



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

**Recinto Universitario “Rubén Darío”
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Departamento de Tecnología
Ingeniería Geológica**

**Caracterización Geológica - Estructural del Volcán Casita y Caldera La Pelona,
Departamento de Chinandega.**

Trabajo Monográfico para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Presentado por:

- Br. José Adán Espinoza Paz.
- Br. Clarita Raquel Soza Morales.

Tutor:

- MSc. Eveling Espinoza Jaime.

Asesor:

- PhD. José Armando Saballos Pérez.

Managua, 2022.

MSc. Eveling Espinoza Jaime.
Email: eveling.espinoza@ineter.gob.ni
Teléfono: # 81048615.

Managua 23 de noviembre del 2022.

MSc. Elim Campos Pérez.
Director Departamento de Tecnología.
Facultad de ciencias e Ingeniería.
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN – Managua.

Estimado MSc. Campo.

Por medio de la presente hago constar que los **Br. Clarita Raquel Soza Morales y Br. José Adán Espinoza Paz**, quienes están desarrollando el trabajo monográfico que lleva por título: ***“Caracterización Geológica - Estructural del Volcán Casita y Caldera La Pelona, Departamento de Chinandega”***, y en calidad de tutor de los estudiantes, extiendo el visto bueno del primer borrador del documento de tesis, para ser revisado por el jurado asignado, por el Departamento de Tecnología.

Agradeciendo su atención, le saludo.



MSc. Eveling Espinoza Jaime

Cc. MSc. Francisco Espinoza / Dir. Departamento de Física-UNAN; Ing. Brigitte Mejía /
Coordinadora de Geología-UNAN; Ing. Edmundo Aguirre / Docente – UNAN.
Archivo

RESUMEN

El Complejo Volcánico San Cristóbal (CVSC), comprende un grupo de estructuras volcánicas ubicadas en el segmento NW de la cordillera de los Maribios, Nicaragua. El área de estudio se centró en El volcán Casita y Caldera La Pelona, y otras geoformas secundarias que forman parte de este Complejo, teniendo como objetivo principal la elaboración de una caracterización geológica y estructural a escala 1:25,000 en un área aproximada de 125.79 km², en el sector NE y SE del CVSC.

El área de estudio se encuentra definida por catorce unidades geológicas representadas por distintos tipos de depósitos volcánicos, de las cuales seis fueron caracterizadas microscópicamente; de estas catorce unidades ocho pertenecen al Volcán Casita, tres a Caldera La Pelona, una al volcán San Cristóbal, dos perteneciente a los cráteres El Arenal y La Hoyada respectivamente, y, por último, una unidad que se encuentran dentro del complejo, pero no ha sido considerada como unidad emitida directamente por las estructuras que conforman el CVSC.

Estas unidades estructuralmente se encuentran afectadas por fallamiento regional y local, con direcciones preferenciales NE-SW y NW-SE. Estas fallas están asociadas con movimientos transcurrentes dextral y sinistral que afectan la morfología de las unidades y simetría de las estructuras volcánicas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. General.....	4
1.4.2. Específicos	4
1.5. Descripción del área de estudio	5
1.5.1. Localización.....	5
1.5.2. Vías de Acceso.....	7
1.5.3. Relieve	9
1.5.4. Clima y Temperatura	10
1.5.5. Suelo	10
Capítulo II	11
2.1. Antecedentes	11
2.2.2. Geología Regional de Nicaragua.....	19
2.2.2.1. Paleozoico.....	19
2.2.2.2. Mesozoico.....	19
2.2.2.3. Cenozoico	20
2.2.3. Contexto Geológico y Volcánico	21
2.2.4. Procesos de inestabilidad de laderas en el Volcán Casita y Caldera La pelona.	22
2.2.5. Marco Conceptual	24
2.2.5.1. Geomorfología	24
2.2.5.2. Cartografía Geológica	25
2.2.5.3. Petrografía	26
2.2.5.4. Geología Estructural.....	26
2.2.5.4.1. Esfuerzos y deformación	26
2.2.5.4.2. Fallas y Fracturas.....	27
2.3. Hipótesis	29
Capítulo III	30

3.1.	Diseño Metodológico	30
3.1.1.	Enfoque de la investigación	30
3.1.2.	Área de estudio	30
3.1.3.	Universo y Muestra	30
3.1.4.	Variables y operacionalización de la variable	30
3.1.5.	Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos	32
3.1.6.	Plan de análisis y procesamiento de datos	33
Capítulo IV		35
Análisis y Discusión de Resultados		35
4.1.	Unidades Geológicas	35
4.1.1.	Qal - Unidad de depósitos aluviales y coluviales	36
4.1.2.	Qsvs – Unidad volcano sedimentaria	37
4.1.3.	HsvCa - Unidad de sedimentos volcano-coluviales Casita	38
4.1.4.	HfeCa - Unidad de flujo de escombros Casita	40
4.1.5.	HflsSC - Unidad de flujo de lava superior San Cristóbal	41
4.1.5.1.	Composición Mineralógica	43
4.1.6.	HescCa - Unidad de escorias Casita	44
4.1.6.1.	Composición Mineralógica	46
4.1.7.	HfpCa - Unidad de flujos piroclásticos Casita	47
4.1.8.	HsCa - Unidad superior Casita	48
4.1.8.1.	Composición Mineralógica	49
4.1.9.	HimCa - Unidad medio inferior Casita	51
4.1.9.1.	Composición Mineralógica	52
4.1.10.	HiCa - Unidad inferior casita	53
4.1.10.1.	Composición Mineralógica	56
4.1.11.	PfpHd - Unidad flujos piroclásticos La Hoyada	57
4.1.12.	PArl - Unidad El Arenal	59
4.1.13.	PpCP - Unidad de pómez y flujo piroclástico Caldera La Pelona	61
4.1.14.	PfPp - Unidad de flujo lávico La Pelona	63
4.1.14.1.	Composición Mineralógica	64
4.2.	Geología Estructural	69
4.2.1.	Fases de deformación NE-SW / NW-SE	70
4.2.1.1.	Fallamiento por subsidencia volcánica	70

4.2.1.2.	Sistema de fallas Los Portillos.....	71
4.2.1.3.	Falla El Salto	73
4.2.1.4.	Fallas El Porvenir	74
4.2.1.5.	Falla Las Fumarolas.....	75
4.2.1.6.	Fallas La Hoyada	76
Capítulo V		79
5.1.	Conclusiones	79
5.2.	Recomendaciones	81
5.3.	Bibliografía	82
5.4.	Anexos	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Mapa de ubicación del área de estudio.....	6
Ilustración 2.	Mapa de las principales vías de acceso	8
Ilustración 3.	Fotografía aérea correspondiente al sector del Volcán Casita	9
Ilustración 4.	Mapa de antecedentes.....	16
Ilustración 5.	Marco Geo-tectónico de Centro América	17
Ilustración 6.	Cierre del istmo centroamericano.....	18
Ilustración 7.	Cadena volcánica nicaragüense	22
Ilustración 8.	Ubicación del Volcán Casita dentro de Nicaragua.....	24
Ilustración 9.	Tipos de fallas según el tipo de esfuerzo	27
Ilustración 10.	Arreglos geométricos de las fracturas	28
Ilustración 11.	Instrumentos utilizados para la recolección de datos.	33
Ilustración 12.	Actividades ejecutadas para la recolección de datos	35
Ilustración 13.	Unidad Qal del área de estudio.....	36
Ilustración 14.	Depósitos volcano sedimentarios.....	38
Ilustración 15.	Depósitos coluviales	39
Ilustración 16.	Paredes de la cuenca del deslave de 1998.....	41
Ilustración 17.	Flujo de lava superior del Volcán San Cristóbal	42
Ilustración 19.	Sección delgada en NP y NC del flujo superior Volcán San Cristóbal.....	43

Ilustración 20. QAPF del flujo superior Volcán San Cristóbal	44
Ilustración 21. Unidad de Escorias Volcán Casita	44
Ilustración 22. Afloramiento de depósitos volcánicos del Casita y Telica.....	45
Ilustración 23. Sección delgada en NP y NC de las escorias del Casita.....	47
Ilustración 24. QAPF de las escorias del Casita.....	47
Ilustración 25. Flujo piroclástico Casita	48
Ilustración 26. Flujo superior del Volcán Casita.....	49
Ilustración 27. Sección delgada en NP y NC del flujo superior Casita	50
Ilustración 28. QAPF del flujo superior Casita	50
Ilustración 29. Flujo de lava medio inferior Casita.	52
Ilustración 30. Lámina delgada en NP y NC del flujo medio inferior Casita	53
Ilustración 31. QAPF del flujo medio inferior Casita.....	53
Ilustración 32. Afloramiento de la unidad inferior del Casita	54
Ilustración 33. Flujo de lava inferior del Casita con presencia de meteorización esferoidal	54
Ilustración 34. Imágenes térmicas de las dos fuentes principales del campo fumarólico Casita	55
Ilustración 35. Deformación del flanco NE del Casita	56
Ilustración 36. Sección delgada en NP y NC del flujo inferior Casita	57
Ilustración 37. QAPF del flujo inferior Casita	57
Ilustración 38. Unidad de flujos piroclásticos la Hoyada.	58
Ilustración 39. Fragmentos desprendidos de las paredes la Hoyada.....	58
Ilustración 40. Flujo de lava de andesita basáltica El Arenal	59
Ilustración 41. Depósito de pómez El Arenal.	60
Ilustración 42. Afloramiento El Arenal	61
Ilustración 43. Depósitos de pómez de la Caldera La Pelona.....	62
Ilustración 44. Flujo de lava latítico de la Caldera La Pelona.....	63
Ilustración 45. Sección delgada en NP y NC del flujo de lava de la Caldera	65
Ilustración 46. QAPF del flujo de lava de la Caldera La Pelona.....	65
Ilustración 47. Correlación litoestratigráfica de los principales afloramientos localizados en el área investigada.....	66
Ilustración 48. Columna estratigráfica del área investigada en el complejo volcánico San Cristóbal – Casita	67

Ilustración 49. Mapa geológico a escala 1: 25 000 del área investigada en el complejo volcánico San Cristóbal – Casita.....	68
Ilustración 50. Subsistencia del Volcán Casita.....	71
Ilustración 51. Sistema de fallas los Portillos.....	72
Ilustración 52. Falla del sistema los Portillos	72
Ilustración 53. Rosetas de fracturas y polos correspondientes a la falla Los Portillo	73
Ilustración 54. Falla El Salto.....	74
Ilustración 55. Roseta de fracturas y diagrama de polos de falla El Salto.....	74
Ilustración 56. Falla El Porvenir.....	75
Ilustración 57. Roseta de fracturas y diagrama de polos de las fallas El Porvenir	75
Ilustración 58. Falla las fumarolas	76
Ilustración 59. Fallas normales la Hoyada.....	77
Ilustración 60. Roseta de fracturas y diagrama de polos de las fallas la Hoyada.....	77
Ilustración 61. Mapa estructural a escala 1: 25 000 del área investigada en el complejo volcánico San Cristóbal - Casita	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio, unidades UTM Datum WGS84, Zona 16N.....	5
Tabla 2. Características Según el tipo de falla.....	29
Tabla 3. Variables y operacionalización de la variable de los objetivos.	30
Tabla 4. Porcentaje de minerales estimados en la sección delgada correspondiente al flujo de lava del San Cristóbal.	43
Tabla 5. Porcentaje de componentes principales detectados mediante el análisis petrográfico correspondiente a la unidad de escorias perteneciente al Casita.	46
Tabla 6. Porcentaje de componentes estimados en la muestra obtenida de la unidad de flujo superior Casita	50
Tabla 7. Componentes mineralógicos observados de la muestra obtenida en campo de la unidad medio inferior Casita.	52
Tabla 8. Componentes mineralógicos visualizados sobre la sección delgada perteneciente a la unidad inferior del Casita.....	56

Tabla 9. Componentes mineralógicos visualizados sobre la sección delgada perteneciente a la Caldera La Pelona	64
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Puntos de estaciones realizadas en el área investigada.	86
Anexo 2. Secciones delgadas elaboradas.....	87
Anexo 3. Mapa de estaciones realizadas en campo	88
Anexo 4. Ficha de descripción petrográfica HfsSC - Unidad de flujo superior San Cristóbal.	89
Anexo 5. Ficha de descripción petrográfica HescCa - Unidad de escorias Casita.	90
Anexo 6. Ficha de descripción petrográfica PfPp – Unidad de flujo lávico Pelona.....	91
Anexo 7. Ficha de descripción petrográfica HiCa- Inferior Casita.....	92
Anexo 8. Ficha de descripción petrográfica de la HsCa-Unidad superior Casita.	93
Anexo 9. Ficha de descripción petrográfica de la HimCa - Unidad medio inferior Casita.	94

Capítulo I

1.1. Introducción

Nicaragua se localiza dentro del cinturón de fuego originado por la tectónica de placas, en este caso la Placa Coco subduce bajo la Placa Caribe frente a las costas del Pacífico dando origen al arco volcánico Cuaternario que se emplaza dentro de la Depresión de Nicaragua, con tendencia Noroeste-Sureste, siendo la formación geológica más reciente compuesta por numerosos conos volcánicos, dentro de los cuales se encuentra el Volcán Casita y Caldera La Pelona pertenecientes al complejo volcánico San Cristóbal – Casita.

El Complejo volcánico San Cristóbal – Casita históricamente es caracterizado por la ocurrencia de procesos de lahares, (con un registro para el **Volcán San Cristóbal** en el mes de septiembre del **2012**) siendo el de mayor impacto, el ocurrido el **30 de octubre de 1998** en la ladera Sur del **Volcán Casita**, desencadenado con las fuertes lluvias relacionadas al Huracán Mitch, provocando la muerte de más de **2500 personas** (Kerle & Van Wyk de Vries, 2003), debido a esto, cuantiosos investigadores se encargaron de realizar estudios geológicos, estructurales, geomorfológico y geotécnicos en la zona donde se desencadenó el lahar.

El siguiente estudio monográfico contempla la “Caracterización Geológica - Estructural del Volcán Casita y Caldera La Pelona” en un área de **125.79 km²**, donde se definieron y caracterizaron las unidades geológicas, estratigráficas, y estructurales a escala 1:25 000, así mismo se realizó el análisis petrográfico y mineralógico de seis unidades.

Esta investigación se ejecutó con el apoyo del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), con el propósito de ampliar los conocimientos geológicos mediante la propuesta del mapa geológico-estructural, columna estratigráfica general, y perfiles geológicos del Volcán Casita y Caldera La Pelona

1.2. Planteamiento del problema

El conocimiento geológico de un país es la base que permite el óptimo aprovechamiento de su territorio, (Bernal et al., 2018). Nicaragua se encuentra ubicada en el istmo Centroamericano; por lo tanto, debido a su conformación geológica, estructura morfológica, factores climáticos, así como por la distribución y desarrollo económico, social y cultural de la población, es catalogada como uno de los países con mayores riesgos a desastres. (INETER, 2018).

El Volcán Casita ubicado en el Complejo Volcánico San Cristóbal, departamento de Chinandega, es un volcán inactivo, cuya geología ha sido poco estudiada. Las únicas investigaciones con la que cuenta en todo el complejo volcánico son a escala regional e investigaciones a detalle en el sector del flanco Sureste del Volcán Casita; sin embargo, se debe de tener en cuenta que con el transcurso de los años se han venido modificando sus condiciones fisiográficas por procesos antrópicos y atmosféricos, por lo tanto, es importante realizar una caracterización geológica - estructural actualizada y detallada. Por su parte la Caldera La Pelona, está cortada en su extremo Noroeste por el Volcán Casita y no existen estudios de sus depósitos volcánicos y patrones estructurales, por lo que es necesario investigar, determinar los procesos que llevaron a las formaciones de estas estructuras, cuantificar el espesor de las diferentes unidades litológicas y mediciones de los rasgos estructurales preferenciales a través del trabajo de campo. Así mismo conocer las diferentes amenazas volcánicas a las cuales la población se encuentra expuesta y que pueden impactar de forma severa sus condiciones y medios de vida. La cartografía geológica es la base fundamental para definir posteriormente rutas de evacuación y centros de albergues para los diferentes escenarios probables de una actividad eruptiva, o el desarrollo de procesos geológicos secundarios, con la finalidad de salvaguardar la vida de las personas.

1.3. Justificación

Esta investigación surge de la necesidad de analizar a una escala detallada la Geología del Volcán Casita y Caldera La Pelona, a través de una cartografía geológica y estructural, lo cual servirá como base para futuras investigaciones con diferentes enfoques, como el aprovechamiento de los recursos naturales, gestión del riesgo para la prevención de catástrofes naturales, uso de suelo, ordenamiento territorial, etc. Para cumplir los objetivos de la investigación se plantea realizar la cartografía geológica en superficie, a través de levantamientos de columnas estratigráficas, contactos litológicos, muestreos y análisis petrográficos, para determinar las características mineralógicas, mediciones de rasgos estructurales, análisis de alteraciones hidrotermales, paragénesis para determinar una posible secuencia de eventos e identificar en forma preliminar los peligros volcánicos que se puedan generar. Se obtendrá una actualización geológica que dispondrá de un Mapa Geológico y estructural a escala 1:25,000 permitiendo así, el aporte de nueva información geológica que sirva como base a los tomadores de decisión para la prevención y mitigación de los peligros geológicos asociados a estas estructuras volcánicas, que puedan afectar a la población.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

- Caracterización geológica y estructural del Volcán Casita y Caldera La Pelona a escala 1:25,000.

1.4.2. Específicos

- Definir las principales unidades geológicas del sitio de estudio.
- Caracterizar los patrones estructurales y lineamientos ubicados dentro del área de estudio.
- Realizar análisis petrográficos mediante secciones delgadas para la identificación de las características mineralógicas.
- Proponer una columna estratigráfica general y perfil geológico del área de estudio.
- Elaborar mapa geológico y estructural a escala 1:25,000 del área de investigación.

1.5. Descripción del área de estudio

1.5.1. Localización

El Volcán Casita y Caldera La Pelona se encuentran ubicados a 138 km al **NW** de la ciudad de Managua y distan aproximadamente unos 33 km al **NE** de la Ciudad de Chinandega.

El Volcán Casita es un estratovolcán con una altura de 1405 **m.s.n.m**, mientras que Caldera La Pelona tiene una altura de 824 **m.s.n.m**, ambas forman parte del Complejo Volcánico San Cristóbal (**INETER, 2002**). Se ubican en la Cordillera de los Maribios, parte del segmento Noroeste del arco volcánico nicaragüense que posee 70 km de longitud, y se extiende desde el Volcán Momotombo en su extremo sureste, al Volcán San Cristóbal en su extremo Noroeste (McBirney & Williams, 1965). El cráter del Volcán Casita está ubicado en las siguientes coordenadas **UTM 503110 E - 1403171 N**, por su parte, La Caldera La Pelona se encuentra ubicada en las coordenadas **UTM 507686 E - 1400984 N**. Ambas estructuras volcánicas se encuentran entre los cuadrantes de las hojas topográfica serie **2853-IV y 2854-III (INETER, 2006)** a escala 1:50,000. **Ilustración 1.**

A continuación, se muestran en la tabla 1 los vértices y coordenadas que forman los límites del polígono correspondiente al área de estudio. **Tabla 1**

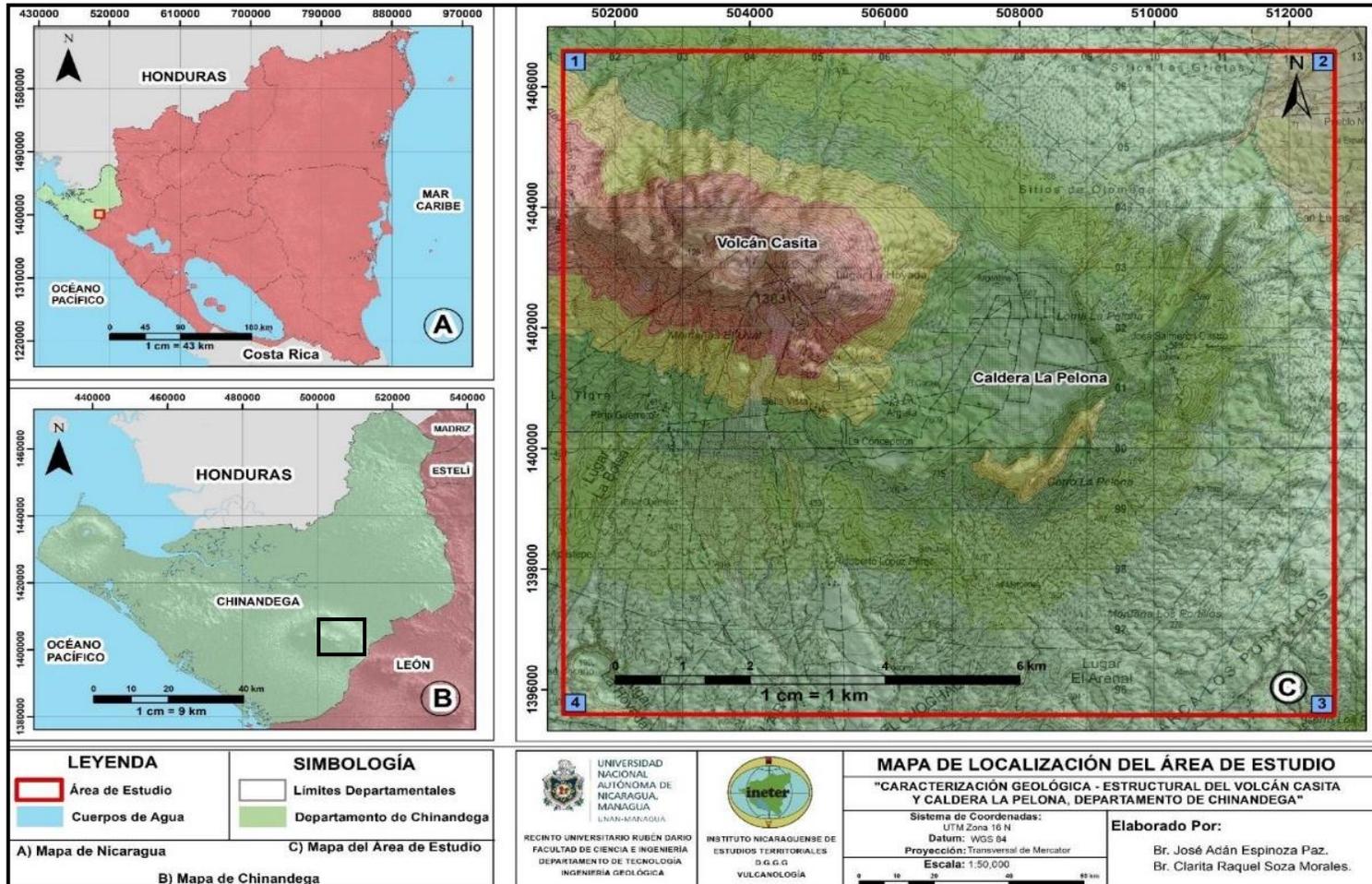
Tabla 1.

Coordenadas del área de estudio, unidades UTM Datum WGS84, Zona 16N.

	N° Vértice	Coordenadas Este	Coordenadas Norte
Vértices del Área de estudio	1	501393.74	1406673.27
	2	512830.75	1406673.78
	3	512830.25	1395662.45
	4	501393.14	1395662.85

Ilustración 1.

Mapa de ubicación del área de estudio.



Fuente: Elaboración Propia. DEM extraído de la base de datos INETER, (Proyecto Análisis de Stereo-Par, 2004). Edición de hojas topográficas INETER (2006).

1.5.2. Vías de Acceso

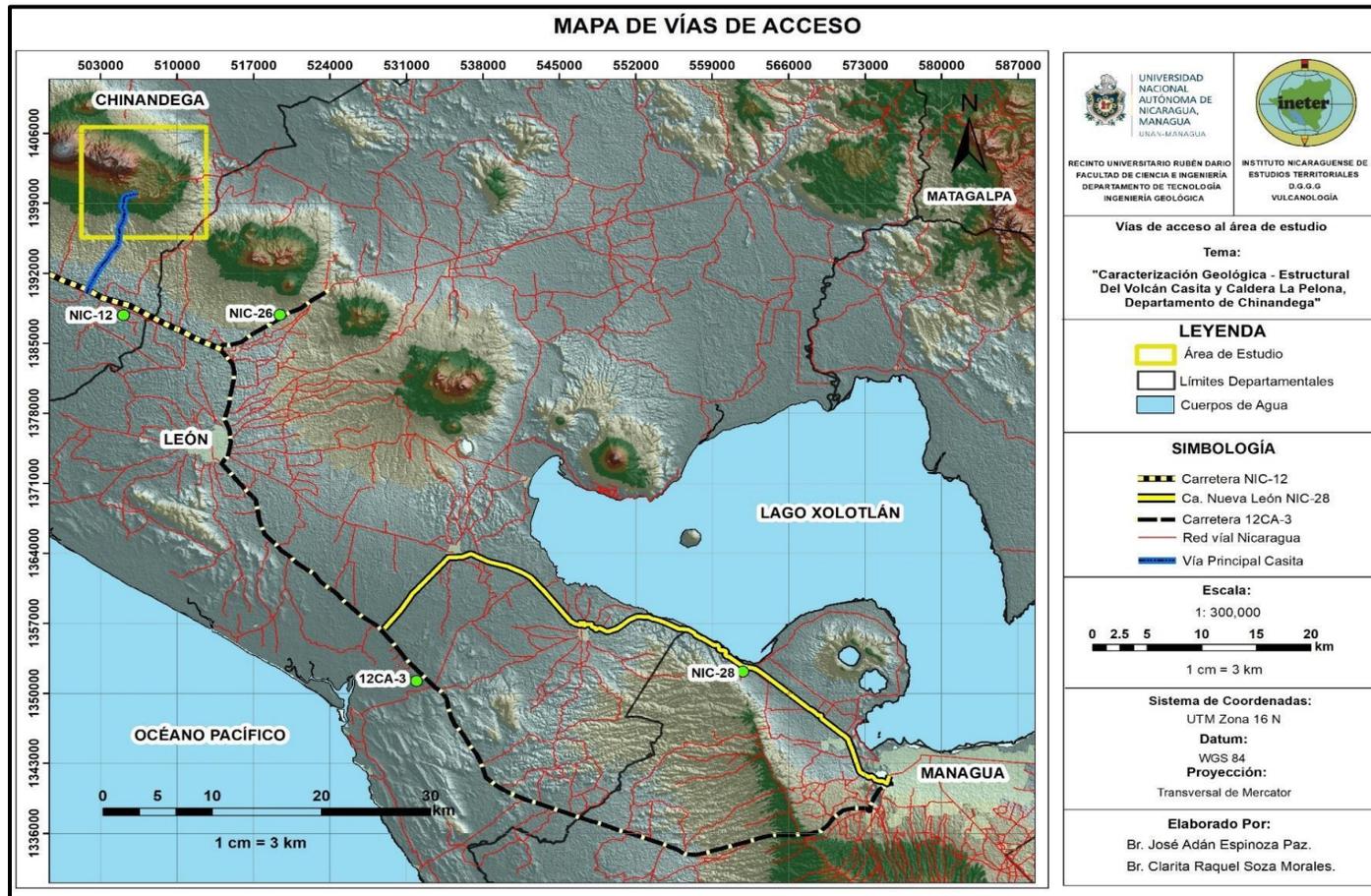
El Volcán Casita y Caldera La Pelona se encuentran rodeados por caminos que facilitan la entrada hasta sus faldas. Existen dos opciones desde la ciudad de Managua para llegar hasta la vía principal que conecta hacia El Volcán Casita y La Caldera La Pelona.

La primera opción vial desde Managua es la carretera nueva a León Nic-28 hasta llegar al empalme de Izapa (72 km), posteriormente se debe girar hacia el Noroeste sobre la carretera 12/CA-3, atravesando la Ciudad de León, hasta llegar a la Comunidad de Telica, a partir de ese punto se toma la carretera Nic-12 hasta llegar a la comunidad de Jacinto Baca del municipio de Posoltega, a partir de este sitio se debe girar en 800 m hacia el Noreste para tomar última vía que conlleva hacia el Volcán Casita.

La segunda opción que permite llegar hasta la vía que conecta con el Volcán Casita y Caldera La Pelona desde Managua, es la carretera Vieja a León Nic - 12CA-3, se debe mantener en esta vía hasta llegar al empalme de Izapa, a partir de este sitio se toma la carretera 12/CA-3 hasta llegar a la Comunidad de Telica, tornando así hacia la izquierda en la carretera Nic-12 hasta llegar a la comunidad de Jacinto Baca, de igual forma se debe de girar en 800 m hacia la derecha para tomar última vía que conlleva hacia la zona de estudio en unos 17 km. **Ilustración 2**

Ilustración 2.

Mapa de las principales vías de acceso al área de estudio.



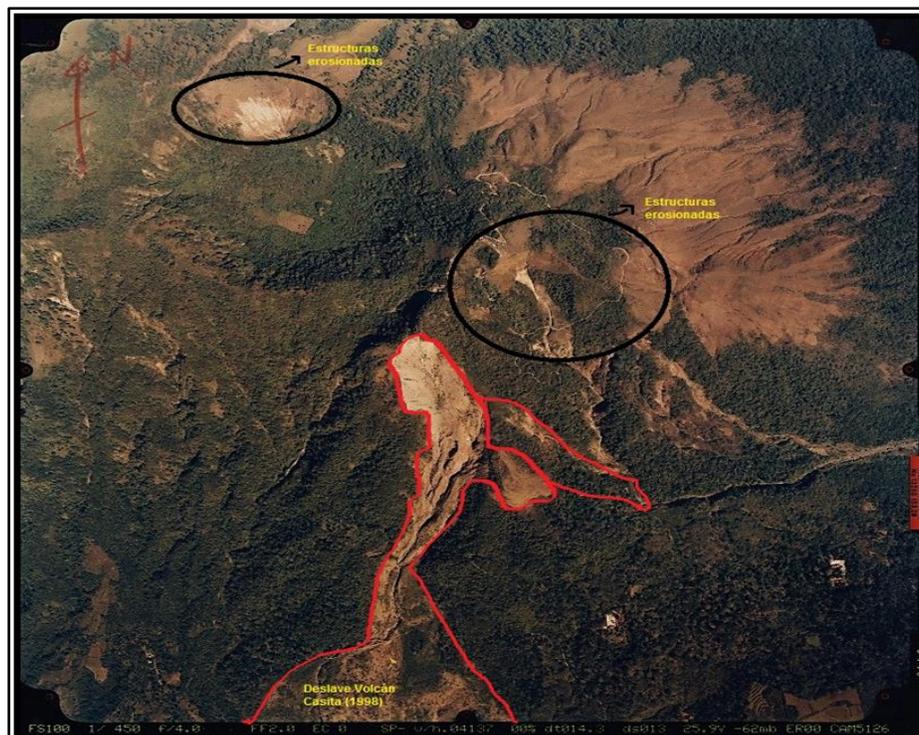
Fuente: Elaboración Propia. DEM extraído de la base de datos INETER, (Proyecto Análisis de Stereo-Par, 2004) y Red Vial Nicaragua (2016).

1.5.3. Relieve

El Volcán Casita es una estructura volcánica que pertenece al Complejo Volcánico San Cristóbal, con una elevación de 1405 **m.s.n.m.**, además presenta una topografía compleja y erosionada en el sector Sur (**INETER, 2002**). Posee varios cráteres en la cima, de los cuales uno de los cráteres conserva su morfología intacta, mientras que los demás permanecen con morfología de cráter erosionados (**CNE, 2001**). Por su parte, Caldera La Pelona ubicada al Este del Volcán Casita, presenta una morfología amplia y de menor elevación con 824 **m.s.n.m.**, su amplio cráter de fondo plano se encuentra adjunto con la estructura volcánica de El Volcán Casita (**CNE, 2001**) **Ilustración 3**.

Ilustración 3.

Fotografía aérea correspondiente al sector del Volcán Casita, se muestra la morfología de las estructuras erosionadas y parte del deslave de 1998.



Fuente: JICA & INETER (2004).

En el margen Sureste de la zona de estudio, la pendiente de Caldera La Pelona se torna moderada con elevaciones que van desde los 200 a 400 m y continuamente desciende ligeramente hasta convertirse en llanuras casi planas.

1.5.4. Clima y Temperatura

Chinandega cuenta con un clima tropical seco con temperaturas medias entre 21°C y 30°C, las precipitaciones anuales son de 1600 mm a 1800 mm con una máxima de hasta 2000 mm. El área es influenciada por un eje de pluviosidad proveniente del océano Pacífico en conjunto con los vientos alisios húmedos provenientes del Mar Caribe, sin embargo, cuando el fenómeno de El Niño afecta la localidad, las precipitaciones pueden sufrir un déficit del 30 al 40 %. **(Barahona, T. & Mendoza, R. 1999)**.

El clima es una de las causas de la erosión del suelo mediante las precipitaciones, viento y los cambios bruscos de temperatura que dan paso al desgaste de la roca madre. Igualmente, el clima influye en la existencia de las plantas, que sujetan el suelo y le aportan materia orgánica. Cuando la temperatura aumenta, es mayor la actividad de los microorganismos. Por esta razón, la materia orgánica del suelo se descompone con más rapidez en los trópicos, liberando los nutrientes. **(FAO 1996)**.

La lluvia y el viento son los principales agentes climáticos que causan erosión por arrastre del suelo y transportan partículas de tierra que se sedimentan en las zonas bajas.

1.5.5. Suelo

Los suelos son desarrollados principalmente por los depósitos volcánicos provenientes de la cordillera de los Maribios. La acumulación de cenizas en las llanuras ha conformado suelos fértiles, profundos y de textura franco-limosa, reconocidos como uno de los terrenos más favorables para el desarrollo de la agricultura a nivel nacional **(Incer, J. 1970)**. Según estudios realizados por INETER en el 2006, la zona en estudio se encuentra compuestas por suelos: Entisoles, Inceptisoles y Molisoles, los cuales son desarrollados por depósitos aluviales y lacustres sedimentados de origen volcánico, rocas máficas y félsicas, metamórficas y sedimentarias. **(Pérez, E. 2011)**

Capítulo II

2.1. Antecedentes

La zona de estudio forma parte del Complejo Volcánico San Cristóbal, la geología de las estructuras volcánicas de El Casita y La Pelona no han sido previamente investigadas, de forma detallada, por tanto, existe muy poca información respecto a sus datos geológicos, solamente estudios realizados a escala regional basados en las amenazas naturales y geológicas; es por ello que se tomaron como base las investigaciones de mayor relevancia realizadas en las áreas próximas, entre las cuales se encuentran:

Van Wyk de Vries. B., (1993). En su estudio “Tectonics and magma evolution of Nicaraguan Volcanic Systems” investigó la relación entre las estructuras de fallas, concentraciones de tensiones y la evolución magmática y volcánica de algunos volcanes nicaragüenses, además, se incluye un análisis geoestructural al Noreste de la aldea de Cristo Rey, donde se encuentra una fuerte falla que afecta la caldera La Pelona, que, por comparación morfológica con otras calderas nicaragüenses, induce que tiene más de 30.000 años. El estudio proporciona a esta investigación una comprensión general de los procesos de interacción magmática y estructural.

Las Universidades de Buffalo, Grenoble y UNAM., (1998). Elaboraron un informe en colaboración con el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales; la investigación se realizó con el objetivo de conocer las causas geológicas de los desastres en el Flanco Sur del Volcán Casita, a tan solo diez días después del desastre. El informe determinó el principal mecanismo del fenómeno y el desarrollo de varios fenómenos subsecuentes que provocaron la avalancha de rocas y suelo mezclado con la gran cantidad de agua, lo que por consiguiente ocasionó una ola de sedimentos y grandes bloques que alcanzaron dos pueblos aledaños, dando como resultado la muerte de más de dos mil personas. La investigación se relaciona con el presente trabajo porque cuenta con descripciones geológicas generales perteneciente al Volcán Casita.

Kerle et al., (1998). Efectuaron la “Detección remota del flujo de lodo de 1998 en el Volcán Casita, Nicaragua” mediante la utilización de imágenes de radar y ópticas de satélite para determinar la geomorfología y la estructura de drenaje del área que fue afectada por

el lahar que mató a más de dos mil personas, la prioridad del estudio es evaluar la capacidad de diferentes sistemas aéreos y espaciales para poder delinear y caracterizar los depósitos del lahar, además la idoneidad de las imágenes disponibles en el momento del desastre para proporcionar la información que se necesita de manera crítica y la posibilidad de que se desarrollen nuevos eventos.

Sebesta, J. (2000). Estudiaron el desarrollo dinámico del relieve y el riesgo geológico del grupo geológico San Cristóbal – Casita, dicho grupo volcánico se formaron en la caldera La Pelona. El Volcán San Cristóbal ha estado activo mientras que el Volcán Casita es considerado no activo, sin embargo, presenta una intensa alteración hidrotermal de los flujos de lavas y aglomerados que lo conforman, la superficie está formada por depósitos de pendientes poligénicos de varias decenas de metros de espesor que se vuelven inestables, el resultado del análisis fue la compilación de un mapa del desarrollo dinámico del relieve a escala 1:50 000. Este estudio da a conocer el relieve y los riesgos geológicos presentes en la zona de interés.

Van Wyk de Vries. B., (2000). Elaboró una investigación con el nombre “Sector collapse forming at Casita Volcano, Nicaragua”. Dicha investigación se centra en explicar los mecanismos que conllevó al colapso en el sector Sur del Volcán Casita. De Vries, explica que el colapso catastrófico ocurre cuando un volcán se vuelve estructuralmente incapaz de soportar su propia carga, entre los procesos que conlleva a esto se encuentra la actividad hidrotermal, ya que esta provoca altas presiones de poros y transforma rocas fuertes en arcillas. Esta investigación aporta información de mucha importancia, ya que facilita ubicar las zonas hidrotermales que estuvieron activadas, así mismo observar el cambio que han producido las alteraciones hidrotermales hasta la actualidad.

USGS & UNAM, (2000 -2002). Realizaron una investigación del lahar desastroso ocurrido en 1998 en el Volcán Casita, cuya finalidad era analizar las condiciones geológicas y vulcanológicas que conllevan al desastre ocurrido en una ladera del Volcán Casita, en el cual, también se incluye una comparación con otros volcanes. Esta investigación contribuye datos geológicos para la elaboración del presente estudio.

CNE [Comisión Nacional de Energía] (2001). A través de Plan Maestro Geotérmico, elaboró un informe con el título de “Evaluación del Volcán Casita - San Cristóbal” con el objetivo de evidenciar una serie de factores favorables y desfavorables en la realización de actividades de exploración y desarrollo geotérmico en el área. Se

analizaron las evidencias suficientes como para lograr inferir que existe la presencia de un importante sistema geotérmico de alta Temperatura ubicada en el Volcán Casita, por lo tanto, la zona se denominó como una zona de interés para una investigación de prefactibilidad, la cual requiere de estudios geológicos a detalle. Esta investigación proporciona al trabajo actual información base de los aspectos topográficos y geológicos que se encuentran en el área de estudio.

La Universidad de Cambridge & Universidad de Clermont Ferrand, (2002). Llevaron a cabo una investigación del mecanismo de colapso en el Volcán Casita, donde se analizaron las condiciones tectónicas, vulcanológicas y geomecánicas de la estructura volcánica usando los métodos de fotogrametría e imágenes satelitales. Como resultado se discutieron las posibilidades para un colapso sectorial del Volcán Casita. La información que proporciona esta investigación al estudio actual son las condiciones geológicas y estructurales de un determinado sector del área de estudio.

Kerle & Van Wyk de Vries, (2003). En su artículo sobre nuevos conocimientos sobre los factores que provocaron el colapso del flanco de 1998 sugieren que factores adicionales a las precipitaciones influyen en el desarrollo del lahar, investigando la contribución potencial de la erosión del flanco, la actividad sísmica y el cambio antropogénico de la cobertura del suelo determinando que la eventualidad fue proporcionada por la deformación de todo el edificio hacia el suroeste, la actividad sísmica, presencia de una falla prominente, hundimiento local y capas ricas en arcillas producto de alteraciones hidrotermal desarrollaron las condiciones favorecedoras para que surgiera la eventualidad catastrófica. Esta investigación contribuye con datos de parámetros geoestructurales presentes en el Volcán Casita.

Vallance et al., (2004). Consideraron los peligros de lahar en los volcanes Casita y San Cristóbal describiendo los peligros de deslizamientos de tierra y lahares en general, y analiza los peligros potenciales de futuros deslizamientos de tierra y lahares en los volcanes San Cristóbal y Casita en particular. El informe también muestra, en los mapas de zonación de peligro de lahar adjuntos, qué áreas probablemente estarán en riesgo de futuros deslizamientos de tierra y lahares en Casita y San Cristóbal.

Scott et al., (2004). Investigaron el lahar provocado por las precipitaciones en el Volcán Casita que destruyó las comunidades de El Porvenir y Rolando Rodríguez las cuales se encontraban asentadas sobre un camino de al menos tres lahares prehistóricos de

tamaño similar documentados por la estratigrafía del sector enfatizando la necesidad de realizar evaluaciones de peligro volcánico.

Bogie et al., (2004). Realizaron el estudio titulado “The casita Geothermal Field, Nicaragua”, con el fin de estudiar las condiciones geotérmicas del Volcán Casita. Se analizaron las condiciones geológicas a través del análisis de actividad térmica, geoquímica, geofísica y la realización de un modelo hidrogeológico con el cual aseguraron que el vapor que emana de las fuentes del volcán se encuentra debajo de la cresta del Casita a 1300 m de altura, con una extensión similar al área de las manifestaciones térmicas superficiales. Además, esta investigación incluye una sección geológica que muestra la relación entre los tres centros volcánicos, desde El Volcán San Cristóbal hasta La Pelona. Esta investigación proporciona datos geológicos importantes al área de estudio y puede ser considerado como información base para el levantamiento geológico en campo a escala detallada.

Cecchi, E. y-Van Wyk de Vries, B., (2004). Llevaron a cabo una investigación con el título de “Flank spreading and collapse of weak-cored volcanoes” cuyo objetivo era analizar las extensiones de los flancos y colapsos de estructuras volcánicas, a través de modelos analógicos pueden caracterizar la estructuras internas y externas de los volcanes. Estos modelos utilizan dos tipos de material, una mezcla granular de arena y yeso para simular secuencias volcánicas frescas y una masilla de silicona para simular áreas alteradas. Este análisis a través del modelado se ha realizado para volcanes de la región Centroamérica, principalmente de Nicaragua, en los que se incluye el Volcán Casita, donde se demuestra que las estructuras características del Casita son fallas normales que cortan los flancos superiores, empujes en la base y fallas de salto que transmiten deformaciones entre empujes. La contribución de esta investigación a la actual radica en los datos geológicos obtenidos con los modelos analógicos para el área del Volcán Casita.

Saginer, I., (2008). Desarrolló “Volcanic history of western Nicaragua and geochemical evolution of the Central American volcanic front” para mejorar el conocimiento volcánico en Centro América mediante un registro más completo y preciso del análisis de evolución del frente volcánico desde el Mioceno a través análisis geoquímicos de rocas volcánicas desde El Salvador hasta Costa Rica. En 2004 se recolectaron muestras en el área entre el Volcán Cosigüina y San Cristóbal, descubriendo dos unidades desconocidas que datan de 1.3 a 3.6 M.a, lo que hace posible ver gradualmente las transiciones

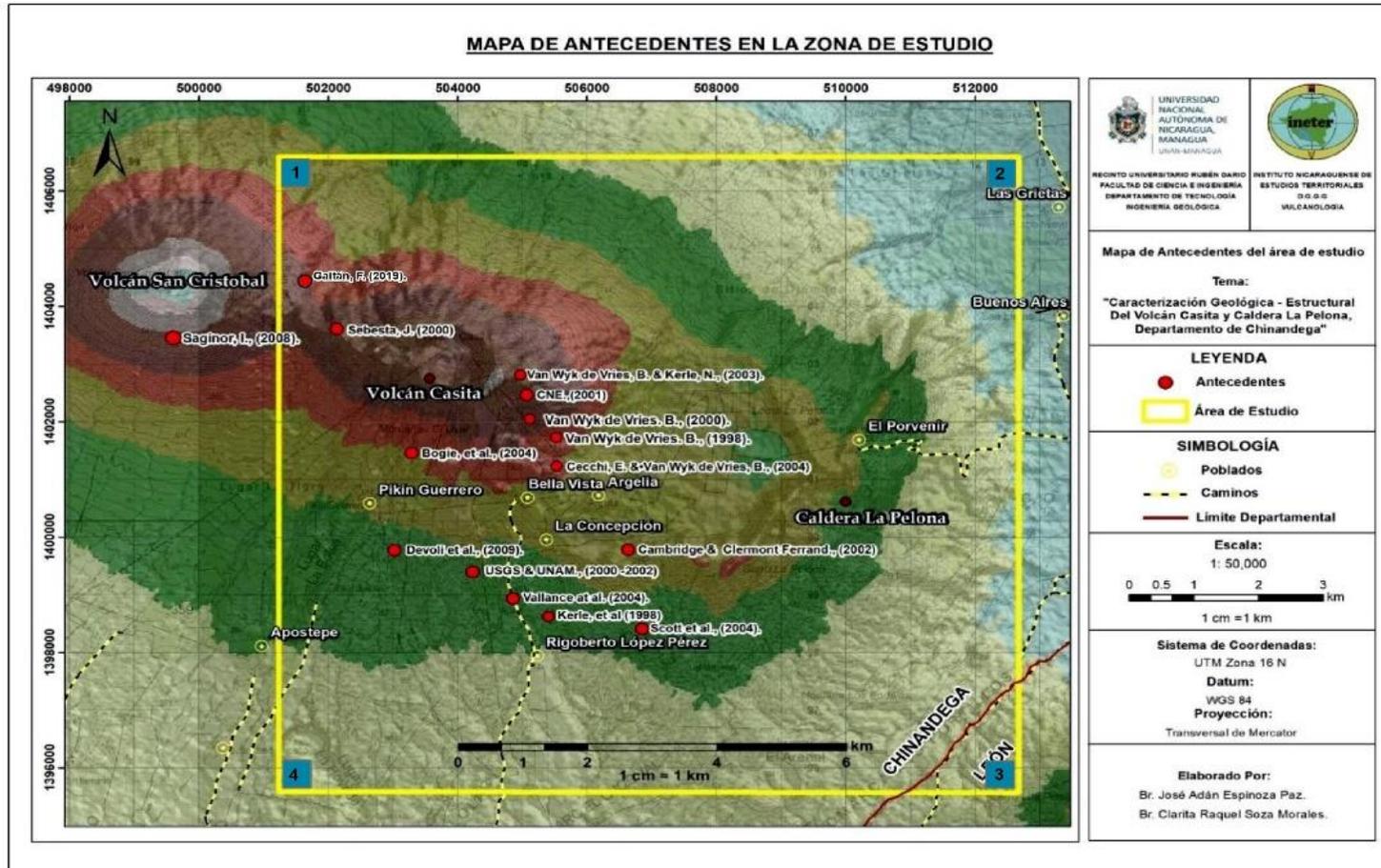
geoquímicas en el frente volcánico desde el Mioceno. El desarrollo de esta información permitirá realizar una correlación geológica con las estructuras del área de estudio.

Devoli et al., (2009). Realizaron una revisión completa de todos los estudios anteriores publicados y no publicados sobre el lahar de Casita de 1998. Mejoraron los conocimientos sobre geometría, geología, litología, tectónica y estratigrafía de la zona escarpada antes y después de la falla proporcionando un resumen de los datos geotécnicos disponibles. Útil para el reconocimiento de la geología y estructuras presente en el área de estudio.

Gaitán, F. (2019). Elaboró una caracterización geológica en el Complejo Volcánico San Cristóbal a escala 1:50 000, donde definió 17 unidades geológicas, 5 estructuras volcánicas principales, 6 unidades geomorfológicas y las direcciones preferenciales de las estructuras con fallamiento en dirección NE-SW / NW-SE y fracturamiento en dirección N-W, S-E y NE, en base a los depósitos localizados en el área de estudio determinó los peligros volcánicos los cuales podrían afectar a las comunidades aledañas al complejo, de manera general se reconocen: peligros por deslizamientos y peligros por caída de piroclastos.

Ilustración 4.

Mapa de antecedentes que se encuentran en la zona de investigación.



Fuente: Elaboración Propia. DEM extraído de la base de datos INETER, (Proyecto Análisis de Stereo-Par, 2004) y Red Vial Nicaragua (2016).

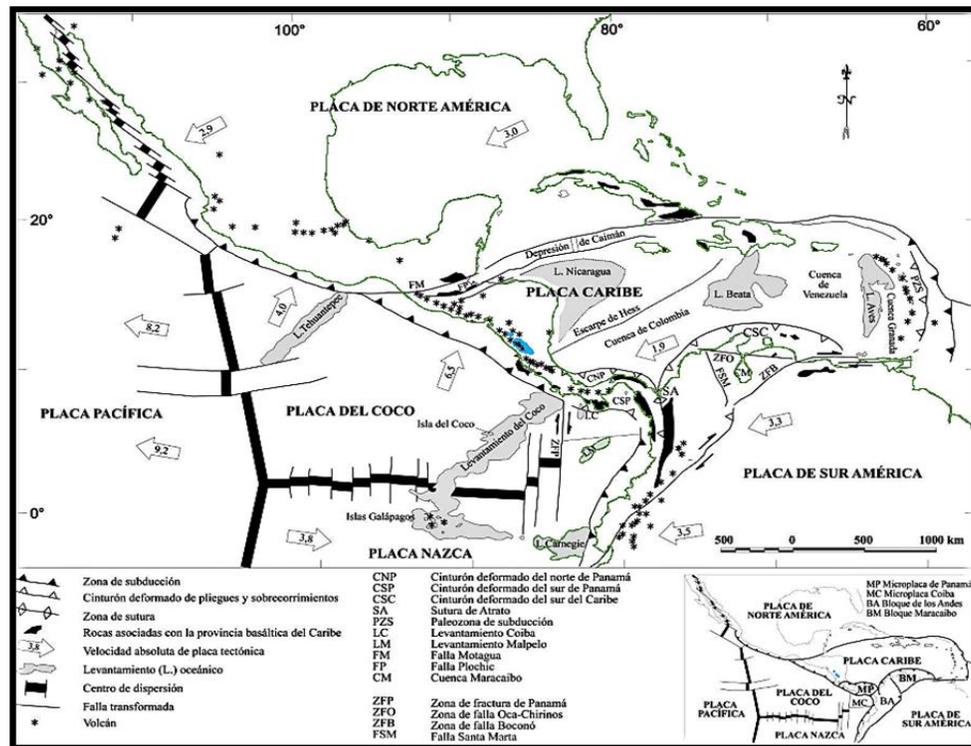
2.2. Marco Teórico

2.2.1. Geología de Centroamérica

Centroamérica es una de las regiones geológicamente más complejas, que está controlada por su posición geotectónica. Se encuentra enfrente de un borde convergente destructivo, formado por la subducción de la placa Coco bajo la placa Caribe la cual tiene límites divergentes con la placa Pacífica en el oeste y con la placa de Nazca en el sur (**Ilustración 5**). El límite con esta última está constituido por la dorsal de Galápagos. Las Placas de Cocos y Nazca provienen de la antigua placa de Farallón, que se fragmento en placas menores aproximadamente hace 23 millones de años. La presencia de la placa Nazca en el sur, que está separada de la Caribe por la zona de Fractura de Panamá (falla transcurrente dextral), forma un punto triple con las placas Caribe y Coco (**Mann, Rogers, & Gahagan, 2006**).

Ilustración 5.

Marco Geo-tectónico de Centro América.



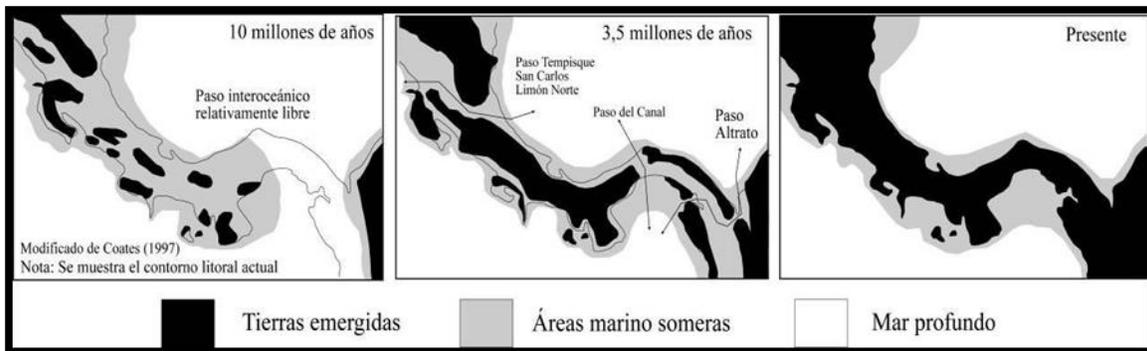
Fuente: Frischbutter, 2002.

Dentro de los rasgos geotectónicos más característicos de la región está la faja volcánica del Cuaternario, con 1100 km de longitud, que se extiende desde la frontera México - Guatemala, hasta la parte central de Costa Rica, está constituida por 40 volcanes mayores, lo que representa una gran densidad de volcanes por unidad de distancia, con un “gap” de 175 km entre el Volcán Turrialba en Costa Rica, hasta el Volcán Barú en Panamá (**Bundschuh & Alvarado, 2007**), lo cual es una consecuencia de la subducción de la Levantamiento del Coco. **Ilustración 5.**

Durante el Plioceno, la fuerte actividad volcánica, junto con la colmatación de las cuencas sedimentarias y la tectónica provocaron el cierre definitivo del puente de América Central (**Ilustración 6**), hace unos 3,5 millones de años, permaneciendo, en un principio canales marino-terrestres, pero de aguas poco profundas que no permitieron más el intercambio de organismos marinos entre el Caribe y el Pacífico, lo cual se traduce en la diferenciación faunística de invertebrados fósiles (**Coates, 1997**).

Ilustración 6.

Cierre del istmo centroamericano.



Nota: Modificado de Coates (1997).

Los principales rasgos de la tectónica de placas en Centro América son:

1. Subducción a lo largo de la fosa meso americana: Frente a Guatemala la fosa presenta más de 6,000 m de profundidad y en Nicaragua, frente a la península de Cosigüina, la fosa presenta casi 5,000 m de profundidad.
2. Dorsal de Cocos: Es un rasgo de topografía elevada que se subduce junto a la Placa de Cocos debajo de la Placa del Caribe, lo que está creando desplazamientos en el frente volcánico y desorden en el patrón sísmico desde el Mioceno Tardío.

3. Frente volcánico: Representa el volcanismo activo consecuencia de un reflejo del proceso de subducción, el cual genera los esfuerzos que hacen posible el ascenso y entrapamiento del magma. El Frente volcánico se extiende 1,100 km desde la frontera de México -Guatemala hasta Costa Rica Central.
4. Zona de ruptura: Bordea la mayor parte de Centro América en la llamada Zona de Falla Marginal Pacífica que representa un fallamiento transcurrente de naturaleza de deslizamiento horizontal.

2.2.2. Geología Regional de Nicaragua

La geología histórica de Nicaragua comenzó durante la era del paleozoico y culminó con la intensa actividad volcánica del cuaternario, comprende una serie de procesos muy característicos relacionados con la tectónica de placas, estos procesos geológicos son diferentes en todo el país.

2.2.2.1. Paleozoico

La configuración geológica de Nicaragua inicia cuando se da el desplazamiento del basamento metamórfico cristalino desde el norte de Centro América hasta la parte norte y centro de Nicaragua, conformando las rocas más antiguas del país, compuesto por: rocas metamórficas como mármol, filitas, esquistos, pizarras, cuarcitas, gneises, se encuentra instruido por cuerpos ígneos plutónicos del Mioceno, uno de los más importantes y conocido es el Batolito de Dipilto compuesto por rocas de tipo granodiorita, granito, tonalita y diorita (Garayar, 1971).

2.2.2.2. Mesozoico

Entre el Jurásico-Cretácico inferior dentro de la cuenca del Río Bocay, ocurre una fase de sedimentación dando origen a rocas sedimentarias como arcosas, calizas, lutitas calcáreas, conglomerados, margas y dolomitas las cuales fueron incluidas en la Formación Metapán o Formación todos los Santos. Posteriormente estas rocas fueron metamorfizadas, plegadas, solevantadas e instruidas por rocas ígneas, la erosión y la invasión del mar causaron una deposición de conglomerados y calizas, los movimientos larámicos, el vulcanismo y plutonismo causaron la deformación de estas rocas. La formación Totogalpa (Oligoceno) marca el final de estos eventos geológicos.

Durante el **Cretácico** al Suroeste de Nicaragua, se produjo la emersión basamento ofiolítico con rocas características tales como grauvacas finamente estratificadas con bajo grado de metamorfismo, intrusivo ultra básico, calizas silíceas, pedernales, lavas basálticas en almohadilla, aglomerado y el correspondiente recubrimiento pelágico (Astorga et al., 1987). Rocas sedimentarias del Cretácico Superior (Maastrichtiano-Campaniano), fueron agrupadas como la formación Rivas, **Fagginger 1942** y **Kuang, J. 1971**, describen las rocas como una sucesión de arcosas, grauvacas, paquetes lobulares y lutitas, esta Formación presenta depósitos rítmicos de turbiditas clásticas con alternancias de lutitas y areniscas de muy finas a medias. La compresión producida por la convergencia de la placa de Cocos bajo la placa Caribe dio origen a los anticlinales que se ubican paralelos a la fosa Mesoamericana (Anticlinal de Rivas, La California y el área de la Plataforma).

2.2.2.3. Cenozoico

Durante el **Terciario**, a partir del Eoceno hasta el Plioceno en la Costa del Pacífico se depositaron rocas sedimentarias en una cuenca de subsidencia de ambiente nerítico y deltaico (**Kuang, 1971**), las cuales fueron agrupadas en las Formaciones: Brito, Masachapa, El Fraile, Tamarindo y El Salto, cabe mencionar que la Formación Tamarindo está representada principalmente por rocas volcánicas de composición básica-intermedia-ácida Inter digitada en su parte inferior con lutitas y areniscas de la Formación El Fraile.

En el Eoceno-Plioceno se produjo una intensa actividad volcánica como consecuencia de la subducción de la placa de Cocos bajo la placa Caribe dando origen a una serie de unidades de rocas volcánicas, además de rocas sedimentarias epiclásticas y piroclásticas comprendidas en los grupos Matagalpa y Coyol, pertenecientes a la Provincia Central (**McBirney y Williams, 1965; Parsons Corporation, 1972**). Durante el Terciario medio se originó la cadena volcánica de la Sierras Isabelia, también las fisuras de Amerrisque facilitaron las erupciones de ignimbritas del Mioceno (**Hunting, 1971**).

A finales del **Terciario** e inicios de **Cuaternario** se creó un sistema de fallas con dirección NW como resultado de esfuerzos locales de tensión, producidos por la subducción de la Placa de Cocos y la Placa del Caribe, lo que favoreció la formación de la Depresión nicaragüense perteneciente a la Provincia de la Depresión o Graben de Nicaragua, presenta dirección NW-SE y está limitado por dos fallas normales paralelas, litológicamente es representado por depósitos aluviales y piroclásticos pertenecientes al Grupo Managua y

Grupo Las Sierras de edad Pleistoceno y reciente, se calcula un espesor aproximado de 2000 m para los depósitos que rellenan el Graben de Nicaragua (**Kuang, 1971**). Esta Provincia comprende toda la cadena volcánica Cuaternaria y los dos Lagos nicaragüenses, presenta fosa de mar profundo, regiones de plataforma, terremotos y rasgos tectónicos activos. La Depresión nicaragüense es un indicador de los rasgos de la actividad Cuaternaria de América central (**McBirney y Williams, 1965**).

2.2.3. Contexto Geológico y Volcánico

Nicaragua ha evolucionado de un ambiente de arco de isla pre-Miocénico (hace más de 25 millones de años) al margen continental activo en el presente. En los últimos 40 años, ha habido actividad eruptiva interrumpida en seis volcanes, a saber: San Cristóbal, Telica, Cerro Negro, Momotombo, Complejo Volcánico Masaya y Concepción.

Nicaragua Occidental (a lo largo de la Costa del Pacífico), al igual que el resto de Centro América, ha estado bajo una prolongada e intensa actividad sísmica y volcánica debido a su ubicación por encima de la zona de convergencia entre la Placa de Cocos con la Placa del Caribe. La estructura geológica regional activa que predomina en Nicaragua Occidental es una gran zona de ruptura conocida como Depresión de Nicaragua. La depresión representa un nuevo terreno geológico de naturaleza de corteza oceánica. Su emplazamiento está ligado al cambio de inclinación de la Placa de Cocos en subducción causado por la subducción de la dorsal de Cocos, a partir del Mioceno Medio a Tardío.

Dentro del terreno de la Depresión de Nicaragua se emplaza la cadena de volcanes activos o frente volcánico nicaragüense, trascendental resulta que la depresión concentra casi todo el volcanismo Cuaternario. Tiene una tendencia NO-SE extendiéndose del Volcán Cosigüina al Volcán Maderas, en la Isla de Ometepe (Lago de Nicaragua), compuesta de unos 6 km de depósitos volcanoclásticos. (**Combredet et al., 1987; Fenzi, 1988**).

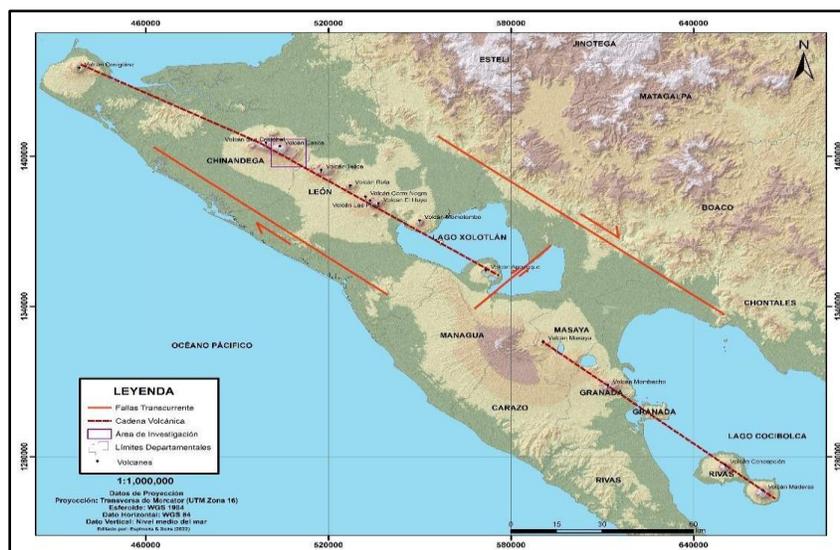
La cadena volcánica nicaragüense se divide en dos segmentos contrastantes (**Ilustración 7**):

1. Segmento NW, se extiende aproximadamente 170km del Volcán Cosigüina, en el golfo de Fonseca al Volcán Apoyeque, en el borde NO de Managua;
2. Segmento SE, se extiende por 150km del Volcán Masaya, ubicado en el extremo SE de Managua, al Volcán Maderas en la isla de Ometepe, dentro del Lago de Nicaragua.

En comparación con los otros volcanes de América Central los nicaragüenses tienen carácter más máficos (Pichler, Weyl 1973), lo que es ocasionado por la reducción o disminución local de la corteza continental debajo de la cadena volcánica. Hazlett (1983) considera como dominante el tipo de roca del grupo Casita – San Cristóbal la fuente ha sido el líquido primitivo toleítico, comparable con el tipo de arcos de islas (alto MgO, K, Rb, Sr, Ba, TiO₂).

Ilustración 7.

Cadena volcánica nicaragüense y el desarrollo de segmentaciones en el interior de la Depresión del pacífico.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.4. Procesos de inestabilidad de laderas en el Volcán Casita y Caldera La pelona.

Los eventos volcánicos han jugado un papel importante en el desarrollo geológico de nuestro país, tal y como se evidencia en el origen volcánico-tectónico de más del 70% del territorio nicaragüense. La Depresión de Nicaragua, es la estructura regional característica más activa, dentro de la cual se emplaza la cadena volcánica como uno de los elementos más activos de la geodinámica del país, los cuales han moldeado el paisaje del área, a través de la actividad volcánica, eruptiva, efusiva, deslizamientos, colapsos y procesos de lahares primarios o secundarios, los cuales pueden ser desencadenados por movimientos tectónicos, actividad volcánica, así como intensas precipitaciones.

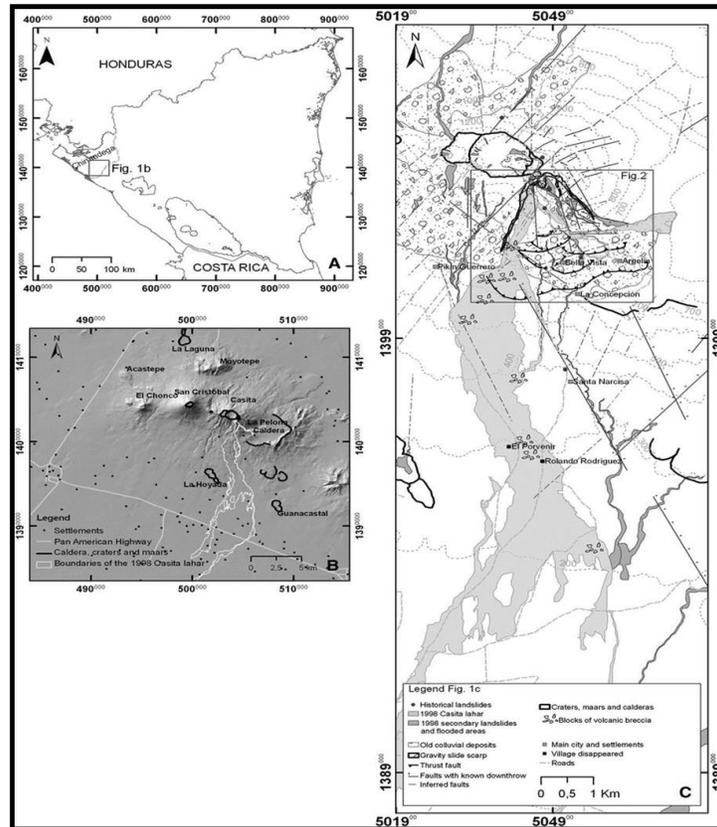
En Nicaragua los movimientos de laderas en zonas montañosas y laderas volcánicas, representan uno de los procesos geológicos de alta recurrencia, principalmente en la estación lluviosa con precipitación máxima en los meses de junio y septiembre. La ocurrencia de terrenos inestables obedece exclusivamente a factores condicionantes como la geología, el grado de pendiente y aspectos determinantes como las propiedades físico-mecánicas de los materiales, la estructura tectónica regional y local, aspectos como el patrón climático y de precipitación en los procesos de erosión - sedimentación, estabilidad de taludes, así como la actividad sísmica regional, semi-regional y local. Al respecto, es importante conocer y caracterizar la distribución espacial de estos procesos y las áreas potencialmente expuestas a este tipo de amenaza, para el monitoreo y alerta oportuna a la población.

El Volcán Casita con una altura de 1,405 **m.s.n.m** ubicado en la Cordillera de los Maribios, es parte del Complejo Volcánico San Cristóbal que consiste de 5 edificios volcánicos principales (**Hazlett, 1987**). Es un volcán con una morfología disectada producto de una fuerte erosión. La cima del volcán consiste de una agrupación de domos dacíticos. Existe un cráter con un diámetro de 1 kilómetro y varias fallas normales con rumbo Noroeste que cortan el área de la cima y delimitan los dos lados del cráter. Cráteres de explosión localizados en la planicie Sur del volcán se alinean a lo largo de un grupo de fallas conjugadas con dirección NO-SE. Los domos en la cima son auto brechados (la roca se fracturó fuertemente durante el emplazamiento original de los conos) y presentan una fuerte alteración hidrotermal lo último es consistente con la actividad fumarólica de bajas temperaturas observada durante décadas pasadas. (**Sapper, 1913; Hazlett, 1987**).

El 30 de octubre de 1998, ocurrió un colapso del flanco SW del Volcán Casitas, ubicado en el segmento NE de la cadena volcánica (**Ilustración 8**), asociado a intensas lluvias durante el paso del huracán Mitch. El colapso se transformó en un lahar que enterró completamente a dos poblados ubicados a 6km aguas abajo, muriendo cerca de 2,500 personas, destruyendo también pequeños asentamientos e interrumpiendo la carretera panamericana al destruir varios puentes. Actualmente se registran deslizamientos moderados en las laderas del Volcán Casita y caída de bloques en los bordes de la Caldera La Pelona, que evidencian un sistema activo, que puede desencadenar un evento mayor.

Ilustración 8.

A. Ubicación del Volcán Casita dentro de Nicaragua; **B.** extensión del lahar del Volcán Casita de 1998 en el Complejo volcánico San Cristóbal; **C.** mapa de la tectónica del volcán. Se observa el área cubierta por el lahar del Volcán Casita y otros.



Fuente: Devoli, G., Cepeda, J., & Kerle, N. (2009).

2.2.5. Marco Conceptual

Definiciones y Consideraciones Geológicas

A continuación, se describen algunos de los conceptos geológicos importantes, utilizados y considerados para la realización del presente trabajo de investigación.

2.2.5.1. Geomorfología

El relieve de la superficie terrestre es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas o internas que originan grandes elevaciones y depresiones (tectónica,

vulcanismo) producidas fundamentalmente por movimientos verticales y, los procesos exógenos o externos (geomórficos) como desencadenantes de una continua denudación que tiende a rebajar el relieve originado. (**Scheidegger, 1961; Gutiérrez, 1990,2001**). Desde su punto de vista Kennedy en 2004 resume en pocas palabras que los procesos endógenos crean el relieve y los exógenos lo destruyen provocando el desarrollo de la Geomorfología.

La Geomorfología Estructural se encarga del modelado según la litología y las estructuras de las rocas y es conocido como modelados estructurales (**Twidale, 1971; Goudie, 2004**), y también se conoce como tectodinámica (**Tricart, 1968**). La Geomorfología Tectónica analiza los procesos tectónicos que generan topografía y los procesos superficiales que interactúan paulatinamente en el relieve creado (**Burbank y Anderson, 2001**). **Goudie** en **2004** nos explica que en la tierra hay muchas características que se deben en gran parte a la actividad tectónica a la que son sometidos los continentes (escarpes de fallas, pliegues, plumas mantélicas, estructuras anulares) que se originan por la acción de distintos tipos de actividad tectónica como el diastrofismo, epirogenia, isostasia. (**Gutiérrez, M. 2008**).

2.2.5.2. Cartografía Geológica

La cartografía temática es un recurso que permite registrar, procesar y comunicar información de la disciplina en cuestión; la cartografía geológica constituye una poderosa herramienta en el trabajo geológico: La reconstrucción de ambientes de depósito, el discernimiento de la cronología de los eventos, la inferencia de las fases tectónicas de deformación de una región; la definición de la geometría de un cuerpo rocoso que contenga alguna sustancia de interés económico y las condiciones de concentración de dicha sustancia, entre otros tópicos; requieren, para su correcta interpretación, de la recolección de datos geológicos y de la precisa ubicación de su ocurrencia en mapas base a diferentes escalas. (**Silva, G; Mendoza, C & Campos, E. 2016**).

Métodos primarios de Cartografía Geológica

- Fotogeología y verificación puntual de campo.
- Recorridos sobre contactos.
- Levantamiento de secciones geológicas.
- Levantamiento de acuerdo a una retícula.

2.2.5.3. Petrografía

La petrografía permite conocer las relaciones mutuas entre cristales o granos permitiendo comprender la naturaleza de los componentes de la roca, llevando finalmente a la clasificación y a la asignación de un nombre sistemático.

Las técnicas de trabajo utilizadas en la petrografía abarcan desde la toma de muestras, la realización de láminas delgadas y secciones pulidas hasta finalmente el estudio de la roca bajo el microscopio polarizante (**Castro, A. 1989**).

2.2.5.4. Geología Estructural

La geología estructural estudia las particularidades de las estructuras y desarrollo de la corteza terrestre relacionada con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones, ante todo se estudia el aspecto exterior, o morfología de las formas estructurales mediante la cinemática o mecanismos que actúan sobre la corteza terrestre. (**Belousov, V. 1979**).

2.2.5.4.1. Esfuerzos y deformación

Los esfuerzos pueden ser originados por diversas causas (presión confinante, compresión, tensión y cizalla). Las rocas tienen tres tipos de comportamientos ante los esfuerzos:

1. Elástica: cuando se aplica esfuerzo se deforma, pero recupera su originalidad.
2. Plástica: no recobra su posición original.
3. Visco elástico: recupera su originalidad con el tiempo.

Las rocas al ser expuestas a cualquier tipo de esfuerzo pueden ser rotadas o trasladadas, provocando que estas cambien de tamaño, forma y sean deformadas o distorsionadas. Estas deformaciones dependen de la composición química de la roca, temperatura y las presiones que confinen a la roca.

La presión litostática o confinante es una presión uniforme que actúa en todas las direcciones, su efecto es una compactación o disminución general de volumen de la roca.

Cuando por erosión disminuye esta presión, se produce, de modo secundario, una descompresión de los materiales.

Dentro de las fuerzas dirigidas distinguimos (**ver Ilustración 9**):

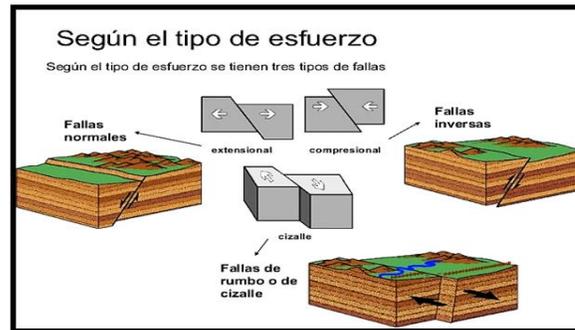
- Distensión: Dos fuerzas alineadas, dirigidas en sentido divergente. Produce estiramiento sobre los materiales en que actúa.
- Compresión: Dos fuerzas alineadas, dirigidas en sentido convergente. Produce acortamiento sobre los materiales en que actúa.
- Cizalla: Dos fuerzas de sentido convergente pero no alineadas.

2.2.5.4.2. Fallas y Fracturas

Ambas son producto de la deformación frágil en cualquier tipo de roca, se forman por esfuerzos cortantes y en zonas de compresión o de tensión. Las superficies de ruptura se denominan fracturas, cuando no se aprecia desplazamiento entre los dos ámbitos definidos por la superficie de discontinuidad en sentido paralelo a la propia superficie. (Ramírez, 2011). **Ilustración 9**

Ilustración 9.

Tipos de fallas según el tipo de esfuerzo.



Fuente: RESOM-CICESE, 2017.

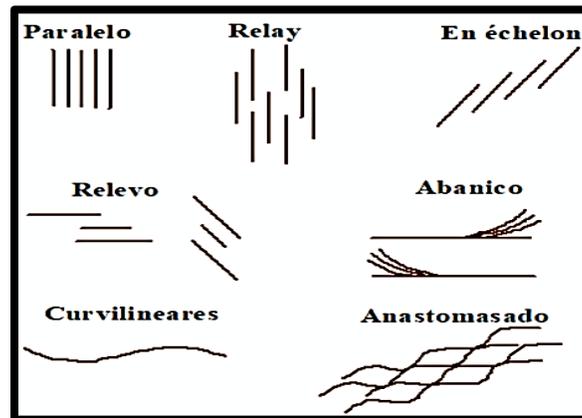
Las fracturas se clasifican en diferentes arreglos geométricos. **Ilustración 10.**

- Paralelo
- Relay
- En échelon
- Relevo
- Abanico

- Curvilineares
- Anastomasado

Ilustración 10.

Arreglos geométricos de las fracturas.



Fuente: Gutiérrez, M. 2008.

La formación de las fracturas obedece a muy diversas causas, incluyendo fuerzas dirigidas como las que provocan el fallamiento o plegamiento del terreno (**Mattauer, 1973**).

Las fallas se forman por esfuerzos tectónicos o gravitatorios actuantes en la corteza. La zona de ruptura tiene una superficie ampliamente bien definida denominada plano de falla, aunque puede hablarse de banda de falla cuando la fractura y la deformación asociada tienen una cierta anchura. (**Anguita & Moreno, 1991**).

Dependiendo de las posiciones de los vectores se definen los tres tipos de fallas principales: normal (σ_1 vertical, σ_2 y σ_3 horizontal) provocada por esfuerzos extensionales; transcurrerte (σ_2 vertical, σ_1 y σ_3 horizontal) que se originan por esfuerzo de cizalle; e inversa (σ_3 vertical, σ_1 y σ_2 horizontal) que se dan por esfuerzos de compresión. (Oyarzun & Doblas, 2007).

Cada tipo de falla posee características que la definen y difieren entre sí, describiéndolas a continuación en **tabla 2**

Tabla 2.

Características Según el tipo de falla.

Fallas normales	Fallas inversas	Fallas laterales
<ol style="list-style-type: none"> 1. Las rocas presentan separación (fuerza tractiva) 2. Alto ángulo. 3. Pone en contacto a rocas de diferente edad. 4. Sigma 1 vertical. 5. Pitch vertical. 6. Acomoda la deformación. 7. El buzamiento es hacia la roca más joven. 8. No crean salientes rocosos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pitch vertical. 2. Las rocas antiguas descansan sobre la más joven. 3. El buzamiento es hacia el bloque que sube. 4. Repetición de unidades. 5. las rocas se comprimen unas contra otras (fuerzas de compresión). 6. El área expuesta de la falla es frecuentemente un saliente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Movimiento al rumbo. (horizontal). 2. Yuxtaponen unidades. 3. Sigma 1 horizontal. 4. Sigma 2 vertical. 5. Sigma 3 horizontal. 6. Régimen de cizalla 7. No dan origen a precipicios

Fuente: (Oyarzun & Doblas, 2007).

2.3. Hipótesis

Las condiciones geológicas y estructurales del área del Volcán Casita y Caldera La Pelona están controladas por patrones de esfuerzos regionales con dirección preferencial NO-SE, y locales NE-SW coincidiendo con la cinemática de fallamientos regionales del Frente volcánico de Nicaragua. El Volcán Casita posee un sistema hidrotermal que ha estado activo probablemente desde cientos o miles de años. La caldera La Pelona es vestigio de al menos dos importantes erupciones. Estas estructuras que conforman la parte este del Complejo Volcánico San Cristóbal constituyen un peligro y podría producirse algún tipo de colapso parcial o total que represente un peligro como el ocurrido en 1998.

Capítulo III

3.1. Diseño Metodológico

3.1.1. Enfoque de la investigación

La investigación tiene un enfoque mixto, debido a que se integran métodos cualitativos y cuantitativos; incorporando la identificación y análisis de elementos a detalles que conlleva el describir tanto cualidad como cantidad de las unidades litológicas, fuentes termales, alteraciones hidrotermales y mediciones de los rasgos estructurales como rumbo, buzamiento y dirección de inclinación.

3.1.2. Área de estudio

La investigación se realizó en un cuadrante seleccionado entre las hojas topográficas No. 2853-IV y 2854-III, área que abarca El Volcán Casita y Caldera La Pelona, al NE de la Ciudad de Chinandega.

3.1.3. Universo y Muestra

En esta investigación el universo corresponde a la Geología de los depósitos volcánicos y Geología estructural de los 125.79 km² que comprende el área de estudio. Por lo tanto, la muestra representa un subgrupo más detallado que comprendería a todas aquellas unidades litológicas y estructurales (fallas, fracturas, lineamientos, estructuras volcánicas), presentes en el universo.

3.1.4. Variables y operacionalización de la variable

Tabla 3.

Variables y operacionalización de la variable de los objetivos.

Caracterización Geológica - Estructural del Volcán Casita y Caldera La Pelona

Objetivos específicos	Variable conceptual	Sub variables o dimensiones	Variable operativa o indicador	Técnicas de recolección de datos e información
Analizar las principales unidades geológicas del sitio de estudio.	Unidades geológicas.	Descripción visual y manual de los depósitos volcánicos	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de Rocas. Color. Espesor de los estratos. Estado de meteorización. Reconocimiento de minerales de visu. 	<ul style="list-style-type: none"> Registrar lo visualizado en libreta y ficha técnica.
Identificar los patrones estructurales y lineamientos.	Clasificación de rasgos Geoestructurales.	Tipo de esfuerzos e Indicadores cinemáticos.	<ul style="list-style-type: none"> Dirección preferencial. Buzamiento. Falla. Diaclasas. 	<ul style="list-style-type: none"> Ficha técnica de campo. Medición con brújula. Roseta de diaclasas.
Realizar análisis petrográficos para la identificación de las diferentes fases mineralógicas.	Tipo de rocas.	Descripción de las propiedades ópticas y morfológicas.	<ul style="list-style-type: none"> Reconocimiento de minerales. Descripción microscópica. 	<ul style="list-style-type: none"> Tablas de identificación mineralógica. Modal v.1.0 Diagrama de Streckeisen - QAPF.
Proponer la columna estratigráfica y perfil geológico del área de estudio para una detallada correlación geológica.	Representar las unidades geológicas.	Figurar los rasgos más relevantes de la secuencia geológica expuesta en campo.	<ul style="list-style-type: none"> Espesor de todas las capas. Establecer el orden vertical o estratigrafía de las rocas Características litológicas y físicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Herramientas de campo. Registrar los datos in situ en libreta de campo o papel escala.
Elaborar mapa geológico y estructural a escala 1:25,000 del área de investigación.	Digitalización del levantamiento de campo.	Representación de los distintos tipos de rocas que afloran en superficie, los tipos de contacto entre ellas y sus estructuras.	<ul style="list-style-type: none"> Análisis del registro geológico. Fotogeología. Trabajo de campo. Trabajo de gabinete pre y pos campo. 	<ul style="list-style-type: none"> Antecedentes. Ortofotos. Análisis de modelos digitales de elevación. Mapa topográfico Herramientas de campo. Búsqueda de afloramientos. Identificar las rocas.

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.5. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos

En la realización de la caracterización Geológica – Estructural , se realizaron los siguientes procedimientos para la recolección de datos, seguido de una serie de pasos que serán descritos en el siguiente orden: Se recopilara información como, estudios geológicos, artículos, tesis, libros, u otros trabajos existentes, además, las fotografías aéreas de la zona de estudio a escalas 1:40,000 brindadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), junto con las hojas de mapas topográficos a escala 1:50,000 que abarca el área de estudio.

Se realizaron visitas a los centros de documentación relacionados con el tema de estudio; principalmente el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), institución con la cual, se trabajó el presente trabajo monográfico, también se visitó el Centro de Documentación, (CEDOC-IGG/CIGEO-UNAN-Managua) y CEDOC del Ministerio de Energía y Minas, así como consultas bibliográficas en sitios web.

En los instrumentos para la recolección de datos, se utilizaron los siguientes:

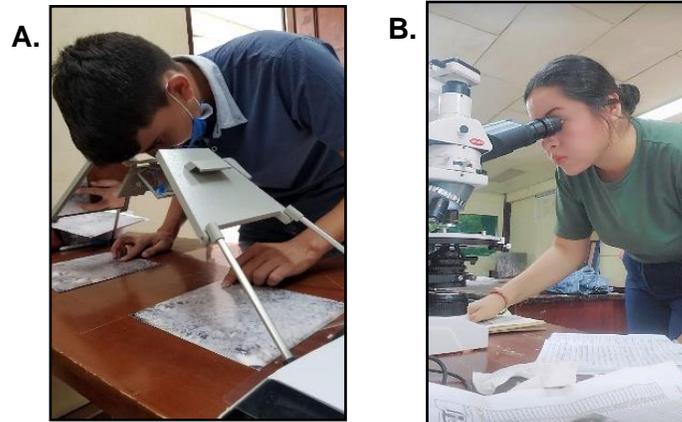
- **Estereoscopios** de espejos y de bolsillo para realización de la descripción e interpretación de estructuras geológica a través del uso de las **fotografías aéreas 1: 40,000**.
- Análisis mediante software: se hizo uso del programa **ArcGis 10.5** el cual permitió recopilar, administrar, procesar y analizar información geográfica, también como medio principal para la elaboración de mapas de localización, vías de acceso, geológicos, estructurales y modelo de elevación digital del área de estudio. En la elaboración del perfil geológico y columna estratigráfica se utilizará el programa de dibujo **AutoCAD 2018** en conjunto con **ArcGIS 10.5**. Por otra parte, con el programa **Streckeisen 1.0**, se realizó una clasificación a las rocas volcánicas obtenidas en campo, mediante el porcentaje de Cuarzo, Feldespatos, Plagioclasas. También con el uso de los softwares geológicos **Rozeta 2.0** y **Stereonet 10.0**, que permitieron obtener las direcciones preferenciales de las estructuras geológicas.
- Análisis Petrográfico: Se utilizó un **microscopio** de luz polarizada, el cual, mediante secciones delgadas de rocas recolectadas en campo, se definieron todas las propiedades ópticas, así mismo las estimaciones visuales de los porcentajes de minerales, para la cual se ha utilizado el sistema **Modal v.1.0** para la clasificación de

las rocas ígneas metodología compartida por la Universidad de Granada-España. También se utilizaron en diagramas triangulares como Streckeisen, y el diagrama Kfps-Qz-Mi, para dar una clasificación y nombre a las rocas encontradas en el área de estudio.

- Recolección en campo: se utilizó una ficha técnica de campo para obtener información geológica y estructural del área de estudio mediante la descripción de los afloramientos, con ayuda de las herramientas geológicas básicas como, **brújula**, **GPS Garmin 64S**, **lupas**, **piquetas**, **cincel**, **mazo**, **cinta métrica**, **ácido clorhídrico (HCl)**. También se obtuvo información de los valores de temperatura en las fumarolas presentes en la zona de estudio, mediante el uso de **cámaras térmicas** y **termocupler** proporcionadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).

Ilustración 11.

Utilización de instrumentos para la recolección de datos. **A.** Estereoscopio de espejos para la visualización de fotos aéreas de la zona investigada, para determinar estructuras y tipos de litología. **B.** Microscopio de luz polarizada utilizado para obtener las propiedades ópticas de seis secciones delgadas de muestras recolectadas en campo.



3.1.6. Plan de análisis y procesamiento de datos

Se ejecutaron procedimientos para lograr la recolección exhaustiva de datos, a través de los procesos descritos en el siguiente orden:

Se elaboró una serie de mapas base que ayudaron en la etapa de campo, estos mapas consistieron en: mapa de localización, vías de acceso y mapa preliminar geológico, este último mapa se hizo mediante la interpretación de fotografías aéreas a escala 1:40,000. Las estructuras y contactos fueron extraídos de las fotografías aéreas de la línea de vuelo

y dispuestos sobre el mapa preliminar geológico con curvas de nivel cada de 50 m obtenidas a partir de un modelo de elevación digital del terreno (DEM) de 5 m, elaborados con el programa ArcGis 10.5

Por consiguiente, se visitó el área de estudio con la finalidad de corroborar la información obtenida en la etapa de gabinete, donde se localizaron los principales afloramientos y se establecieron las unidades litológicas presentes, así mismo, se realizó un levantamiento de las estructuras en el área, utilizando como guía el mapa base geológico elaborado previamente.

Esta etapa consistió en realizar las siguientes actividades a través del reconocimiento geológico de campo (**Ilustración 12**):

- Muestreo de Rocas: se recolectaron muestras de rocas aflorantes en área de estudio que sean representativas, además, se realizará una descripción macroscópica de las rocas in situ, así como su mineralogía, su color, tamaño de granos, forma de granos, textura y sus alteraciones.
- Medición de patrones estructurales: se procedió a identificar los patrones estructurales tales como: fallas y lineamientos para realizar las mediciones de rumbo y buzamiento de las estructuras.
- Medición de temperatura de los campos fumarólicos: Se realizó visitas a las principales fuentes de fumarolas presentes en el área para realizar medición de temperatura con cámaras infrarroja FLIR (sensores térmicos de 0-2000°C) y Termocupler.

Una vez concluida la etapa de campo se procedió a analizar y procesar todos los datos recopilados para la elaboración de un mapa geológico a escala 1:25,000, en cual se delimitaron las principales unidades litológicas del área, los contactos de las unidades litológicas, fallas, fracturas, lineamientos y todas las estructuras geológicas observadas en campo.

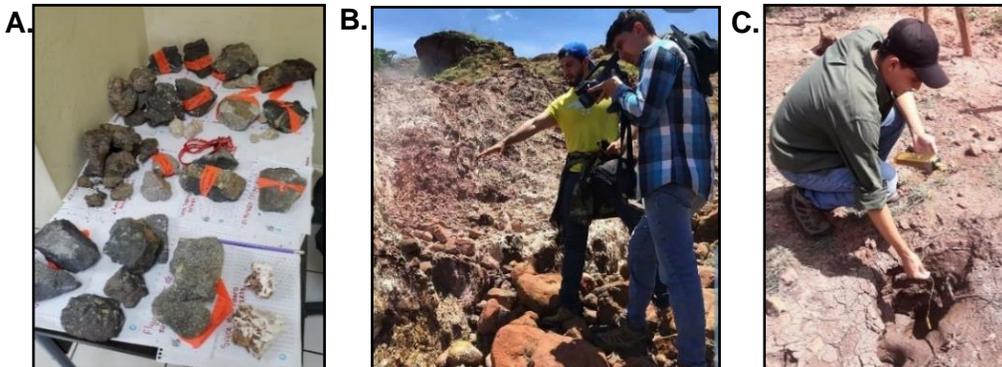
Con el fin de interpretar la génesis y mineralogía de las rocas más significantes y complejas de la zona de estudio, se hizo una selección de rocas y se elaboraron secciones delgadas a seis principales muestras, obtenidas durante el levantamiento geológico, esta descripción de la composición mineralógica se procesó con un microscopio petrográfico del Instituto de Geología y Geofísica IGG-CIGEO/UNAN-Managua, con este análisis

petrográfico se logró identificar las características mineralógicas de cada roca y de esta manera se concluyó las descripciones de las unidades litológicas en base a sus características mineralógicas.

Con los datos que se obtendrán de las mediciones de las estructuras se realizarán rosetas de fracturas para definir la dirección del esfuerzo máximo que se encuentre afectando al área de estudio, esta se realizara con los programas Rozeta 2.0, Stereonet 10.0.

Ilustración 12.

A. Análisis individual de muestras recolectadas en campo. **B-C.** Toma de temperaturas en las fumarolas del Volcán Casita con cámara térmica infrarroja FLIR y Termocupler.



Capítulo IV

Análisis y Discusión de Resultados

4.1. Unidades Geológicas

La zona de estudio se encuentra en el segmento NW de la cadena volcánica nicaragüense, la cual se emplazó del Pleistoceno al reciente (**McBirney, & Williams, 1965**). El área de investigación se encuentra constituido por depósitos piroclásticos y flujos de lavas que provienen de erupciones de la Caldera La Pelona, de los estratovolcanes Casita - San Cristóbal y de los cráteres del Guanacastal y La Hoyada. Cabe señalar, que las unidades geológicas carecen de dataciones absolutas, por lo tanto, se aplicaron principios de superposición geológica de los estratos y geoestructuras con el fin de correlacionar los depósitos y diferenciarlos entre los más jóvenes y los más antiguos.

A continuación, se presentan las 14 unidades litológicas aflorantes en el sitio de estudio, las cuales fueron definidas en la etapa de post campo y confirmadas en la etapa

de campo. Las unidades se plasman según el orden cronológico de la más reciente a la más antigua:

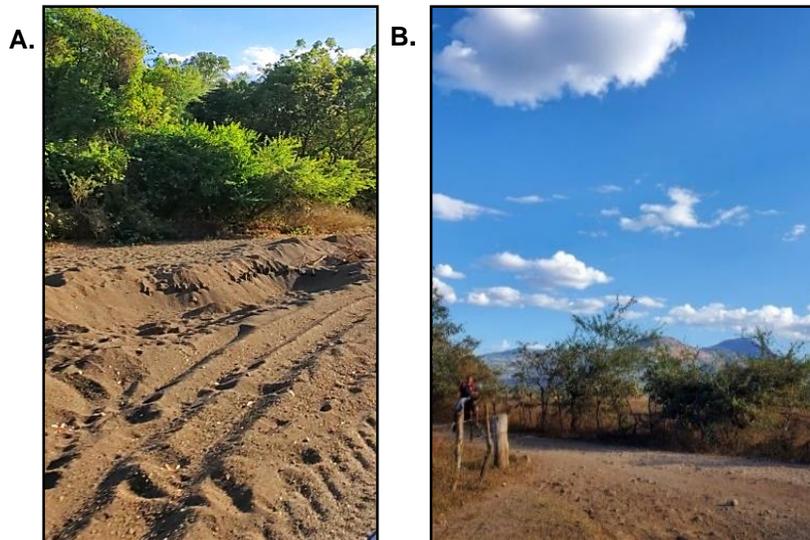
4.1.1. Qal - Unidad de depósitos aluviales y coluviales

Esta unidad se localiza en las comunidades de Los Portillos, Cristo Rey, Las Carpas y San Lucas, donde se han depositado materiales volcano-fluviales y coluviales producto de procesos erosivos y escorrentías superficiales que se producen en invierno y mediante la gravedad.

Morfológicamente está constituido por zonas planas entre la Caldera La Pelona y el Complejo Volcánico Telica, área la cual se encuentra compuesta por redes de drenajes que durante el verano son utilizadas como vías de acceso a las distintas comunidades. Se compone en su mayoría de depósitos aluvionales en donde se encuentran arcillas, arena, grava y bloques de distintos tamaños que se han transportado desde las zonas más altas, las arenas predominan en esta unidad. **Ilustración 13**

Ilustración 13.

Unidad Qal del área de estudio; **A.** Depósitos de arenas sobre un drenaje que comunica con las comunidades las Marías y Monte Olivo; **B.** visualización del complejo volcánico Telica desde la comunidad Monte Olivo donde se pueden observar de manera dispersa algunas gravas y bloques.



4.1.2. Qsvs – Unidad volcano sedimentaria

Esta unidad se localiza dentro de las depresiones que configuran los cráteres principales del Volcán Casita y los conformados por los diferentes cráteres que se localizan en la parte SE y SW del área en investigación de igual forma la planicie interna de la Caldera La Pelona.

Morfológicamente son zonas bajas que han sido rellenadas por sedimentos y fragmentos rocosos que se desprenden o son movilizados por las escorrentías superficiales desde las zonas más altas, estos depósitos fluviales contienen materiales del tipo arena, grava y bloques de diferentes tamaños.

En las planicies de la Caldera La Pelona **UTM 507471 E - 1403253 N a 629 m.s.n.m** se logró la mejor visualización de los depósitos a través de un corte realizado por la empresa Polaris Energy Nicaragua mediante la elaboración de una carretera que lleva hasta los pozos que se elaboraron para la exploración de recursos geotérmicos en la zona, se logra apreciar un suelo de color rojizo altamente meteorizado acompañado de fragmentos de composición intermedia con presencia de bloques desprendidos desde la ladera SE del Volcán Casita. **Ilustración 14. A**

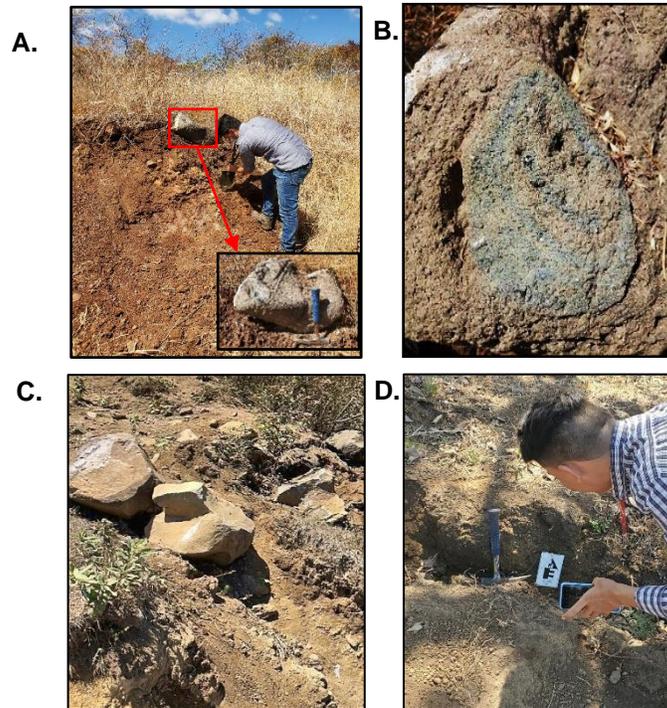
Entre los bloques se localizó el emplazamiento de un xenolito, corresponden a rocas transportadas hacia la superficie proveniente de grandes profundidades, su expulsión esta dado por el transporte de un magma ascendente a altas velocidades, estos se caracterizan por poseer una composición diferente a la roca a la que se encuentran emplazados. **Ilustración 14. B**

Dentro del cráter la Olla del Casita se han depositado diferentes sedimentos provenientes de las partes más altas de las paredes, especialmente de la zona norte que es mayormente afectado por alteración hidrotermal, provocando la desintegración del cuerpo rocoso. **Ilustración 14. C**

En los cráteres del Arenal y la Hoyada prevalecen los depósitos de arena y bloques de composición intermedia a félsica, expuestos y transportados por las escorrentías superficiales que provocan las precipitaciones de invierno. **Ilustración 14. D**

Ilustración 14.

Depósitos volcano sedimentarios ubicados en las zonas más bajas de las estructuras circulares que componen la zona investigada; **A.** Suelo altamente meteorizado de color rojizo ubicado cerca de la Finca La Argentina en la Caldera La Pelona; **B.** Fragmento de roca arrastrado desde las profundidades del conducto volcánico emplazado sobre un bloque (xenolito), desprendido desde la ladera SE del Volcán Casita; **C.** Rodados y sedimentos reposando sobre la planicie del cráter la Olla del Volcán Casita; **D.** Sedimentos localizados en el cráter El Arenal, puede observarse la erosión fluvial del terreno por la que son afectados en época de invierno.



4.1.3. HsvcCa - Unidad de sedimentos volcano-coluviales Casita

La Unidad de depósitos Volcano-coluviales del Casita predominan en el área de NW y SE del Volcán Casita, cubriendo gran proporción del área de las faldas de la estructura volcánica. En estas zonas es posible observarla fácilmente debido a que se encuentra en bajas pendientes, formando parte de la ladera del Casita,

Las rocas que forman esta unidad se observan como bloques angulosos, a subangulosos que varían desde centímetros hasta décimas de metros, estos fueron depositados por gravedad, y corresponde a una agrupación de los fragmentos de rocas que son removidos desde las zonas más altas, como consecuencia de la meteorización física y

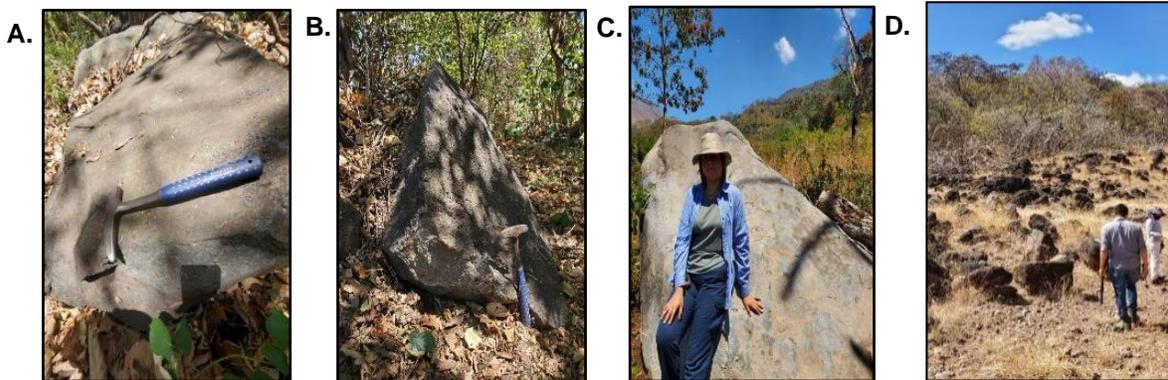
erosión de los flujos lávicos superior del Casita y de las paredes superiores del estratovolcán. **Ilustración 15. A-B**

Cerca de la comunidad Pikin Guerrero **UTM 502691 E - 1401194 N** a **695 m.s.n.m** afloran los coluviones volcánicos de forma masiva con fragmentos que superan los 3 m. La composición mineralógica de los fragmentos de rocas determina consisten en andesitas basálticas porfídicas, inequigranular con fenocristales de plagioclasas subangulares a subredondeados, anfíboles finos subredondeados, trazas de olivinos y biotitas como accesorios. Los fragmentos de rocas observados presentan morfología angulosa a subredondeados con alteración supérgena de óxidos de hierro (hematita, limonita) y meteorización física que provoca la desintegración de la roca en capas concéntricas sometidas al interperismo. **Ilustración 15. C**

En la Caldera La Pelona en las coordenadas **UTM 507360 E – 1402285 N** con una altitud de **623 m.s.n.m** se han depositado bloques de andesita provenientes de la ladera SE del Volcán Casita producto de la meteorización y gravedad a causa de la inclinación, constan de fragmentos rocosos de subangulares a subredondeados de composición máfica a intermedia de textura semiporfirítica con fenocristales de olivino (**OI**) y plagioclasas (**PI**) a presencia de alteraciones por hematización y clorita. **Ilustración 15. D**

Ilustración 15.

Depósitos coluviales encontrados en el área de investigación; **A-B**. Bloque subanguloso de composición intermedia hipocristalina de textura porfirítica localizados en las coordenadas **UTM 502691 E – 1401194 N a 695 m.s.n.m**; **C**. Fragmento rocoso de 3 m de longitud de composición intermedia en la ladera SW del Casita. **D**. Bloques andesíticos depositados en la planicie de la Caldera La Pelona.



4.1.4. HfeCa - Unidad de flujo de escombros Casita

La unidad de flujo de escombros, ha sido considerada como una de las más recientes unidades dentro de la zona de estudio, dado que los precedentes históricos de la ocurrencia del flujo de escombros ocurrido en el año de 1998, conllevó a una modificación casi total de la geomorfología local del Casita y sus comunidades aledañas.

La movilización del terreno se desencadenó donde existía una cantidad importante de sedimentos volcánicos, la falta de cohesión entre las partículas del suelo, el exceso de precipitaciones producto del Huracán Mitch y la alteración hidrotermal por la presencia de fumarolas que se ubican en la parte de la corona del desprendimiento, provocaron una corriente de escombros con una longitud de aproximadamente 20 km y de 2 – 3 km de ancho, haciendo desaparecer las comunidades El Porvenir y Rolando Rodríguez.

Ilustración 16. A

Dentro de esta unidad se encuentran una gran cantidad de depósitos poligenéticos mezclados, entre estos lo conforman, antiguos flujos de lavas (**Ilustración 16. C-D-E**) altamente meteorizados y transformados en suelo arcilloso, fragmentos piroclásticos, aglomerados, gravas y arenas.

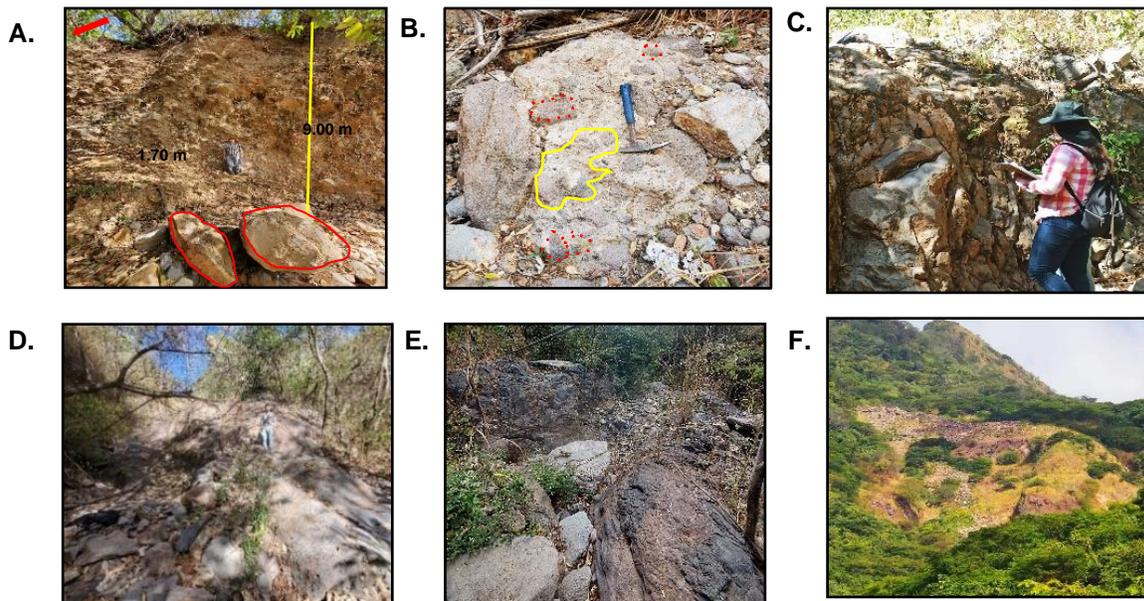
Entre las coordenadas **UTM 503958 E – 1400592 N**, a 633 **m.s.n.m** se encuentra parte de la cuenta por donde fue transportado y depositado el flujo de escombros con un espesor aproximado de 9 m de profundidad. Granulométricamente está conformado por bloques angulosos a subredondeados no mayores a los 3 m, rocas, gravas y arenas moderadamente soldados, lo cual forma una sola masa poligenética de matriz soportada.

Los bloques de matriz soportada han sido considerados uno de los principales indicadores de que el principal mecanismo desencadenante que provocaron la avalancha de rocas y suelo, fue provocado por la gran cantidad de agua, lo que ocasionó una sobresaturación del suelo, con sedimentos y grandes bloques. **Ilustración 16. B**

La morfología de las paredes del Volcán Casita muestra debilidades estructurales, rocas fracturadas, actividad hidrotermal, que provoca las altas presiones de poros y transforma rocas fuertes en arcillas, todos estos factores contribuyen a la ocurrencia de procesos de inestabilidad de laderas en el sitio.

Ilustración 16.

A. Paredes correspondientes a la cuenca del deslave de 1998 con una altura entre 10 m a 15 m, puede observarse la presencia de bloques de distintos tamaños los cuales pudieron ser trasportados por distancia de acuerdo a su peso. **B.** Bloque de matriz soportada con clastos subredondeados y subangulosos. **C-D-E.** Flujos de lavas que quedaron a la intemperie después de la remoción de terreno, los cuerpos rocosos fueron un factor importante ya que ellos permitieron el desencadenamiento del movimiento en masa al no poder seguir dándole soporte a los diferentes depósitos sueltos que ya no poseían cohesión a causa de la sobresaturación de agua. **F.** Morfología de la zona del deslave aun visible cerca de la corona del desprendimiento, pueden observarse la variedad de materiales sueltos sobre el caudal.



4.1.5. HflsSC - Unidad de flujo de lava superior San Cristóbal

Es la unidad más reciente del área de estudio entre los diferentes flujos lávicos, proveniente del Volcán San Cristóbal, los depósitos de este estratovolcán han cubierto los materiales volcánicos del área oeste del Volcán Casita.

En el sector **NW** de la Comunidad Pikin Guerrero esta unidad hace contacto con las unidades de sedimentos coluviales y piroclastos, en las coordenadas **UTM 501568 E – 1400554 N**, donde aflora el cuerpo rocoso de aproximadamente 5 m de altura, el cual consta de un flujo de lava masivo de composición andesítica de textura porfirítica con fenocristales de grano fino irregulares de plagioclasas (ortoclasas) y olivino en un porcentaje menor al 5% con una matriz vítrea. **Ilustración 17**

Ilustración 17.

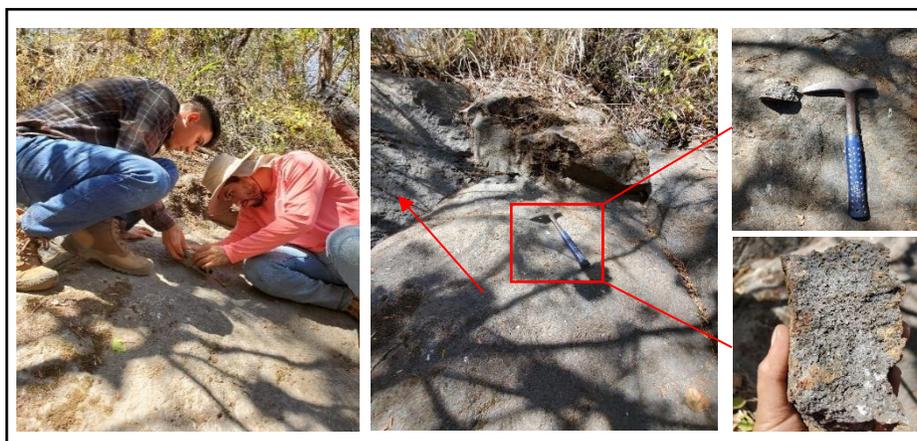
Flujo de lava superior del Volcán San Cristóbal aflorando en la parte NW de la comunidad Pikin Guerrero.



La misma unidad se localiza al SW de la Comunidad San Antonio cerca de la Estación de Vigilancia Sísmica-Volcánica (SCSN) **UTM 503168 E – 1406726 N**. La roca presenta mayor vesicularidad a la encontrada al NW de la comunidad Pikin Guerrero, indicando que el frente del flujo de lava tenía mayor cantidad de gases y esto disminuye acorde a la expulsión del material fundido. **Ilustración 18**

Ilustración 18.

Afloramiento del flujo de lava superior del Volcán San Cristóbal ubicado al sur de la comunidad San Antonio.



4.1.5.1. Composición Mineralógica

La roca posee una textura porfirítica, hipocristalina compuesta por minerales como anfíboles, plagioclasas, biotita y olivino, es de tonalidad gris a gris claro y en dependencia de la zona, la roca presenta tonalidades marrones a causa de la oxidación de los minerales ferromagnesianos que le componen. Según el diagrama QAPF se trata de un flujo lávico de **basalto toleítico**, microscópicamente presenta un 50% de plagioclasas con maclas polisintéticas y de zonación, sanidina y microclina con maclas polisintéticas, anfíboles en un 20%, como la hornblenda la cual pertenece a los minerales accesorios, fenocristales de cuarzo extremadamente escasos en 3%. **Ilustración 19**

Clasificación modal petrográfica de muestra correspondiente a **HfsSC** - Unidad de Flujo superior San Cristóbal:

Tabla 4.

Porcentaje de minerales estimados en la sección delgada correspondiente al flujo de lava del San Cristóbal.

Componentes	Mínimo	% relativo
Q	3	4.11
A	20	27.40
P	50	68.49
F	0	0.00

Ilustración 19.

A. Sección delgada en NP y B. sección en NC, se pueden observar en ambas la distribución de Plagioclasas, olivinos, anfíboles y hornblenda, sobre matriz vítrea de 40%.

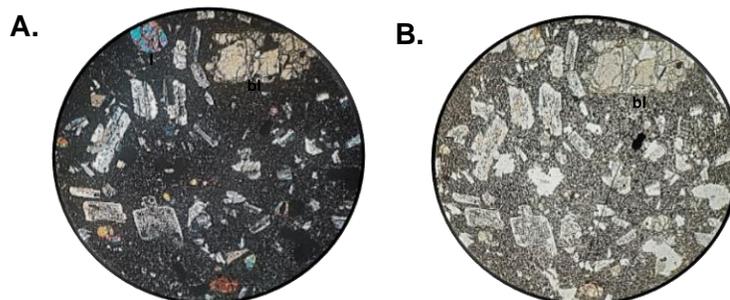
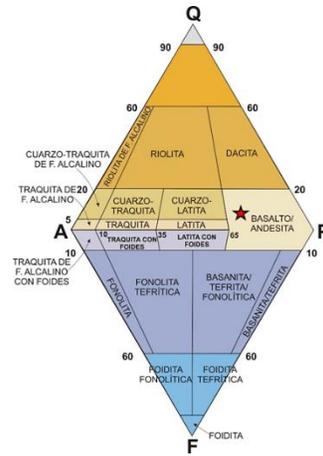


Ilustración 20.

El diagrama QAPF muestra el resultado final de clasificación modal de composición mineralógica de la roca. La estrella indica que corresponde a un basalto toleítico.

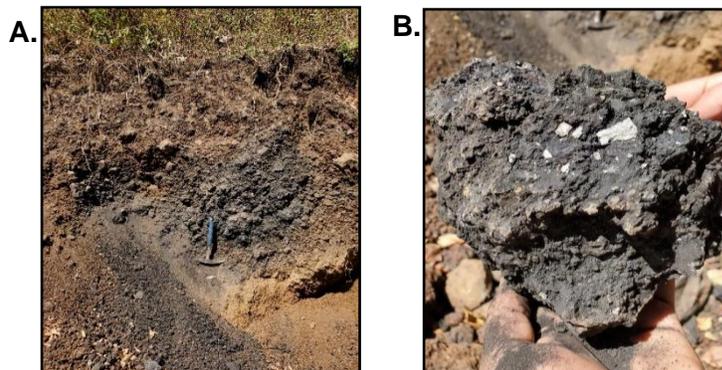


4.1.6. HescCa - Unidad de escorias Casita

La unidad aflora en las coordenadas **UTM 504898 E – 1399838 N** en un corte local realizado al lado de la carretera al norte de la Comunidad Rigoberto López Pérez con rumbo 60° NE, el cual consta de un flujo de escorias de composición basáltica de grano medio con una textura porfirítica con fenocristales de plagioclasas de hasta 2 cm. Se trata de una roca de color oscuro, aflorando a una altitud de 559msnm. Se observaron sedimentos y escombros provenientes del volcán Casita. **Ilustración 21**

Ilustración 21.

A. Afloramiento de escorias sobre la carretera que va hasta la cima del Volcán Casita coordenadas **UTM 504898E – 1399838N**. **B.** Fragmento de escoria extraído del afloramiento, con fenocristales de plagioclasas (Pl).



La unidad se encuentra sobreyaciendo sobre distintos depósitos de flujos piroclásticos escoriáceos, considerablemente meteorizados por alteración de los minerales ferromagnesianos, la cual proporciona el color rojizo de los materiales volcánicos pertenecientes al volcán Casita, los cuales son descritos a continuación:

Ilustración 22.

Afloramiento de depósitos volcánicos pertenecientes a los volcanes Casita y Telica.



1. Flujo de Ceniza altamente meteorizado de color marrón, en su matriz presenta entre un 20-25% de cristales sueltos de cuarzos de geometría romboédrica y partículas de escorias >0.5 cm de forma ovalada.
2. Escoria de caída de forma elongada con un espesor de 0.35 m, posee una gradación normal de tamaño medio y color rojizo.
3. Toba compactada de color marrón con un espesor de 0.23 m, en su matriz contiene líticos de escoria de geometría irregular.
4. Paquete de escoria de 0.3 m de espesor de color rojizo, su matriz con fragmentos accidentales con tamaño entre $1 < 3$ cm.
5. Flujo de ceniza con un espesor de 0.56 m de color marrón claro, contiene

cristales de cuarzos irregulares con fragmentos de escorias con un tamaño >1 cm

6. Oleada piroclástica pseudoestratificada de 0.6 m compuesta de materiales sueltos, presenta fragmentos accidentales de hasta 4.5 cm.
7. Escoria de color oscuro de gradación normal con 0.28 m de espesor, dentro del depósito se localiza una pequeña capa de ceniza fina de color gris claro y un espesor de 2 cm.

8. Ceniza semicompactada de color claro y de grano fino con un espesor de 0.2 m dentro de su matriz se localizan fragmentos escoriáceos en tamaño > 5 mm.
9. Escoria de gradación normal de color marrón rojizo con un espesor de 0.4 m.
10. Depósito de ceniza de color gris claro de grano fino con un espesor aproximado de 0.26 m.
11. Flujo piroclástico de aproximadamente 1.3 m de color oscuro, su matriz es de ceniza con fragmentos accidentales e intrusivos como gabro con un tamaño >10 cm.
12. Flujo de escorias perteneciente a la unidad **HescCa**

4.1.6.1. Composición Mineralógica

Microscópicamente la roca presenta una textura vitrofírica, en la cual se observan los fenocristales inequigrangulares inmersos en una matriz vítrea e hipocristalina, el total de la muestra se encuentra constituida por un 40% de matriz vítrea con minerales predominantes como plagioclasas (albita y anortita) 25% de formas subhedrales, 10% anfíboles (**amp**) subhedrales/anhedrales y 5% olivino (**OI**) subhedrales, 5% cuarzo (**Qz**), es de tonalidad oscura con presencia abundante de vesículas en un 20%. Presenta una matriz vítrea 40%. **Ilustración 23-24**

Clasificación modal petrográfica de muestra correspondiente a **HescCa** - Unidad de escorias Casita:

Tabla 5.

Porcentaje de componentes principales detectados mediante el análisis petrográfico correspondiente a la unidad de escorias perteneciente al Casita.

Componente	Mínimo	% relativo
Q	5	12.50
A	10	25.00
P	25	62.50
F	0	0.00

Ilustración 23.

A. Sección delgada en NP y B. sección en NC, se pueden observar la distribución de Plagioclasas, Anfíboles, Ortopiroxenos y olivinos sobre matriz vítrea y zonas de vacío correspondiente a la vesicularidad de la roca.

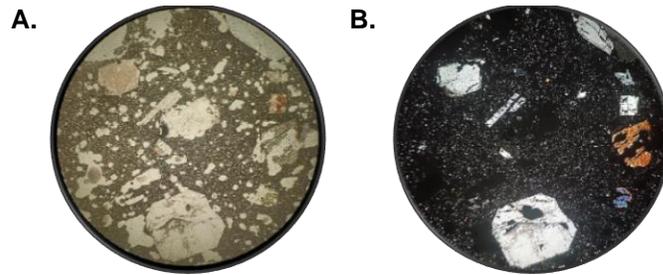
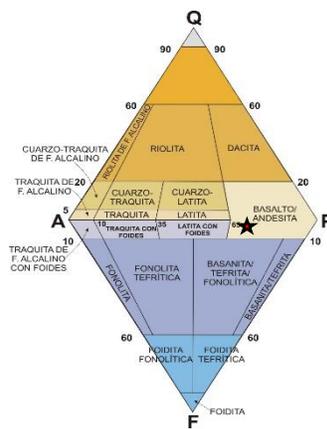


Ilustración 24.

En diagrama QAPF se muestra resultado final de clasificación modal de composición mineralógica de la roca. La estrella indica que corresponde a Andesita-basáltico.



4.1.7. HfpCa - Unidad de flujos piroclásticos Casita

Esta unidad se localiza en la parte sur y suroeste de la zona en investigación, se encuentra constituida por un flujo piroclástico con una matriz de ceniza color marrón claro a tonalidades rosáceas en algunas zonas, se estima su composición entre dacítica y riolítica de grano fino con un espesor de 1.94 m.

Esta unidad presenta su mejor afloramiento en el sector noroeste de la comunidad Pikin Guerrero en las coordenadas **UTM 502581 E – 1401007 N** cerca de donde afloran las

unidades Unidad de flujo superior San Cristóbal (**HfsSC**) y la Unidad de sedimentos volcano-coluviales Casita (**HsvcCa**). **Ilustración 25**

Se observaron fragmentos de textura escoriacea con alto porcentaje de vesículas de composición andesítica con un tamaño entre 1cm a 10 cm, además se presentan fragmentos accidentales (no andesíticos) con un tamaño entre los 5 cm a 20 cm con fenocristales inequigrangulares de plagioclasas (**PI**).

Ilustración 25.

Flujo piroclástico aflorando al norte de la comunidad Pikin Guerrero, hace contacto con las unidades **HfsSC** - Unidad de flujo superior San Cristóbal y **HsvcCa** - Unidad de sedimentos volcano-coluviales Casita, la matriz consta de ceniza fina con una variedad de fragmentos accidentales.



4.1.8. HsCa - Unidad superior Casita

En la cumbre del Casita se encuentran materiales piroclásticos y lavas de composición andesíticas con estructura periclinal. Las rocas de esta unidad forman parte del Cráter principal “La Hoyada”, cuyos flujos lávicos cubren parte del territorio en dirección este, debajo de ellas sobreyacen las rocas de composición predominantemente andesítica fuertemente alteradas.

Ilustración 26.

Flujo superior del Volcán Casita con alteración argílica a causa de la alteración hidrotermal en las coordenadas **UTM 504454 E – 1402947 N** a una altitud de **1276 m.s.n.m.**



Esta unidad corresponde a la última erupción de la secuencia cratérica del Volcán Casita. Tiene su mejor expresión entre las coordenadas **UTM 504454 E – 1402947 N** a una altitud de **1276 m.s.n.m.** Morfológicamente este flujo presenta una superficie irregular con bloques dispersos; las rocas en esta zona se caracterizan macroscópicamente por presentar una sección masiva de tonalidad variable de gris medio a blanco con textura porfídica (distribución cuarzo, plagioclasas, biotitas y piroxenos). Debido a la presencia de campos fumarólicos ubicados en la zona del Cráter la Hoyada, estas andesitas en varios sectores se encuentran con alteración argílica avanzada **Ilustración 26.**

En algunas zonas, la alteración Hidrotermal ha sido constante sobre el flujo de lava andesítico lo cual ha provocado la desintegración en su totalidad de la roca, formando una pequeña capa de suelo reciente con abundante vegetación.

4.1.8.1. Composición Mineralógica

Microscópicamente la roca presenta una textura hipocristalina con fenocristales inequigrangulares de diferente tamaño dentro de una matriz vítrea. Los minerales de los cuales constituye la muestra, comprenden un 35% de plagioclasas (albita) de formas euhedrales/subhedrales con presencia de alteraciones argílicas, un 10% de olivino subhedrales y 15% de anfíboles con formas subhedrales a anhedrales, entre otros minerales en menor al 5% como Cuarzo, Hornblenda y piroxenos. **Ilustración 27**

Clasificación modal petrográfica de muestra correspondiente a **HsCa** - Unidad superior Casita:

Tabla 6.

Porcentaje de componentes estimados en la muestra obtenida de la unidad de flujo superior Casita

Componentes	Mínimo	% relativo
Q	5	10.00
A	10	20.00
P	35	70.00
F	0	0.00

Ilustración 27.

A. Sección delgada en NP y **B.** sección en NC, se puede observar la textura hipocristalina y en ambas la distribución mineral de Plagioclasas, Anfíboles, Clinopiroxenos, hornblenda y olivinos sobre matriz vítrea.

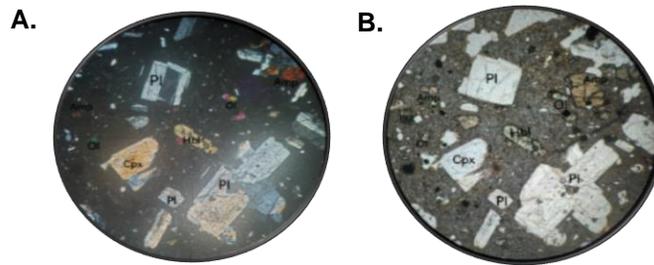
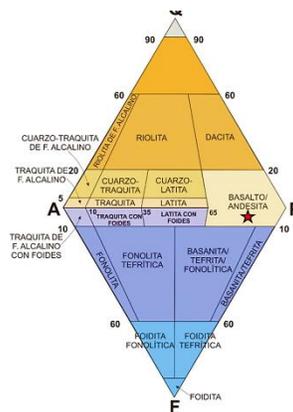


Ilustración 28.

En diagrama QAPF se muestra resultado final de clasificación modal de composición mineralógica de la roca de la unidad HsCa. La estrella indica que corresponde a Andesita.



4.1.9. HimCa - Unidad medio inferior Casita

Esta unidad corresponde al flujo andesítico medio del Volcán Casita, el cual se localiza en la parte NE del cono volcánico, siendo el de mayor longitud entre los demás flujos que componen el área de estudio. Su mejor expresión se localiza en las coordenadas **UTM 507168 E – 1403981 N** sobre la carretera que va desde San José de Las Grietas hasta los pozos de exploración de la empresa Polaris Energy Nicaragua ubicados al noreste del Casita **UTM 505748 E – 1403132 N**.

Consiste en un flujo de andesita con un espesor de aproximadamente 3 m con rumbo 53° sureste, macroscópicamente tiene una superficie regular de tonalidad marrón claro en la parte exterior, pero internamente posee un color gris con textura porfírica y de vesicularidad media, presenta dos fracturas rellenas de sedimentos y fragmentos de la misma unidad **Ilustración 29**.

El cuerpo rocoso es visible en gran parte de la carretera, entre más lejos se encuentra del centro de emisión este presenta mayor fracturamiento a como se muestra en la **Ilustración 29** en las coordenadas **UTM 506897 E – 1404517 N** debido a meteorización mecánica que ha desintegrado la roca en fragmentos de distintos tamaños.

Macroscópicamente la roca presenta textura porfídica con un aproximado de 20% de vesicularidad, entre los minerales predominantes que componen la roca, se encuentran, las plagioclasas, anfíboles, olivino y piroxenos, en menor porcentaje cuarzo. Se caracterizan por tener una tonalidad gris a ocre con alteración supérgena de oxidaciones de hierro y óxidos de manganeso, las tonalidades grises a ocre se observan en la zona cercana al centro volcánico debido a la meteorización mecánica – esferoidal y las tonalidades ocres, café en pendientes más suave distancia media al centro de emisión.

Ilustración 29.

Flujo de lava con fracturamiento moderado perteneciente a la unidad medio inferior del Casita siendo el de mayor extensión en la zona investigada.



4.1.9.1. Composición Mineralógica

Microscópicamente la roca presenta una textura glomeroporfírica, predominado los minerales de plagioclasas con zonaciones y maclas con formas euhedrales a subhedrales con un porcentaje promedio de 40%, así mismo 10% de anfíboles con forma subhedrales a anhedrales, 10% de olivino subhedrales y mineral de Qz Euhedrales a subhedrales menor a 5%, minerales accesorios como hornblendas y biotitas en menos porcentaje. Estos se encuentran dentro de una matriz vítrea que con un aproximado de 30%.

Clasificación modal petrográfica de muestra correspondiente a **HimCa** - Unidad medio inferior Casita:

Tabla 7.

Componentes mineralógicos observados de la muestra obtenida en campo de la unidad medio inferior Casita.

Componentes	Mínimo	% relativo
Q	3	5.66
A	10	18.87
P	40	75.47
F	0	0.00

Ilustración 31.

A. Lámina delgada en NP y **B.** sección en NC, se puede observar la textura glomeroporfírica y en ambas la distribución mineral, predominando las Plagioclasas, Anfíboles, Ortopiroxenos, olivino, Qtz y hornblenda sobre matriz vítrea.

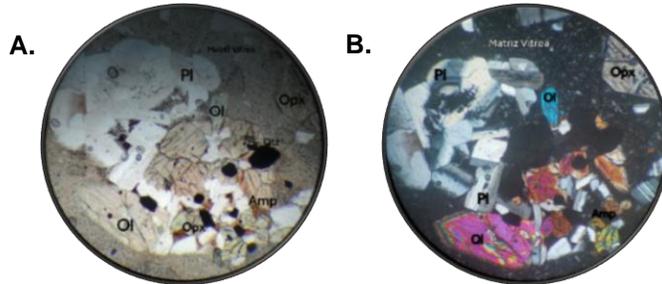
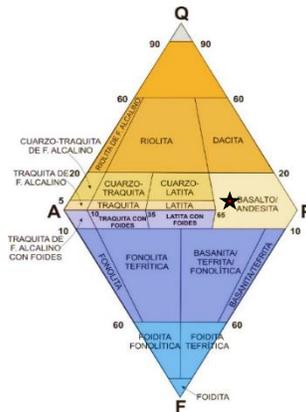


Ilustración 30.

En diagrama QAPF se muestra resultado final de clasificación modal de composición mineralógica de la roca de la Unidad HimCa. La estrella indica que corresponde a Andesita-Basáltica.



4.1.10. HiCa - Unidad inferior casita

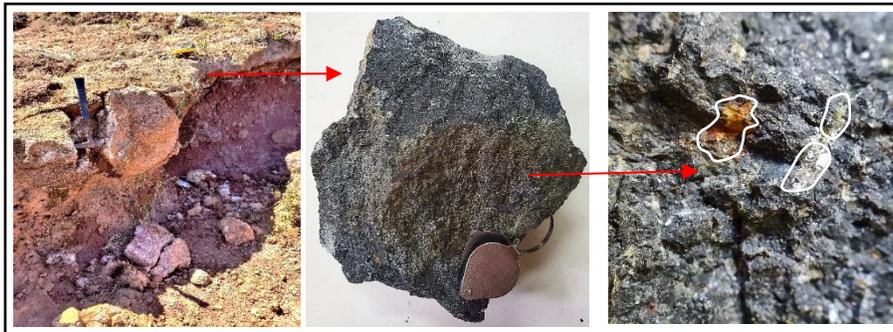
La unidad aflora sobre un campo fumarólico **UTM 505266 E - 1402805 N** en el flanco NE del Volcán Casita a **1195 m.s.n.m** en dirección **40° NE** con una pendiente de **25°** la cual se ha ido meteorizando del interior al exterior producto de las temperaturas que afectan la zona.

Estas rocas se caracterizan macroscópicamente por tener una tonalidad gris a ocre con textura porfídica, las tonalidades ocre se observan en la zona cercana al centro

volcánico debido a la meteorización mecánica – esferoidal, y química producida por antiguas y actuales fumarolas de debilidad tectónica al NE del Volcán, lo cual ha generado una capa suelo arcilloso con tonalidad roja sobre las zonas de emisión de H₂O y H₂SO₄. Mineralógicamente los fenocristales de plagioclasas (**Pl**), se encuentran caolinizados debido a la alteración hidrotermal avanzada, así mismo causando que los minerales máficos de la roca, como piroxenos (**Px**) y hornblendas (**HB**), estén casi totalmente hematizados y limonitizados. **Ilustración 32**

Ilustración 32.

Afloramiento de la unidad inferior del Casita afectada por alteración argílica avanzada por actividad fumarólica.



La meteorización mecánica del tipo esferoidal se presenta en **UTM 505265 E - 1402796 N** a una altitud de **1198 m.s.n.m** la cual consiste en la creación de capas esféricas mediante la descomposición del cuerpo rocoso, este tipo de meteorización crea cantos rodados, además de alterar la estructura interna de los minerales. **Ilustración 33**

Ilustración 33.

Flujo de lava inferior del Casita con presencia de meteorización esferoidal, lo cual provoca que este se vaya desintegrando por capas.

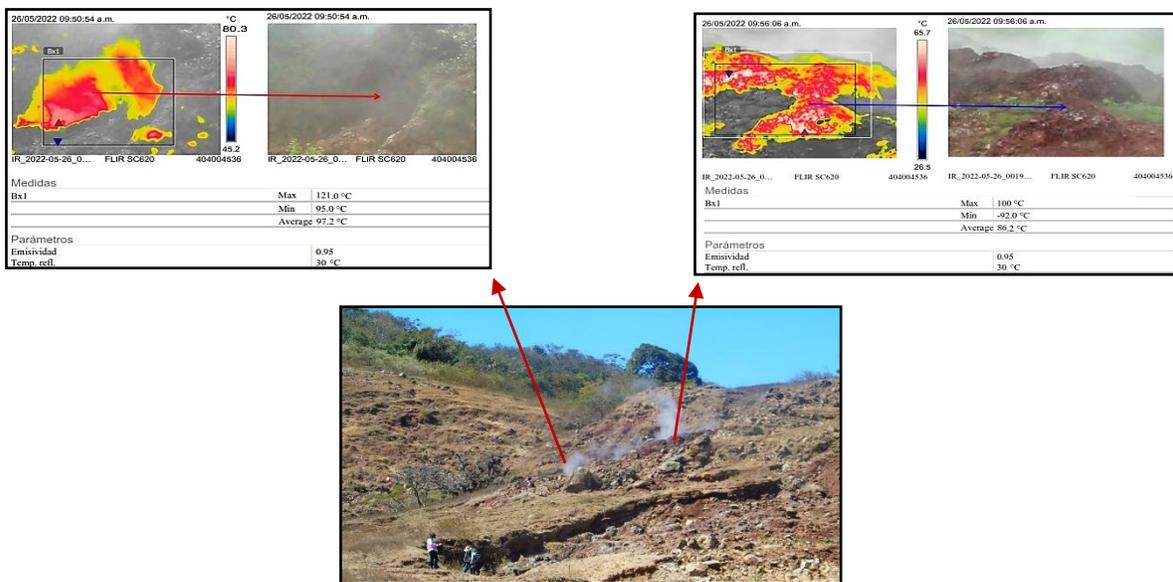


Dentro de la unidad se localiza el campo fumarólico del Volcán Casita **UTM 505252 E – 1402705 N** a 1170 **m.s.n.m**, según **Hazlett (1977)**, la actividad fumarólica prevalece desde la última erupción la cual se estima fue en el siglo XVI y está relacionada a la intrusión de un dique cuyo alineamiento es N85°O, dicha actividad se manifiesta a superficie mediante una falla con rumbo 70°SE y una serie de fracturas que componen la zona.

Ilustración 34

Ilustración 34.

Imágenes térmicas de las dos fuentes principales del campo fumarólico del Casita con temperaturas máximas de 121°C y 100°C.



La actividad fumarólica ha permitido la meteorización y alteración del flujo de lava andesítico convirtiéndolo en arcilla y provocando que la zona se vuelva un más inestable. Las alteraciones que sufren los flujos de lavas en el complejo volcánico San Cristóbal – Casita lo hacen susceptible a la formación de procesos de lahares, avalanchas de escombros o movimientos en masa a como sucedió el 30 de octubre de 1998 en el Volcán Casita y el 13 de mayo del 2002 en el Volcán San Cristóbal, cabe mencionar que, por estudios realizados por distintos investigadores en la zona, se han encontrado otros depósitos de lahares que han sucedido en el pasado. **Ilustración 35**

Ilustración 35.

Deformación y desplazamiento leve de terreno en las coordenadas **UTM 505189 E – 1402660 N** a una altitud de **1180 m.s.n.m**, la zona se encuentra compuesta por un flujo andesítico con meteorización avanzada y es influenciado por el fallamiento y alteración hidrotermal.



4.1.10.1. Composición Mineralógica

Microscópicamente la roca presenta una textura porfídica, desarrollando fenocristales de plagioclasas euhedrales a subhedrales en un 40% dentro de una matriz vítrea 40%, anfíboles anhedrales a subhedrales en un 10% y olivinos anhedrales en un 10%. **Ilustración 36**

Clasificación modal petrográfica de la muestra correspondiente a **HiCa - Unidad**

Tabla 8.

Componentes mineralógicos visualizados sobre la sección delgada perteneciente a la unidad inferior del Casita.

inferior casita:

Componentes	Mínimo	% relativo
Q	5	7.69
A	20	30.77
P	40	61.54
F	0	0.00

Ilustración 36.

A. Sección delgada en NP y **B.** sección en NC, se puede observar la textura vitrofírica en ambas, así mismo el mineral predominante correspondiente Plagioclasas 40%, Anfíboles 20%, Clinopiroxenos 10%, hornblenda 5% y olivinos y Qz 5% sobre matriz vítrea.

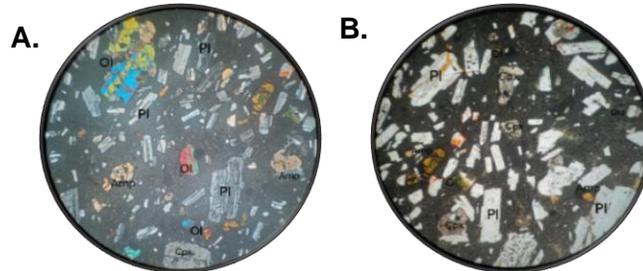
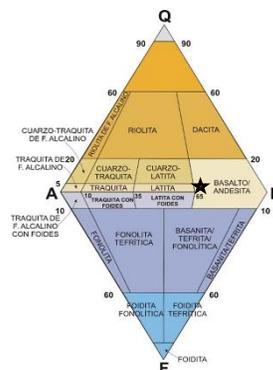


Ilustración 37.

Se muestra resultado final de clasificación modal de composición mineralógica en diagrama QAPF de la roca. La estrella indica que corresponde a Andesita en plagioclasas.



4.1.11. PfpHd - Unidad flujos piroclásticos La Hoyada

Se localiza en la parte SE del área investigada, exactamente entre las comunidades Juan José Briceno y Carlos Espinoza **UTM 501990 E – 1395909 N** a una altitud de **212 m.s.n.m**, esta unidad se encuentra compuesta por una secuencia de capas de cenizas de composición intermedia a félsicas, en su matriz poseen fragmentos líticos accidentales provenientes de las paredes de los cráteres La Hoyada siendo las fuentes de emisiones de los flujos piroclásticos que componen los suelos de las comunidades antes mencionadas.

Ilustración 38

Ilustración 38.

Unidad de flujos piroclásticos pertenecientes a los cráteres de la Hoyada, consiste en intercalaciones de cenizas con escorias y fragmentos accidentales incrustados dentro de la matriz, la pared contiene una altura de 5 m.



Los materiales de la unidad son cenizas finas de color gris claro y escorias de color oscuro con vesicularidad media, en la mayoría de las capas que componen los 5 m de depósitos piroclásticos se localizan fragmentos juveniles característicamente pesados de color oscuro de textura porfírica con fenocristales de plagioclasas (**PI**).

En las depresiones de los cráteres fueron observados rodados que se han desprendido de las partes más altas y consisten en bloques de composición intermedia de geometrías angulares y subangulares de textura porfírica con fenocristales de plagioclasas (**PI**), anfíbol (**An**), biotita (**Bi**), y moscovita (**Ms**) de grano fino. **Ilustración 39**

Ilustración 39.

Fragmentos rocosos de composición intermedia transportados desde las paredes de los cráteres de textura porfírica con mayor abundancia de cristales de plagioclasas (**PI**).



4.1.12. PArl - Unidad El Arenal

Corresponde al cráter al NE de la comunidad El Guanacastal **UTM 508888 E - 1395720 N** a 251 **m.s.n.m**, la zona es conocida localmente como el Estadio. Se encuentra compuesta por flujos de lava, depósitos aluviales, escorias, pómez y flujos de ceniza con fragmentos pomáceos. El cráter se caracteriza por poseer circuitos de causas naturales que recorren las escorrentías superficiales en temporada de invierno provocando la meteorización de los distintos depósitos que componen la estratigrafía local, por lo tanto, fueron localizados rodados desde composición máfica a félsicos.

En las coordenadas **UTM 509038 E - 1395370 N** a una altitud de 255 **m.s.n.m** se localiza un flujo con rumbo N10°E posiblemente de composición andesita basáltica con enclaves de color gris y azul, que contienen fenocristales de plagioclasas (**PI**) y olivino. Se estima este asociado a un contraste composicional. **Ilustración 40**

Ilustración 40.

Flujo de lava de composición andesita basáltica localizado sobre la ruta de acceso que lleva al centro del cráter El Arenal.

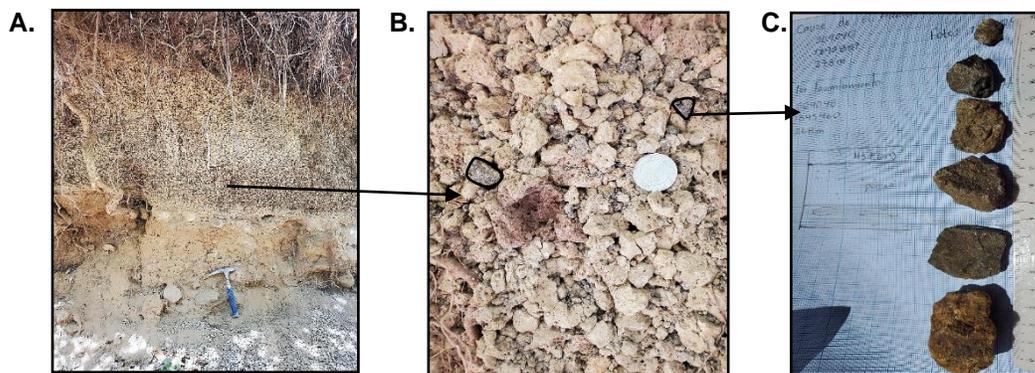


En la Comunidad de Los Portillos **UTM 512177 E - 1396991 N** Se localizó un depósito de pómez de aproximadamente unos 0.6 m en la parte superior de los estratos correspondiente a la Caldera La Pelona, su característica principal es el exceso de fragmentos accidentales, y su posible centro de emisión el cráter El Arenal, donde se encontró la pómez con las mismas características con un espesor aproximado de 1.4 m **UTM 509402 E - 1394945 N**.

La pómez consta de fragmentos entre los 0.5 cm hasta los 5 cm de vesicularidad media, se estima su composición entre dacita - riolítica de color blanquecino con tonalidades rosáceas, su matriz consiste en ceniza fina, entre las particularidades del depósito que permitió diferenciarlo de los horizontes pomáceos correspondiente a la Caldera La Pelona es la presencia de abundantes fragmentos accidentales de tamaños entre 1 cm a 7 cm de color gris oscuro con tonalidades parduscas debido la oxidación de los minerales ferromagnesianos que le componen a como son olivino (**OI**), priroxeno (**Px**) y anfíboles (**An**). **Ilustración 41**

Ilustración 41.

Depósito de pómez El Arenal. **A.** Pómez depositada sobre un flujo de ceniza ubicado en las paredes del cráter en las coordenadas **UTM 509048 E – 1395460 N** a una altitud de **268 m.s.n.m.**, en la imagen **B** se puede visualizar los fragmentos pomáceos sostenidos sobre una matriz de ceniza fina con presencia de fragmentos accidentales que pueden visualizarse en la imagen **C** los cuales poseen una composición intermedia con textura afanítica y oxidación moderada.



En la parte inferior se encuentra descansando un flujo de ceniza de grano fino de color blanquecino con fragmentos pomáceos y bloques subredondeados de hasta 20 cm en su matriz, pero estos solo son visibles dentro de la depresión **UTM 509048 E - 1395460 N** a una altitud de **268 m.s.n.m.** **Ilustración 41 – A.**

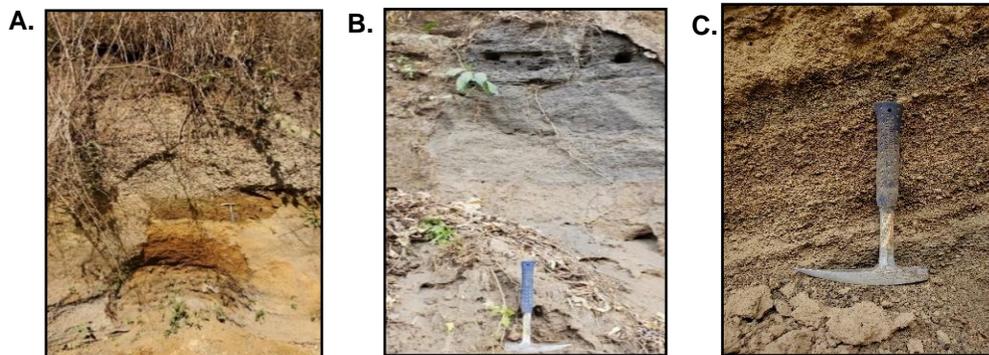
La pómez es visible en la mayoría de los cortes encontrados en la localidad, en las coordenadas **UTM 509402 E – 1394945 N** a una altitud de **218 m.s.n.m** afloran cuatro depósitos (**Ilustración 42**) los cuales son los más representativos dentro del cráter El Arenal, en la base se localiza un flujo de ceniza color blanquecino de grano fino con fragmentos pomáceos sobre el que subyacen depósitos de escorias o la pómez El Arenal dependiendo de la zona.

La escoria posee un tamaño de 2 mm a 10 mm con poco porcentaje de vesicularidad de color oscuro y pigmentaciones pardas debido a la alteración por oxidación. El depósito superior se estima le corresponda al Volcán Telica presenta unos 0.15 m aproximadamente de espesor con un diámetro de 2 a 4 cm de forma masiva.

En la zona se observan distintos depósitos aluviales tanto en las paredes como en los causes arrastrados por las escorrentías superficiales lo que ha permitido la meteorización del terreno, en las coordenadas **UTM 509390 E – 1395061 N** se observan depósitos de 1.5 m de espesor en la base los afloramientos y sobre el cauce, el material de las paredes consta de estratificaciones de sedimentos arenosos de granos finos a medio de geometría subredondeada de color gris medio a oscuro. **Ilustración 42 - B**

Ilustración 42.

A. Afloramiento localizado en las coordenadas **UTM 509402 E – 1394945 N** a una altitud de **218 m.s.n.m** se encuentra compuesto (antiguo- reciente) flujo de ceniza con fragmentos pomáceos incrustados, escorias de grano fino dentro del depósito se localiza un lente de ceniza de color gris claro sobre el cual reposa la pómez del Arenal con un espesor de 1.4 m y en la parte superior un paquete de escorias del Volcán Telica. **B.** Material aluvial depositados por las escorrentías que recorren los causes. **C.** Depósito de escorias en el piso de los afloramientos observados sobre los causes del Arenal.



4.1.13. PpCP - Unidad de pómez y flujo piroclástico Caldera La Pelona

La unidad corresponde a dos grandes estratos de pómez, denominadas (Pómez del horizonte **A** y Pómez del horizonte **B**), estas dos potentes capas se encuentran separadas por un flujo piroclástico y un suelo fósil, lo cual representa dos eventos diferentes de la caldera. Cabe señalar que la distribución es irregular, debido a que la extensión de los depósitos de pómez se desplaza más hacia el SW, la existencia de este material de

erupciones explosivas da indicios de que la zona de colapso de la Caldera pudo darse después de la última explosión pliniana que generó la última capa masiva de pómez.

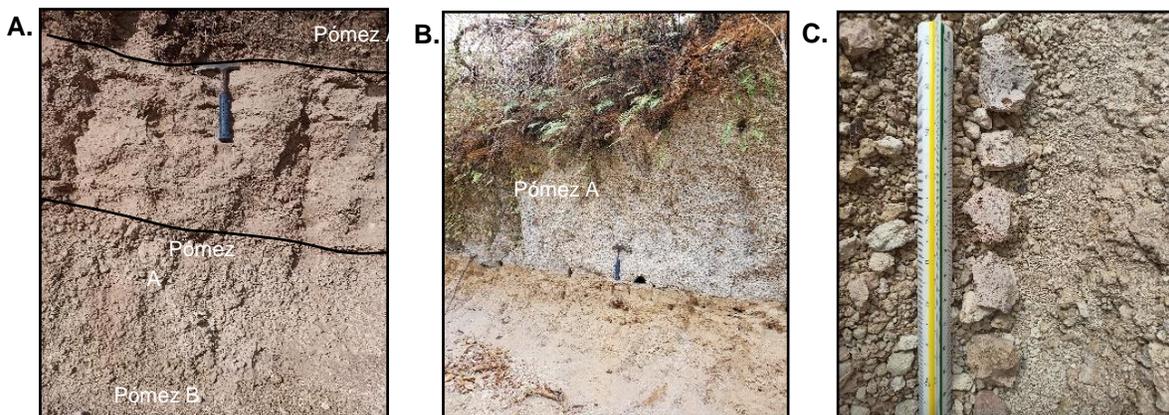
Los afloramientos pertenecientes a esta unidad de Pómez fueron observados en varias zonas en los flancos E y S del Casita y en los flancos externos en dirección SW de la Caldera de La Pelona, el espesor de estos depósitos varía en dependencia de las zonas distales a la estructura volcánica los cuales varían desde los 0.4 m hasta los 8 m.

En la comunidad San Lucas a 4,2 km de la caldera en las coordenadas **UTM 513043 E – 1403589 N** a 62 **m.s.n.m** el horizonte alcanza un espesor de hasta 1 m, y se observa gracias a la erosión hídrica en superficie sobre la carretera hacia la comunidad Monte Olivo, en esta prevalece la pómez sin estratificación, poco litificada hasta completamente suelta.

En la localidad de la Hacienda El Porvenir se localizan ambos depósitos pomáceos, afloran en las coordenadas **UTM 512073 E – 1401537 N** a una altitud de 246 **m.s.n.m** el horizonte B. se caracteriza por su color rosado claro, consta de una matriz fina de ceniza posiblemente de composición entre dacita - riolita con presencia de un 2% de fragmentos accidentales de composición máfica, la pómez presenta vesicularidad en 1% sus fracciones pomáceas varían en tamaño desde 1 cm – hasta 10 cm. El horizonte A solo se compone de una matriz de ceniza fina de color blanquecino y fragmentos pomáceos los cuales su rango de tamaño varía desde los 0.6 cm hasta los 6 cm con vesicularidad al 5%. **Ilustración 43**

Ilustración 43.

Depósitos de pómez de la Caldera La Pelona aflorando cerca de la Hacienda El Porvenir. **A.** Visualización de ambos depósitos de pómez A y B separados por un flujo de ceniza. **B.** Horizonte de pómez A con un espesor de 2 m. **C.** Variedad de tamaños en los fragmentos de pómez perteneciente a los dos depósitos



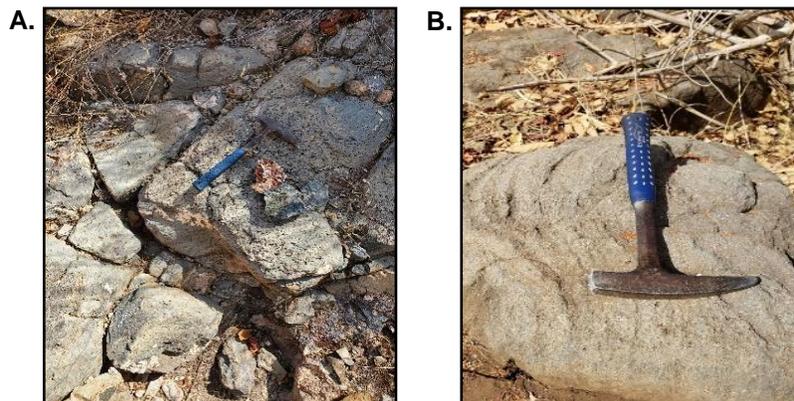
4.1.14. Pfp - Unidad de flujo lávico La Pelona

El análisis litoestratigráfico demuestra que las rocas más antiguas pertenecen a los flujos lávicos de composición basáltico de la Caldera La Pelona, las cuales han sido observadas en la base de algunos perfiles profundos y en paredes interiores de la actual caldera. De acuerdo con **CGU & INETER (1999)**, plantean que las primeras inyecciones de magma que formaron la estructura volcánica hoy vista en forma de caldera, fueron de carácter máficos y posterior a esto se produjo una nueva inyección de magma de composición dacítica, produciendo una serie de erupciones de tipo pliniano y generando los depósitos de pómez; cabe señalar que todavía no se cuenta datos pertinentes para correlacionar con la edad absoluta de esta unidad de flujo lávico latítico, no obstante, se considera que el colapso de la estructura volcánica de La Pelona ocurrió después de las erupciones paroxismáticas en el Pleistoceno debido a que sus depósitos subyacen a centros volcánicos más jóvenes, Por otra parte, **De Vries (1993)** estimó su edad en 30,000 años.

Las rocas de esta unidad se encuentran presente en las paredes y laderas de Norte, NE y SE de la estructura volcánica La Pelona. Su mejor expresión se encuentra en el sector de José Salmerón Castro entre las coordenadas **UTM 509681 E -1401824 N**, con una altitud de 576 **m.s.n.m.** Esta unidad corresponde a flujos de lavas antiguos de composición latítico siendo uno de los primeros flujos de los que se tiene registro en todo el complejo Volcánico San Cristóbal. **Ilustración 44**

Ilustración 44.

Flujo de lava latítico perteneciente a la Caldera La Pelona, en la imagen **A.** se puede visualizar el fracturamiento del cuerpo rocoso debido a los esfuerzos a los que es sometido. B. Flujo de lava localizado cerca de la comunidad de San Lucas.



Las rocas del flujo de lava afloran en formas de bloques con presencia de meteorización esferoidal y alteraciones supérgena de oxidaciones de hierro (hematización), y óxidos de manganeso, macroscópicamente la roca presenta una textura porfídica fluidal inequigrangulares, en formas de grandes bloques subangulosos a subredondeados que enmarcan la dirección gravitatoria del flujo de lava. Mineralógicamente la roca está compuesta con un alto porcentaje de plagioclasas sódicas, olivinos y anfíboles dentro de una matriz vítrea oscura.

4.1.14.1. Composición Mineralógica

Microscópicamente la roca presenta una textura porfídica, desarrollando dentro de una matriz vítrea fenocristales de plagioclasa euhedrales (oligoclasa), biotita y piroxeno (augita) euhedrales a subhedrales. La matriz está formada por plagioclasa $\leq 40\%$, anfíbol $\leq 35\%$, olivino 10%, piroxenos 5% cuarzo 3% y feldespato potásico 3%. **Ilustración 45**

Clasificación modal petrográfica de muestra correspondiente a **PfPp** - Unidad de flujo lávico Pre-pelona, demuestra que la roca consiste en una Latita porfídica.

Tabla 9.

Componentes mineralógicos visualizados sobre la sección delgada perteneciente a la Caldera La Pelona

Componentes	Mínimo	% relativo
Q	3	2.50
A	35	43.75
P	40	50.00
F	3	3.75

Ilustración 45.

A. Sección delgada en NP y **B.** sección en NC, se puede observar la textura porfídica y parte glomeroporfírica en ambas, así mismo el mineral predominante correspondiente Plagioclasas 40%, Anfiboles 35%, olivinos 10% Clinopiroxenos 5%, feldespatos en un 3% y Qz 3% sobre matriz vítrea.

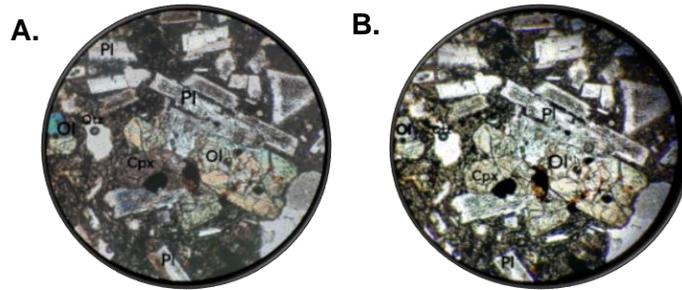


Ilustración 46.

El resultado final de clasificación modal de composición mineralógica en diagrama QAPF para la roca de la unidad PfPp indica que corresponde a Latita porfídica.

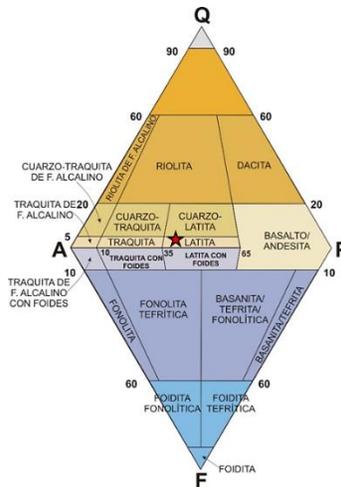
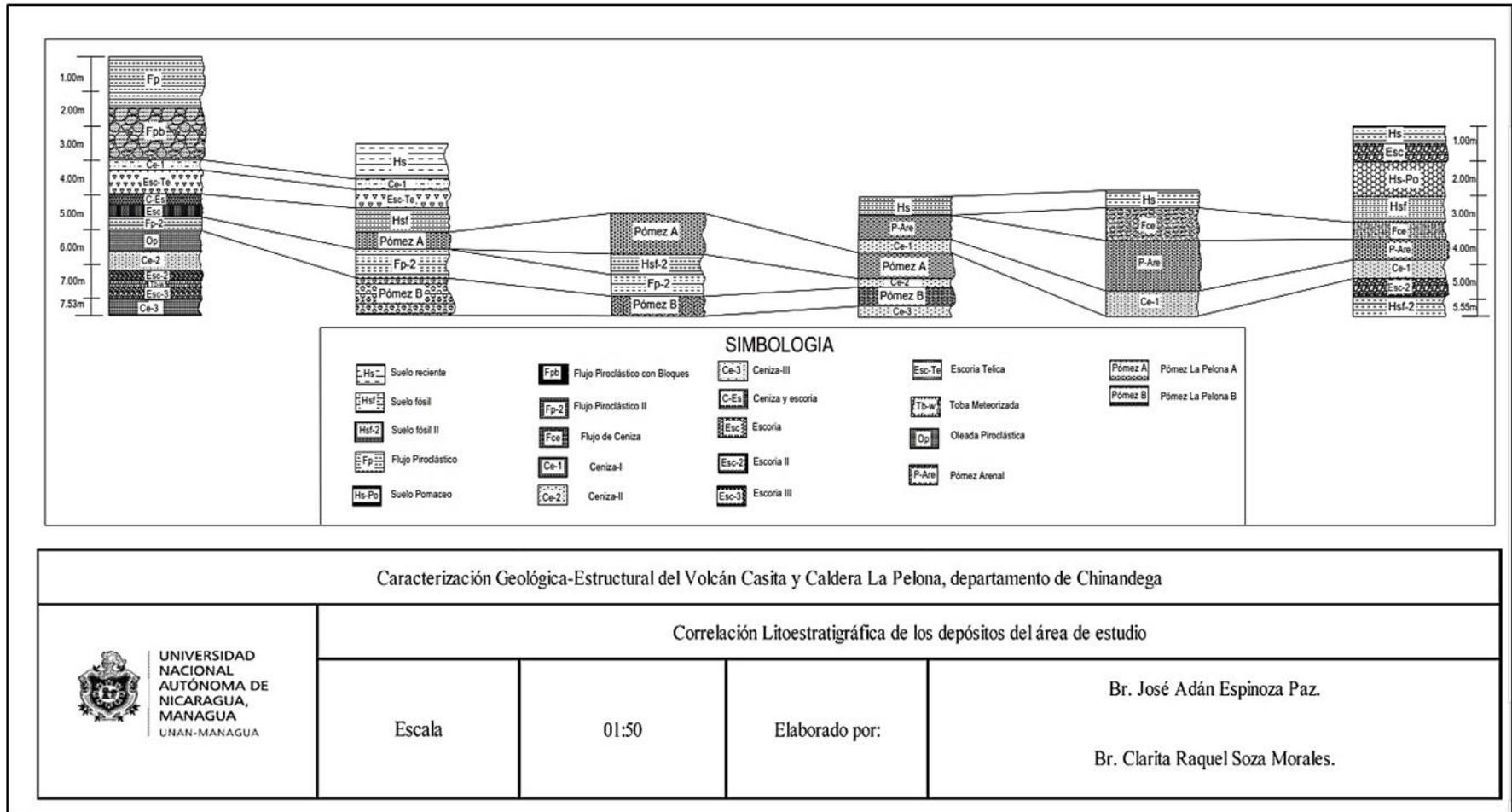


Ilustración 47. Correlación litoestratigráfica de los principales afloramientos localizados en el área investigada.



Caracterización Geológica-Estructural del Volcán Casita y Caldera La Pelona, departamento de Chinandega

Correlación Litoestratigráfica de los depósitos del área de estudio



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Escala

01:50

Elaborado por:

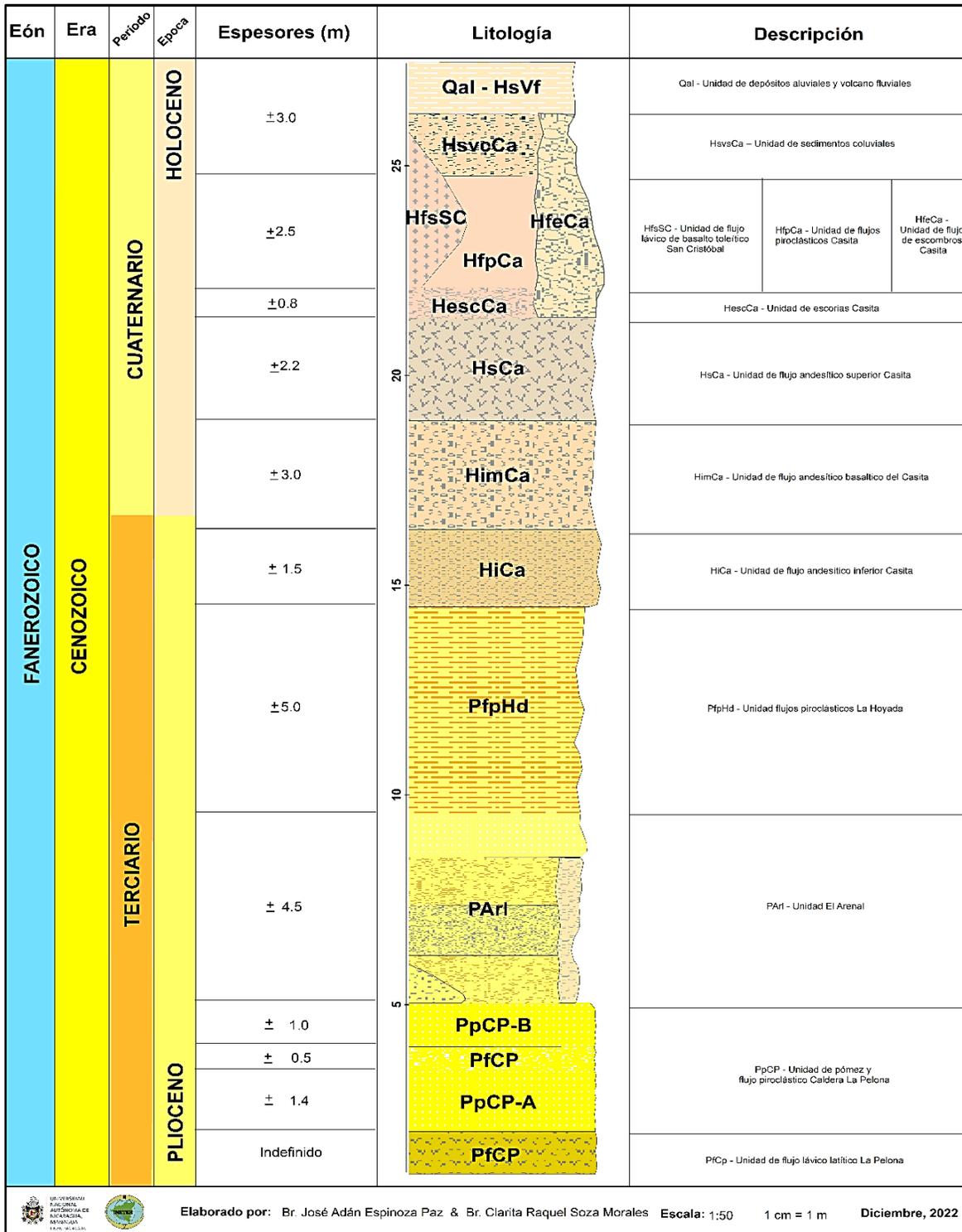
Br. José Adán Espinoza Paz.

Br. Clarita Raquel Soza Morales.

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 48.

Columna estratigráfica compuesta del área investigada en el Complejo Volcánico San Cristóbal – Casita.

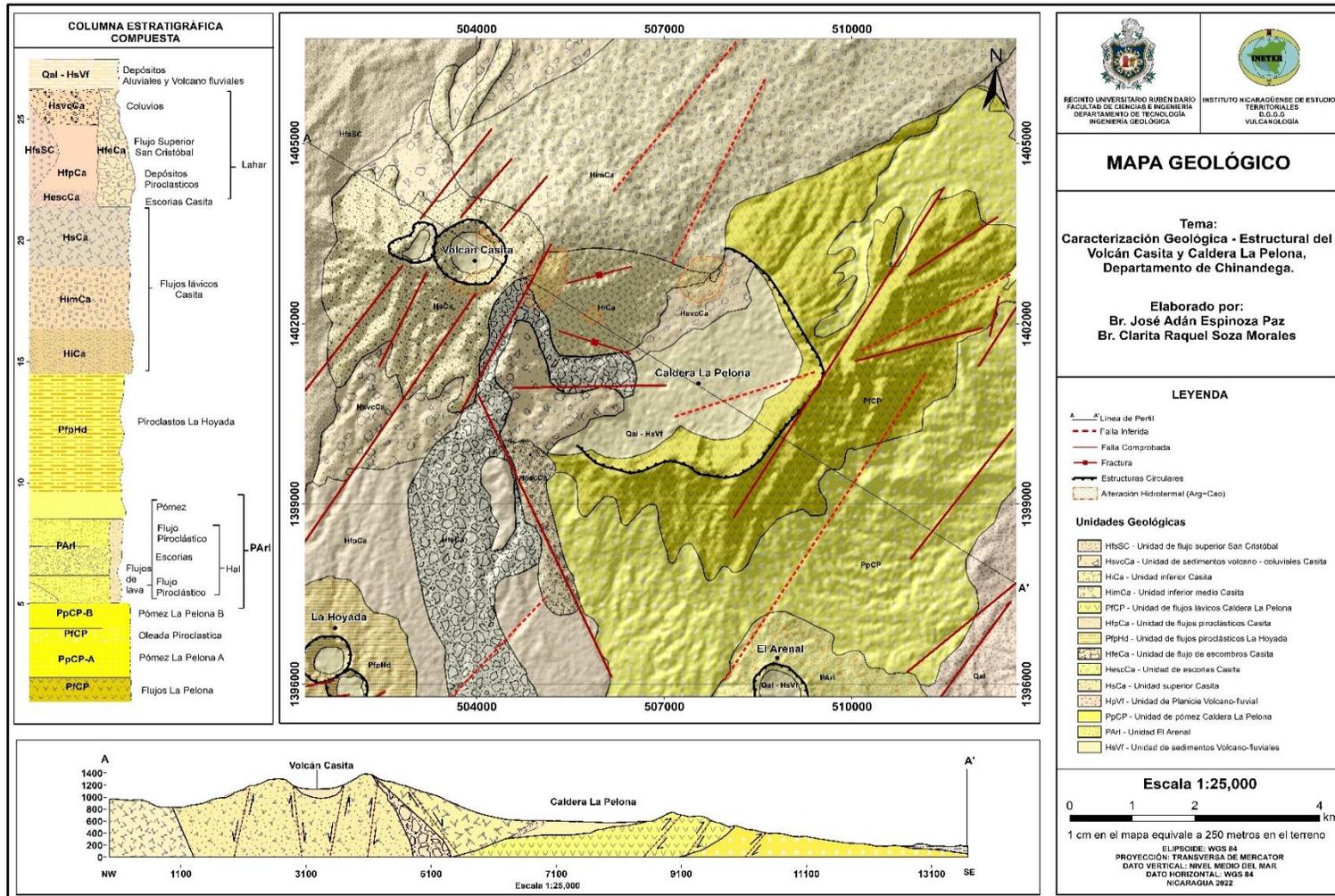


Elaborado por: Br. José Adán Espinoza Paz & Br. Clarita Raquel Soza Morales Escala: 1:50 1 cm = 1 m Diciembre, 2022

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 49.

Mapa geológico a escala 1: 25 000 del área investigada en el complejo volcánico San Cristóbal – Casita.



Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Geología Estructural

El volcán Casita es considerado como el centro estructural del Complejo Volcánico del San Cristóbal - Casita, es decir, que el cono volcánico es donde los alineamientos tectónicos se interceptan y que puede representar el probable foco del ascenso magmático. **Hazlett (1977)**, reconoció en campo dos tipos de fallas: tectónicas y volcánicas; las tectónicas son paralelas o subparalelas al lineamiento que forma la subsidencia en el cono volcánico del Casita con N30°O y N35°E y las volcánicas son relacionadas a esfuerzos superficiales debido a la misma actividad volcánica.

Respecto a las estructuras tectónicas observadas a lo largo de la cadena volcánica de Los Maribios N-S y N20°E; este alineamiento de la subsidencia del volcán Casita y las fallas de La Pelona son una excepción poco clara, para las cuales, **Hazlett (1977)**, sugiere un origen relacionado a ruptura tectónica profunda.

En el área de estudio, las estructuras de fallas que fueron posibles determinar, exhiben indicadores cinemáticos de deformación frágil que muestran tanto el sentido del movimiento de la falla principal, como la dirección del esfuerzo máximo.

Dentro de los principales indicadores cinemáticos que fueron observados afectando las unidades volcánicas, se encuentran principalmente los sigmoides: que son estructuras cinemáticas producto de la deformación frágil durante las fases iniciales del movimiento sobre una zona de falla, formando lentes de cizallamiento sobre estructuras R y P; Cabe señalar que cuando se observa un conjunto de sigmoides en dirección del movimiento provocado por esfuerzos de compresión y extensión se denominada “sistemas anastomados”, los cuales fueron indicadores comunes durante la caracterización de las fallas observadas en la etapa de campo.

El clásico comportamiento frágil en rocas volcánicas, el cual consiste en un total desplazamiento de un bloque con respecto al otro sobre un plano de falla que en ocasiones suele presentar el indicador cinemático denominado harina de falla, la cual consiste en material arcilloso que se encuentran rellenando los planos de fallas.

Fases de Deformación

Con el análisis de los diagramas, rosetas de fracturas y modelo de elevación digital del terreno con resolución de 5m, se logró definir que para el Complejo Volcánico San Cristóbal donde se encuentran ubicadas las estructuras volcánicas estudiadas, las fallas son cuantiosas y están ampliamente distribuidas en la zona de estudio siguiendo dos patrones estructurales preferenciales que se encuentran cortando las unidades geológicas; El primer patrón de fallamiento, considerado de carácter Regional con orientación predominante NW-SE, y el segundo patrón estructural corresponde al de carácter Local en dirección NE-SW.

4.2.1. Fases de deformación NE-SW / NW-SE

Las fases de deformación NE-SW representa en su mayoría la tendencia preferencial de los sistemas de fallas en la zona estudiada, se localizan de forma perpendicular al graben nicaragüense y paralelas a la estructura principal de la subsidencia del Volcán Casita perteneciente a movimientos tectónicos producidos en distintos periodos geológicos a diferencia de la falla El Salto localizada con tendencia NW-SE.

Predomina las fallas del tipo normal la cual representan fases de deformación tectónica denominadas en esta investigación como:

4.2.1.1. Fallamiento por subsidencia volcánica

Subsidencia o hundimiento compuesto por dos lineamientos con rumbo N35°E y N30°W atravesando en su totalidad el área de la cumbre exactamente donde se localizan los dos cráteres del volcán con una distancia de 6,5 km que atraviesan el Volcán Casita entre la Finca Bella Vista y La Hoya. Según Hazlett (1977) la subsidencia es de aproximadamente 15,5 km de largo con un ancho entre 1.0 a 1.75 km, atravesando por completo la cumbre volcánica y desapareciendo bajo los aluviones de los llanos circundantes. **Ilustración 50**

El progresivo hundimiento endógeno del cono volcánico posiblemente surgió con el cese de la actividad volcánica y el vaciamiento de la cámara magmática ya que justamente dentro de la subsidencia se localizan los dos cráteres más recientes del Casita.

Ilustración 50

Vista del Volcán Casita al norte de la comunidad Píkin Guerrero donde se ve en su mejor expresión la subsidencia volcánica.



4.2.1.2. Sistema de fallas Los Portillos

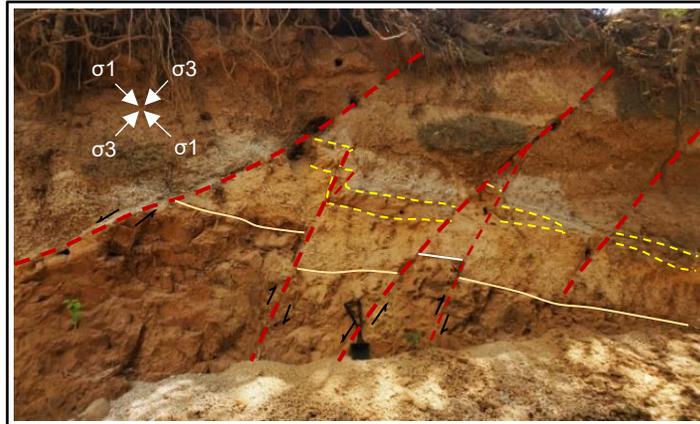
El sistema de fallas locales denominada Los Portillos, se encuentra en la porción SE del complejo volcánico, en la comunidad Los Portillos, donde toma su nombre. Su mejor apreciación se logra sobre los cortes realizados en la trocha que conduce hacia la Comunidad de Las Marías. Con la finalidad de conocer la cinemática que rige en este sistema de fallas, se realizaron mediciones estructurales en dos afloramientos y el más representativo se encuentra en las coordenadas **UTM 512150 E – 1396953 N** a una altitud de **209 m.s.n.m**

A nivel regional esta falla logra extenderse aproximadamente 9 km de longitud en el área de estudio, hasta parte noroeste del complejo volcánico del Telica, presentando una variación angular hacia el noreste y al sur hacia la comunidad Guanacastal.

En las coordenadas **UTM 512150 E – 1396953 N** a una altitud de **209 m.s.n.m** se localiza un sistema de microfallas conjugadas del tipo normal e inversa desplazando principalmente el horizonte A de pómez de la Caldera La Pelona, geomorfológicamente corta y deforma unidades volcánicas de La Pelona y Pre-Telica a como se puede observar en la **ilustración 51**.

Ilustración 51.

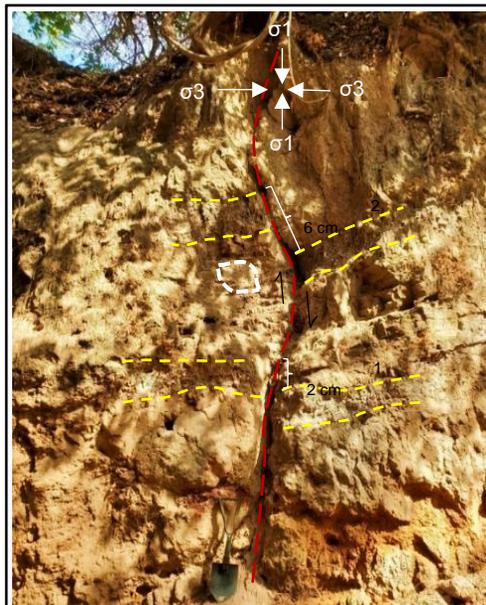
Afloramiento de depósitos volcánicos de la Caldera La Pelona y Pre-Telica desplazados por un sistema de microfallas del tipo inverso formando estructuras pequeñas de Pop-up y Pop-down en los depósitos de pómez, con desplazamientos de 13 cm hasta 40 cm sobre la carretera que conecta las comunidades Los Portillos – Las Marías.



En las coordenadas **UTM 512177 E – 1396991 N** a una altitud de **207 m.s.n.m** a una distancia de 10 m de las estructuras anteriormente descrita se localiza una falla del tipo normal desplazando 25 cm la pómez de El Arenal y 12 cm la pómez de la Pelona, se localizan fracturas de manera lateral a la estructura principal y de igual forma la presencia de un sigmoide de 32 cm de longitud. **Ilustración 52**

Ilustración 52.

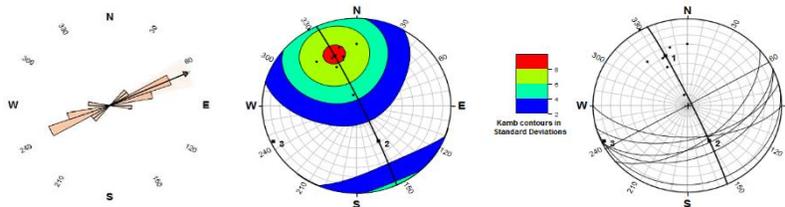
Afloramiento de pómez y escorias cortados por una falla normal con desplazamiento de 26 cm sobre el trayecto Los Portillos – Las Marías.



Las estructuras se caracterizan por ser extensionales y paralelas a una estructura principal por lo tanto representa un sistema conjugado, a como se puede apreciar en la **ilustración 49**, mediante el análisis estructural se determina que la zona es afectada extensionalmente en dirección NE-SW y por compresión en dirección NW-SE a cómo puede observarse en los diagramas de la **ilustración 53**.

Ilustración 53.

Rosetas de fracturas y polos correspondientes a la falla Los Portillos.



Fuente: Elaboración Propia.

4.2.1.3. Falla El Salto

Esta estructura del tipo normal de rumbo **N10°W** se localiza dentro de la cuenca producida por el deslave del 30 de octubre de 1998 específicamente en las coordenadas **UTM 504030 E - 1400800 N** a una altitud de **692 m.s.n.m** al oeste de la Finca Bella Vista, los principales agentes cinemáticos presentes son fracturas conjugadas producto de esfuerzos compresivos y extensivos, fracturas en forma de cola de caballo y fracturas secundarias anastomadas relacionados a sistema de fallas normales. La presencia de sigmoides indica que el cuerpo rocoso ha sido sometido a rotación durante el movimiento de la falla además de proporcionar la dirección del movimiento de la misma. **Ilustración 54**

El cuerpo rocoso se encuentra totalmente fracturado debido a los diferentes esfuerzos a los que ha sido sometido, en la **Ilustración 55** se puede observar las direcciones preferenciales de las estructuras.

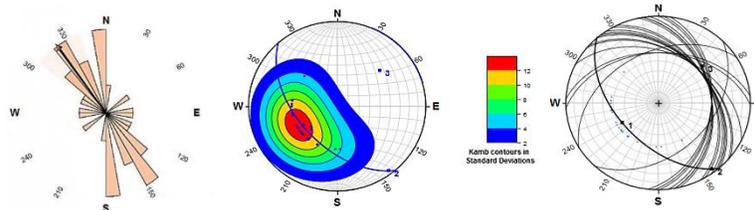
Ilustración 54.

Falla El Salto ubicado en la cuenca que dejó el deslave del 30 de oct. de 1998. Consta de una falla normal con presencia de fracturas anastomasadas y en cola de caballo; sigmoides rotados en dirección del desplazamiento.



Ilustración 55.

Roseta de fracturas y diagrama de polos representando las direcciones de las estructuras localizadas en El Salto.



Fuente: Elaboración Propia.

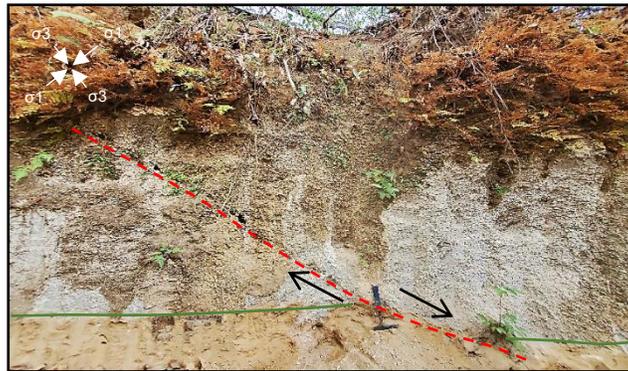
4.2.1.4. Fallas El Porvenir

Las estructuras se localizan en las coordenadas **UTM 512073 E – 1401537 N** a una altitud de **246 m.s.n.m** sobre el camino que va desde la comunidad Monte Olivo hasta la Hacienda El Porvenir ubicada en las faldas NE de la Caldera La Pelona, los depósitos afectados corresponden a la última pómez expulsada por erupciones plinianas realizadas por el centro volcánico de La Pelona. El afloramiento está completamente cortado hasta la superficie, por lo tanto, la estructura es más joven que el material desplazado el cual

corresponde a la pómez A. En la **Ilustración 56** se muestra la más representativa de la zona, las 2 fallas visualizadas tienen aproximadamente una distancia de 30 m entre ellas.

Ilustración 56.

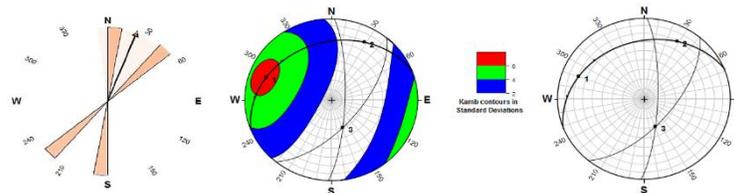
Falla normal desplazando los últimos depósitos expulsados por la Caldera La Pelona mediante erupciones plinianas de rumbo N2°E y un buzamiento de 77°NW



Estructuralmente la zona se rige mayormente por patrones estructurales de tendencia NE a como se puede visualizar en las rosetas de fracturas y diagrama de polos el cual se representa en escala de tres colores siendo el rojo la zona que posee mayor concentración de esfuerzos. **Ilustración 57**

Ilustración 57.

Roseta de fracturas y diagrama de polos de las fallas El Porvenir de tendencia NE



Fuente: Elaboración Propia.

4.2.1.5. Falla Las Fumarolas

La falla se localiza en el flanco NE del Volcán Casita en un campo fumarólico en las coordenadas **UTM 505252 E - 1402705 N** a una altitud de **1181 m.s.n.m** de rumbo N60°E con una extensión aproximada de 1.4 km, se encuentra cortando las rocas andesíticas de la unidad inferior del Casita. **Ilustración 58**

Debido a la alteración hidrotermal que afecta la zona por el cuerpo intrusivo, la roca se meteorizó casi por completo lo que impide poder ver con mayor claridad la existencia de agentes cinemáticos Esta estructura es del tipo normal, se estima que la liberación de gases se da mediante la abertura que provoca dicha falla y las fracturas presentes en la zona,

La presencia de esta falla y dos fracturas de tamaño considerable que le acompañan en la misma zona hace que el flanco NE del Volcán Casita se encuentre distorsionado con presencia de coronas de desplazamiento, cabe destacar que la alteración hidrotermal por la que es afectado el lugar también es un agente condicionante de la inestabilidad del terreno.

Ilustración 58.

Falla las fumarolas del tipo normal ubicada en la parte NE del Volcán Casita, dicha estructura permite el escape de vapor de agua y otros gases que genera el intrusivo que se encuentra en la zona.



4.2.1.6. Fallas La Hoyada

Las Fallas La Hoyada se encuentra localizada el flanco SE la estructura volcánica del Casita y La Pelona, específicamente el sector de la comunidad Juan José Briceno, entre las coordenadas **UTM 501888 E - 1395750 N** a 219 **m.s.n.m** en los bordes del cráter La Hoyada a la cual se le deduce su nombre. **Ilustración 59**

Esta falla contiene una buena expresión topográfica visual in situ e imágenes satelitales, lo que facilita su identificación y a nivel local y regional la cual se aprecia una

dirección preferencial concordantes a los sistemas de fallas relacionados a la Caldera La Pelona y el Volcán Casita, evidenciando que el esfuerzo máximo de esta falla tiene una orientación NE-SW

Las deformaciones frágiles ocurridas en la etapa inicial del movimiento, evidencian la dinámica estructural de la falla formando un sistema de estructuras menores de fallas en dominó de movimiento tipo normal, con orientación preferencial Noreste, buzando hacia SE. **Ilustración 60.**

Ilustración 59.

Conjunto de fallas normales sintéticas localizadas en los cráteres de la Hoyada desplazando los depósitos piroclásticos que componen la zona con desplazamientos de 0.3 m a 0.5 m.

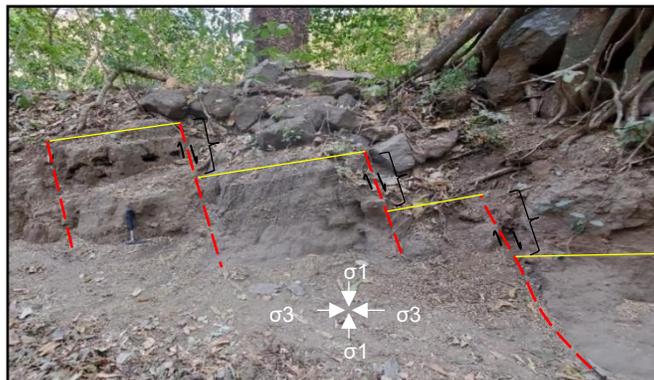
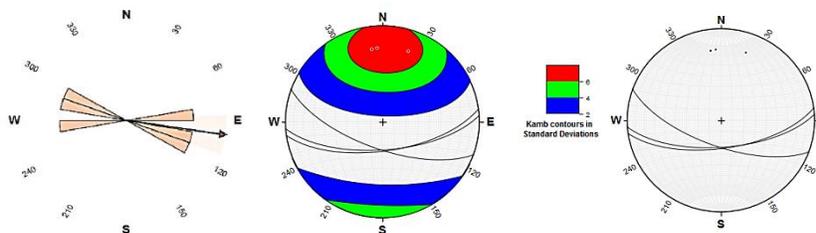


Ilustración 60.

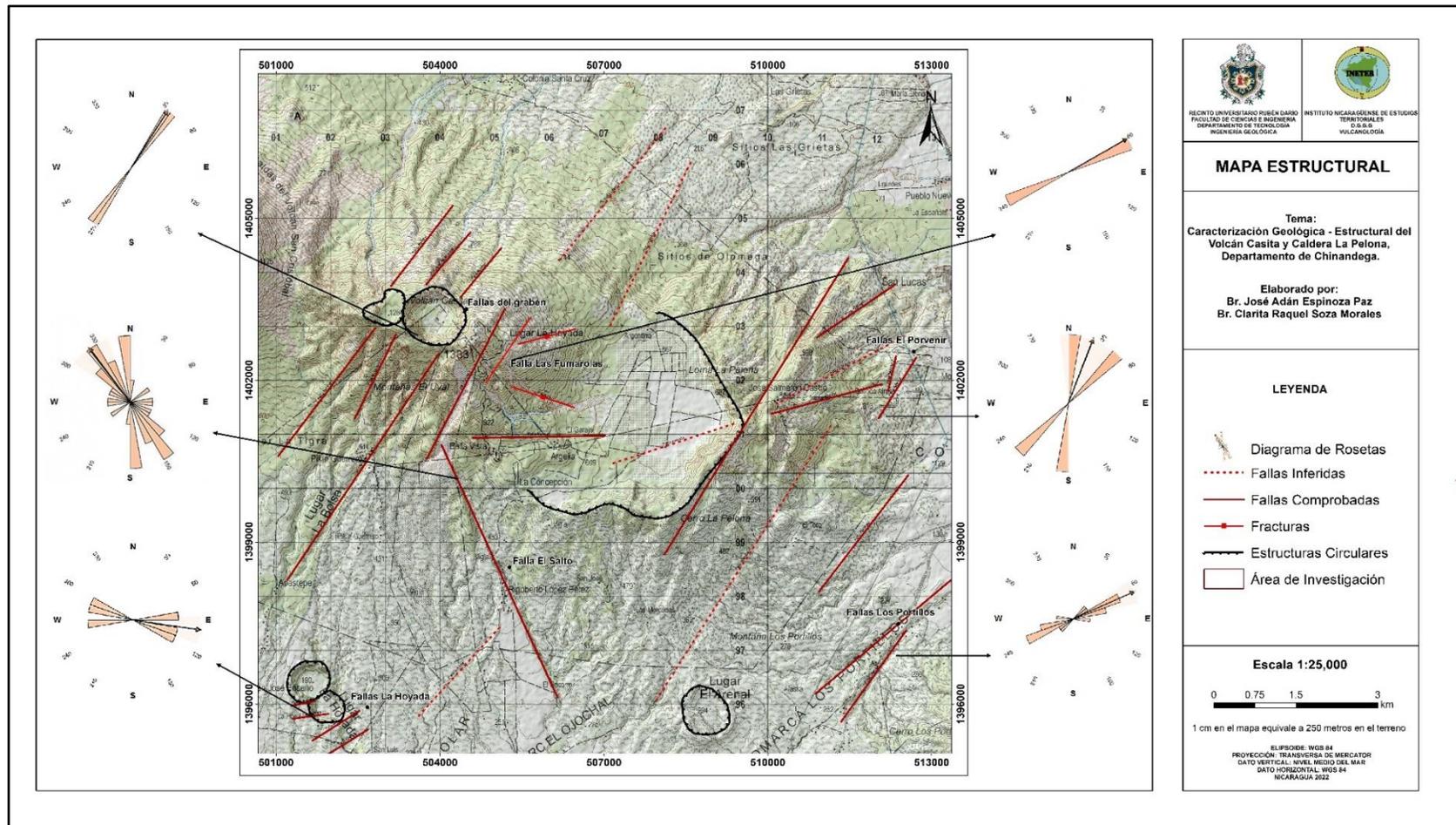
Roseta de fracturas y diagrama de polos de las fallas que atraviesan los cráteres de la Hoyada



Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 61.

Mapa estructural a escala 1: 25 000 del área investigada en el complejo volcánico San Cristóbal – Casita.



Fuente: Elaboración Propia.

Capítulo V

5.1. Conclusiones

En conclusión, los resultados obtenidos de la caracterización geológica – estructural del Volcán Casita y Caldera La Pelona se resume en lo siguiente:

La zona investigada con un total de **125.79 km²** en el complejo volcánico San Cristóbal – Casita se encuentra constituido por **catorce unidades litológicas** pertenecientes a las épocas del pleistoceno siendo estas principalmente los flujos de lava y pómez de la Caldera La Pelona, el cráter El Arenal y los flujos de lava y piroclastos expulsados por los cráteres de la Hoyada; mientras que los depósitos correspondiente a la época del cuaternario a la actualidad son los flujos lávicos del San Cristóbal y Casita, escorias, piroclastos, sedimentos fluviales - volcanoclásticos, coluvios y el más característico es el material detrítico y bloques que provocó el lahar del 30 de octubre de 1998.

Las unidades litológicas son las siguientes (a partir de la más reciente):

1. **Qal** - Unidad de depósitos aluviales y coluviales
2. **Hsvs** – Unidad volcano sedimentaria
3. **HsvcCa** - Unidad de sedimentos volcano-coluviales Casita
4. **HfeCa** - Unidad de flujo de escombros Casita
5. **HfsSC** - Unidad de flujo superior San Cristóbal
6. **HescCa** - Unidad de escorias Casita
7. **HfpCa** - Unidad de flujos piroclásticos Casita
8. **HsCa** - Unidad superior Casita
9. **HimCa** - Unidad medio inferior Casita
10. **HiCa** - Unidad inferior casita
11. **PfpHd** - Unidad flujos piroclásticos La Hoyada
12. **PArl** - Unidad El Arenal
13. **PpCP** - Unidad de pómez y flujo piroclástico Caldera La Pelona
14. **PfPp** - Unidad de flujo lávico La Pelona

Los flujos de lava del volcán Casita cubren la mayor parte de los depósitos de la Caldera la Pelona y sobre estos flujos se han depositado materiales sueltos como piroclastos y coluvios.

Las alteraciones hidrotermales que afectan la cumbre del Casita mediante las fumarolas ha desintegrando los cuerpos rocosos en arcillas, a causa de esto la sobresaturación de los suelos por las precipitaciones del huracán Mitch en 1998 y la influencia del fallamiento local convirtió el ambiente perfecto para desencadenar movimientos en masa; mediante la falta de cohesión de las partículas provocado por las precipitaciones abundantes más el grado de pendiente dieron lugar al desenlace del lahar que acabó con la vida de más de 2, 500 personas de las comunidades El Porvenir y Rolando Rodríguez, cabe destacar que dicha eventualidad es denominado un lahar del tipo secundario ya que fue generado por precipitaciones y no por una erupción volcánica.

Mediante el muestreo de campo y la interpretación de secciones delgadas se determinó la **evolución magmática** de la Caldera La Pelona al poseer un flujo de lava de basalto toleítico como el depósito más antiguo que se logró observar, posteriormente se localizan flujos de ceniza y pómez de composición entre dacita y riolita expulsados por erupciones plinianas que provocaron el colapso de la estructura volcánica, dentro del relicto volcánico nació el volcán Casita por lo tanto existe altas posibilidad de que este volcán también se abasteciera de magma por medio de la misma cámara magmática que le perteneció a la caldera, eso daría explicación a la actividad fumarólica que aún existe en la depresión de la caldera La Pelona.

Por medio del análisis estructural y la elaboración de rosetas de fracturas se logró determinar las direcciones preferenciales de los esfuerzos máximos (σ_1) y (σ_3) que afectan el área investigada siendo la de mayor distribución la fase NE – SW representada por una serie de fallas y fracturas localizadas tanto en el Casita como en la Caldera la Pelona a excepción de la falla que posee una dirección NW – SE. Se estima que el fallamiento más antiguo es el localizado sobre los depósitos de la Caldera La Pelona, pero el más característico de la zona investigada son las dos fallas del tipo normal que generaron un hundimiento justamente donde se ubica el cráter la Olla al cual **Hazlett (1977)** menciona que es provocado por tectónismo profundo.

Como resultado final de la investigación se exponen principalmente el **mapa geológico** (Ilustración 48), **mapa estructural** (Ilustración 60), **columna estratigráfica**

general (Ilustración 47) que representan toda la información recolectada en las distintas etapas que se desarrolló la investigación, las **columnas estratigráficas levantadas en campo** (Anexo – Ilustración 4) y un total de seis secciones delgadas que permitieron la clasificación de los diferentes flujos de lava que componen el área.

5.2. Recomendaciones

- Elaborar un levantamiento Geo-Estructural a escala 1: 10,000 para realizar un mapa Geológico-Estructural a mayor detalle.
- Realizar dataciones radiométricas para los flujos de lavas de La Caldera La Pelona y Volcán Casita, para fijar una edad absoluta y definir una correlación litoestratigráfica con las unidades geológica que conforman el área de estudio.
- Realizar análisis Geoquímico a las rocas de las unidades definidas, con el objetivo de determinar con mayor precisión la Genesis y cambios en la composición del tipo de roca en el área investigada.
- Elaborar análisis petrográfico a detalle a las unidades geológicas que no fueron posibles realizarse en el actual estudio.
- Ejecutar ensayos Geotécnicos de laboratorio para determinar el tipo de suelo y la capacidad portante de las rocas volcánicas in situ con el fin de realizar estudios de gestión y reducción del riesgo de desastres en las comunidades aledañas expuestas a zonas vulnerables ante remoción en masa de tierra.
- Efectuar estudios Geofísicos con el fin de determinar la existencia de nuevas estructuras volcánicas, como posibles intrusivos que no son posibles observar en superficie.

5.3. Bibliografía

- Barahona, T. & Mendoza, R. (1999). *Chinandega. El manejo de una reserva natural en un mundo de agricultores*. Recuperado el 2 de agosto del 2021, de: <http://repositorio.uca.edu.ni/4771>.
- Belousov, V. (1979). *Geología Estructural*. Traducido del Ruso por Llanos, V. Moscú./1/Chinandega.pdf
- Bernal, L., Pérez, R., & , P. N. (2018). El Mapa Geológico y su impacto social y económico. *La Habana: Instituto de Geología y Paleontología*.
- Bogie I, U. G. (2004). *The Casita Geothermal Field, Nicaragua*. Nueva Zelanda: Sinclair Knight Merz Ltd, PO Box 9086, Newmarket, Auckland.
- Bunduschuh, J. & Alvarado, G.E. (2007) Central America: geology, resources, hazards. vol. 1, London, Taylor & Francis, p. 663.
- Castro, A. (1989). *Petrografía Básica*. Recuperado el 14 de agosto del 2021, de: <https://fddocuments.ec/document/castro-dorado-1989-petrografia-basica-textura-clasificacion-y-nomenclatura-564766ec549e1.html>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). (2001). Evaluación del área del Volcán Casita – San Cristobal. Plan maestro geotérmico de Nicaragua (III).
- Coates, A. (ed.) 1997. Central America: a natural and cultural history. New Haven, Yale University Press. p.277.
- Di Marco, G., Baumgartner, P.O. & Channell, J.E.T. 1995. Late Cretaceous-Early Tertiary paleomagnetic data and a revised tectonostratigraphic subdivision of Costa Rica and western Panama. En: P. Mann (ed.), Geologic, and tectonic development of the Caribbean plate boundary in southern Central America. Geological Society of America Special Paper. Geological Society of America, Boulder, p. 1-27.
- Devoli, G., Cepeda, J., & Kerle, N. (2009). The 1998 Casita volcano flank failure revisited—new insights into geological setting and failure mechanisms. *Engineering geology*, 105(1-2), 65-83.
- De Vries, B. (2000). *Sector collapse forming at Casita volcano, Nicaragua*.

Fagginer Auer W. (1942). Resumen de la Paleontología del área de la Costa Pacífica. Nicaragua.

FAO (1996). *Ecología y Enseñanza Rural. Italia.*

Frischbutter, A., 2002. Structures of the Managua Graben, Nicaragua, from remote sensing images.

Garayar, Julio. (1971). Geología y depósitos de minerales de una parte de las mesas de Estelí, cordillera norte y montañas de Dipilto.

Gutiérrez M., (2008). *Geomorfología. Capítulo 3, Geomorfología, Tectónica.* Pearson Educación, S. A., Madrid.

Hazlett, R. (1987). *Geología del complejo volcánico San Cristóbal, Nicaragua.* J. Volc. Geotermal. Res 33: 222-227.

Hodgson, G., 2000. *Geología Regional de Nicaragua, Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua.*

Huaman., L. (2017). "Caracterización geológica, mineralógica y geoquímica de las alteraciones presentes en la concesión Julissa 2A Yanaquihua - Condesuyos, Arequipa. Arequipa, Perú.

Hunting Geology and Geophysics Ltd. (1971). *Side looking Radar Survey of Nicaragua.*

Kerle, N., de Vries, B. V. W., & Oppenheimer, C. (2003). New insight into the factors leading to the 1998 flank collapse and lahar disaster at Casita volcano, Nicaragua. *Bulletin of volcanology*, 65(5), 331-345.

Kuang, J., (1971). Estudio geológico del pacífico de Nicaragua.

McBirney, A & Williams, H., (1965). Volcanic History of Nicaragua. Berkeley and Los Angeles: University of California Publications in Geological Sciences. Volumen 55.

Oyarzun, R. & Doblas, M., (2007). *Fallas y zonas de cizalla* (Parte 1): aspectos generales.

Pérez, E. (2011). Determinación de la fertilidad en suelos del occidente de Nicaragua. Recuperado el 4 de agosto del 2021, de:

<https://www.monografias.com/trabajos95/determinacion-fertilidad-suelos-del-occidente-nicaragua/determinacion-fertilidad-suelos-del-occidente-nicaragua.shtml>.

RESOM-CICESE. (2017). *Los temblores y sus efectos*. Baja California, México. Recuperado el 4 de agosto del 2021, de: <http://resnom.cicese.mx/sitio/temblores>

Sampieri et al., (2014). *Metodología de la Investigación* (Quinta ed.). MCGRAW-HILL.

Scott, K. M., Vallance, J. W., Kerle, N., Luis Macías, J., Strauch, W., & Devoli, G. (2005). Catastrophic Precipitation-triggered lahar at Casita volcano, Nicaragua: Occurrence, bulking and transformation. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 30(1), 59-79.

Scott K., (2000). *Precipitation-triggered debris-flow at Casita Volcano, Nicaragua – implications for mitigation strategies in volcanic and tectonically active steeplands*.

Šebesta, J. (2000). *Desarrollo dinámico del relieve y riesgos geológicos de los Grupos Volcánicos San Cristóbal y Casita, Nicaragua*.

Silva, G; Mendoza, C & Campos, E. (2016). *Elementos de Cartografía Geológica* (Segunda Ed.). México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

Vallance, J. W., Schilling, S. P., Devoli, G., Reid, M. E., Howell, M. M., & Brien, D. L. (2004). *Amenazas de lahar en los Volcanes Casita y San Cristobal, Nicaragua. Informe de archivo abierto del Servicio Geológico de EE. UU. 1468*.

ANEXOS

Anexo 1. Puntos de estaciones realizadas en el área investigada.

Puntos	Código	x	y	z	Tipo de Roca
1	JC_CS01	505266	1402805	1195	Andesita
2	JC_CS02	505265	1402796	1198	Andesita
3	JC_CS03	505330	1402637	1170	Andesita
4	JC_CS04	505316	1402585	1168	Andesita
5	JC_CS05	504705	1403102	1303	Andesita
6	JC_CS06	504454	1402948	1276	Dacita - Riolita
7	JC_CS07	504898	1399838	559	Escorias - Gabro
8	JC_CS08	503958	1400592	663	Rodados
9	JC_CS09	504009	1400660	672	Conglomerado
10	JC_CS10	504043	1400709	682	Rodados
11	JC_CS11	504032	1400728	676	Rodados
12	JC_CS12	504026	1400762	680	Andesita
13	JC_CS13	504069	1401073	712	Andesita
14	JC_CS14	504095	1401116	746	Andesita
15	JC_CP01	507757	1402919	591	sedimentos volcánicos
16	JC_CP02	507471	1403253	619	Xenolito
17	JC_CP03	507377	1403273	624	Coluvios, obsidiana y cuarzo
18	JC_CP04	507360	1402285	623	Andesita
19	JC_CP05	507434	1403419	609	Andesita
20	JC_CP06	507437	1403454	594	Andesita
21	JC_CP07	507233	1403884	578	Andesita
22	JC_CP08	507168	1403981	575	Andesita
23	JC_CP09	510225	1401688	577	Latita
24	JC_CP10	509949	1402082	532	Pómez
25	JC_CP11	509763	1401889	561	Andesita
26	JC_CP12	509681	1401824	576	Andesita - pómez
27	JC_CP13	509979	1402035	535	Aluvial
28	JC_CP14	510106	1402122	517	Aluvial
29	JC_CP15	510605	1402416	596	Andesita
30	JC_CP16	511011	1401539	597	Andesita
31	JC_CP17	511011	1401539	383	Andesita
32	JC_CP18	511765	1396489	227	Escoria
33	JC_CP19	511910	1396754	221	Escoria - pómez
34	JC_CP20	509518	1405904	194	Andesita
35	JC_CP21	506847	1404811	496	Andesita
36	JC_CP22	506897	1404517	519	Andesita
37	JC_CP23	512859	1407037	36	Bloques
38	JC_CP24	513043	1403589	62	Pómez
39	JC_CP25	512966	1403217	117	Pómez
40	JC_CP26	511840	1403221	220	Andesita-pómez

Caracterización Geológica - Estructural del Volcán Casita y Caldera La Pelona

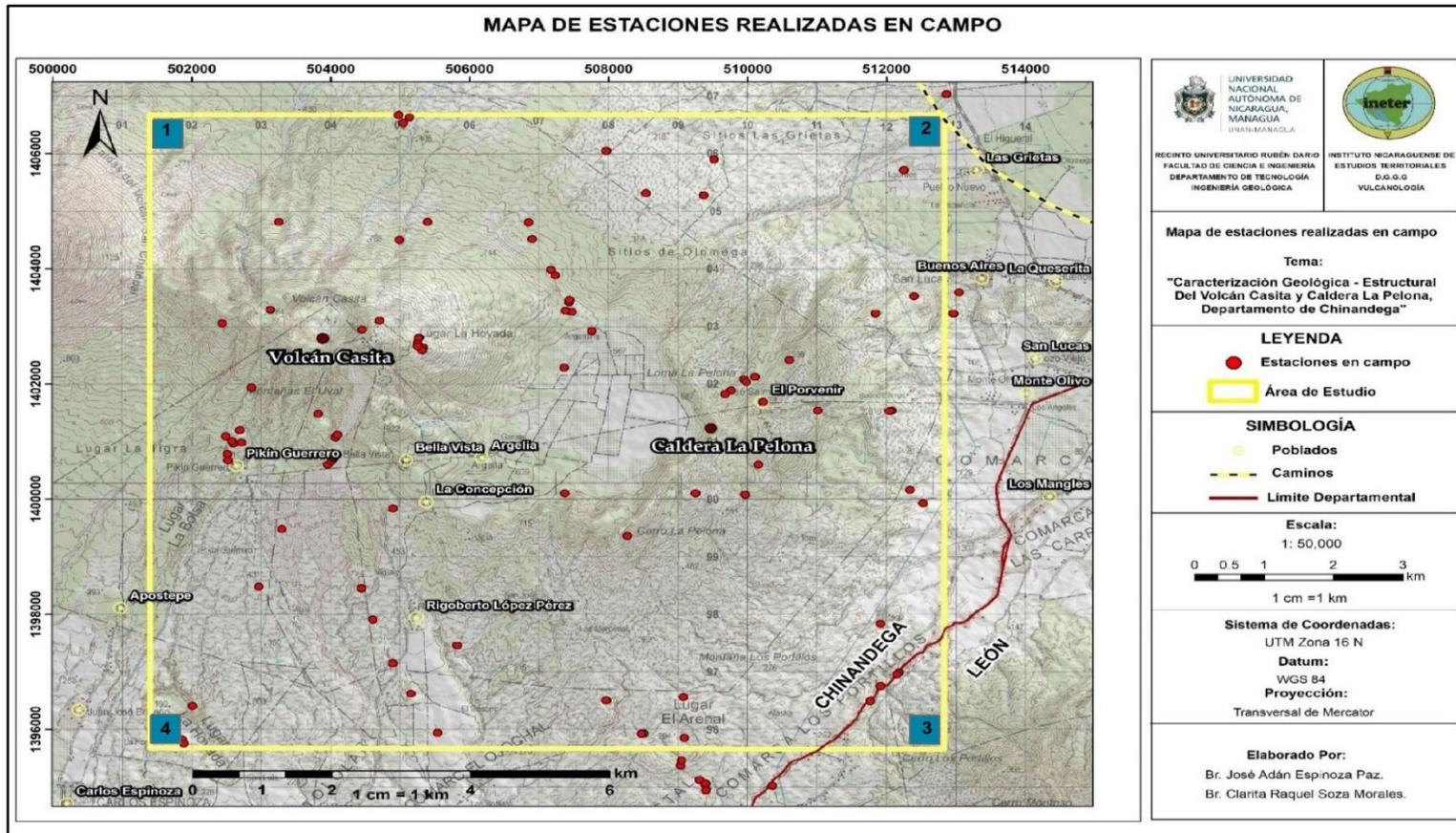
Puntos	Código	x	y	z	Tipo de Roca
41	JC_CP27	505133	1406632	347	Andesita
42	JC_CP28	505044	1406538	338	Andesita
43	JC_CP29	504976	1406668	0	Andesita
44	JC_CP30	512395	1403526	94	Latita
45	JC_CP31	512961	1403221	109	pómez
46	JC_AR01	512177	1396991	206	pómez
47	JC_CP32	512150	1396953	208	Escorias y pómez
48	JC_AR02	510359	1395025	233	Pómez
49	JC_AR03	509038	1395370	255	Latita
50	JC_AR04	509090	1395857	273	Aluvial
51	JC_AR05	509048	1395460	268	pómez
52	JC_AR06	508512	1395925	296	pómez
53	JC_AR07	508474	1395920	309	Ceniza
54	JC_AR08	509310	1395121	231	Aluvial
55	JC_AR09	509390	1395061	230	Aluvial
56	JC_AR10	509402	1394945	218	Escorias y pómez
57	JC_AR11	509380	1393986	195	Pómez
58	JC_HD01	501859	1395827	202	Piroclastos
59	JC_HD02	501888	1395750	219	Piroclastos
60	JC_CS15	502525	1400668	597	Coluviales
61	JC_CS16	502513	1400784	605	Coluviales
62	JC_CS17	502604	1400962	0	Coluviales
63	JC_CS18	502691	1401194	695	Coluviales
64	JC_CS19	502581	1401007	647	Piroclastos
65	JC_CS20	504920	1399857	557	
66	JC_SC01	502489	1401092	645	Andesita
67	JC_HD03	501219	1394485	248	Piroclastos
68	JC_SC02	502306	1406338	618	Basalto
69	JC_SC03	501303	1402648	842	Andesita
70	JC_SC04	501406	1403854	1083	Piroclastos
71	JC_SC05	502030	1404789	792	Piroclastos

Anexo 2. Secciones delgadas elaboradas.

Ubicación	Código Lab.	x	y	Z	Tipo de Roca
Volcán San Cristóbal	220010	501303	1402648	842	Basalto toleítico
Caldera La Pelona	220011	512395	1407926	94	Latita
Volcán Casita	220012	504454	1402447	1276	Andesita
Volcán Casita	220013	504705	1403102	1303	Andesita
Volcán Casita	220014	504920	1399857	557	Escoria Andesítica
Volcán Casita	220015	505266	1402805	1195	Andesita

Anexo 3.

Mapa de estaciones realizadas en campo



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 4.

Ficha de descripción petrográfica HfsSC - Unidad de flujo superior San Cristóbal.

FICHA			
Código de muestra			JC-SC03
Tipo de muestra	Muestra de mano selectiva.	Laboratorio	Cigeo/UNAN-Managua
Unidad geológica	HfsSC - Unidad de flujo superior San Cristóbal	Código de laboratorio	220010
Datos de ubicación			
Procedencia	Volcán San Cristóbal		
Coordenadas	502489 E 1401092 N		
Descripción microscópica			
Matriz	Hipocristalina		
Microtextura	Porfídica		
Componentes primarios			
Minerales	% Vol.	Formas	
Cuarzo	3	Euhedral	
Plagioclasa	50	Euhedral-Subhedral	
Olivino	10	Subhedral-anhedral	
Piroxenos	5	Subhedral-anhedral	
Anfibol	20	Subhedral	
Biotita	2	Subhedral	
Hornblenda	5	Subhedral	
Observaciones			
La roca ha sido clasificada como un basalto toleítico según resultados del análisis QAPF.			
Clasificación según QAPF	Basalto toleítico		
Origen	Flujo de lava del Volcán San Cristóbal		

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 5.

Ficha de descripción petrográfica HescCa - Unidad de escorias Casita.

FICHA			
Código de muestra			JC_CS20
Tipo de muestra	Muestra de mano selectiva.	Laboratorio	Cigeo/UNAN-Managua
Unidad geológica	HescCa - Unidad de escorias Casita	Código de laboratorio	220014
Datos de ubicación			
Procedencia	Volcán Casita		
Coordenadas	504920 E 1399857 N		
Descripción microscópica			
Matriz	Vitrea hipocristalina		
Microtextura	Vetrofirica		
Componentes primarios			
Minerales	% Vol.	Formas	
Cuarzo	5	euhedral	
Plagioclasa	25	Euhedrales a subhedrales	
Olivino	5	Subhedral/anhedral	
Piroxenos	5	subhedrales	
Anfibol	10	subhedrales	
Biotita	1	subhedrales	
Hornblenda	-		
Observaciones			
Los resultados de QAPF muestra que la roca está clasificada como andesita-basáltica, predominando fenocristales de Plg (sanidina) euhedrales.			
Clasificación según QAPF	Andesita - basáltica		
Origen	Escorias del Volcán Casita		

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 6.

Ficha de descripción petrográfica PfPp – Unidad de flujo lávico Pelona.

FICHA			
Código de muestra			JC_CP30
Tipo de muestra	Muestra de mano selectiva.	Laboratorio	Cigeo/UNAN-Managua
Unidad geológica	PfPp – Unidad de flujo lávico Pelona	Código de laboratorio	220011
Datos de ubicación			
Procedencia	Caldera La Pelona		
Coordenadas	512395 E 1403926 N		
Descripción microscópica			
Matriz	Porfídica		
Microtextura	Hipocristalina/Glomeroporfírica		
Componentes primarios			
Minerales	% Vol.	Formas	
Cuarzo	2	Subhedral	
Plagioclasa	35	Euhedral	
Olivino	5	Anhedral	
Piroxenos	10	Subhedral	
Anfibol	-		
Biotita	-		
Hornblenda	-		
Observaciones			
Plagioclasas zonadas y alteraciones de Fe. Intercrecimiento de olivino anhedral perpendicular a las plagioclasas. Olivinos fracturados de relieve alto textura aglomerática de piroxenos.			
Clasificación según QAPF	Latita		
Origen	Caldera La Pelona		

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 7.

Ficha de descripción petrográfica HiCa- Inferior Casita.

Fuente: Elaboración Propia.

FICHA			
Código de muestra			JC_CS01
Tipo de muestra	Muestra de mano seletiva.	Laboratorio	Cigeo/UNAN-Managua
Unidad geológica	HiCa- Inferior Casita	Código de laboratorio	220015
Datos de ubicación			
Procedencia	Volcán Casita		
Coordenadas	505266 E 1402805 N		
Descripción microscópica			
Matriz	Vitrofirica		
Microtextura	Hipocristalina		
Componentes primarios			
Minerales	% Vol.	Formas	
Cuarzo	5	Euhedral	
Plagioclasa	40	Euhedral a Subhedral	
Olivino	10	Subhedral	
Piroxenos	10	Subhedral	
Anfibol	20	Subhedral e anhedral	
Biotita	-		
Hornblenda	5	Subhedral	
Observaciones			
Andesita de plagioclasas con oxidaciones de hierro, textura Vitrofirica, crecimiento de fenocristales dentro de una matriz vitrea.			
Clasificación según QAPF	Andesita		
Origen	Volcán Casita		

Anexo 8.

Ficha de descripción petrográfica de la HsCa-Unidad superior Casita.

FICHA			
Código de muestra			JC_CS05
Tipo de muestra	Muestra de mano selectiva.	Laboratorio	Cigeo/UNAN-Managua
Unidad geológica	HsCa-Unidad superior Casita	Código de laboratorio	220013
Datos de ubicación			
Procedencia	Volcán Casita		
Coordenadas	504705 E 1403102 N		
Descripción microscópica			
Matriz	Porfídica hipocristalina		
Microtextura	Vitrofírica		
Componentes primarios			
Minerales	% Vol.	Formas	
Cuarzo	5	Subhedrales	
Plagioclasa	35	Euhedrales-subhedrales	
Olivino	10	Anhedrales	
Piroxenos	2	Subhedrales	
Anfibol	10	Subhedrales-anhedrales	
Biotita	-		
Hornblenda	2	Subhedrales	
Observaciones			
Crecimiento de fenocristales de plagioclasas predominante sobre matriz vítrea con oxidaciones de hierro. Corresponde a una andesita de plagioclasas.			
Clasificación según QAPF	Andesita		
Origen	Volcán Casita		

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 9.

Ficha de descripción petrográfica de la HimCa - Unidad medio inferior Casita.

Fuente: Elaboración Propia.

FICHA			
Código de muestra			JC_CS06
Tipo de muestra	Muestra de mano selectiva.	Laboratorio	Cigeo/UNAN-Managua
Unidad geológica	HimCa - Unidad medio inferior Casita:	Código de laboratorio	220012
Datos de ubicación			
Procedencia	Volcán Casita		
Coordenadas	504454 E 1402447 N		
Descripción microscópica			
Matriz	Porfídica		
Microtextura	Glomeroporfírica		
Componentes primarios			
Minerales	% Vol.	Formas	
Cuarzo	3	Euhedrales a subhedral	
Plagioclasa	40	Euhedrales a subhedral	
Olivino	10	Subhedral	
Piroxenos	2	Euhedrales	
Anfibol	10	Subhedral a anhedral	
Biotita	-		
Hornblenda	1	Subhedral	
Observaciones			
Textura glomeroporfírica con alto porcentaje de plagioclasas euhedrales a subhedral con zonaciones. Olivinos y anfíboles en menores a los 10% con formas subhedral. Matriz vítrea aprox. 30%.			
Clasificación según QAPF	Andesita-Basáltica.		
Origen	Volcán Casita.		