiembre del año 2017, se inicia el contacto con el geólogo Diego Guadamuz Vargas, para realizar una investigación geofísica en una finca en Nicoya. En el mes de octubre del mismo año, la señora Mariana Arce Mercado, acepta la oferta presentada y titulada: *Realización de una Tomografía Electromagnética con el dispositivo Ohmmaper, en una finca localizada en La Florida de Nicoya, Guanacaste* y en la primera quincena del mes de noviembre se procedió a la recolección de datos en el sitio.

Objetivo general

El objetivo general del presente estudio fue determinar las variaciones de la resistividad eléctrica del suelo, tanto laterales y a profundidad, que permitan conocer la morfología de la zona de estudio localizada en un lote entre San Antonio y la Florida de Nicoya, a partir de la aplicación de la técnica de tomografía electromagnética realizada con el dispositivo Ohmmapper.

Actividades realizadas

El Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas de la Universidad de Costa Rica, en el marco del proyecto de investigación: 830-B4-806, brinda los siguientes insumos tendientes a la obtención del estudio en cuestión.

- Realización de la tomografía electromagnética con una longitud de 150 m, utilizando para ello el dispositivo Ohmmaper.
- Procesamiento de los datos
- Redacción del informe respectivo.

Investigadores

M.Sc. Mario Arias Salguero, quien funge como responsable e investigador principal del proyecto, trabajando en la coordinación entre el contratante, Universidad de Costa Rica y FUNDEVI, responsable de la ejecución presupuestaria en FUNDEVI, supervisor del avance de la investigación, supervisor en el levantamiento e interpretación de datos geofísicos y procesamiento de datos, así mismo; editor y proponente del informe final.

Lic. José Daniel López, participó en la recolección de información bibliográfica, coordinación en la realización de trabajo de campo, levantamiento e interpretación de datos geofísicos, procesamiento de datos de laboratorio, elaboración de figuras y redacción general.

Sr. Ricardo Pastrana Chacón: participó como técnico de campo en las labores geofísicas y de medición de los datos de campo.

Ubicación del área de Estudio

La zona de estudio se ubica en el Cantón de Nicoya, entre los poblados de San Antonio y Florida, junto a la ruta 150. Aproximadamente en las coordenadas CRTM05, 33 93 60 E / 11 32 260 N. La figura 1, muestra la ubicación del área de interés.

Figura 1: Mapa de Ubicación del lote de interés.

Características medioambientales de la zona de estudio.

La zona de estudio presenta una topografía muy plana con pendientes menores a los 5 grados de inclinación, con un uso de suelo destinado a ganadería con pastizales de baja altura y de fácil acceso (figura 2).

Figura 2: Vista hacia el Este del área de estudio, fotografía tomada desde la calle principal.

Con respecto a los suelos, se presentan suelos de coloración oscura, bastante arcillosos y de moderada a alta plasticidad, no se observaron bloques de roca pero no se descarta la presencia de fragmentos de tamaño centimétrico en muy escasa densidad.

En el área de estudio únicamente afloran depósitos aluviales de edad Cuaternaria, los cuales sobreyacen a rocas sedimentarias de la Formación Sabana Grande de edad Cretácica, así como al basamento geológico del área, el cual estaría siendo conformado por basaltos pertenecientes al Complejo de Nicoya, de edad también Cretácica (Denyer et al., 2013).

MÉTODOS GEOFÍSICOS

Principio

Las técnicas geofísicas de exploración o prospección, se basan en la utilización de métodos indirectos para medir propiedades físicas de los suelos. Esto significa que en el mejor de los casos, la prospección geofísica orienta en la localización de las zonas de interés geológico. La aplicación de las diferentes técnicas existentes dependerá de varios factores, entre ellos: el poder de resolución de la instrumentación disponible, la profundidad de investigación requerida, la ubicación y extensión del sitio a prospectar y naturalmente del contraste de las características intrínsecas del suelo y del objeto de búsqueda (Arias, 2007).

La aplicación de los métodos geofísicos requiere una ordenada y cuidadosa campaña que debe programarse adecuadamente; además es necesario trabajar en conjunto con otros especialistas así como; conocer ciertos parámetros físicos de la zona a estudiar.

La secuencia utilizada en esta prospección, consta de cinco etapas (Arias 2002).

En la etapa de Planeamiento se define el problema de investigación y el papel de los métodos geofísicos, así como sus capacidades de corroborar o refutar la hipótesis establecida, en este caso a partir de la información proporcionada por el geólogo Gaudamuz Vargas, se planificó el diseño de la prospección y elección del método y dispositivo más apropiado. En la segunda etapa: Planificación, el problema de investigación se traduce en términos geofísicos, al buscar establecer un modelo del subsuelo para así compararlo con la realidad.

La fase de Medición correspondió a la recolección de datos en el campo, es donde se establece la metodología en función del equipo a utilizar y las condiciones en donde se vaya a aplicar (Arias, 2000). La calibración de cada equipo antes de comenzar a prospectar es esencial para poder asegurar la veracidad en los datos obtenidos.

Durante la penúltima etapa, Procesamiento, se trabajan los datos según la metodología empleada, en este caso incluyó la inversión de los datos para convertir el parámetro medido (resistividad aparente) en valores de resistividad real.

Por último, la interpretación vincula los aspectos geofísicos con el modelo geológico planteado anteriormente por el geólogo Guadamuz Vargas.

Dispositivo Ohmmaper

El dispositivo Ohmmapper, es un sistema diseñado para la medición de resistividades del subsuelo, especial para aquellas regiones en donde la exploración utilizando un sistema de resistividad convencional (SEV) resulta impráctico, lento y extensivo.

Su funcionamiento se basa en la propagación de una corriente eléctrica emitida por un transmisor electrónico, la cual electrifica dos cables coaxiales (dipolo transmisor), y es a su vez acoplada a la tierra a través de la capacitancia del cable, por su parte un receptor sintonizado automáticamente a la frecuencia del transmisor se encarga de medir el voltaje asociado recogido por los cables del dipolo receptor como una respuesta del medio ante el paso de la corriente emitida, este voltaje será proporcional a la resistividad del suelo ubicado en medio de los dipolos.

El Ohmmapper está diseñado para ser jalado a lo largo del terreno por una persona proporcionando un perfil de resistividad aparente del medio casi continuo (figura 3).

Algunas de sus ventajas con respecto a los sistemas de medición de resistividad convencionales son: el poder ser manipulado por una sola persona, el no requerir electrodos metálicos, su bajo consumo de poder, además de un rápido ensamblaje y obtención de datos.

El equipo se caracteriza por la rápida adquisición de datos. Al ser un método diseñado para investigaciones someras y más detalladas que los convencionales, además de tener un alcance mayor en sitios de difícil obtención como por ejemplo caminos pavimentados, donde influye tiempo que se consume al clavar los electrodos en pavimento, asfalto, roca dura, suelo húmedo o terreno congelado, bajo condiciones ambientales extremas.

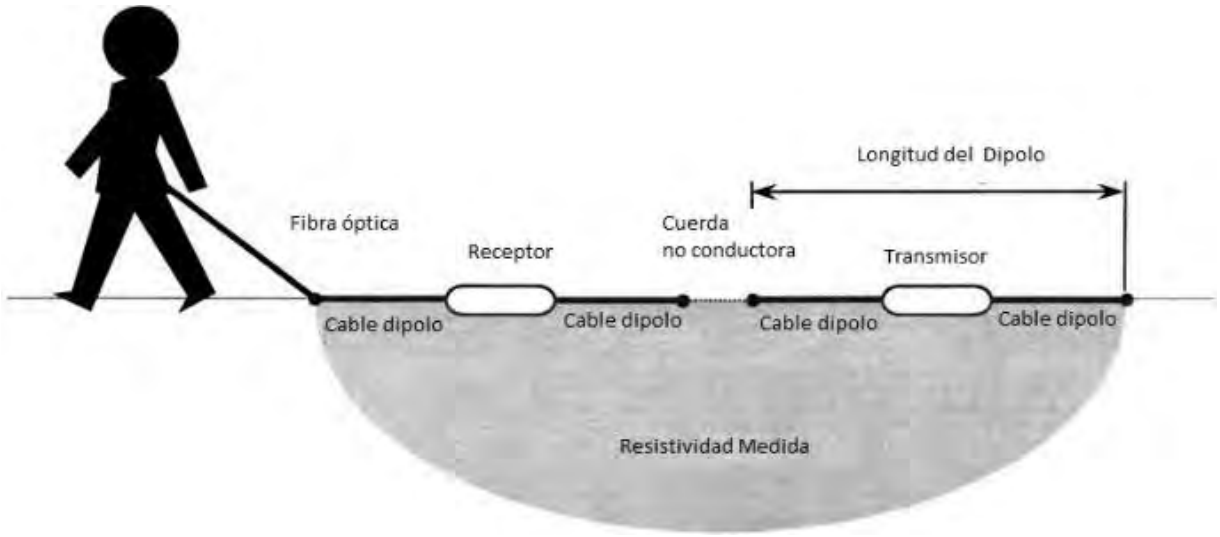


Figura 3: Esquema del arreglo y componentes del dispositivo Ohmmaper, marca Geometrics.

Previo a la utilización del Ohmmapper es necesario definir la configuración del arreglo dipolo-dipolo a utilizar, incluyendo el espaciamiento entre los electrodos, la distancia entre los dipolos, así como también la línea de medición y la distancia entre cada punto de medición. Esta información resulta necesaria para calcular el factor *n* utilizado tanto para la elaboración de pseudosecciones o bien para exportar a diferentes software de inversión.

La profundidad máxima a la que el Ohmmapper puede detectar cambios de resistividad en cualquier localización depende de la separación máxima entre el transmisor y el receptor, en el que la señal del transmisor puede ser detectada y decodificada de forma fiable. En otras palabras la máxima profundidad de investigación dependerá de que tan lejos el receptor pueda detectar la señal del transmisor.

En general, la atenuación de la señal es rápida tanto en medios conductores como resistivos, pero debido a que la señal comienza mucho más baja en suelos conductores suele desaparecer mucho más rápido, por lo tanto, el transmisor puede ser detectado a una mayor separación por el receptor en medios resistivos que en medios con características más conductivas.

Tomografía

Es un método que permite investigar la variación de la resistividad del subsuelo a profundidad y lateralmente. Se estudia a lo largo de líneas en una dirección determinada, donde se inyecta una corriente eléctrica y mediante un dispositivo receptor se observa la respuesta del subsuelo, siendo el resultado, datos de resistividades aparentes (figura 4).

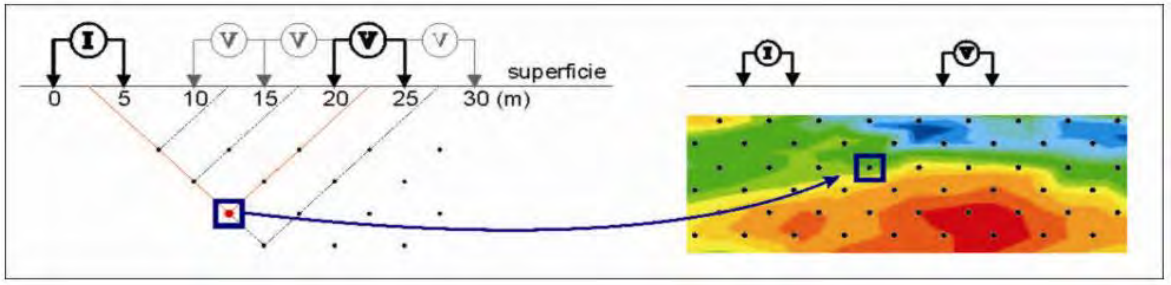


Figura 4: Modelo de tomografía eléctrica con arreglo dipolo-dipolo, Tomado de Chávez et al. (2011)

El método de Tomografía Eléctrica se puede dividir en dos etapas principales, la primera es con respecto a la toma de datos en campo y la segunda la inversión de los mismos, la cual da como resultado una imagen eléctrica (Tejero et al., 2002).

La toma de datos en campo y la metodología dependen del objetivo de estudio, en el cual se sigue un protocolo de adquisición ya sea para 2D o 3D, tomando en cuenta la posición espacial del tendido y la trayectoria de los perfiles que se realicen.

El proceso de inversión trata de obtener, a partir de resistividades aparentes, un modelo de subsuelo que pueda considerarse como una solución válida y

compatible con los datos experimentales, de forma que la respuesta teórica de ésta sea parecida a las observaciones. Esta diferencia se encuentra al medir el error entre las resistividades calculadas y las medidas, si es mayor con respecto al valor de convergencia, se rediseña otro modelo y así sucesivamente hasta que el valor sea aceptable (Nely, 2010).

El arreglo electródico Dipolo-Dipolo, se caracteriza por ser un arreglo simétrico, es decir el distanciamiento de los electrodos que inyectan corriente y los electrodos que miden la respuesta eléctrica del suelo siempre es el mismo, con lo cual se obtienen valores continuos de resistividad a lo largo de la componente horizontal, al cambiar la distancia entre los electrodos se logra profundizar en la vertical y al nuevamente al desplazar el dispositivo se logran obtener valores de resistividad en la componente horizontal, así sucesivamente hasta alcanzar la profundidad deseada en el perfil (figura 5) .

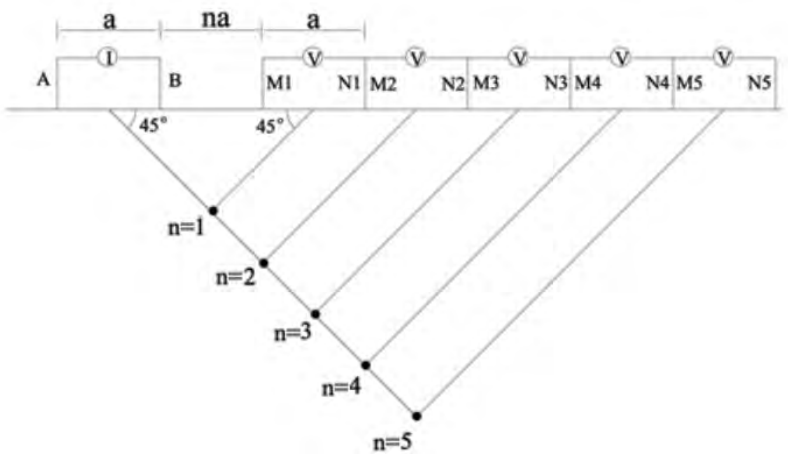


Figura 5: Esquema de obtención de datos por medio del arreglo Dipolo-Dipolo. A-B electrodos de Corriente, M-N : Electrodos de voltaje y sus diversas ubicaciones, n: Profundidad, a: Distancia entre electrodos. Tomado de Nely (2010).

ADQUISICIÓN Y RESULTADOS

En el lote de interés, se realizó un perfil de 150 m de longitud a lo largo de una línea con rumbo N75E (figura 6), iniciando en las coordenadas CRTM05, 1132967,121 N/ 339300,118 E y finalizando en las coordenadas CRTM05 1132973,986 N/ 339442,519 E.

Las separaciones entre los dipolos fueron las de 1 m, 2,5 m , 5 m, 10 m y 15 m, siendo ésta última la más difícil de aplicar debido a dificultades entre las señales Trasmisor-Receptor, esto provocado por corrientes vagabundas que atenuaban la señal y que son originadas debido a la alta conductividad el medio estudiado.

Para la adquisición se usó un resistivímetro de acoplamiento capacitivo denominado Ohmmapper marca Geometrics® con cinco receptores y un trasmisor. Este equipo cuenta en el transmisor con una frecuencia y con un receptor, ambos protegidos por un tubo de PVC y conectados por un cable de 2,5 m, unidos a una consola que posee una pantalla que despliega los datos adquiridos en tiempo real, la consola es sujetada por un arnés que puede soportar una persona.

Para la toma de datos en el campo, se utilizaron cables dipolo de largo 2,5 m, por lo que el largo del dipolo receptor fue de 5 m, al igual que el largo del dipolo transmisor, la distancia entre el cable dipolo y el operario es de 3 m, además con el fin de mejorar la profundidad de investigación se utilizaron diferentes separaciones de cuerda entre dipolos, iniciando con una separación de 1 m, luego 2,5 m, 5 m , 10 y 15 metros con lo cual se logró una profundidad máxima de prospección de alrededor de 5 m.

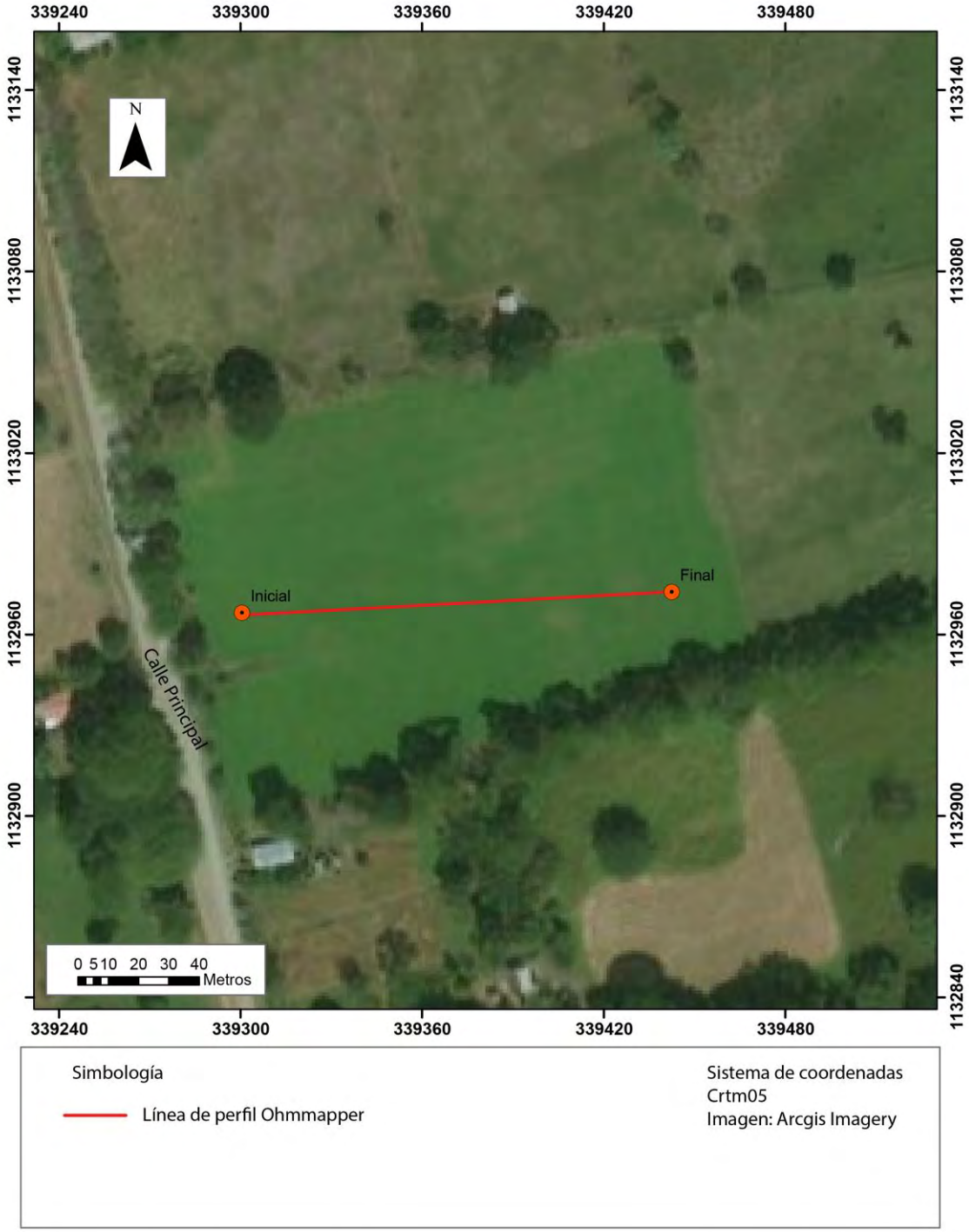


Figura 6: Línea de Perfil sobre la cual se realizó la tomografía utilizando el equipo Ohmmapper.

Los datos de campo fueron procesados mediante la utilización del software de Geotomo (RES2DINV).

Como resultado se obtuvieron tres imágenes para el perfil realizado (figura 7). En la primera imagen se muestra la ubicación e interpolación de los valores de resistividad aparente de los puntos medidos, la siguiente es la pseudosección del modelo de resistividades aparentes (datos calculados mediante un algoritmo) y la última imagen es la distribución de resistividades reales con respecto a la profundidad verdadera, generada a través del proceso de inversión de los datos.

Es importante aclarar, que si se observa a lo largo del eje x (el cual corresponde con la distancia) del perfil realizado, se presenta una parte con valores negativos de hasta -10 m y una parte final a unos 145 m, esto se debe a la configuración del dispositivo, pues al ser éste alargado y al encontrarse el operador en uno de sus extremos, se tiene como consecuencia que al iniciar el perfil (a cero m) se tomarán datos correspondientes a su eje negativo, y al llegar el operador al final del sondeo (150 m) los resultados llegarán hasta unos metros antes del punto debido a que no todo el equipo llega junto al operador.

Como resultado se obtuvo una tomografía eléctrica con una profundidad máxima de prospección de 5,11 m.

Desde los 0 m y hasta los 2,5 m de profundidad, la tomografía indica la presencia de dos sectores resistivos de forma acanalada, ubicados a ambos extremos del perfil realizado. El primero se localiza desde los -11,8 m y hasta los 28 m desde el punto de inicio de la tomografía, mientras que el segundo se localiza desde los 76 m hasta los 140 m. Dichas estructuras acanaladas presentan una curvatura cóncava hacia abajo, y se caracterizan por poseer resistividades ligeramente superiores a las del resto del medio, con valores entre los 15 Ωm (*léase ohm m*) en sus límites externos, tornándose más resistivos en su interior hasta valores de aproximadamente 40 Ωm.

Además se puede mencionar la presencia de una zona con una resistividad de 70 Ωm, la cual es la más elevada de la tomografía, ésta se encuentra muy localizada y se ubica entre los 116 m y 124 m de distancia, con una profundidad entre los 0,6 m y 2 m, se asocia con la presencia de bloques de roca que se encontrarían flotando entre la matriz del aluvión.

A partir de los 2,5 m de profundidad se observa una capa conductora muy homogénea a lo largo de todo el perfil. Esta capa presenta valores de resistividad de entre 4 a 10 Ωm y podría relacionarse con una capa o una alternancia de capas de arcillas posiblemente saturadas o con alto contenido de humedad.

Es importante mencionar que en el centro del perfil, entre los 30 m y hasta los 70 m de distancia al punto de inicio; se presenta desde la superficie la misma capa homogénea de baja resistividad que se localiza en la base del resto de la tomografía, compuesta por capas de arcillas plásticas con alto contenido de humedad, permitiendo comprobar la hipótesis de existencia de depósitos arcillosos acanalados.

A partir de la prospección realizada, no se identifica ningún cambio resistivo contrastante que indique la presencia de un basamento local o cambio litológico apreciable. Esto puede tener diversos motivos, uno de ellos es que el espesor de las capas arcillosas sea mayor a la profundidad de prospección, otro es que a partir de cierta profundidad, ya sea por el grado de saturación de las arcillas o por su misma composición química, el flujo de la corriente inducida no pueda penetrar suficiente y quede viajando en el medio (*Eddy curents* o corrientes vagabundas). Siendo esta última situación la más probable, pues a la hora de prospectar con la separación mayor entre dipolos (15 m), se presentó saturación de la medición realizada por el equipo.

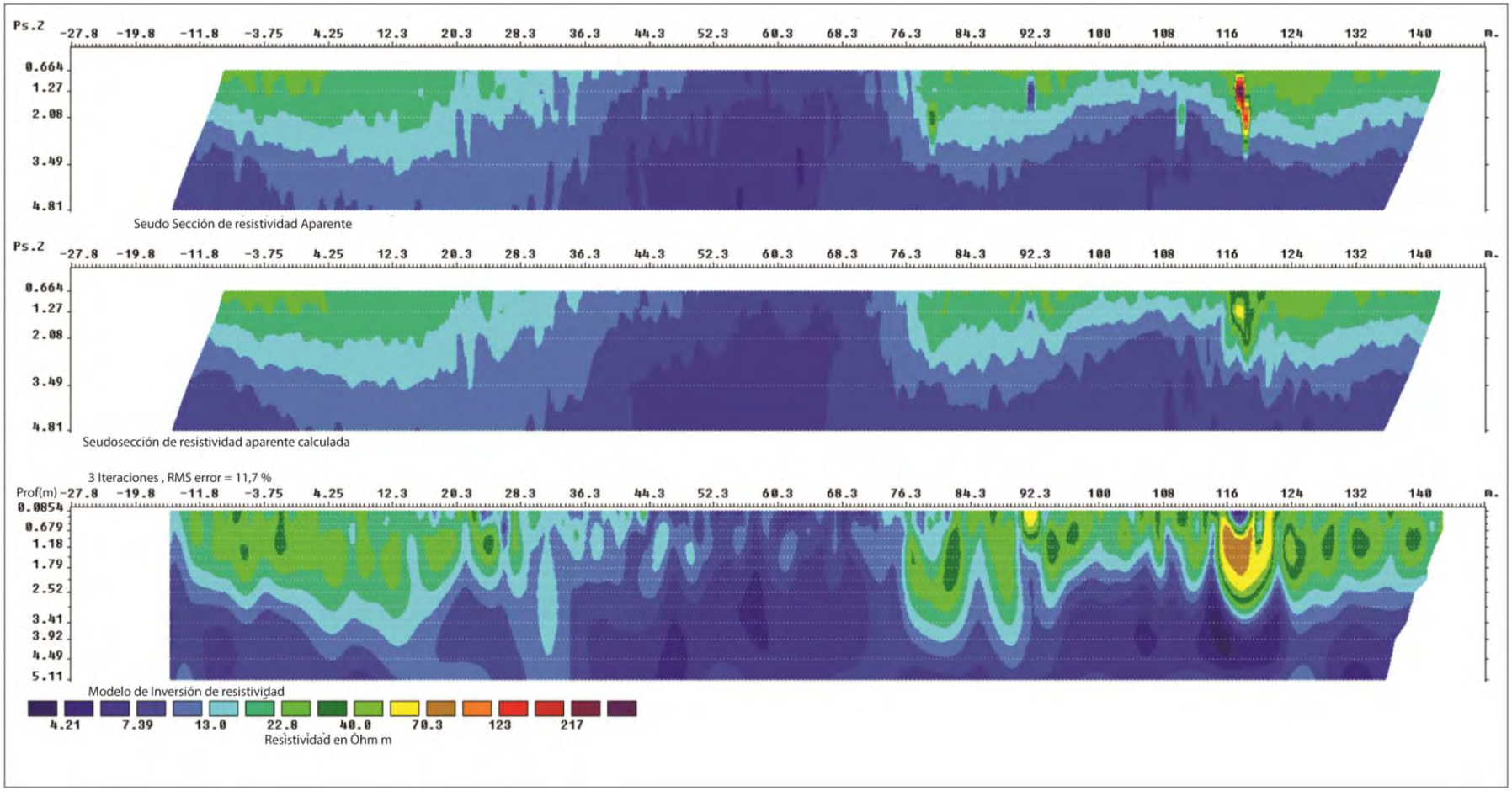


Figura 7: Tomografía realizada en el lote de interés, a lo largo de un perfil de 150 m de longitud total.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de la aplicación de esta tomografía, se determinó la presencia de una capa de depósitos coluvio-aluvial de al menos 5 m de profundidad.

Los depósitos identificados se caracterizan por alternancias de capas arcillosas, las cuales variarían ya sea de acuerdo a su composición o al contenido de humedad presente.

Se sugiere la presencia de un nivel de agua entre los 2,5 m a 5 m de profundidad.

Las variaciones de la resistividad eléctrica, evidencian la presencia de por lo menos dos zonas o estructuras de forma acanalada, relativamente resistivas, ubicadas a lo largo de los extremos de la propiedad estudiada.

Las estructuras acanaladas presentan una forma alargada con un rumbo aproximado N-S.

Lateralmente en la parte central y subyaciendo las estructuras resistivas, se encuentran capas conductoras en forma de canal, que se asocian con arcillas de variable composición o contenido de humedad.

Se recomienda la realización de otras tomografías con la misma orientación que la realizada en este estudio, con el fin de determinar la continuidad lateral de las anomalías conductoras en el lote de interés.

Con el objetivo de determinar el espesor de los materiales conductores y detallar la aparición del basamento, se recomienda la realización de al menos 10 sondeos eléctricos verticales (SEV) en el lote de interés, con una abertura máxima de AB/2 de 50 m.

Se recomienda perforación o excavación de por lo menos 3 pozos a lo largo de la línea de perfil de la tomografía, con el fin de correlacionar y caracterizar los resultados obtenidos en función del contenido de humedad, granulometría, tipo y contenido de arcillas. Se propone que las excavaciones se realicen a los 4 m del punto de inicio, la segunda a los 60 m de distancia del punto inicial, y la tercera a los 120 m desde el punto de inicio, con una profundidad de al menos 2,5 m.

Se recomienda realizar una campaña de medición de niveles de agua en los pozos, con el fin de interpolar la profundidad a la que se encuentra el agua.

REFERENCIAS

ARIAS, M.E. 2000: "Los Métodos Geofísicos".- en Denyer, P. & Kussmaul, S. (compiladores) Geología de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

ARIAS, M. E. 2002: “Aplicación de métodos geofísicos en Hidrogeología.”- en Reynolds, J. (edit.) Manejo Integrado de Aguas Subterráneas. EUNED.

ARIAS, M.E., 2002: “La prospección eléctrica y electromagnética en dos dimensiones y su aplicación en la hidrogeología”. Revista Geológica de América Central. N.27. 21-26.

ARIAS, M. E. 2002: “Aplicaciones Geofísicas a la Hidrogeología de Costa Rica”. Revista Geológica de América Central. N: 27. 11-20.

CHÁVEZ G., TEJERO A., ALCANTARA M.A., CHAVEZ R .E, 2011. The ‘L-Array’, a tool to characterize a fracture pattern in an urban zone: Extended Abstracts of the 2011 Near Surface Geophysics meeting, European Section Meeting (Printed in CD), Leicester, UK.

DENYER, P., Aguilar, T. & MONTERO W. 2013: Mapa Geológico de la Hoja Talolinga, escala 1:50 000. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas de la Universidad de Costa Rica (CICG-UCR), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).

NELY, M., 2010: Caracterización de Fallas y Fracturas mediante Tomografía eléctrica Utilizando electrodos de acoplamiento capacitivo. Tesis de Ingeniería Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad Ingeniería, División de Ciencias de la Tierra. México.

TEJERO, A., CHÁVEZ, R.E., URBIETA, J. & FLORES-MÁRQUEZ, E. L. 2002: Cavity Detection in the Southwestern Hilly Portion of Mexico City by Resistivity Imaging. Journal Environmental Engineering Geophysics, vol. 7, 130.