

**CARACTERIZACION GEOMORFOLÓGICA E IDENTIFICACIÓN DE LAS
GEOAMENAZAS POR VOLCANISMO SEDIMENTARIO EN EL SECTOR
OCCIDENTAL DEL VOLCAN SAN DIEGO, CANALETE, COLOMBIA.**



MARIA CAROLINA BARROS DE LA ESPRIELLA.

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
MONTERÍA – CÓRDOBA**

2021-I.

**CARACTERIZACION GEOMORFOLÓGICA E IDENTIFICACIÓN DE LAS
GEOAMENAZAS POR VOLCANISMO SEDIMENTARIO EN EL SECTOR
OCCIDENTAL DEL VOLCAN SAN DIEGO, CANALETE, COLOMBIA.**



MARIA CAROLINA BARROS DE LA ESPRIELLA.

**Trabajo de grado presentado, en la modalidad Trabajo de Investigación y/o Extensión,
como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Ambiental.**

Director (es)

ZORAYA YASQUINE MARTÍNEZ LARA, MSc. Geomorfología y Suelos.

DORIS MEJÍA ÁVILA, PhD. Ingeniería Geográfica.

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

MONTERÍA – CÓRDOBA

2021-I.

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del
proyecto, serán responsabilidad de los autores.**

Artículo 59, acuerdo N° 022 del 21 de febrero de 2018 del consejo superior.

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Dedicatorias:

A mí, por traerme hasta aquí.

Maria Carolina Barros de la Espriella.

Agradecimientos:

A mi Mayo: mi mamá, mi todo; gracias hoy y gracias siempre por tu amor, tu paciencia, tu esfuerzo y por inculcar en mí, aquellos valores que me han traído hasta aquí: valentía y perseverancia. ‘...después de todo que más te puedo pedir, si soy feliz, muy feliz’.

A mis hermanos, que son mi motor y mi motivación, por ser mis admiradores número 1 y por ser mi mayor ejemplo a seguir, por pilotear juntos cada pasito que damos.

Este camino estuvo lleno de valiosas personas que dejaron en mí, un pedacito de si:

A mi mejor amiga, Maira, por ese ‘nosotras podemos’ que me recargó la vida, por celebrar mis alegrías, pero sobre todo por quedarse conmigo cuando la vida se ha tornado difícil.

A mi tablita salvavidas en altamar, porque su cariño, su paciencia y sus capuccinos de vainilla me llenaron de combustible, gracias por siempre estar.

A mis amigos Eli y Miguel, por haber sido parte fundamental de este proyecto, pero en especial por mantenerse amigos por sobre todas las cosas; a Eli gracias por haberme llenado de optimismo y alegría y por regalarme un cupito en su familia que ya siento como mía; a mi mejor amigo, Migue, por ser el más feliz en mis días buenos y ayudarme a pilotear los días malos.

A mi amiga, Katheryn, por su valioso apoyo en la fase preliminar de este proyecto, pero sobre todo por su compañía en un largo camino.

A mis tutoras, Zoraya Martínez y Doris Mejía, por su paciencia y entrega, por hacer ameno el recorrido y por regalarme en cada tutoría la motivación y el conocimiento para avanzar.

Al ingeniero Elías Torreglosa, por su valioso apoyo en la fase de campo, por apoyarme de la manera más desinteresada y transparente.

A todas y cada una de las personas que hicieron posible la elaboración de este proyecto, desde la Sra. Astrid por prepararnos comida antes del campo, hasta nuestros guías y dueños de la finca Casa tabla por brindarnos el espacio para culminar con éxito este proyecto.

Pero por sobre todas las cosas, a Dios, por forjar mi sendero.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. OBJETIVOS.....	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECIFICOS:.....	17
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:.....	18
3.1. MARCO CONCEPTUAL:.....	18
3.1.1. Volcanismo sedimentario:.....	18
3.1.2. Sensores remotos y teledetección:.....	19
3.2.3. Aplicación de imágenes VANT en la cartografía:.....	19
3.1.4. Caracterización geomorfológica:.....	20
3.2. ANTECEDENTES.....	21
4. MATERIALES Y METODOS.....	27
4.1. AREA DE ESTUDIO.....	27
4.2. METODOLOGÍA.....	i
4.2.1. Etapa 1. Caracterización de rasgos geomorfológicos:.....	i
Etapa 2. Elaboración de cartografía geomorfológica:.....	iii
Etapa 3. Correlación de la información obtenida con el tipo de amenaza:.....	iv
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	5
5.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO:.....	5
5.2. CARACTERIZACIÓN DE RASGOS GEOMORFOLÓGICOS:.....	6
6. CARTOGRAFIA GEOMORFÓLOGICA.....	27
6.1. Unidad geomorfológica volcán de lodo San Diego – VsSD.....	28
6.3. Componentes geomorfológicos:.....	39
7. CORRELACION DE AMENAZAS.....	46
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	56

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Rangos adaptados en la jerarquización de la geomorfología basados en la metodología ITC. (SGC 2012)	ii
Tabla 2. Caracterización geomorfológica Volcán San Diego. Fuente: Este estudio.	6
Tabla 3. Grifos salpicaduras representativas. Fuente: Este estudio.	9
Tabla 4. Inventario de grifos clásicos. Fuente: Este estudio.	10
Tabla 5. Grifos burbujeadores representativos. Fuente: Este estudio.	13
Tabla 6. Inventario de grifos extintos. Fuente: Este estudio.	14
Tabla 7. Inventario de salsas. Fuente: Este estudio.	18
Tabla 8. Inventario de piscinas. Fuente: Este estudio.	21
Tabla 9. Jerarquización geomorfológica. Fuente: Este estudio.	27
Tabla 10. Descripción de subunidades. Fuente: Este estudio.	36
Tabla 11. Componentes geomorfológicos Volcán San Diego. Fuente: Este estudio.	39
Tabla 12. Correlación de amenazas. Fuente: Este estudio.	48
Anexo 1. Tabla 13. Inventario de grifos burbujeadores.	60
Anexo 2. Tabla 14. Inventario de grifos salpicaduras.	61
Anexo 3. Tabla 15. Inventario de salsas.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de jerarquización geomorfológica. (Carvajal 2012).....	21
Figura 2. Localización del sector occidental del Volcán de Lodo San Diego. Fuente: Este estudio.	i
Figura 3. Grifo salpicadura, visto desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: Este estudio.....	7
Figura 4. Fotografía de cráter de un grifo salpicadura. Fuente: Este estudio.	8
Figura 5. Grifo salpicadura. Fuente: Este estudio.	8
Figura 6. Grifo clásico visto desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: Este estudio.	9
Figura 7. Grifo clásico. Fuente: Este estudio.	11
Figura 8. Grifos burbujeadores que comparten base; amarillo: colada de flujo de lodo; azul: cráteres; naranja: base. Fuente: Este estudio.	12
Figura 9. Grifos burbujeadores que comparten base visto desde mosaico de imágenes VANT; amarillo: colada de flujo de lodo; azul: cráteres; naranja: base. Fuente: Este estudio.	13
Figura 10. Grifo extinto, imagen comparativa (a) Periodo de lluvias (noviembre 2019) (b) Periodo seco (marzo 2021). Fuente: Este estudio.	16
Figura 11. Grifo extinto visto desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: Este estudio.	16
Figura 12. Salsa vista de mosaico de imágenes VANT. Fuente: Este estudio.....	17
Figura 13. Salsas.: a. cráter de salsa; azul: cráter, amarillo: colada b. elevación promedio de las salsas; naranja: base.	18
Figura 14. Piscina observada desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: este estudio.....	19
Figura 15. Piscina ubicada al pie del grifo; azul: cráter de piscina pequeña.	20
Figura 16. Piscina aislada; rojo: cráter de piscina grande	20
Figura 17. Filtración multicrater con múltiples centros burbujeantes en su cráter; azul: cráter, naranja: base. Fuente: Este estudio.	22
Figura 18. Colada de flujo de lodo emitida por filtración multicrater. Fuente: Este estudio.....	23
Figura 19. Filtración multicrater vista desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: Este estudio.	24
Figura 20. Coladas de volcán de lodo San Diego: a. Colada antigua b. Colada intermedia. c. Colada reciente. Fuente: Este estudio.	26
Figura 21. Coladas de volcán de lodo San Diego: Azul: colada antigua; Amarillo: colada intermedia, Rojo: colada reciente. Fuente: Este estudio.....	26
Figura 22. Niveles de flujos de lodo identificados desde una imagen VANT. Fuente: CVS (2017).....	29
Figura 23. Surco en volcán San Diego. Fuente: Este estudio.	29
Figura 24. Conglomerado de grifos en sector occidental VS San Diego. Fuente: Este estudio.	30
Figura 25. Conglomerados de grifos vistos desde mosaico. Fuente: Este estudio,.....	31
Figura 26. Conglomerado de grifos burbujeadores y extintos vistos desde mosaico. Fuente: Este estudio.	32
Figura 27. Conglomerado de grifos en el sector occidental del VS San Diego visto desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: este estudio.....	32
Figura 28. Conglomerados de salsa vistos desde imagen VANT. CVS (2017)	33
Figura 29. Terreno cubierto por colada de lodo en sector occidental VS San Diego, visto desde imagen VANT. Fuente: Cvs (2017).....	34
Figura 30. Zona del sector occidental del VS San Diego con mayor cantidad de geoformas visto desde imagen VANT. Rojo: área de estudio, Verde: Zona de geoformas. Fuente: CVS (2017).	35
Figura 31. Área del volcán con mayor cantidad de geoformas. Fuente: Este estudio.....	35
Figura 32. Mapa de sub unidades geomorfológicas. Fuente: Este estudio.	38
Figura 33.. Cartografía geomorfológica volcán de lodo San Diego, la Lorenza. Fuente: Este estudio.	40
Figura 34. Zona 1: Componentes geomorfológicos del sector occidental del VS San Diego. Fuente: Este estudio.	41

Figura 35. Zona 2. Componentes geomorfológicos del sector occidental del VS San Diego. Fuente: Ese estudio.....	42
Figura 36. Zona 3. Componentes geomorfológicos del sector occidental del VS San Diego. Fuente: Ese estudio.....	43
Figura 37. Zona 4. Componentes geomorfológicos del sector occidental del VS San Diego. Fuente: Este estudio.	44
Figura 38. Zona 5. Componentes geomorfológicos del sector occidental del VS San Diego. Fuente: Este estudio.	45
Figura 39. Mapa de correlación de amenazas. Fuente: Este estudio.....	52
Figura 40. Mapa de correlación de amenazas. Fuente: Este estudio.....	52

RESUMEN.

En el municipio de Canalete - Córdoba, en el corregimiento La Lorenza, se aprecia un importante sistema volcánico sedimentario constituido por volcanes como el Palmar y San Diego, siendo el sector occidental del volcán San Diego considerado como área de estudio en la presente investigación, el objetivo principal del estudio fue caracterizar los rasgos geomorfológicos del sector con el fin de aportar información que favorezca en la identificación de amenazas por volcanismo sedimentario, dicho objetivo fue alcanzado mediante la interpretación y análisis de fotografías VANT por medio de SIG en conjunto con control de campo; este proyecto se trabajó a escala de 1:500 logrando detallar la mayor cantidad de geofomas posibles en la zona estudiada, dentro de las cuales se encontraron grifos, salsas, piscinas y filtraciones multicrater que pudieron ser correlacionadas con distintos tipos de amenaza permitiendo así determinar que la zona estudiada del volcán de lodo San Diego está relacionado con amenazas por expulsión de flujo y brecha de lodo e incendios.

Palabras clave: Geomorfología, volcanismo sedimentario, amenazas.

ABSTRACT.

In the municipality of Canalete - Córdoba, in the village of La Lorenza, there is an important sedimentary volcanic system made up of volcanoes such as Palmar and San Diego, the western sector of the San Diego volcano being considered as the study area in the present investigation, the main objective of the study was to characterize the geomorphological features of the sector in order to provide information that favors the identification of threats due to sedimentary volcanism, this objective was achieved through the interpretation and analysis of UAV photographs by means of GIS in conjunction with field control. ; This project was worked on at a scale of 1: 500, managing to detail as many geofoms as possible in the studied area, within which taps, sauces, pools and multicrater leaks were found that could be correlated with different types of threat, thus allowing to determine that the San Diego mud volcano area studied is associated with mud gap and flow ejection threats and fires.

Keywords: Geomorphology, mud volcanoes, geohazard.

1. INTRODUCCIÓN.

Los volcanes sedimentarios son geformas con expresión topográfica definida, generalmente compuestos por gas y lodo acompañado de material clástico y agua (Milkov 2000); el término volcanismo sedimentario engloba tres clases de volcanes: de lodo, de arena y las estructuras asociadas como escapes de agua o de gas. (Loon 2010).

Una erupción volcánica de lodo, gas y roca puede causar desde pérdidas económicas y grandes impactos ambientales hasta la pérdida de vidas humanas, aunque la predicción de estas erupciones es una actividad remota e imprecisa aún, las consecuencias son bastante previsibles y pueden ser mitigadas si se aplican los estudios adecuados que permitan el conocimiento del fenómeno y la ordenación del territorio.

Gómez (2006), menciona que la amenaza se define como la presencia de un evento natural o antropogénico, potencialmente destructivo en un momento determinado y en un lugar específico, partiendo de esto, el volcanismo sedimentario -VS- mantiene una relación estrecha con la ocurrencia de amenazas como incendios, sepultamiento del terreno por expulsión de flujo y/o brecha de lodo, entre otros.

Reportes a nivel nacional e internacional informan daños ocasionados a la salud humana e infraestructura debido a la actividad eruptiva del VS; el volcán de lodo Piparo en Trinidad y Tobago ha generado grandes daños estructurales como agrietamiento de carreteras y destrucción de viviendas (López 2019), en otras partes del mundo, como Azerbaiyán, se han documentado erupciones violentas que alcanzan alturas de hasta 300 metros (Periódico Actualidad RT 2018) y distancias de hasta 1,5 ha (Picallo 2018).

Este fenómeno es frecuente en la región caribe colombiana y ha sido estudiado por diferentes investigadores y por el Servicio Geológico Colombiano (SGC). En La Lorenza, vereda ubicada en Canalete – Córdoba, se encuentra el volcán San Diego, el cual ha registrado 6 erupciones desde el año 1976 ubicando el último registro en el 2017 (SGC 2018), sin embargo, según informa el periódico local La Razón (2020) se ha presentado actividad reciente en junio del año 2020.

Pese a que existe un importante número de investigaciones en el Caribe Colombiano en el tema de VS, la mayoría se encuentran desactualizados con relación a los adelantos internacionales en temas como, por ejemplo, la información geomorfológica de los sistemas volcánicos de este tipo y la relación que presenta con la identificación de amenazas.

El hecho de que la información disponible sea limitada restringe la evaluación de este tema a un nivel preliminar dejando por fuera muchos factores determinantes en la gestión territorial que al no ser estudiados limitan la efectividad del esquema de ordenamiento territorial (EOT) del sector y del plan de gestión del riesgo de la zona (SGC 2018).

Lo anterior hace necesario la formulación de estudios que permitan, además de incrementar el conocimiento en el tema, estandarizar la información conforme al lenguaje y los referentes internacionales en la materia, es importante incluir herramientas que optimicen la formulación de dichos estudios, como el uso de sistemas de información geográfica -SIG-.

La mayoría de los estudios de amenazas por volcanismo sedimentario se soportan en una base geomorfológica detallada que favorece el análisis de los materiales que están siendo extruidos, su relación con la actividad y geodinámica volcánica, así como la disposición de estos en el territorio. El SGC (2018) indica que la base geomorfológica para la identificación de amenazas se fundamenta en la evaluación de factores de susceptibilidad como flujos de lodo, fracturamiento, incendios y lanzamiento de bloques.

El volcán sedimentario San Diego no contaba con información cartográfica que relacionase las diferentes geoformas con sus potenciales amenazas, esta es una situación que dificulta la elaboración de documentos como planes de ordenamiento territorial o de gestión del riesgo que permitan proveer información tanto de los posibles peligros asociados al volcán como su uso apropiado, la limitada información generó la necesidad de obtener insumos que presentaran datos detallados que pudiesen, en un futuro, servir de fundamento en la elaboración de zonificación de amenazas, partiendo de esto se decidió caracterizar las geoformas encontradas en el sector occidental del volcán San Diego lo cual, además, permitió identificar las posibles amenazas asociadas.

Con el fin de cumplir a cabalidad con los objetivos trazados se ajustaron algunos detalles propuestos inicialmente, en marzo del año en curso las medidas implementadas en el marco de la situación COVID-19 se flexibilizaron al interior del país y permitieron realizar una visita de control de campo que facilitó la verificación y adaptación de la caracterización de rasgos geomorfológicos de conformidad con el estado actual del área de estudio, una vez realizado el control de campo se determinó que la escala ideal para trabajar a este nivel de detalle sería de 1:500. Así mismo, se lograron optimizar los resultados obtenidos en el objetivo ‘Realizar la cartografía geomorfológica detallada del sector occidental del volcán sedimentario San Diego’ gracias al aporte de imágenes de dron de la zona por parte de la Corporación Autónoma regional de los Valles del Sinú y del San Jorge.

Es importante mencionar que este proyecto se realizó paralelo al estudio de Herazo y Torreglosa (2021) ‘Caracterización geomorfológica y correlación con el tipo de amenazas por volcanismo sedimentario en el sector nororiental del volcán San Diego’ con el fin de, a futuro, impartir información relacionada sobre toda el área del volcán sedimentario San Diego, en la presente investigación solo se toma en cuenta el sector occidental, el cual comprende un área de 3.3 hectáreas.

2. OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Caracterizar los rasgos geomorfológicos del sector occidental del volcán San Diego, La Lorenza; con el fin de aportar información que favorezca la identificación de las amenazas por volcanismo sedimentario.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Caracterizar los rasgos geomorfológicos como respiraderos, filtraciones y depósitos, en el volcán San Diego, sector La Lorenza, Canalete.
2. Realizar la cartografía geomorfológica detallada del sector occidental del volcán sedimentario San Diego
3. Identificar y correlacionar las amenazas por volcanismo sedimentario de conformidad con las geoformas cartografiadas

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:

3.1.MARCO CONCEPTUAL:

3.1.1. Volcanismo sedimentario:

De acuerdo con el SGC (2017), el volcanismo sedimentario se constituye como una de las manifestaciones del fenómeno denominado diapirismo de lodo.

Kopf (2002) indica que el diapirismo de lodo es un proceso de deformación generado por el empuje de materiales finos de características plásticas presurizados en profundidad que migran desde zonas de altas a bajas presiones por el efecto de la diferencia de densidades entre estos materiales y la cobertera superior, ahora bien, cuando estos materiales se emplazan y se mantienen confinados en profundidad, deformando la secuencia de rocas suprayacentes, se denominan diapiros de lodo, sin embargo, si los materiales diapíricos que salen a la superficie a través de fracturas o fallas toman el nombre de volcanes sedimentarios ya sea de lodo, gas o arena, de acuerdo con lo estipulado por Loon (2010).

Dicho esto, los volcanes de lodo sedimentarios son manifestaciones superficiales del fluido dentro de las cuencas sedimentarias de hidrocarburos (Etiope et al. 2004). El termino es asociado frecuentemente a un edificio en construcción, la morfología de este depende de aspectos como la viscosidad, densidad, y volumen del fluido expulsado (Kopf 2002), las estructuras por medio de las cuales es transportado y expulsado dicho material se denominan filtraciones; a nivel internacional se reconocen tres tipos de

filtraciones asociadas al fenómeno de VS, estas son: grifos, salsas, piscinas. (Mazzini et. Al 2017).

Si bien este tipo de volcanes comparten similitudes en cuanto a apariencia y comportamiento con el volcanismo magmático, estos son sistemas totalmente distintos, siendo la diferencia principal el material que emite cada uno, por un lado, en el volcanismo magmático se emite esencialmente lava, mientras que, en el volcanismo sedimentario encontramos extrusión de materiales como lodo, agua y gases.

Aunque los volcanes sedimentarios pueden llegar a arrojar llamas a grandes alturas esto se debe principalmente a la presencia de gases inflamables y no a las llamas emanadas por la lava como es el caso de los volcanes magmáticos. (Antony Jhosep 2017)

3.1.2. Sensores remotos y teledetección:

Los sensores remotos son sistemas o instrumentos para captar información de un objeto a distancia. La teledetección o percepción remota se refiere a la adquisición de datos de la superficie terrestre con un sensor remoto, y al procesamiento e interpretación de esos datos.

En la actualidad, la interacción de los datos obtenidos con sensores remotos en un Sistema de Información Geográfica (SIG) produce un banco de datos multivariados y multitemporales que posibilitan una configuración numérica del paisaje, lo que nos permite tener una representación digital del terreno (Sacristan. F. 2006).

3.2.3. Aplicación de imágenes VANT en la cartografía:

Las imágenes VANT (también conocidas como imágenes UAV o fotografías de dron) son cada vez más utilizadas en el campo de la cartografía cuando se requiere trabajar a escalas con gran nivel de detalle, en especial en la planificación territorial (García 2015), debido a que gracias a la aplicación de la herramienta dron en la obtención de imágenes es posible captar fotografías de sitios

remotos o de difícil acceso, además de la agilidad en la captura de los datos, la precisión y la resolución de las imágenes, existen ventajas sobre las condiciones climatológicas debido a que la captura de datos no suele verse afectada por la nubosidad porque el vehículo dron vuela por debajo de las nubes. (Nieto 2014).

Hasta hace poco, la elaboración de cartografía dependía esencialmente de la obtención de imágenes satelitales que no siempre cubrían la necesidad requerida por completo, la implementación de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) en la cartografía ha facilitado la obtención de datos, no solo con la reducción del tiempo de procesamiento si no, además, ofreciendo altas resoluciones. (Gonzales et Al. 2017).

La plataforma de formación Dronity (2021) sintetiza la elaboración de cartografía con este tipo de imágenes, en tres etapas esenciales.

1. Planificación del vuelo: La planificación del vuelo se realiza de conformidad con los requerimientos de la cartografía a elaborar, en esta etapa se debe tener en cuenta el área y altura de vuelo, a que se resolución se requieren las imágenes, y puntos de despegue y aterrizaje.
2. Ejecución del vuelo: En esta etapa se realiza el proceso de captura de imagen.
3. Procesamiento de la imagen: Se seleccionan las imágenes a trabajar y el software que realizará el procesamiento, con el cual se pretende obtener un orto mosaico de la zona.

3.1.4. Caracterización geomorfológica:

La cartografía geomorfológica busca registrar información de las formas del terreno, los materiales que la constituyen y los procesos que la afectan, de manera que esta pueda permitir la reconstrucción de la historia de la zona de estudio. El SGC ha adaptado la metodología ITC y en base a esta propone una jerarquización geomorfológica que permite definir y analizar la evolución

geomorfológica del área a estudiar dependiendo de la escala de trabajo. (Carvajal, 2012).



Figura 1. Esquema de jerarquización geomorfológica. (Carvajal 2012)

1. Unidad: Se define como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomórfico constructivo o destructivo típico de un dado ambiente morfogénico y como unidad geomorfológica básica cartografiable. (SGC 2012).
2. Subunidad: Las subunidades al ser una subdivisión de la unidad geomorfológica, se clasifican de acuerdo con los contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición de éstos con la correspondiente topografía del terreno (Carvajal, 2012)
3. Componente: Representa el máximo nivel detalle, abarca los rasgos del relieve (escarpes naturales o antropogénicos, relieves internos de laderas o flancos crestas, formas de valle, etc.) definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada del terreno en una subunidad geomorfológica; también puede estar definida por micro relieves asociados a una característica litológica (SGC 2012).

3.2. ANTECEDENTES.

A nivel internacional, existen adelantos científicos que estudian el Volcanismo Sedimentario -VS-, sus procesos internos y su funcionamiento. Este fenómeno fue estudiado por primera vez por

científicos rusos y azerbaiyanos principalmente en relación con su aparición en provincias de hidrocarburos (Roberts 2011).

Flowler (2000) y Yusifov (2003) presentaron esquemas de clasificación para VS definidos por la morfología y su relación con el estilo eruptivo, por ejemplo, en función de su estilo eruptivo, se describen como de tipo: explosivo, efusivo, flujo efusivo y extrusivo y en relación a su morfología se clasifican como de tipo Lökbatan, que es un volcán de lodo -VL- de carácter explosivo, tipo Chikishlyar, presenta actividad tranquila y relativamente débil pero continua, y de tipo Sehugin, en este tipo de VL los periodos eruptivos son reemplazados por actividad débil.

La terminología asociada para describir los tipos de filtración es descrita por Etiope y Giuseppe (2015) quienes, además, estudian los orígenes de los gases expulsados y la importancia de la filtración en relación con el medio ambiente e indican que el término filtración debe ser usado para indicar una fuente puntual. Así mismo, Mazzini y Etiope (2017), clasifican las características de las diferentes filtraciones reconociendo en general tres tipos: grifos, piscinas y lagos salsa.

→ Grifos: Los grifos son rasgos positivos de forma cónica, donde el gas, el agua, el petróleo y el lodo se expulsan continuamente con densidad y volumen variables. Se podrían identificar tres tipos diferentes de grifos, dependiendo de las cantidades de: agua, gas, sedimento / brecha de lodo expulsado, denominados salpicaduras, burbujeadores y grifos clásticos.

→ Piscinas: Son estructuras sub-circulares sin o con poca elevación, su diámetro varía entre unos centímetros hasta alrededor de un metro y de poca profundidad. Estas filtraciones producen una liberación continua de gas y agua acompañada con una pequeña cantidad de grano fino.

→ Lagos salsa: Estructuras de forma sub-circular donde se produce la filtración de gas, agua y lodo, estas geoformas pueden alcanzar decenas de metros de diámetro y varios metros de profundidad.

Cabe mencionar que, en Colombia, las investigaciones por parte del SGC han clasificado estas geoformas como ‘bocas’ o manaderos de lodo de conformidad con lo propuesto por Carvajal (1997), de la siguiente forma:

→ Tipo A: Cono con pendiente $> 20^\circ$

→ Tipo B: Cono con pendiente de $5 - 20^\circ$

→ Tipo C: Cono con pendiente $< 5^\circ$

→ Tipo D: Formas de caldera - Cráter de varios m de diámetro.

→ Tipo O: Huecos o cráteres de pocos cm de diámetro

Sin embargo, para esta investigación se tiene en cuenta la clasificación indicada por Mazzini y Etiope (2017) mencionada anteriormente.

De acuerdo con lo descrito por Carvajal (2017) los peligros asociados a la erupción violenta de este tipo de volcanes se relacionan con la ocurrencia de expulsión violenta de lodos y/o de bloques, fracturamiento de terreno, expulsión de gases y generación de incendios.

En el área de estudio se han reportado distintos eventos eruptivos, que han sido documentados por el SGC y la CVS a través de informes técnicos en los cuales se indican que algunos de estos eventos han llegado a alcanzar hasta 10m de altura y recubierto el terreno con material en hasta 100 m de distancia del centro de emisión.

Cabe resaltar que INGEOMINAS (2001) realizó aportes de la amenaza por VS en este sitio y se determinó que generalmente estaba asociada a la emisión de lodos y a la generación de incendios por la emanación de gases.

En el estudio de la geomorfología del VS y su relación con las amenazas se deben incluir herramientas que optimicen el trabajo, además de ahorrar tiempo, el uso de los SIG, facilita la evaluación de diferentes estrategias de desarrollo, y mediante la combinación de diferentes fuentes de información, un SIG puede descubrir información nueva y valiosa sobre los riesgos, que permita ayudar a los planificadores a evaluar el impacto de las amenazas en actividades de desarrollo existente y propuestas (Maskrey, A. 1998).

Una herramienta valiosa que se complementa con el uso de los Sistemas de Información Geográfica es el levantamiento geomorfológico que proporciona información de los procesos geomorfológicos, de las formas resultantes y los fenómenos naturales asociados (Aceves et al. 2016), la cartografía geomorfológica comprende un grupo de técnicas que permite la evaluación del terreno, que considera aspectos como las formas (morfología), los procesos y agentes formadores, así como los materiales que constituyen el relieve de la superficie de la Tierra.

La geomorfología volcánica es esencial en la evaluación de riesgos mediante la zonificación de peligros geomórficos y zonificación de riesgos, debido a que contribuye en la reconstrucción de etapas de crecimiento de los volcanes y evalúan los efectos de la topografía sobre el transporte y deposición de los flujos volcánicos (Thouret 1999)

Serra et al (2019) para la Universidad Nacional de Catamarca en Argentina aplicaron sistemas de teledetección en el mapeo geomorfológico de los volcanes de la cuenca alta del río Chaschuil, e identificaron geoformas volcánicas que se ubican en el centro y oeste de la cuenca. La aplicación del procesamiento digital de imágenes satelitales resultó ser una herramienta óptima para el estudio de estructuras volcánicas, facilitando su delimitación y clasificación.

Roberts et al. (2017), aplicaron el uso de sensores remotos para la identificación de las geoformas y las estructuras tectónicas en un complejo de volcanes de lodo en Azerbaiyán, y en el volcán de lodo de Lusi, Java Oriental; los análisis de teledetección se realizaron con el software Arc-Gis, incorporando imágenes aéreas y satelitales (resolución de 0,5-6 m; imágenes IKONOS y CRISP), así como también con el software Google Earth (Roberts et al, 2017).

En México, se llevó a cabo la caracterización geomorfológica del complejo de volcanes magmáticos del Nevado de Toluca y San Antonio, el mapeo geomorfológico en esta zona permitió identificar unidades geomorfológicas como domos, laderas, cimas, valles, entre otros (Espinoza 2013), por otro lado, en Ecuador, gracias a la actualización de la cartografía geomorfología se lograron identificar unidades geomorfológicas que no estaban dentro de la caracterización previa, una de estas unidades fueron flancos de volcán por vertientes y flujo piroclástico, partiendo de la cartografía actualizada se procedió a realizar una zonificación de amenazas donde se determinó grado de amenaza para deslizamientos y caída de roca. (Segovia 2017), estos estudios resultan ser de utilidad en el desarrollo de esta investigación por cuestiones de metodología puesto que, en el volcanismo sedimentario el mapeo geomorfológico también permite la identificación de unidades, subunidades y componentes geomorfológicos propias del fenómeno.

Vélez (2020) identificó las características geomorfológicas y eventos aluviónicos de la cuenca Occoruruni, en Puno, Perú, utilizando imágenes satelitales e imágenes VANT, logrando identificar y clasificar dos sistemas geomorfológicos de origen glaciar, denudacional y agradacional, en donde están enmarcados las unidades geomorfológicas como: montañoso, colinoso y planicies, depósitos de origen fluvio-glaciar y antrópico, además

determinó que, las características sedimentológicas de la cuenca Occoruruni son de tipo glaciar, fluvial y aluvial.

En el caribe colombiano, Martínez et. Al (2019) identificaron las características morfológicas del VL 'el Totumo' en el departamento de Bolívar, mediante el análisis de las imágenes Landsat y la elaboración de perfiles topográficos en dirección N-S y E-W en al menos 3 sectores del domo de lodo. Además, se utilizaron imágenes VANT que permitieron la identificación de las geoformas producidas por la filtración de lodo. La geoforma de mejor identificación con el uso de sensores remotos fueron las coladas de brecha de lodo, estas son material emitido por la filtración constituido por lodo y materiales clásticos, adyacentes a los lagos salsa por su forma distal lobulada y alta reflectancia.

4. MATERIALES Y METODOS.

4.1. AREA DE ESTUDIO.

El área de estudio corresponde al sector occidental del volcán sedimentario ‘San Diego’ en el corregimiento de la Lorena, se encuentra localizado 5.7 km al SE del casco urbano del municipio de Canalete en el departamento de Córdoba (Figura 2).

El área de estudio presenta distintos tipos de filtraciones con características muy particulares, se encuentra en una ubicación accesible, además, el inventario de actividad resumido en la tabla 1, que indica que se han presentado erupciones importantes en los últimos 50 años demuestra la importancia de prestar especial atención a esta área del sistema volcánico del sector La Lorena.

Tabla 1. Inventario de eventos, Volcán San Diego. Fuente: Informes técnicos SGC.

FECHA DE EVENTO	GENERALIDADES
<i>Octubre de 1976</i>	Expulsión de lodos, no existe registros asociados a este evento ni a las características de la erupción.
<i>Marzo 9 de 1992</i>	Erupción de tipo explosivo, se registra expulsión de material semi-consolidado unos 20-25 m de altura y emisión de gas (metano) el cual hizo combustión y ocasiono la quema de pastos y árboles en un área de 300m
<i>Diciembre 13 de 2001</i>	Erupción de tipo explosiva que ocasionó la deformación del terreno con grietas radiales desde el centro del cráter provocando daños a la carretera en la zona norte del volcán en un tramo de 200 m.
<i>Agosto 26 de 2008</i>	Expulsión de lodos, no existe registros de las características de la erupción.
<i>Diciembre 5 de 2017</i>	Erupción no explosiva, se registra expulsión de 3000m ³ de lodo. SGC (2017) indica que el material extruido en este evento corresponde a arcillas grises claras de baja densidad.
<i>Junio 22 de 2020</i>	No se tiene registro de las características eruptivas.

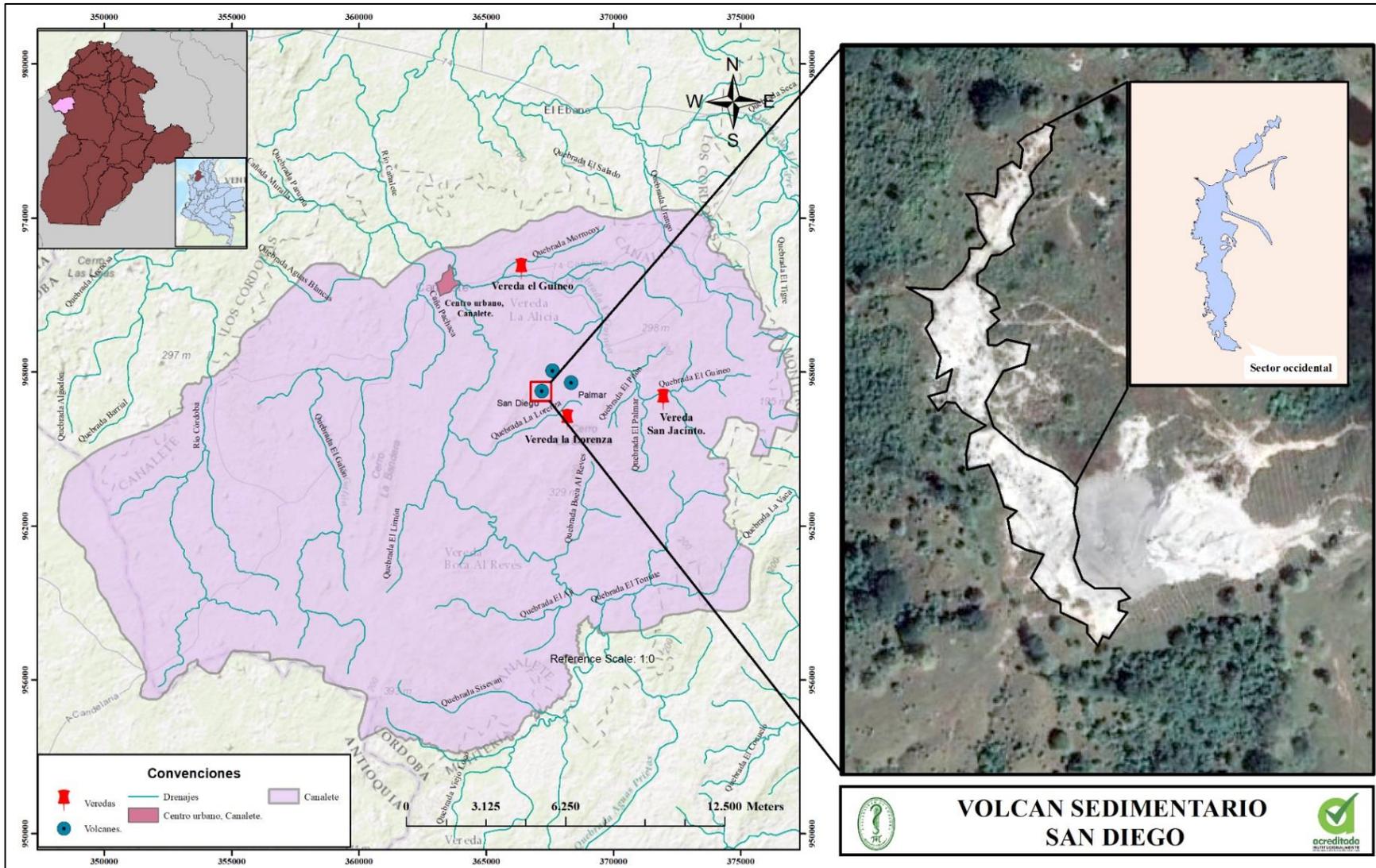


Figura 2. Localización del sector occidental del Volcán de Lodo San Diego. Fuente: Este estudio.

4.2. METODOLOGÍA.

El desarrollo metodológico de la investigación comprendió, además de la continua búsqueda de antecedentes, tres etapas descritas a continuación:

4.2.1. Etapa 1. Caracterización de rasgos geomorfológicos:

La primera etapa de la investigación, a su vez, se desarrolló, en dos fases:

1. Delimitación de rasgos geomorfológicos y elaboración de cartografía preliminar: Para elaboración de la cartografía preliminar se hizo uso de imágenes VANT tomadas en el año 2017 por la Corporación autónoma regional de los Valles del Sinú y del San Jorge -CVS-, luego de una extensa revisión se seleccionaron las imágenes adecuadas y se procedió a realizar un mosaico de éstas, para así obtener una sola imagen que comprendiera toda el área a trabajar. El programa utilizado fue Adobe Photoshop 2021.

Una vez se obtuvo el mosaico se procedió a geo-referenciar la imagen en el programa ArcMap 10.8, ya con la imagen geo-referenciada, en el mismo software se procedió a delimitar los rasgos geomorfológicos a tener en cuenta: piscinas, salsas, grifos (clásticos, burbujeadores, salpicaduras y extintos), coladas, entre otros; para la clasificación de los rasgos encontrados se adoptaron los rangos establecidos por el SGC (2012) en el documento '*Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*'.

Tabla 1. Rangos adaptados en la jerarquización de la geomorfología basados en la metodología ITC. (SGC 2012)

Geomorfo-estructura	Provincia	Región	Unidades	Subunidades	Componentes
Sistema orogénico costero y márgenes continentales	Cinturón montañoso del Sinú	Ambiente volcanismo sedimentario.	Volcán sedimentario San Diego,	Conglomerado de grifos	Grifo clásico
					Grifo burbujeador
					Grifo salpicadura
				Conglomerado de salsas	Salsa
				Piscinas	Piscina
				Colada	Colada reciente
					Colada intermedia
					Colada Antigua.

Para la interpretación de los rasgos de estas geoformas en la imagen, se tuvieron en cuenta las clasificaciones de Mazzini y Etópe (2017) y Roberts (2011).

1. Grifos: Se clasificaron como grifos aquellas filtraciones que presentaron rasgos positivos de forma cónica.

Estos a su vez se subclasificaron en tres: *Salpicaduras*, aquellos donde no se observó la presencia de lodo y donde se pudo observar cráteres de muy pequeño tamaño; *burbujeadores*, aquellos donde se observó presencia de lodo acompañado de cráteres relativamente más grandes, y *clásticos*, aquellos en los que se pudo apreciar material más denso alrededor de la geoforma.

2. Salsas: Se clasificaron como salsa aquellas filtraciones sub-circulares de poca elevación en las que se pudo observar gran cantidad de lodo a su alrededor.
3. Piscinas: Se clasificaron como piscinas aquellas filtraciones sub-circulares de nula elevación, que no presentaban material alrededor, sin embargo, dentro de su cráter se podía observar la presencia de agua.
4. Conglomerados: Se clasificaron como conglomerados aquellas zonas donde se observó la predominancia de geoformas de un mismo tipo, ya fuesen salsas o grifos.
5. Coladas: Geoformas de acumulación o depósitos de flujo/brecha de lodo que cubren gran cantidad de terreno y que son producto de la emisión de material por parte de las filtraciones.

2. *Verificación en campo:* Una vez se obtuvo la cartografía preliminar, se realizó una visita a campo con el fin de corroborar los datos obtenidos a través de la imagen. Una vez en campo se procedió a revisar la existencia de las geoformas observadas en la cartografía preliminar, a analizar la dinámica del volcán a través del tiempo, a tomar muestras de áreas con el fin de describir a detalle las geoformas encontradas y obtener información que permitiese identificar las geoformas clasificadas por Mazzini y Etiope (2017) en el área de estudio debido a que dichos autores mencionan que las filtraciones varían de acuerdo a su área, y a observar la presencia o ausencia de material como brecha de lodo o clastos, para así obtener una caracterización definitiva de las geoformas del sector occidental del volcán San Diego.

Etapa 2. Elaboración de cartografía geomorfológica:

Con la información obtenida de la caracterización geomorfológica, se procedió a elaborar la cartografía geomorfológica definitiva a escala de 1:500 en el programa ArcMap 10.8, se tomó la cartografía preliminar como base y se delimitaron los rasgos geomorfológicos como unidad, subunidades y componentes de acuerdo con la Tabla 2.

Se excluyeron algunas geoformas que fueron cubiertas por la erupción más reciente registrada (junio 2020), así mismo, se detalló la

información recogida en campo para las geoformas que seguían en existencia como alturas representativas de las filtraciones, tamaño y forma de cráteres y características del material emitido.

Etapa 3. Correlación de la información obtenida con el tipo de amenaza:

Luego de obtener la cartografía geomorfológica, se realizó la correlación entre las diferentes geoformas y el tipo de amenaza presente; para cumplir con este objetivo, se realizó una matriz de correlación.

Las amenazas identificadas fueron esencialmente: incendios por emisión de gases, expulsión de flujo de lodo y expulsión de brecha de lodo con altos contenidos de clastos, para correlacionarlas se tuvo cuenta el tipo de material emitido por cada geoforma; por un lado, las filtraciones que presentaron materiales más densos se relacionaron con amenazas por expulsión de flujo y brecha de lodo, y aquellos en los que se pudo evidenciar la presencia de gases se relacionaron con amenaza por incendios.

5. RESULTADOS Y DISCUSION.

5.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO:

Según el SGC, el sistema volcánico del sector La Lorenza está constituido por al menos ocho volcanes, cinco de los cuales se encuentran alineados en dirección NNE, siguiendo el patrón estructural de la región. Los volcanes de lodo en esta región presentan configuraciones irregulares en vista de planta y tienen diámetros entre 600 y 1250 m, y alturas promedio de 50 – 60 m, en general se caracterizan por presentar una morfología plana, hacia las partes distales (SGC 2018). Dentro de este sistema volcánico se encuentra el volcán de lodo San Diego, el cual comprende un área total de 5.75 ha, sin embargo, para efectos de la investigación se tendrá en cuenta específicamente el sector occidental del volcán, el cual comprende un área de 3.3 ha.

De acuerdo con los informes técnicos presentados por el SGC, el volcán San Diego ha registrado 6 erupciones importantes en los últimos 50 años (Tabla 1), siendo la última en junio del año 2020. Las viviendas asentadas en el área de influencia están construidas parcialmente de madera y techos de palma, además muchas familias tienen como sustento económico el pastoreo del ganado vacuno y utilizan el terreno cercano a la zona de influencia para pastaje, lo que representa una situación de peligro debido a que una de las amenazas asociadas a la actividad eruptiva son los incendios generados por la expulsión de gases (SGC 2018).

5.2. CARACTERIZACIÓN DE RASGOS GEOMORFOLÓGICOS:

Consistió en la identificación de los rasgos geomorfológicos observados en la imagen VANT y su posterior verificación en campo, en la zona occidental del volcán se identificaron las geoformas relacionadas en la tabla 2.

Tabla 2. Caracterización geomorfológica Volcán San Diego.
Fuente: Este estudio.

FILTRACIONES.		
<i>Grifos.</i>		
Grifos salpicadura.		Grifos extintos
Grifos clásicos		Grifos burbujeadores
<i>Otras filtraciones</i>		
Salsas		Filtraciones multi- cráter.
Piscinas		
DEPOSITOS		
Coladas recientes	Coladas intermedias	Coladas antiguas.

5.2.1. Grifos:

En el área de estudio se encontraron grifos salpicaduras, clásicos y burbujeadores, e incluso algunos inactivos o extintos.

5.2.1.1. Grifos salpicaduras:

Como se puede observar en la figura 3, una de las características representativas en los grifos salpicaduras encontrados en el área de estudio son sus cráteres de muy pequeño tamaño, de acuerdo con las medidas tomadas en campo los cráteres de este tipo de grifos no llegan a superar 1 m² de área, estos datos fueron inventariados y se resumen en la Tabla 3. (Mayor detalle en Anexo 1.)



Figura 3. Grifo salpicadura, visto desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: Este estudio.

Los grifos salpicaduras también suelen presentar pendientes elevadas, de acuerdo con las medidas tomadas en campo estas oscilan entre 1.7 y 0.69 m de longitud.

En las investigaciones realizadas en Azerbaijan por Mazzini y Etiope, se determinó que este tipo de grifos se caracterizan por tener un cráter pequeño, por la no presencia de agua, y por emitir gases que, en algunos casos, sale a superficie acompañado de pequeñas cantidades de lodo.

En el sector occidental del volcán San Diego se pudo corroborar que estas geoformas presentan poca evidencia de emisión de material sólido ya que sus cráteres son usualmente vacíos (Figura 3) y no presentan coladas de flujo o brecha de lodo (Figura 4), lo cual apoya la idea de que estas filtraciones expulsan materiales gaseosos como, por ejemplo, metano; en Martínez et Al. (2020) también se menciona el hallazgo de un grifo salpicadura con características muy semejantes a las que presentan los grifos del volcán San Diego como su cráter y las paredes escarpadas cubiertas por lodo seco, no obstante, el grifo salpicadura del volcán el Totumo presenta importante actividad de lodo fluido situación que no se evidenció en el San Diego en este tipo de filtraciones.



Figura 4. Fotografía de cráter de un grifo salpicadura. Fuente: Este estudio.



Figura 5. Grifo salpicadura. Fuente: Este estudio.

Tabla 3. Grifos salpicaduras representativas. Fuente: Este estudio.

Nomenclatura	Partes	Área (m²)
VsSDGs1	Cráter	0,24
VsSDGs1	Base	4,76
VsSDGs2	Cráter	0,87
VsSDGs2	Base	9,53
VsSDGs3	Cráter	0,19
VsSDGs4	Cráter	0,04
VsSDGs4	Base	3,00
VsSDGs5	Base	10,02
VsSDGs5	Cráter	0,04
VsSDGs6	Cráter	0,09
VsSDGs6	Base	2,43

5.2.1.2. Grifos clásticos.

En los grifos clásticos la principal característica es la emisión de brecha de lodo, por lo tanto, es posible encontrar material denso encima de las pendientes y clastos en sus cercanías, sus cráteres son de tamaños relativamente grandes (Figura 6) y llegan a ocupar hasta 2.64 m² de área, en la tabla 4 se presenta un inventario de los grifos clásticos encontrados.



Figura 6. Grifo clástico visto desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: Este estudio.

Tabla 4. Inventario de grifos clásticos. Fuente: Este estudio.

Nomenclatura	Partes	Área (m)
VsSDGc1	Cráter	0,43
VsSDGc1	Base	4,21
VsSDGc2	Cráter	2,26
VsSDGc2	Base	25,24
VsSDGc3	Cráter	1,30
VsSDGc3	Base	12,37
VsSDGc3	Colada	7,37
VsSDGc4	Cráter	0,39
VsSDGc4	Base	4,60
VsSDGc5	Cráter	0,15
VsSDGc5	Base	3,94
VsSDGc5	Colada	5,40
VsSDGc6	Colada	3,24
VsSDGc6	Cráter	0,92
VsSDGc6	Base	3,41
VsSDGc7	Cráter	0,08
VsSDGc7	Base	1,24
VsSDGc7	Colada	11,12
VsSDGc8	Cráter	0,75
VsSDGc8	Base	2,39
VsSDGc9	Cráter	2,00
VsSDGc9	Base	11,88
VsSDGc10	Cráter	2,64
VsSDGc10	Base	19,17

Es frecuente encontrar grifos clásticos con formas irregulares, esto se debe al tipo de material que emiten; la brecha de lodo además de contener lodo y agua, se constituye de material clástico, la baja periodicidad de expulsión y su consistencia impide que el material emitido fluya rápidamente hacia los alrededores del grifo por lo tanto se queda acumulado en sus costados, así, los clastos extruidos se van

aglomerando en los flancos y provocan la irregularidad en este tipo de estructuras.

En el área de estudio se encontraron grifos clásticos que, en su mayoría, presentan pequeñas pendientes y formas achatadas (Figura 7), sin embargo, referentes como Martínez et. Al (2020) indican la existencia de un grifo clástico en el VS 'el Totumo' de gran altura y pendientes escarpadas y semi-escarpadas con presencia de brecha de lodo en su base, si bien estas características de altura guardan relación con lo estudiado en Azerbaijan por Mazzini y Etiope (2017) no pudieron ser corroboradas en el área de estudio.

Los grifos clásticos encontrados en la zona occidental del volcán San Diego y el grifo del Totumo estudiado por Martínez et Al. (2020) comparten la particularidad de no presentar rasgos geomorfológicos que indiquen eventos eruptivos en épocas actuales, en la parte occidental del volcán San Diego son muy pocas las geoformas de este tipo que presentan coladas, lo que indica que estos no están en constante emisión de material y que el material que emiten suele secarse relativamente rápido.



Figura 7. Grifo clástico. Fuente: Este estudio.

5.2.1.3. Grifos burbujeadores.

Este tipo de grifos tienen la particularidad de emanar lodo constantemente, pero no de manera violenta, sino más bien de forma tranquila, de acuerdo con Mazzini y Etíope estos presentan cráteres de hasta un metro de diámetro y cuando estos se llenan, el flujo de lodo sale a la superficie y forma coladas alrededor del grifo (Figura 8, figura 9)., estas características fueron verificadas en campo, donde se encontraron coladas alrededor de los grifos burbujeadores de hasta 6,42 m de área, las características de los grifos burbujeadores representativos en el área de estudio se resumen en la tabla 5 (mayor detalle en Anexo 2.)

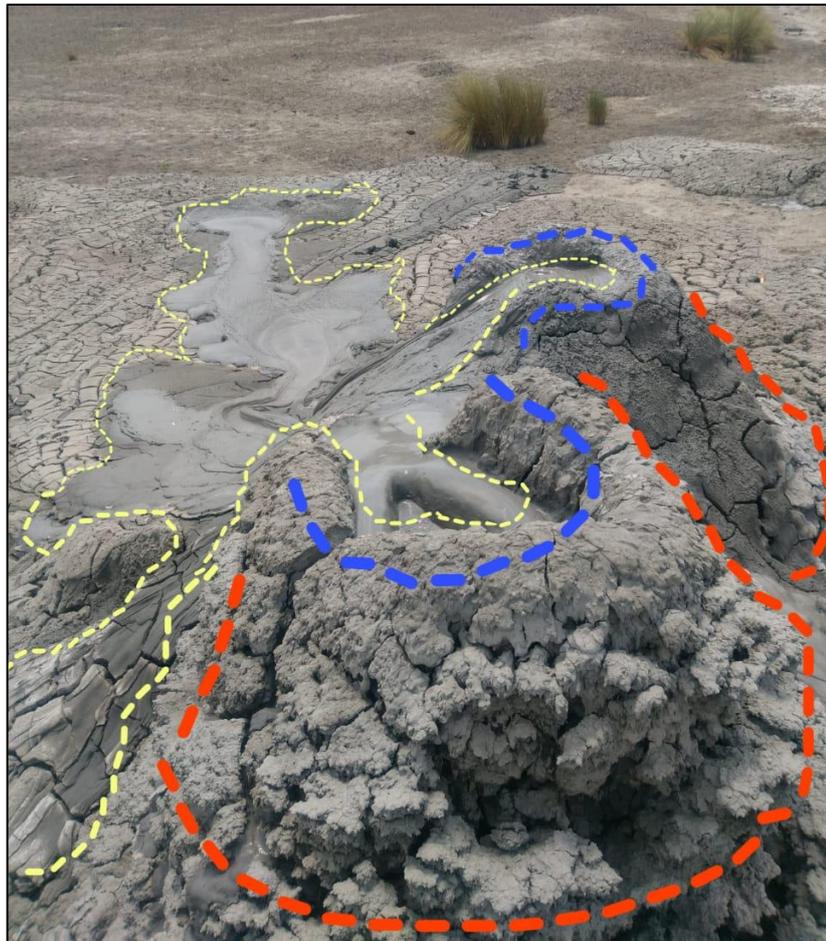


Figura 8. Grifos burbujeadores que comparten base; amarillo: colada de flujo de lodo; azul: cráteres; naranja: base. Fuente: Este estudio.

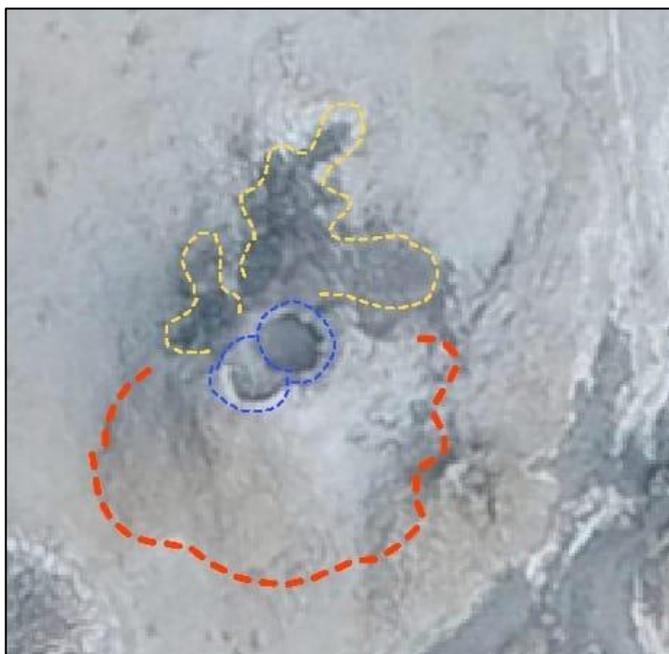


Figura 9. Grifos burbujeadores que comparten base visto desde mosaico de imágenes VANT; amarillo: colada de flujo de lodo; azul: cráteres; naranja: base. Fuente: Este estudio.

Tabla 5. Grifos burbujeadores representativos. Fuente: Este estudio.

Nomenclatura	Partes	Área (m²)
VsSDGb1	Base	5,23
VsSDGb1	Colada	0,93
VsSDGb1	Cráter	0,62
VsSDGb2	Base	8,88
VsSDGb2	Colada	16,85
VsSDGb2	Cráter	4,53
VsSDGb3	Base	6,70
VsSDGb3	Colada	2,09
VsSDGb3	Cráter	0,46
VsSDGb4	Base	0,77
VsSDGb4	Colada	21,02
VsSDGb4	Cráter	31,48

5.2.1.4. Grifos extintos.

También se encontraron grifos que no presentan cráteres ni evidencia de actividad reciente, estas geoformas se clasificaron como ‘grifos extintos’ y se detallan en la tabla 6.

Tabla 6. Inventario de grifos extintos. Fuente: Este estudio.

Nomenclatura	Partes	Área (m²)
VsSDGe1	Base	7,813
VsSDGe2	Base	6,99
VsSDGe3	Base	4,49
VsSDGe4	Base	10,95
VsSDGe5	Base	20,36
VsSDGe6	Base	4,49
VsSDGe7	Base	10,59
VsSDGe8	Base	2,98
VsSDGe9	Base	7,55
VsSDGe10	Base	0,15
VsSDGe11	Base	1,61
VsSDGe12	Base	5,76
VsSDGe13	Base	45,74
VsSDGe14	Base	4,37
VsSDGe15	Base	22,97
VsSDGe16	Base	46,57
VsSDGe17	Base	11,15
VsSDGe1	Base	40,95

VsSDGe19	Base	1,09
VsSDGe20	Base	10,9

Como se puede observar en el inventario anterior, estas geoformas solo presentan base, algunos referentes los llaman grifos dormidos o inactivos cuando a su alrededor se puede observar presencia de depósitos no tan antiguos que indican que esa filtración presentó actividad en un periodo reciente y que puede volver a presentarlo, esto, según Mazzini y Etíope puede deberse a los periodos secos y calurosos que hace que los fluidos en presencia de una alta evaporación se sequen y se cemenen dando paso al cierre del cráter de manera temporal, sin embargo esto no fue lo observado en San Diego.

En 2019 se realizó una visita de reconocimiento que coincidió con la temporada de lluvias, y la visita realizada en el año 2021 coincidió con la época seca, en este lapso las geoformas no presentaron variaciones de forma ni evidencia de que haya ocurrido emisión de material (Figura 10), así mismo las capturas obtenidas de este tipo de geoformas desde el mosaico de imágenes VANT no muestra evidencia de material reciente alrededor que indique que haya habido actividad en un periodo reciente (Figura 11), lo cual nos lleva a determinarlos como grifos extintos.

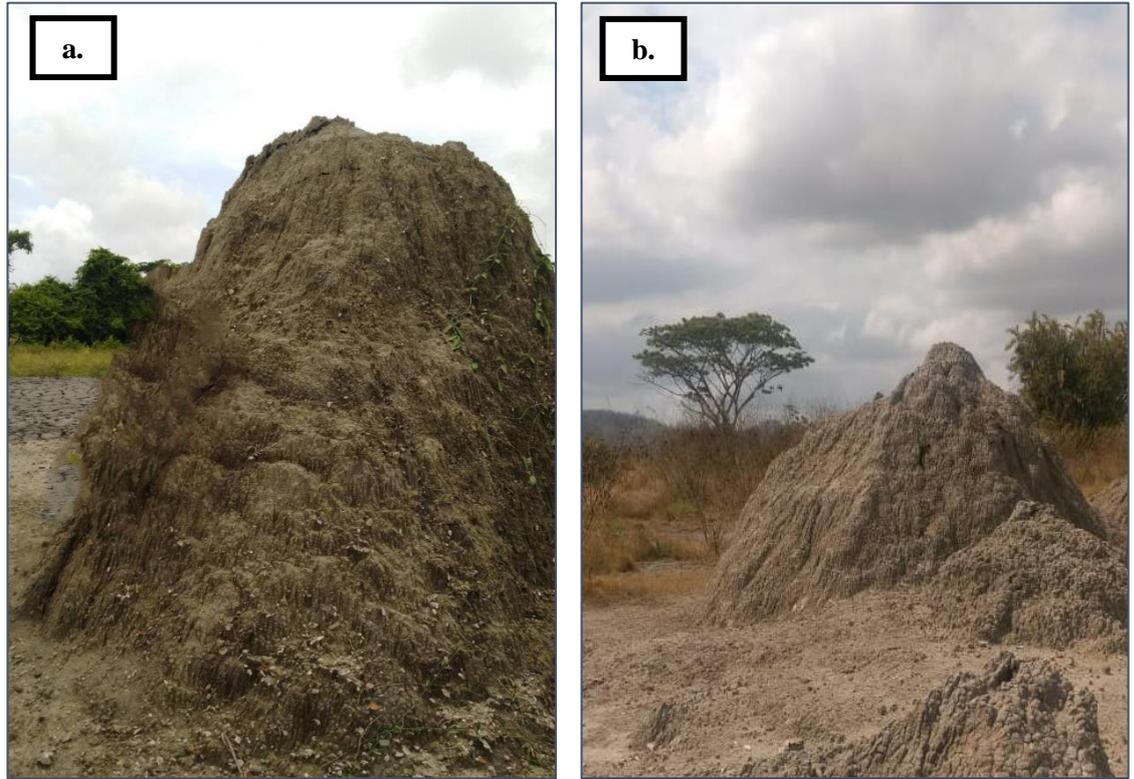


Figura 10. Grifo extinto, imagen comparativa (a) Periodo de lluvias (noviembre 2019) (b) Periodo seco (marzo 2021). Fuente: Este estudio.



Figura 11. Grifo extinto visto desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: Este estudio.

5.2.2. Otras filtraciones.

Además de los grifos, en el área de estudio se apreciaron filtraciones como salsas, piscinas y filtraciones que no estaban dentro de las clasificaciones que se tomaron como referentes para la elaboración de este estudio, por lo tanto, fue necesario asignar nombre y nomenclatura de acuerdo a sus características en particular, estas filtraciones fueron nombradas como filtraciones multicrater.

5.2.2.1. Salsas.

Basados en lo descrito por Mazzini y Etíope (2017) y Roberts (2011), se dio la connotación de salsas a las filtraciones sub-circulares de poca elevación en las que se pudo observar gran cantidad de lodo a su alrededor (figura 12), estos autores y varios referentes internacionales coinciden en que las salsas o *'lake salses'* (*lagos salsas*) son filtraciones de gran tamaño (hasta 10m de diámetro) que emanan grandes cantidades de lodo con poca agua. En el volcán San Diego el tamaño de las salsas no es significativo ya que suele ser muy variable y algunas llegan a presentar diámetros relativamente pequeños, por lo tanto, para la determinación y clasificación de estas geoformas se tuvo en cuenta el tipo de material expulsado, la elevación y el tamaño del cráter (figura 13).



Figura 12. Salsa vista de mosaico de imágenes VANT. Fuente: Este estudio.

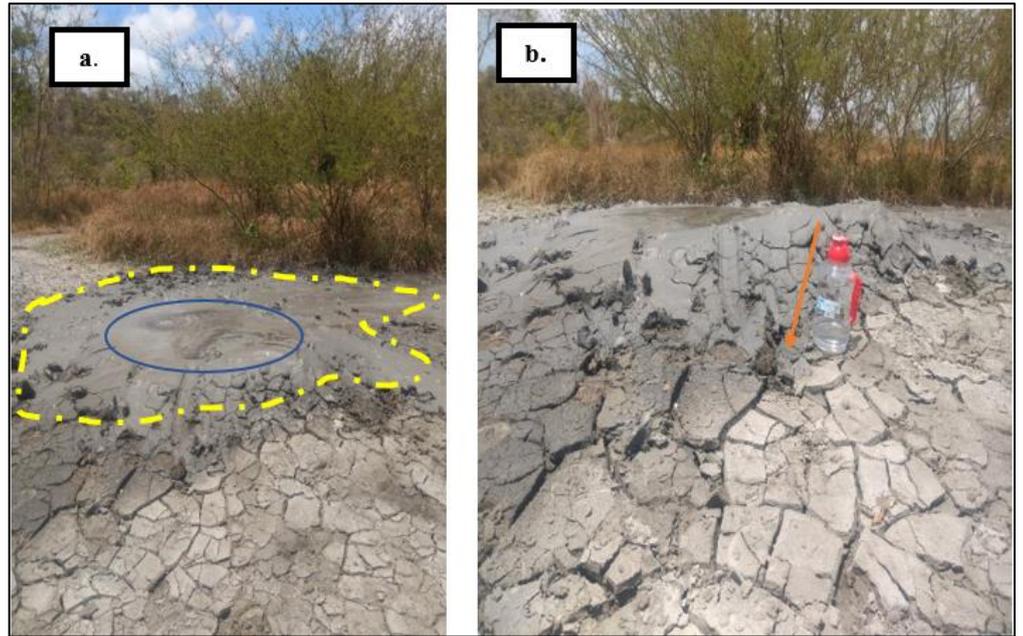


Figura 13. Salsas.: a. cráter de salsa; azul: cráter, amarillo: colada b. elevación promedio de las salsas; naranja: base.

Las salsas encontradas en el área de estudio presentaron elevaciones variables, en algunos casos las salsas se encontraban a nivel del suelo, y en otros se presentaban elevaciones de hasta 20 cm de alto, en cuanto al material emitido, las salsas del sector occidental del volcán San Diego emiten esencialmente flujo de lodo y crean coladas de hasta 75 m² de área, en la tabla 7 se resumen las áreas para algunas de las salsas encontradas. (Mayor detalle en Anexo 4)

Tabla 7. Inventario de salsas. Fuente: Este estudio.

Nomenclatura	Partes	Área(m²)
VsSDS1	Base	7,23
VsSDS1	Cráter	0,51
VsSDS1	Colada	75,18
VsSDS2	Colada	34,16
VsSDS2	Cráter	1,04
VsSDS3	Colada	9,80
VsSDS3	Cráter	1,40

VsSDS4	Cráter	0,48
VsSDS4	Colada	21,0
VsSDS5	Cráter	3,06
VsSDS5	Colada	18,11

5.2.2.2. Piscinas

La característica principal a tener en cuenta al momento de determinar si una geoforma clasificaba como piscina fue el material emitido debido a que estas geoformas emiten un gran porcentaje de agua. En el área de estudio las piscinas encontradas fueron en su mayoría de muy pequeño tamaño y se asemejaban a pequeños ‘charcos de agua’, estas filtraciones no presentan ningún tipo de elevación, contienen el agua dentro de su cráter y no es usual ver coladas de lodo a su alrededor. (Figura 14)



Figura 14. Piscina observada desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: este estudio

Las piscinas de menor tamaño en el sector occidental del volcán San Diego presentaron la particularidad de ubicarse al pie de los grifos, esta situación ha sido estudiada por Mazzini y Etiope, y se debe al

continuo crecimiento de los grifos que genera pequeñas fracturas conectadas al conducto principal y por donde el agua empieza a escapar. (Figura 15)



Figura 15. Piscina ubicada al pie del grifo; azul: cráter de piscina pequeña.

Por otro lado, las piscinas de mayor tamaño ocupan áreas de hasta $2,8 \text{ m}^2$ y se encontraron ubicadas a zonas un poco más distantes de los grifos que las pequeñas, esto puede deberse a que las piscinas ubicadas a los costados de los grifos son simples escapes producto de una filtración principal, sin embargo, las aisladas son estructuras independientes.



Figura 16. Piscina aislada; rojo: cráter de piscina grande

Martínez et Al. (2020) encontraron una estructura similar ubicada al suroriente en el volcán El Totumo, la piscina de esa zona de estudio presentó emisiones de gas y agua esencialmente, en el volcán San Diego, estas geoformas no presentan evidencia de gas teniendo en cuenta que no emiten ningún tipo de burbujeo.

En la tabla 8 se presenta el inventario de piscinas encontradas en el área de estudio.

Tabla 8. Inventario de piscinas. Fuente: Este estudio.

Nomenclatura	Partes	Área (m²)
VsSDP1	Cráter	0,31
VsSDP2	Cráter	0,19
VsSDP3	Cráter	0,22
VsSDP4	Cráter	0,35
VsSDP5	Cráter	2,87
VsSDP6	Cráter	0,33
VsSDP7	Cráter	0,44
VsSDP8	Cráter	0,39

5.2.2.3. Filtraciones multicrater:

Si bien este proyecto intenta estandarizar el lenguaje de conformidad con los referentes internacionales, el área de estudio presento particularidades que no pudieron ser vinculadas a los criterios ya estipulados, en la zona se encontraron estructuras de bases extensas, elevaciones significativas y múltiples cráteres en la parte superior, en algunos casos estos cráteres estaban delimitados y en otros daban la sensación de ser uno solo de gran longitud, pero con varios centros burbujeantes (figura 17), el material que emiten es esencialmente flujo de lodo (figura 18), a estas geoformas se les asignó el nombre de filtración multicrater.

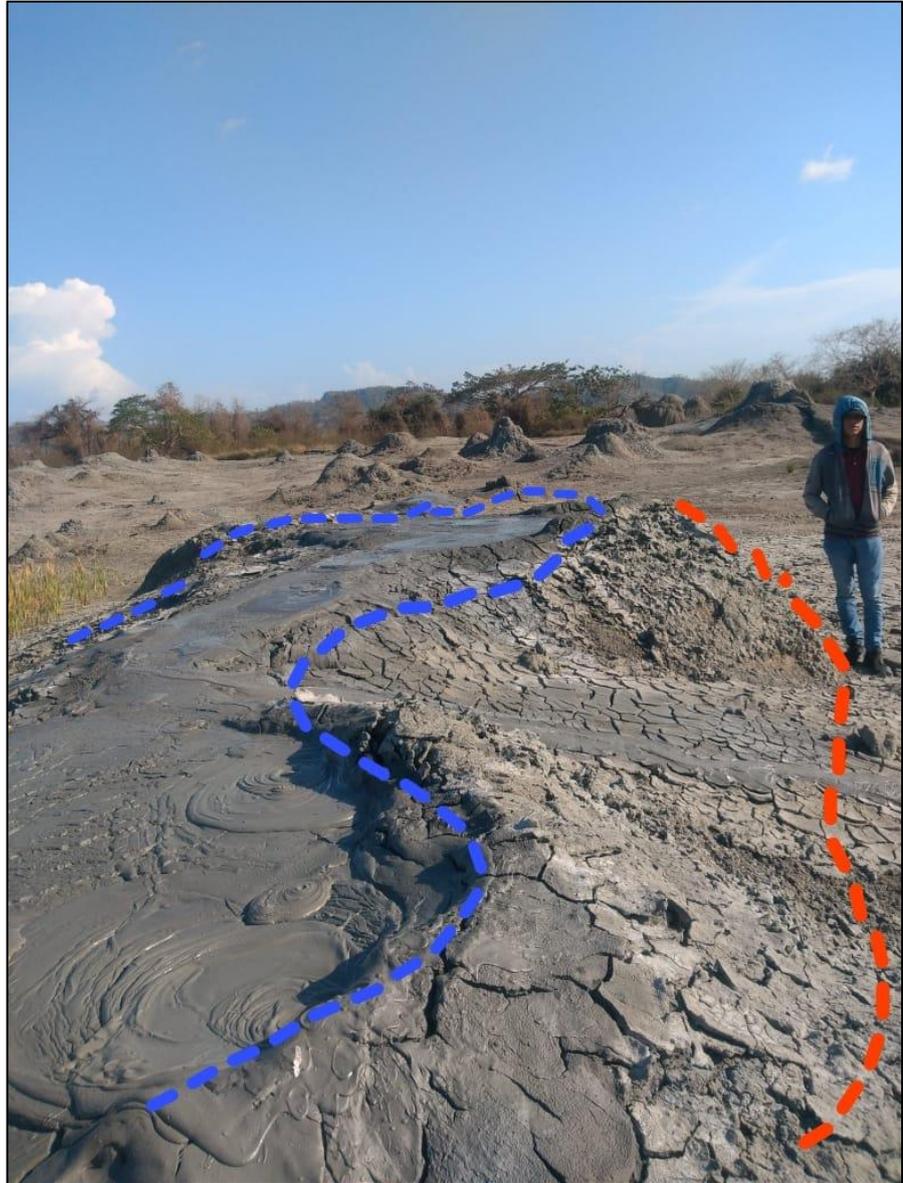


Figura 17. Filtración multicrater con múltiples centros burbujeantes en su cráter; azul: cráter, naranja: base. Fuente: Este estudio.

Las filtraciones multicrater encontradas en el área de estudio emiten esencialmente flujo de lodo y gases, y generan coladas de varios metros de diámetro; este tipo de filtraciones no se encontró documentada dentro de la revisión bibliográfica realizada.



Figura 18. Colada de flujo de lodo emitida por filtración multicrater. Fuente: Este estudio.

Este tipo de filtraciones también pudieron ser identificadas a través del mosaico de imágenes VANT. (Figura 19).



Figura 19. Filtración multicrater vista desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: Este estudio.

5.2.3. Depósitos:

Las filtraciones en el área de estudio emiten tres tipos de material: brecha de lodo, flujo de lodo y agua, el agua generalmente se encuentre mezclada con flujo de lodo, sin embargo, existe mayor porcentaje de este elemento en las filtraciones de tipo piscina, las cuales no generan colada; las filtraciones que usualmente producen estas geofomas son los grifos burbujeadores, las salsas, y los grifos clásticos en menor proporción, ya que al tener cierta elevación el material emitido fluye a través de sus pendientes hasta formar lo que se conoce como ‘coladas’, dependiendo de su composición estas pueden ser ‘Coladas de brecha de lodo’ o ‘coladas de flujo de lodo’.

Mazzini (2021) indica que las coladas de brecha de lodo se componen de una matriz limosa-arcillosa que incorpora numerosos fragmentos de clastos que alcanzan tamaños de hasta 0.5 m, en el área de estudio se pudo evidenciar la existencia de este material específicamente a los costados de los grifos clásticos, por otro lado, en los grifos burbujeadores el material que generaba coladas no contenía clastos ni

materiales sólidos si no que estaba compuesto esencialmente de lodos, lo que hacía que el material fuese menos denso y más fluido, por lo tanto a la geoforma producto de esta emisión se le asignó el nombre de ‘colada de flujo de lodo’.

Ahora bien, estas geoformas en el área de estudio fueron clasificadas de acuerdo a su edad relativa, dependiendo de su aspecto físico y su disposición en el terreno, como ‘Coladas de flujo reciente’, ‘Coladas intermedias’ y ‘Coladas antiguas’ independientemente de su composición.

Su identificación en las imágenes VANT se realizó teniendo en cuenta su disposición en el terreno y su coloración.

5.2.3.1. Colada reciente: Son las geoformas generadas por la más reciente emisión de material, usualmente inician en el cráter y se escurren alrededor de las pendientes de las geoformas responsables de su emisión, presentan coloraciones grises oscuro y dependiendo de su composición pueden dar la sensación de ser más o menos denso. Las coladas ubicadas alrededor de los grifos burbujeadores y de las salsas suelen ser más alargadas porque están compuestas meramente por lodo y materiales plásticos que le permiten fluidez, estas coladas son llamadas ‘coladas de flujo de lodo’, sin embargo, las coladas ubicadas alrededor de los grifos clásicos son más cortas, más oscuras y dan la sensación de ser más densas ya que en su composición se presentan materiales clásicos.

5.2.3.2. Colada intermedia: Es el segundo nivel de los depósitos presentados en el área de estudio, están ubicadas debajo de las coladas recientes, y se identifican como el material que presenta signos de sequedad como grietas y coloraciones más claras.

5.2.3.3. Colada antigua: Es el depósito más antiguo presentado en el área de estudio, se delimitó teniendo en cuenta el material que queda por debajo de los dos primeros niveles y que presenta coloraciones aún más claras.

En la figura 19 se puede apreciar una zona del volcán que presenta los tres niveles de depósitos identificados.

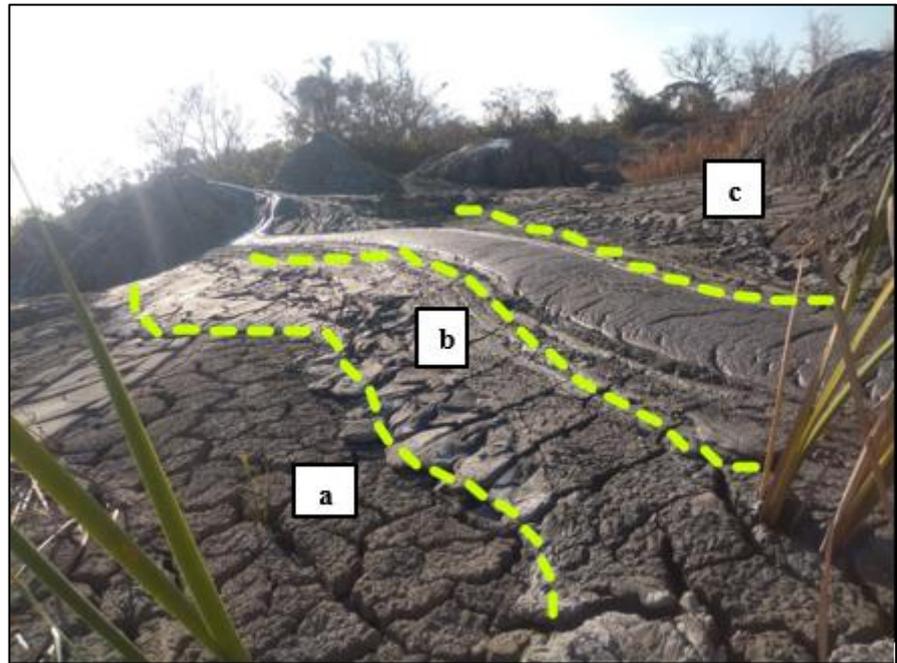


Figura 20. Coladas de volcán de lodo San Diego: a. Colada antigua b. Colada intermedia. c. Colada reciente. Fuente: Este estudio.

En la figura 21 se puede apreciar una zona del volcán vista desde el mosaico de imágenes VANT que presenta los tres niveles mencionados.



Figura 21. Coladas de volcán de lodo San Diego: Azul: colada antigua; Amarillo: colada intermedia, Rojo: colada reciente. Fuente: Este estudio.

6. CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA.

Se realizó cartografía geomorfológica a escala de 1:500 del área de estudio partiendo de la 'Propuesta de estandarización geomorfológica' la jerarquización de la cartografía se relaciona en la tabla 9.

Tabla 9. Jerarquización geomorfológica. Fuente: Este estudio.

UND.	SÍMBOLO	SUBUNIDAD	SÍMBOLO	COMP.	SÍMBOLO
VOLCAN DE LODO SAN DIEGO	VsSD	Conglomerados de grifos.	VsSDCG	Grifo salpicadura.	VsSDGs
				Grifos burbujeador.	VsSDGb
				Grifo clástico.	VsSDGc
		Conglomerados de salsas.	VsSDCS	Salsas	VsSDS
		Piscinas.	-	Piscina.	VsSDP.
		Colada.	VsSDC	Colada reciente	VsSDCr
				Colada intermedia.	VsSDCi
				Colada antigua.	VsSDCa

6.1. Unidad geomorfológica volcán de lodo San Diego – VsSD.

El cinturón del Sinú presenta como una de sus características principales el fenómeno de diapirismo de lodo, este fenómeno se origina por la presencia, en profundidad, de material arcilloso y gases en condiciones de alta presión, los cuales se movilizan hacia la superficie a través de fracturas o zonas de debilidad, generando levantamientos y fracturamiento del terreno, así como expulsión de lodo y gases por filtraciones de variadas formas y tamaños. El volcán de lodo San Diego se ubica sobre las formaciones Floresanto y Pajuil, y ha sido generado por procesos de argilogénesis y por influencia de la compresión lateral asociada a la interacción tangencial de las placas Nazca, Caribe y suramericana la cual es una de las principales responsables de la expulsión del lodo a la superficie, la acumulación del lodo da la forma de cima plana elongada que presenta el área de estudio.

La disección de la estructura “volcánica” permite evidenciar el origen de la misma asociada con flujos antiguos de lodo que se han ido acumulando a través del tiempo, en campo y con apoyo de imágenes VANT se identificaron en tres niveles y se clasificaron como coladas recientes, intermedias y antiguas (figura 22), de acuerdo con el SGC (2018) estos flujos se constituyen de arcillas grises parduzcas, y localmente de características arenosas de grano fino, con bloques angulares fracturados. En 2019, Martínez et al. determinaron la existencia de dos generaciones de brecha de lodo en el VS ‘El totumo’ y partiendo de esto clasificaron la actividad de dicho volcán como paroxismal, teniendo en cuenta este indicativo y la existencia de tres generaciones de coladas en el sector occidental del VS San Diego se determina que esta zona del volcán presenta periodos de actividad efusivos.



Figura 22. Niveles de flujos de lodo identificados desde una imagen VANT. Fuente: CVS (2017).

En el volcán San Diego se presentan procesos erosivos como surcos (figura 23) que son zanjas de profundidades que alcanzan hasta algunos metros, son producto del transporte de las partículas del suelo por acción del agua.



Figura 23. Surco en volcán San Diego. Fuente: Este estudio.

Teniendo en cuenta la escala y nivel de detalle de trabajo, se tomó como unidad geomorfológica el área total del sector occidental del volcán de Iodo, siendo esta la máxima unidad de terreno cartografiable, para efectos de inventariado se adoptó la codificación propuesta por el SGC (2012), y la unidad geomorfológica se nombró como VsSD.

6.2. Sub unidades geomorfológicas:

En esta zona del volcán se encontraron las subunidades relacionadas a continuación, con su respectiva nomenclatura.

- Conglomerado de grifos – VsSDGC
- Conglomerado de salsas. – VsSDCS.
- Colada – VsSDC.

6.2.1. Conglomerado de grifos: Son zonas del volcán donde se presenta la particularidad de encontrar tres o más de este tipo de geoformas alineadas en un mismo sentido, en el área de estudio se hallaron zonas donde coexisten grifos de diferentes tipos (salpicaduras, burbujeadores, clásticos, extintos) y zonas donde se ubican varios grifos de un mismo tipo.

En la figura 24, se muestra una de las zonas del sector occidental donde coexisten grifos salpicadura, grifos burbujeadores, y grifos clásticos.

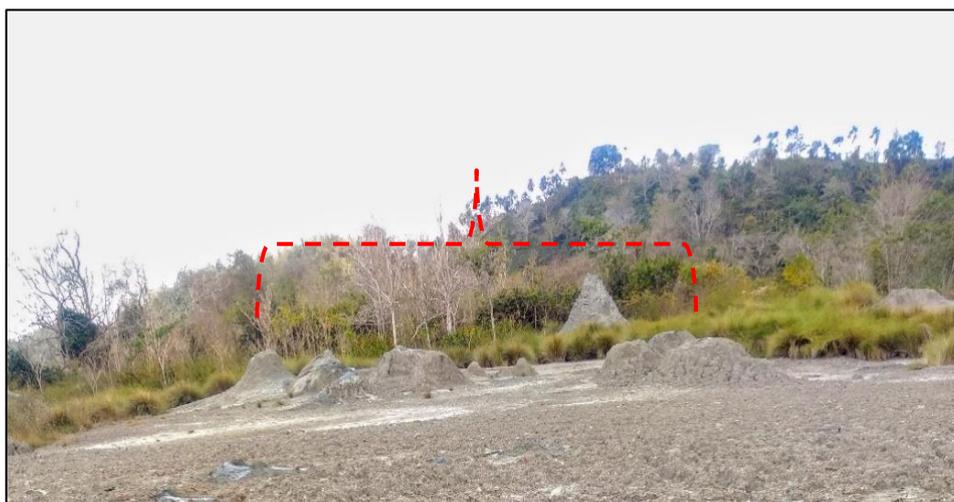


Figura 24. Conglomerado de grifos en sector occidental VS San Diego. Fuente: Este estudio.

En el extremo sur del área de estudio se ubican los dos conglomerados de grifos de mayor extensión hallados en el sector occidental del volcán

San Diego, estos conglomerados son de interés en el estudio ya que en uno de ellos se presenta la agrupación de grifos de un mismo tipo y en el otro se presenta la coexistencia de grifos de distintas clases. (Figura 25).

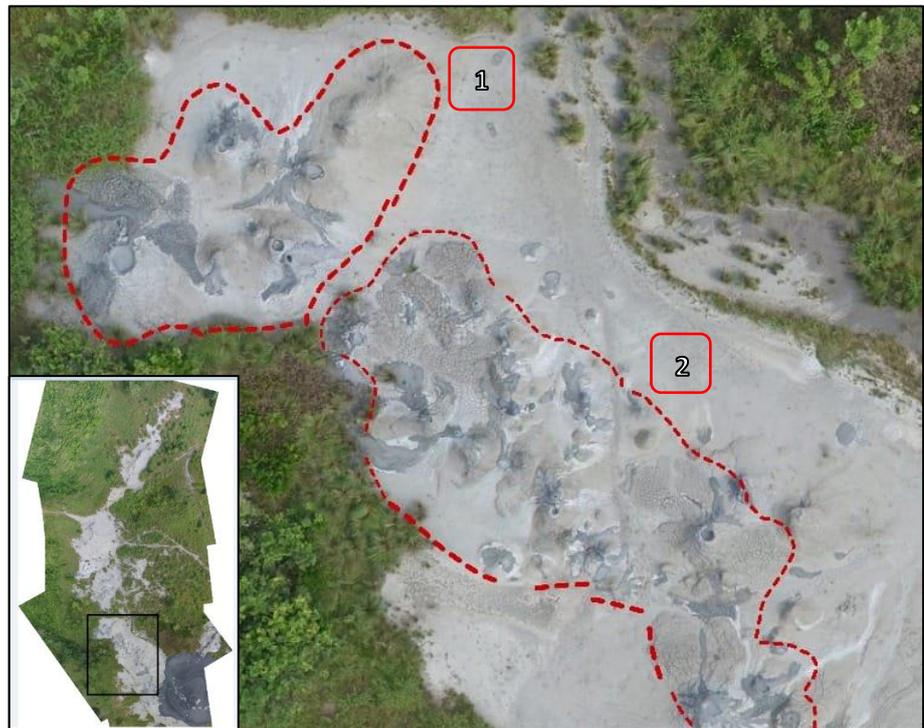


Figura 25. Conglomerados de grifos vistos desde mosaico. Fuente: Este estudio,

En el primer conglomerado mostrado en la imagen anterior, encontramos la coexistencia de grifos burbujeadores y grifos extintos (figura 26), y en el segundo conglomerado coexisten todas las clases de grifos clasificadas para este estudio incluyendo grifos salpicadura, burbujeadores y clásicos (figura 27).



Figura 26. Conglomerado de grifos burbujeadores y extintos vistos desde mosaico. Fuente: Este estudio.



Figura 27. Conglomerado de grifos en el sector occidental del VS San Diego visto desde mosaico de imágenes VANT. Fuente: este estudio.

6.2.2. Conglomerado de salsas: Se define como ‘Conglomerado de salsas’ a la agrupación de tres o más de este tipo de geofomas en una

misma área, en la zona de estudio se encontraron cuatro subunidades de este tipo, dos de las cuales son mostradas en la figura 28.



Figura 28. Conglomerados de salsa vistos desde imagen VANT. CVS (2017)

6.2.3. Colada: Corresponde al material emitido en la zona de estudio, desde la formación del volcán hasta su emisión más reciente que ha sido depositado a lo largo del edificio volcánico y es responsable en gran medida de la forma que presenta el volcán, la mayoría de filtraciones del área de estudio se mantienen en constante emisión de material por la tanto toda el área de estudio se encuentra cubierta por una colada de flujo de lodo, como se indica en la figura 29.

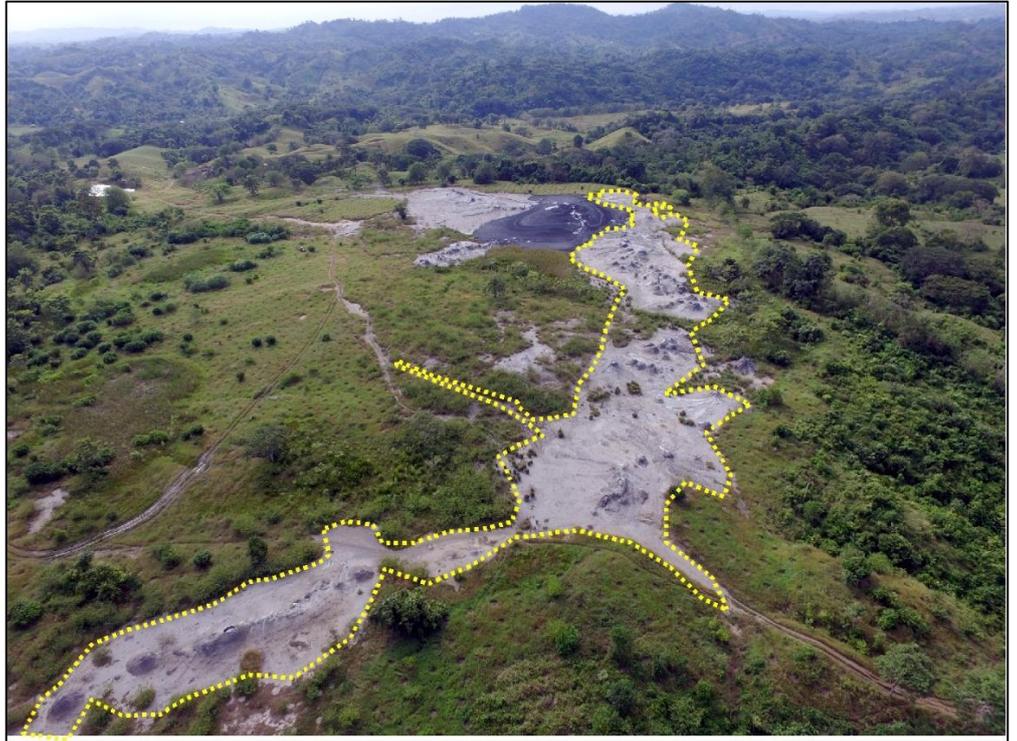


Figura 29. Terreno cubierto por colada de lodo en sector occidental VS San Diego, visto desde imagen VANT. Fuente: Cvs (2017)

La mayor cantidad de geoformas se agrupan en el extremo sur del área de estudio, tanto los conglomerados de grifos de mayor extensión como los conglomerados de salsa mencionados se ubican en esta zona del área de estudio, los conglomerados presentan agrupaciones de hasta 8 (ocho) geoformas y se alinean en dirección NE lo que probablemente éste asociado a la topografía del terreno. (Figura 30, figura 31).



Figura 30. Zona del sector occidental del VS San Diego con mayor cantidad de geofomas visto desde imagen VANT. Rojo: área de estudio, Verde: Zona de geofomas. Fuente: CVS (2017).

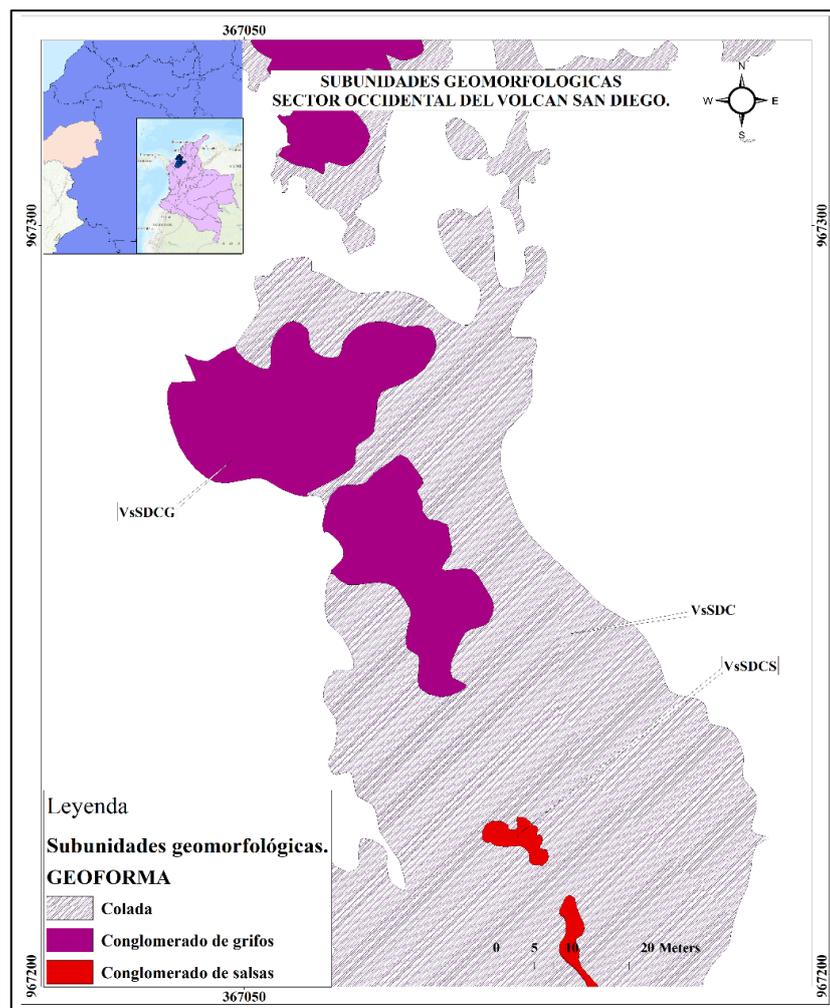


Figura 31. Área del volcán con mayor cantidad de geofomas. Fuente: Este estudio.

En la tabla 10 se describen a detalle las subunidades encontradas en todo el sector occidental del VS San Diego.

Tabla 10. Descripción de subunidades. Fuente: Este estudio.

<i>Cod.</i>	<i>Hallazgos</i>	<i>Extensión</i>
VSSDC	Colada de lodo que se extiende por todo el sector occidental del VS San Diego en diferentes direcciones, esto debido a la variación temporal de las emisiones por las que ha sido depositada y a la topografía del terreno, la mayor parte de la colada se alinea en dirección NE.	1018.7 m ²
VSSDCg1	Conglomerado de grifos extintos ubicado en el extremo norte del área de estudio, se identifica la existencia de 4 grifos extintos que parecen no haber tenido actividad reciente.	145,44 m ²
VSSDCg2	Conglomerado de grifos donde se identifica la existencia de 1 grifo clásico, 1 grifo extinto y 4 grifos salpicadura.	420,38 m ²
VSSDCg3	Conglomerado de grifos donde se identifica la existencia de 6 grifos burbujeadores y un grifo salpicadura.	292,35 m ²
VSSDCg4	Conglomerado de grifos donde se identifica la existencia de 4 grifos burbujeadores alineados en dirección sur, 3 grifos extintos alineados en dirección NE y 1 grifo clásico que se ubica en dirección NE.	508,35 m ²
VSSDCg5	Conglomerado de grifos ubicado al sur del área de estudio construido por 3 grifos salpicadura, 4 burbujeadores, 3 clásicos y un grifo extinto, todos alineados en dirección norte.	326,76 m ²

VSSDS1	Conglomerado de salsas ubicado al centro del área de estudio, donde se identifica la presencia de 3 salsas con emisiones que alcanzan gran extensión.	570,02 m ² .
VSSDS2	Conglomerado ubicado en el centro del área de estudio que se constituye de tres salsas que presentan pequeñas coladas a su alrededor.	52,13 m ² .
VSSDS3	Conglomerado ubicado en el sur del sector occidental del VS San Diego constituido por tres salsas de pequeño tamaño que presentan pequeñas coladas que no alcanzan gran extensión.	28,11 m ² .
VSSDS4	Conglomerado constituido por 4 salsas con coladas de tamaño significativo que le dan una forma elongada a la subunidad.	54,05 m ² .

La cartografía definitiva para las subunidades geomorfológicas se presenta en la figura 32.

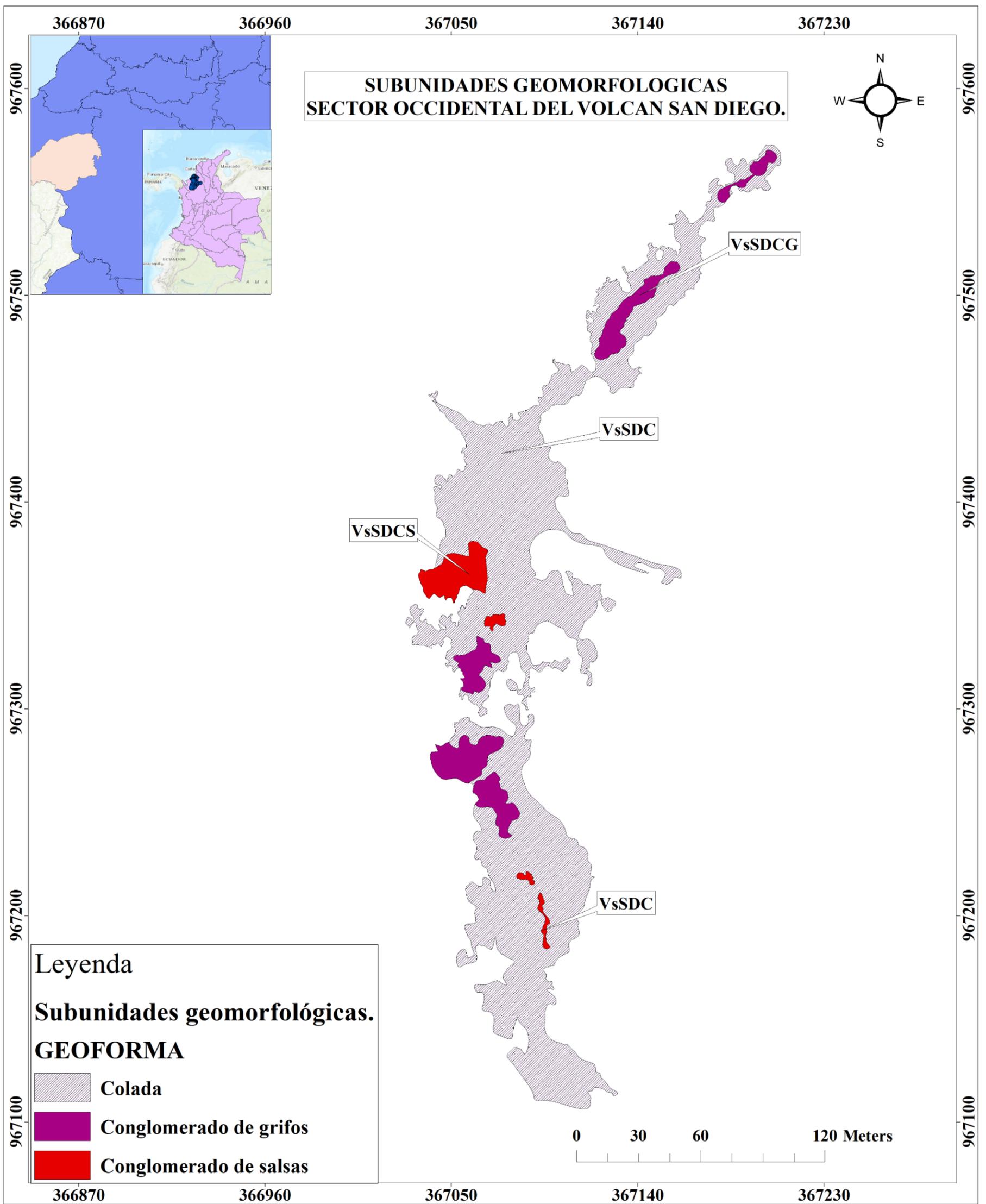


Figura 32. Mapa de sub unidades geomorfológicas. Fuente: Este estudio.

6.3. Componentes geomorfológicos:

Elementos que conforman el máximo nivel de detalle de la cartografía geomorfológica (Figura 33), en la zona de estudio se encontraron los componentes relacionan en la tabla 11.

Tabla 11. Componentes geomorfológicos Volcán San Diego.
Fuente: Este estudio.

GRIFOS	
- Grifos salpicadura: VsSDGs	Grifos burbujeadores: SvSDGb.
- Grifos extintos: VsSDGe	Grifos clásticos: VsSDGc.
Salsas: VsSDS	
Piscinas: VsSDP.	
COLADAS	
Colada reciente: VsSDCr	
	
Colada intermedia: VsSDCi.	
	
Colada antigua: VsSDCa.	
Filtraciones multicrater – VsSDFmc.	



Componentes geomorfológicos Sector occidental volcan sedimentario San Diego.

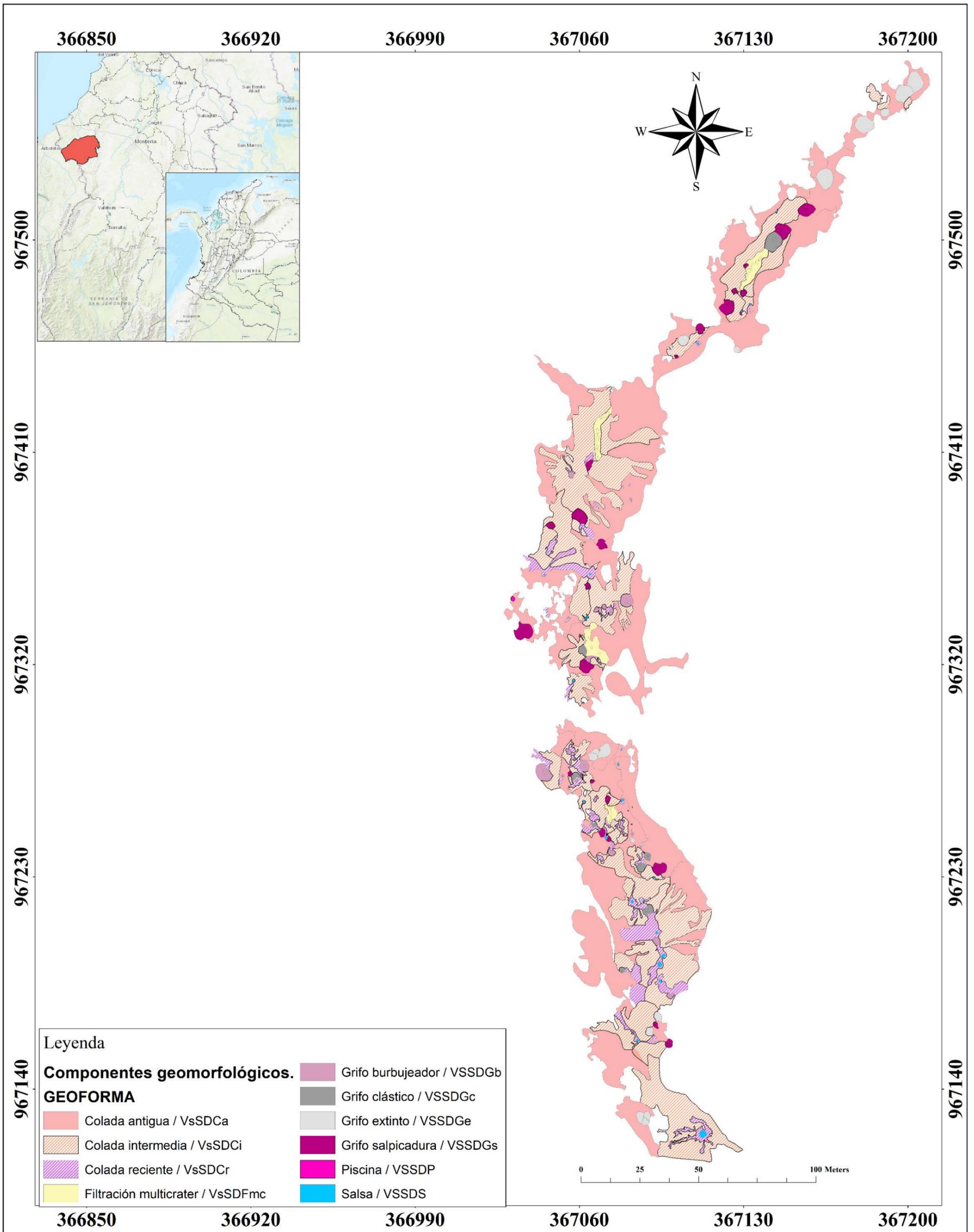


Figura 33.. Cartografía geomorfológica volcán de lodo San Diego, la Lorenza. Fuente: Este estudio.

En el sector más al norte del área de estudio predominan las geoformas de tipo grifos extintos, por lo tanto, no se evidenció la presencia de coladas recientes, se determinó la existencia de pequeñas coladas intermedias y colada antigua que cubre todo el sector, esto indica que estos grifos llegaron a presentar actividad en un periodo específico pero que han estado inactivos desde entonces, en la figura 34 se aprecian las geoformas encontradas en este sector del área de estudio.

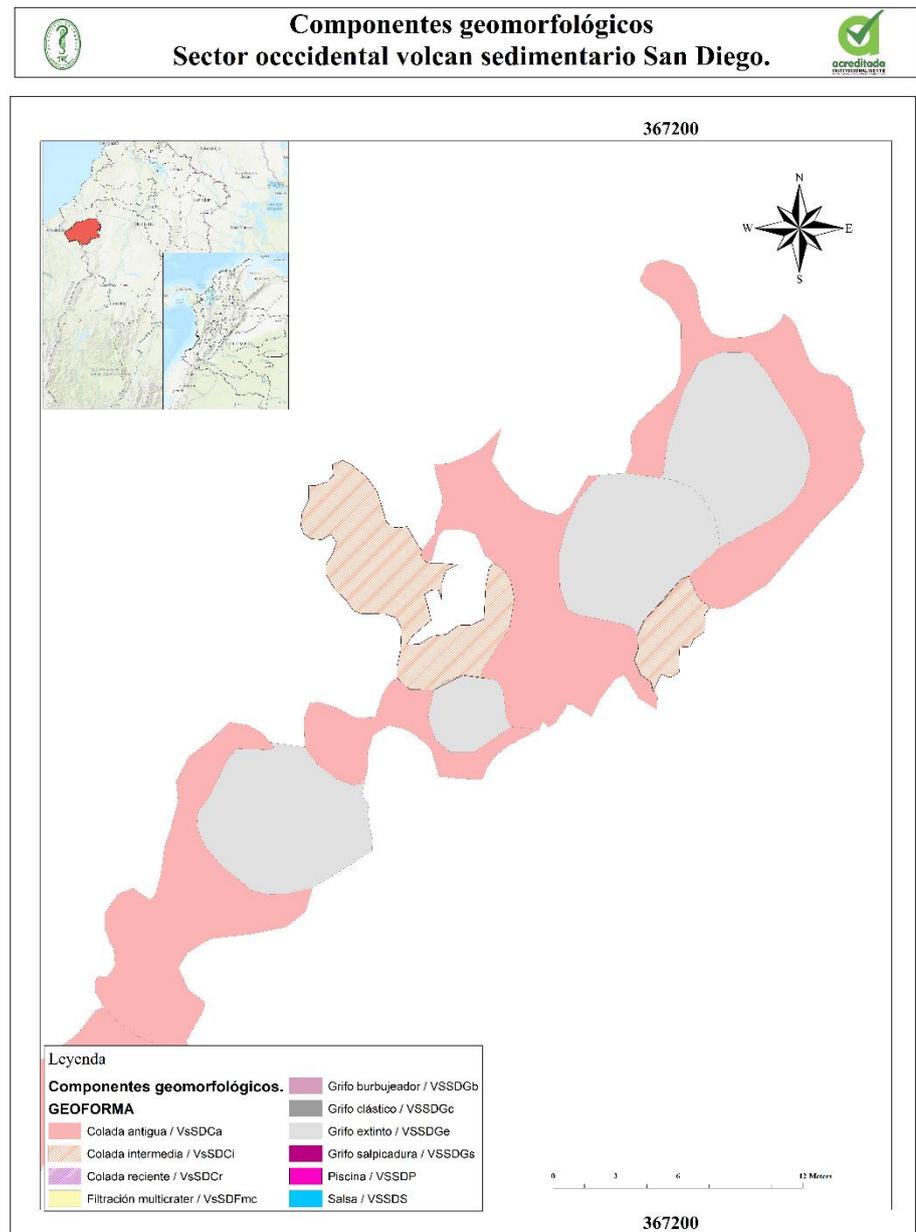


Figura 34. Zona 1: Componentes geomorfológicos del sector occidental del VS San Diego.
Fuente: Este estudio.

Siguiendo en dirección sur encontramos una zona del volcán que presenta en su mayoría grifos salpicadura, sin embargo, también encontramos grifos clásicos, grifos extintos, salsas y por primera vez nos encontramos con una filtración multicrater que presenta una única base y cinco cráteres en la parte superior (Figura 35).

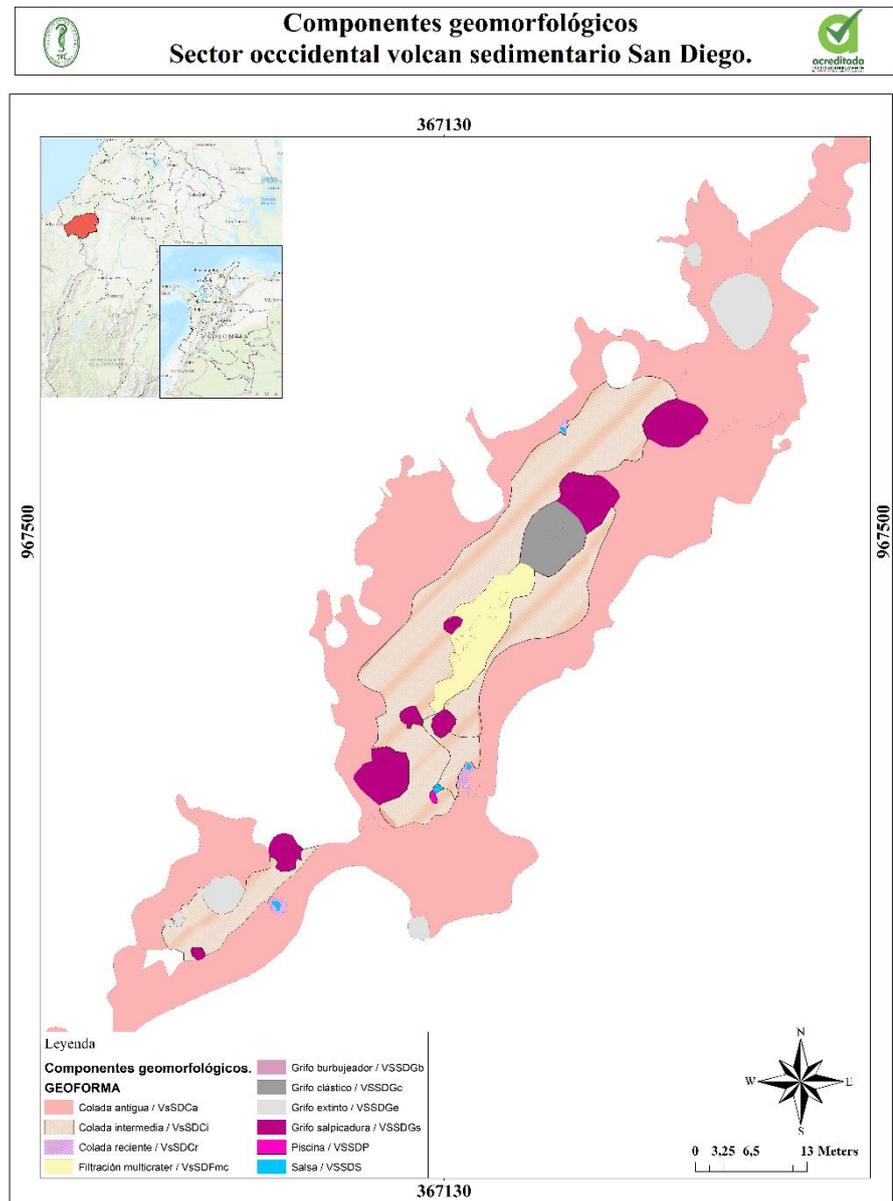


Figura 35. Zona 2. Componentes geomorfológicos del sector occidental del VS San Diego.
Fuente: Ese estudio.

La mayor cantidad de geomorfos se encontró situada en la parte central del área de estudio, la cual se divide en dos partes, en el sector ubicado más al norte predominan geomorfos del tipo grifo salpicaduras, se aprecian salsas con coladas de gran extensión y algunas piscinas, así

mismo, se localizan dos de las cuatro filtraciones multicrater halladas en el sector occidental del Volcán San Diego. (Figura 36, figura 37)

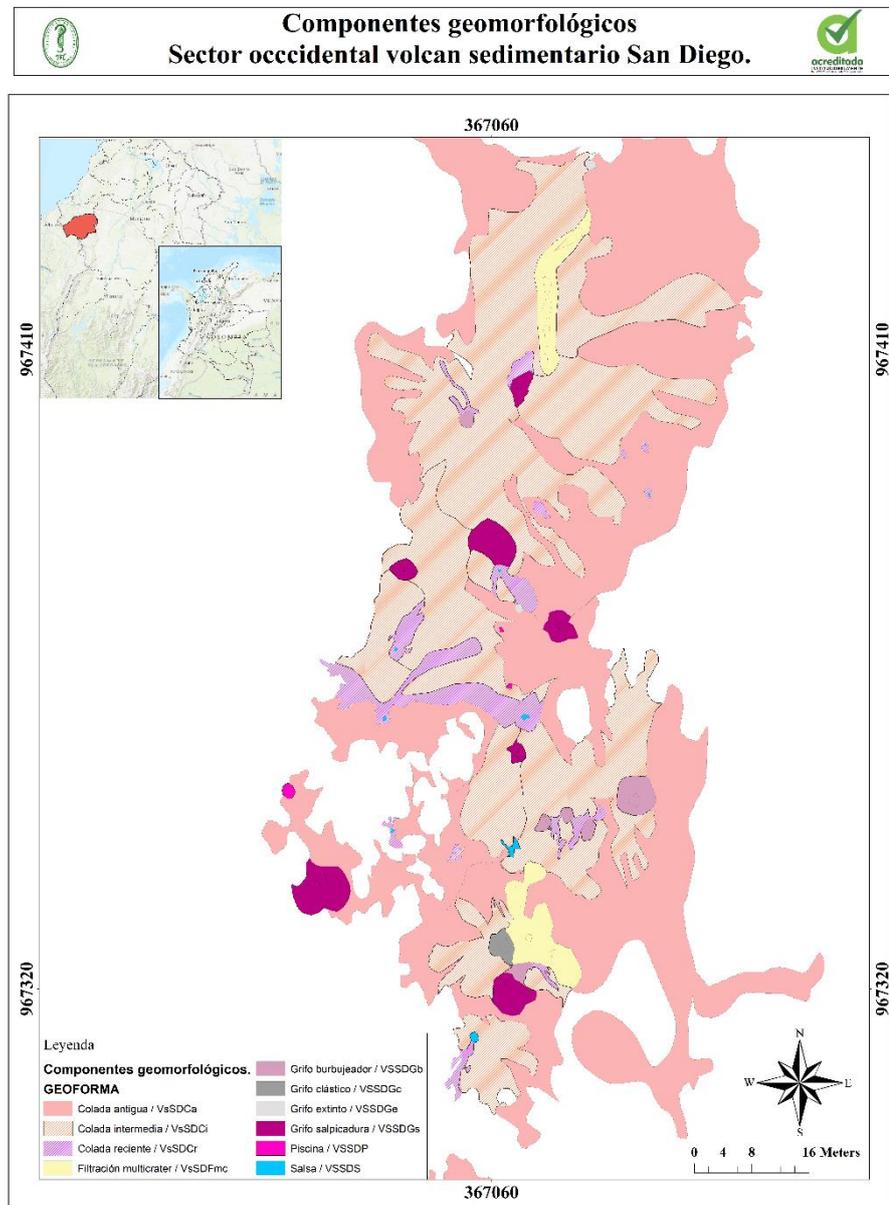


Figura 36. Zona 3. Componentes geomorfológicos del sector occidental del VS San Diego.
Fuente: Ese estudio.

En el sector ubicado más al sur, predominan grifos burbujeadores y salsas, sin embargo, también se pueden apreciar filtraciones multicrater, grifos extintos y clásticos, así mismo, es el sector donde se ubican la mayor cantidad de piscinas. En esta área se pudo observar con mayor claridad los tres tipos de niveles en los depósitos (coladas recientes, intermedias y antiguas) y como fluyen de acuerdo a la forma del volcán hacia sus laderas en dirección norte.

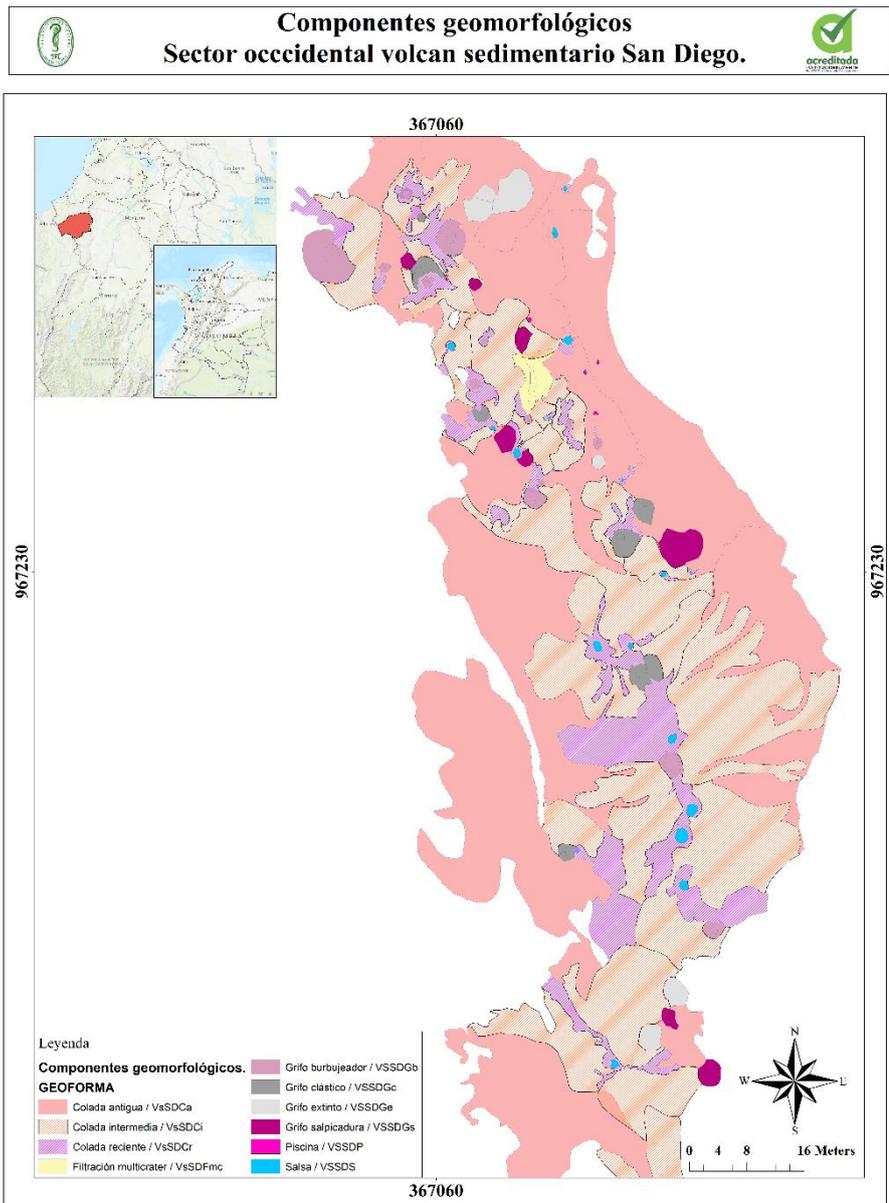


Figura 37. Zona 4. Componentes geomorfológicos del sector occidental del VS San Diego.
Fuente: Este estudio.

A medida que se avanza hacia el sur, se puede apreciar una mayor cantidad de filtraciones de tipo salsa con coladas de gran longitud, sin embargo, también se aprecian algunos grifos salpicaduras, extintos y un grifo clásico. (Figura 38).



Componentes geomorfológicos
Sector occidental volcan sedimentario San Diego.

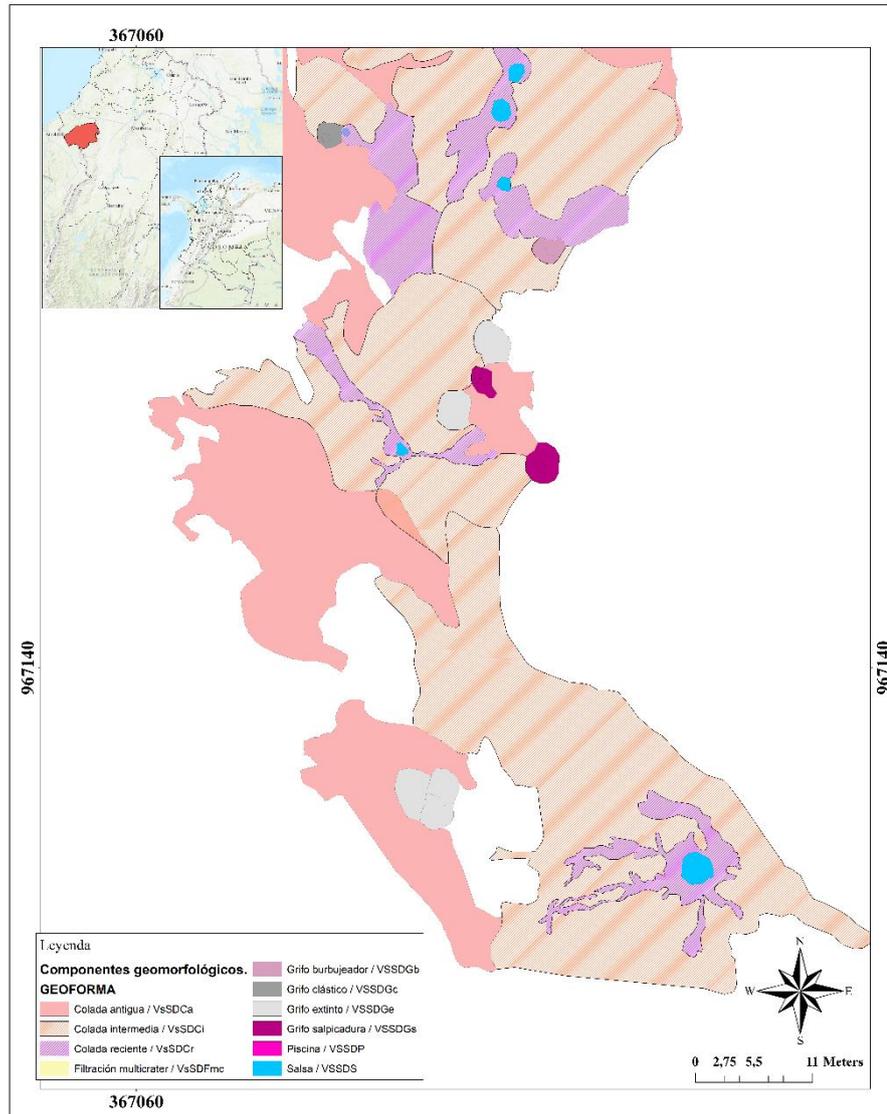


Figura 38. Zona 5. Componentes geomorfológicos del sector occidental del VS San Diego.
Fuente: Este estudio.

7. CORRELACION DE AMENAZAS

Los informes técnicos del SGC indican que el volcán de lodo San Diego ha presentado al menos 6 erupciones en los últimos 50 años, registrando la primera en el año 1972 y la última en junio del año 2020.

Estos eventos han sido producto de investigación del SGC y de autores particulares como Carvajal, estos estudios han sentado un precedente de la importancia de estudiar más a detalle el fenómeno de volcanismo sedimentario y su relación con posibles amenazas.

Los informes técnicos publicados por el SGC indican que el VS del volcán San Diego está relacionado con amenazas por incendio, expulsión de bloques, expulsión de flujo de lodo y agrietamiento del terreno. El volcán San Diego, se caracteriza por presentar filtraciones activas en toda su área, por lo tanto, se hace necesario identificar a que tipo de filtración se relaciona cada una de las amenazas, para obtener esta información se analizaron las características de las filtraciones presentes desde su tamaño (incluyendo su base y su cráter) hasta su tipo y cantidad de material emitido y el alcance del mismo.

Los grifos burbujeadores presentaron constante emisión de flujo de lodo y gas, este material presenta baja viscosidad y suele formar coladas que cubren gran cantidad de terreno, por otro lado, los grifos clásticos se caracterizan por emitir brecha de lodo, este material

consiste en lodo con materiales clásticos, muchas veces la brecha es extruida a la superficie con bloques de tamaño significativo, no suelen presentar coladas recientes porque la periodicidad de emisión es menor a la de los grifos burbujeadores, y los grifos salpicadura no presentan coladas porque su principal material de emisión son gases.

Las salsas se caracterizan por emitir flujo de lodo y llegan a generar coladas de grandes extensiones, mientras que las piscinas emiten agua salina y el material no genera ninguno tipo de coladas.

Estas características dan una idea de qué nivel de amenaza por incendio, expulsión de flujo de lodo o por flujo de brecha de lodo, puede presentar cada tipo filtración, por lo tanto, en la tabla 12 se presenta una matriz de correlación que articula las geoformas halladas en la caracterización con un tipo de amenaza.

Tabla 12. Correlación de amenazas. Fuente: Este estudio.

CORRELACIÓN DE AMENAZAS													
COD.	TIPO DE GEOFORMAS									CARACTERÍSTICA		TIPO DE AMENAZA	
	GRIFOS				PISCINAS TAMAÑO			SALSAS TAMAÑO		TIPO DE MATERIAL	AREA (m2)		
	Clásticos	Burbujeadores	Salpicadura	Extintos	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO A	TIPO B				TIPO C
VsSDGc10	X										BRECHA DE LODO	43,2713769	Expulsión violenta de brecha de lodo
VsSDGc23			X								GAS	10,26337738	Incendio
VsSDGb12		X									FLUJO DE LODO	28,53206199	Expulsión de flujo de lodo
VsSDGs11			X								GAS	3,138132115	Incendio
VsSDGb17		X									FLUJO DE LODO	7,1843427	Expulsión de flujo de lodo
VsSDGc9	X										BRECHA DE LODO	11,887113	Expulsión violenta de brecha de lodo
VsSDS6			X								GAS	2,4309104	Incendio
VsSDGc3	X										BRECHA DE LODO	12,371315	Expulsión violenta de brecha de lodo
VsSDGc10								X			FLUJO DE LODO	5,1920467	Expulsión de flujo de lodo
VsSDS8								X			FLUJO DE LODO	1,323213	Expulsión de flujo de lodo
VsSDS7								X			FLUJO DE LODO	1,181328	Expulsión de flujo de lodo
VsSDGs1			X								GAS	4,7643464	Incendio
VsSDGs2			X								GAS	7,2374865	Incendio
VsSDGe1				X							-	7,8134381	N/A
VsSDGc2				X							-	6,999566	N/A
VsSDP6					X						AGUA	2,8736897	N/A
VsSDP7						X					AGUA	0,4477075	N/A
VsSDFmc1											FLUJO DE LODO	1,4477075	Expulsión de flujo de lodo
VsSDFmc2						X					FLUJO DE LODO	2,4477075	Expulsión de flujo de lodo

Convenciones de tabla:

• **Área:** hace referencia al área de la colada del material expulsado a la superficie por la geoforma.

• **N/A:** No aplica.

• **Salsas:** Tipo A: tamaño (<0,02 m²), Tipo B: tamaño (0,02 m² < 0,2 m²), Tipo C tamaño (> 0,2 m²)

• **Piscinas:** Tamaño: Tipo A (<0,5 m²), Tipo B (0,5 m² < 3 m²), Tipo C (>3 m²).

Teniendo en cuenta lo anterior, y los registros eruptivos consignados en la tabla 1, que se han caracterizado por presentar recubrimiento del terreno con flujos de lodo e incendios, se determina que el sector occidental del volcán de lodo San Diego presenta amenaza por expulsión de flujo de lodo, expulsión de brecha de lodo e incendios.

7.1. Expulsión de flujo de lodo:

Uno de los eventos eruptivos registrados por el SGC, indica que en agosto de 2008 el volcán San Diego entró en actividad y expulsó grandes cantidades de lodo que llegaron a recubrir gran parte del terreno dejando como resultado el sepultamiento de cultivos, vías y animales, se infiere que este tipo de eventos es ocasionado por filtraciones de tipo grifos burbujeadores e inclusive de tipo salsas debido a que, además de ser precisamente estas geoformas las que expulsan mayor cantidad de este tipo de material (flujo de lodo), estas se encuentra en constante emisión del mismo, por lo tanto es usual encontrar coladas a su alrededor.

La mayor cantidad de flujo de lodo en el sector occidental del volcán San Diego fue emitida por las siguientes geoformas:

- VsSDGB2: Grifo burbujeador ubicado al norte de la zona 3 (de acuerdo con la cartografía geomorfológica) del área de estudio, tiene una colada de 16.85 m² y se encuentra en constante emisión de material.
- VsSDGB4: Grifo burbujeador ubicado al norte de la zona 3 del área de estudio, tiene una colada 21,02 m².
- VsSDS1: Salsa ubicada en el extremo sur del área de estudio, más específicamente en la zona 6, presenta una colada con 64.94 m² de área.
- VsSDS30: Salsa ubicada en la parte central de la zona 6 con una colada de 117.582 m².

Por otra parte, los impactos que pueden generar los eventos de recubrimiento de terreno con flujo de lodo sobre el suelo son de gran relevancia, debido a que la acumulación de lodo conlleva a la degradación en la estructura del suelo, la cual, es causada principalmente por la pérdida de estabilidad gracias a la disminución de vegetación por el sepultamiento.

7.2. Expulsión de brecha de lodo.

Según lo mencionado por el periódico la Razón, en junio de 2020 el volcán de lodo San Diego entró en actividad. Este último evento pudo ser corroborado en la visita de control de campo donde se pudieron evidenciar los cambios ocasionados por la última erupción, además esta información fue verificada con los habitantes de la finca Casa Tabla, la cual se encuentra ubicada a 400 metros del volcán, las personas que allí viven describieron la erupción como un gran estruendo.

De acuerdo con lo observado en campo, se infiere que el material expulsado en este evento eruptivo fue esencialmente brecha de lodo debido a la gran cantidad de clastos encontrados en la zona que fue recubierta. (Figura 39)



Figura 39. Clasto producto de ultimo evento eruptivo. Fuente: Este estudio.

Este tipo de erupciones se asocian a las geoformas de tipo grifo clástico, debido a que son éstas las que emiten este tipo de material, los grifos clásticos no suelen estar en constante emisión, pero cuando entran en

actividad los materiales son extruidos de manera violenta y a gran alcance.

7.3.Incendios.

La generación de incendios puede deberse a la concentración de gases asociados y al sellamiento de la estructura volcánica favorecido por la presencia de arcillas con predominio de montmorillonita, que puede generar cámaras de gas bajo presión, al romperse violentamente permite la ignición de los gases al ponerse en contacto violentamente con el aire (Duque 1980, en Vega y Carvajal 1992).

En el volcán San Diego han ocurrido distintos eventos eruptivos de tipo explosivos que han terminado en la ocurrencia de incendios, de acuerdo con uno de los guías que nos acompañó en el recorrido realizado en el año 2019 (visita preliminar) los incendios llegaron a alcanzar grandes alturas y a ocasionar daños como quema de cultivo, estos eventos eruptivos se dieron en octubre del año 1976 y en marzo del año 1992, este tipo de eventos eruptivos se asocian a las geoformas de tipo grifo salpicadura debido a que estas emiten esencialmente gases como CO₂ y metano (Carvajal 2001) y lodo en menor medida, en algunos casos las salsas y los grifos burbujeadores presentan emisión de gases pero no en proporciones significativas.

La generación de incendios puede deberse a la concentración de gases asociados a hidrocarburos y metano y al sellamiento de la estructura volcánica favorecido por la presencia de arcillas con predominio de montmorillonita, que puede generar cámaras de gas bajo presión, que, al romperse violentamente, permiten la ignición de los gases al ponerse en contacto violentamente con el aire clorita (Duque 1980, en Vega y Carvajal 1992).

En la figura 40 se representa gráficamente la correlación de amenazas obtenida para el sector occidental del volcán San Diego.



MAPA DE AMENAZAS EN EL SECTOR OCCIDENTAL DEL VOLCAN SAN DIEGO.

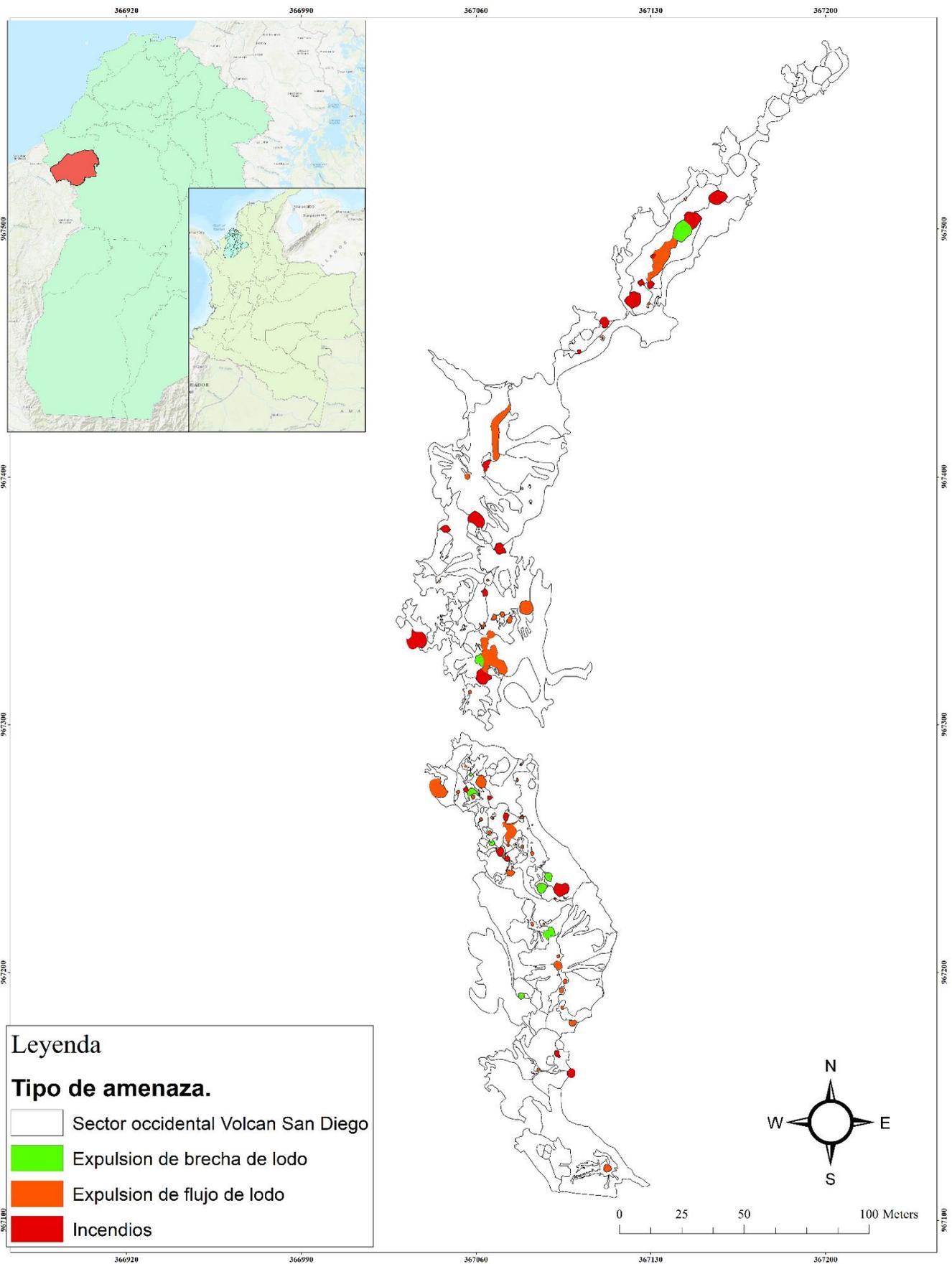


Figura 40. Mapa de correlación de amenazas. Fuente: Este estudio.

A nivel general, situaciones similares se han presentado en otros volcanes sedimentarios estudiados en Colombia, Vivas (2019) realizó una caracterización geomorfológica e identificación del grado de amenaza en los volcanes de lodo Las Platas, los Aburridos y Nueva Esperanza, ubicados en Arboletes, Turbo y Necoclí respectivamente, los eventos eruptivos de estos volcanes estuvieron directamente relacionados con recubrimiento del terreno por flujo de lodo, expulsión violenta de bloques e incendios; Martínez (2019) indica que el VS 'El totumo' está relacionado con amenaza por erupción violenta de brecha de lodo, erupción violenta de lodo fluido, degradación del suelo y licuefacción.

A nivel internacional, estas situaciones han generado desastres naturales de gran magnitud, la erupción en mayo de 2006 del volcán de lodo Lusi en Indonesia sepultó más de 10 kilómetros cuadrados de terrenos, ocasionando el desplazamiento de 35,000 personas y la muerte de trece (Sidoarjo 2016). de erupciones. (Periódico Actualidad RT 2018).

CONCLUSIONES

De acuerdo con la caracterización geomorfológica, en el sector occidental del volcán de lodo San Diego existen 124 filtraciones, siendo las más predominantes los grifos y las salsas, de los 62 grifos activos encontrados, el mayor porcentaje de estos en el área de estudio fueron los grifos salpicadura y burbujeadores, en menor proporción se encontraron grifos clásicos y piscinas, una particularidad que mostró el área de estudio con respecto a lo consultado en la revisión bibliográfica fue la existencia de cuatro (4) filtraciones multicrater ubicadas en distintos puntos del área de estudio.

La elaboración de la cartografía geomorfológica a escala de 1:500, mostró la predominancia de ubicación de los tipos de filtración, la mayor actividad del sector occidental se sitúa en la parte central, en el extremo sur existen menos cantidad de geoformas, no obstante, las existentes presentan altos niveles de actividad, mientras que en el extremo norte predominan grifos extintos y coladas antiguas.

Conforme a lo anterior y de acuerdo con lo presentado en la matriz de correlación de amenazas, el área de estudio presenta amenaza por incendios y expulsión de flujo de lodo, así mismo, y aunque presenta menor cantidad de grifos de tipo clásico, se asocia a amenaza por expulsión de brecha de lodo ya que si bien no es la filtración predominante la cantidad de grifos clásicos (10) es significativa, y la última erupción se debió precisamente a una de estas geoformas.

RECOMENDACIONES.

Teniendo en cuenta los registros históricos de actividad del volcán San Diego y la erupción en junio de 2020, se recomienda limitar el uso de la zona del volcán, es decir no permitir la construcción de más viviendas y re ubicar a los habitantes ya asentados.

Se recomienda realizar los estudios e investigaciones pertinentes para determinar si el volcán de lodo San Diego cumple con las especificaciones dadas por el Servicio Geológico Colombiano para ser declarado como una zona de interés geológico o geo-patrimonio.

Así mismo, se recomienda a futuras investigaciones tomar la información aquí consignada como insumo en la elaboración de cartografía correspondiente a amenaza teniendo en cuenta el tipo de filtración y su material emitido.

Se sugiere, además, realizar jornadas informativas y educativas que generen consciencia en los habitantes de la región sobre el riesgo que se corre al intentar dar uso residencial a la zona.

BIBLIOGRAFÍA.

- Carvajal, H. 2017.** Volcanismo de lodo del caribe central colombiano. (En línea) Servicio Geológico Colombiano. Bogotá, Colombia. Fecha de consulta: Diciembre, 2019. <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSerias/Documents/volcanismo-lodo.pdf>
- Carvajal, H. y Carrillo, E. 2018.** Características de la actividad eruptiva reciente del volcán de lodo de San diego - La Lorena, municipio de Canalete –Córdoba. Lineamientos para la evaluación de amenazas y riesgos asociados a volcanismo de lodo. (En línea). Servicio Geológico Colombiano. Fecha consulta: Diciembre, 2019. https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=73763&shelfbrowse_itemnumber=74367#shelfbrowser
- Carvajal, H. Mendivelso, D, Forero, H. Castiblanco, C. Pinzón, L y Prada M. 2010.** Investigación del diapirismo de lodo y evolución costera del caribe colombiano. SGC. (En línea). Fecha de consulta: Agosto, 2020. <http://recordcenter.sgc.gov.co/B12/23008002524448/documento/pdf/2105244481101000.pdf>
- CONAE. (2013).** Guía de Interpretación Visual de Imágenes Satelitales. (PDF) Fecha de consulta: Enero, 2020. https://2mp.conae.gov.ar/descargas/Documentos/Guia_de_interpretacion_visual_de_imagenes_satelitales.pdf
- Dronity (2020).** Etapas para hacer mapas con drones (En línea) Fecha de consulta: Mayo de 2021. <https://dronity.com/contenido/etapas-para-hacer-mapas-con-drones/>
- Espinoza, R. Plata, M. y Casada, H. 2013.** Geomorphologic characterization of the natural protected area nevado de toluca, complex volcanoes: Nevado de Toluca and San Antonio. UNAM. (PDF). Fecha de consulta: Agosto, 2020. <http://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v9n1/2007-7858-cuat-9-01-00006.pdf>
- Etioppe, G. y Giuseppe. 2015.** *Natural Gas Seepage*. (Libro electrónico) Springer Publishing. Fecha de consulta:

- Noviembre, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14601-0>
- Etiopie, G. y Milkov, A. 2004.** A new estimate of global methane flux from onshore and shallow submarine mud volcanoes to the atmosphere. *Environmental Geology*, 46(8), 997-1002. (PDF) <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1085-1>
- Fowler, S. Mildenhall, J. Zalova, S. Riley, G. Elsley, G. Desplanques, A. y Guliyev, F. 2000.** Mud volcanoes and structural development on Shah Deniz. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 28(4), 189–206.(en línea) Fecha de consulta: Agosto, 2020. doi:10.1016/s0920-4105(00)00078-4
- Gonzales, J. Alarcón, J. Espejo, E. 2017** Cartografía con drones (VANT'S) . (PDF) <http://editorial.uptc.edu.co/cartografia-con-drones-vantCs-s3noh.html>
- García. 2017.** Uso de drones para la actualización cartográfica. Nosolosig.com. (En línea). Fecha de consulta: Mayo de 2021. <https://www.nosolosig.com/articulos/540-uso-de-drones-para-la-actualizacion-cartografica>
- IGAC. Grupo interno de trabajo de interpretación. 2018.** Interpretación de materiales geológicos a partir de sensores remotos para la cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos. (En línea). Fecha de consulta: Enero, 2020. <http://igacnet2.igac.gov.co/>
- IGAC. Grupo interno de trabajo de interpretación. 2017.** Interpretación de imágenes de sensores remotos aplicada a levantamientos de cobertura de la tierra. (En línea) Fecha de consulta: Enero, 2020 <http://igacnet2.igac.gov.co/>
- Hovland, M. Hill, A. y Stokes, D. 1997.** The structure and geomorphology of the Dashgil mud volcano, Azerbaijan. *Geomorphology*, 21(1), 1-15. (En línea). Fecha de consulta: Noviembre, 2019.[https://doi.org/10.1016/s0169-555x\(97\)00034-2](https://doi.org/10.1016/s0169-555x(97)00034-2)
- INGEOMINAS. 2001.** Diagnóstico de la amenaza por volcanismo de lodo en el sector de la lorenza-el guineo, municipio de canaleta, departamento de Córdoba. (En línea). Fecha de consulta: Marzo, 2020.<https://catalogo.sgc.gov.co>
- La Razón.2020.** Advierten actividad en el volcán de lodo de Canaleta. *LARAZON.CO*. (En línea) Fecha de consulta: Junio, 2020. <https://larazon.co/cordoba/advierten-actividad-en-el-volcan-de-lodo-de-canaleta/>

- López, R. 2019**, 26 octubre). Volcán de lodo Piparo en Trinidad y Tobago podría entrar en erupción, ¿estarán preparados? *Alerta Geo*. <https://www.alertageo.org/2019/10/26/volcan-de-lodo-piparo-en-trinidad-y-tobago-podria-entran-en-erupcion-estaran-preparados/>
- Maskrey, A.1998**. Navegando entre brumas. Red de Estudios Sociales para prevención de Riesgos en Latinoamérica. (En línea). Fecha de Consulta: Marzo, 2020. https://www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/neb_intro_nov-09-2002.pdf
- Mazzini, A. y Etiope, G. (2017)**. Mud volcanism: An updated review. *Earth-Science Reviews*, 168, 81-112. (En línea) Fecha de consulta: Diciembre, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.03.001>
- Monsalve, M. 2000**. Guía para la evaluación de la amenaza volcánica y elaboración de mapas de amenaza volcánica potencial en Colombia. INGEOMINAS. (En línea) Fecha de consulta: Marzo, 2020. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3641.3848>
- Picallo., G. 2018**. Sorprendente erupción de un volcán de lodo en Gushchu (Azerbaiyán). *SOS ALERTA*. (En línea). Fecha de consulta: Diciembre, 2019. <https://www.sosalerta.com/fenomenos-naturales/3044-sorprendente-erupcion-de-un-volcan-de-lodo-en-gushchu-azerbaiyan>
- Roberts, K. 2011**. Mud Volcano Systems: Structure, Evolution and Processes. Durham University.(PDF) Fecha de consulta: Diciembre, 2019. <http://etheses.dur.ac.uk/752/>
- Roberts, K. Davies, R. Stewart, S. y Tingay, M. 2011**. Structural controls on mud volcano vent distributions: examples from Azerbaijan and Lusi, east Java. *Journal of the Geological Society*, 168(4), 1013-1030. (PDF) Fecha de consulta: Diciembre de 2019. <https://doi.org/10.1144/0016-76492010-158>
- RT en Español. 2018**. Entra en erupción uno de los volcanes de lodo grandes del mundo. *RT en Español*. (En línea) Fecha de consulta: Noviembre, 2019. <https://actualidad.rt.com/actualidad/289521-azerbaiyan-entra-erupcion-volcanes-lodo>
- Segovia, F. 2017**. Zonificación y evaluación de amenazas por deslizamientos y caídas de roca en el cantón guano - provincia de chimborazo, escala 1: 25 000. UCE. (En línea) Fecha de consulta: Agosto, 2020. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10533>
- Serra, M. Herrera, C. y Niz, A. 2019**. Remote sensing applied to the geomorphological mapping of the volcanoes of the upper Chaschuil river basin in the province of Catamarca, Argentina. (En línea) Fecha de consulta: Marzo, 2020. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas.*, 23, 1. <https://doi.org/10.14483/22487638.14642>

- Sidoarjo, L. 2016.** Viaje a la «Pompeya de Indonesia»: el volcán de barro que se tragó 12 pueblos. *El Confidencial*. https://www.elconfidencial.com/mundo/2016-04-01/viaje-a-la-pompeya-de-indonesia-volcan-barro-que-se-trago-12-pueblos_1172372/
- Thouret, J. 1999.** Geomorfología volcánica. Elsevier. (PDF) Fecha de consulta: Agosto, 2020. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00014-8)
- Van Loon, A. 2010.** Sedimentary volcanoes: Overview and implications for the definition of a volcano on Earth. GSASP. (PDF) Fecha de consulta: Noviembre, 2020. [https://doi.org/10.1130/2010.2470\(03\)](https://doi.org/10.1130/2010.2470(03)).
- Vestappen, H. y Vanzuidam, R. 1992.** Sistema ITC para levantamientos geomorfológicos. Holanda. (En línea) Fecha de consulta: Agosto, 2020. <https://es.scribd.com/document/341079456/Doc-El-Sistema-Itc-Para-Levantamientos-Geomorfologicos>
- Yusifov, M. 2004.** Seismic interpretation and classification of mud volcanoes of the south caspian basin, offshore azerbaijan. Texas A&M University. (En línea). Fecha de consulta: Agosto, 2020. <https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/2769/etd-tamu-2004B-GEOL-Yusifov.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

8. ANEXOS.

Anexo 1. Tabla 13. Inventario de grifos burbujeadores.

Nomenclatura	Partes	Área(m ²)
VsSDGb1	Base	5,23
VsSDGb1	Colada	0,93
VsSDGb1	Cráter	0,62
VsSDGb2	Base	8,88
VsSDGb2	Colada	16,85
VsSDGb2	Cráter	4,53
VsSDGb3	Base	6,70
VsSDGb3	Colada	2,09
VsSDGb3	Cráter	0,46
VsSDGb4	Base	0,77
VsSDGb4	Colada	1,65
VsSDGb 4	Cráter	0,03
VsSDGb 5	Base	1,78
VsSDGb5	Colada	6,42
VsSDGb5	Cráter	0,12
VsSDGb6	Base	1,14
VsSDGb6	Colada	2,83
VsSDGb6	Cráter	0,03
VsSDGb7	Base	0,67
VaSDGb7	Colada	6,45
VsSDGb7	Cráter	0,02
VsSDGb8	Base	1,56
VsSDGb8	Colada	0,43
VsSDGb8	Cráter	0,12
VsSDGb9	Base	0,52
VsSDGb9	Colada	2,85
VsSDGb9	Cráter	0,03
VsSDGb10	Base	1,93
VsSDGb10	Colada	14,00

VsSDGb10	Cráter	0,18
VsSDGb11	Base	1,54
VsSDGb11	Colada	3,26
VsSDGb11	Cráter	0,03
VsSDGb12	Base	28,53
VsSDGb12	Colada	17,18
VsSDGb12	Cráter	3,36
VsSDGb13	Base	4,53
VsSDGb13	Colada	3,40
VsSDGb13	Cráter	0,58
VsSDGb14	Base	3,23
VsSDGb14	Colada	4,10
VsSDGb14	Cráter	0,22
VsSDGb15	Base	3,09
VsSDGb15	Colada	5,09
VsSDGb15	Cráter	0,54
VsSDGb16	Base	4,14
VsSDGb16	Colada	2,49
VsSDGb16	Cráter	0,75
VsSDGb17	Base	7,18
VsSDGb17	Cráter	1,85
VsSDGb18	Base	2,86
VsSDGb18	Colada	5,99
VsSDGb18	Cráter	0,18
VsSDGb19	Colada	9,20
VsSDGb19	Cráter	1,45
VsSDGb19	Base	15,68

Anexo 2. Tabla 14. Inventario de grifos salpicaduras.

Nomenclatura	Partes	Área (m ²)
VsSDGs1	Cráter	0,24
VsSDGs1	Base	4,76
VsSDGs2	Cráter	0,87

VsSDGs2	Base	9,53
VsSDGs3	Cráter	0,19
VsSDGs3	Base	9,53
VsSDGs4	Cráter	0,04
VsSDGs4	Base	3,00
VsSDGs5	Base	10,0
VsSDGs5	Cráter	0,04
VsSDGs6	Cráter	0,09
VsSDGs6	Base	2,43
VsSDGs7	Cráter	0,02
VsSDGs7	Base	2,28
VsSDGs8	Cráter	0,19
VsSDGs8	Base	3,56
VsSDGs9	Cráter	1,24
VsSDGs9	Base	41,92
VsSDGs10	Cráter	0,25
VsSDGs10	Base	4,44
VsSDGs11	Cráter	0,43
VsSDGs11	Base	5,19
VsSDGs12	Cráter	0,29
VsSDGs12	Base	3,13
VsSDGs13	Cráter	0,16
VsSDGs13	Base	8,10
VsSDGs14	Cráter	0,04
VsSDGs14	Base	0,80
VsSDGs15	Cráter	0,28
VsSDGs15	Base	14,55
VsSDGs16	Cráter	0,07
VsSDGs16	Base	1,78
VsSDGs17	Cráter	0,18
VsSDGs17	Base	12,11
VsSDGs18	Cráter	0,85
VsSDGs19	Base	7,62

VsSDGs19	Cráter	0,17
VsSDGs20	Base	4,21
VsSDGs20	Cráter	0,12
VsSDGs21	Base	6,10
VsSDGs21	Cráter	0,50
VsSDGs22	Base	30,5
VsSDGs22	Cráter	0,26
VsSDGs23	Base	3,12
VsSDGs23	Cráter	0,42
VsSDGs24	Base	30,03
VsSDGs24	Cráter	0,98
SVLGS23	Base	10,26

Anexo 3. Tabla 15. Inventario de salsas.

Nomenclatura	Partes	Área(m)
VsSDS1	Base	7,23
VsSDS1	Cráter	0,51
VsSDS1	Colada	75,18
VsSDS2	Colada	34,16
VsSDS2	Cráter	1,047
VsSDS3	Colada	9,80
VsSDS3	Cráter	1,40
VsSDS4	Cráter	0,48
VsSDS4	Colada	21,00
VsSDS5	Cráter	3,061
VsSDS5	Colada	18,11
VsSDS6	Cráter	1,96
VsSDS6	Colada	11,83
VsSDS7	Cráter	1,18
VsSDS7	Colada	42,25
VsSDS8	Cráter	1,32
VsSDS8	Colada	17,92

VsSDS9	Cráter	0,08
VsSDS9	Colada	0,61
VsSDS10	Cráter	0,13
VsSDS10	Colada	1,73
VsSDS11	Cráter	0,26
VsSDS11	Colada	5,09
VsSDS12	Cráter	1,06
VsSDS12	Colada	3,99
VsSDS13	Base	0,33
VsSDS13	Colada	13,62
VsSDS14	Cráter	0,14
VsSDS14	Colada	1,16
VsSDS15	Cráter	1,00
VsSDS15	Colada	3,98
VsSDS16	Colada	3,52
VsSDS16	Cráter	0,92
VsSDS17	Cráter	1,45
VsSDS17	Colada	23,16
VsSDS18	Cráter	0,28
VsSDS18	Colada	1,04
VsSDS19	Cráter	0,18
VsSDS19	Base	0,90
VsSDS20	Cráter	0,20
VsSDS20	Colada	4,05
VsSDS21	Cráter	0,04
VsSDS21	Colada	2,32
VsSDS22	Cráter	2,71
VsSDS22	Cráter	0,58
VsSDS23	Cráter	0,60
VsSDS23	Colada	15,74
VsSDS24	Cráter	0,21
VsSDS24	Colada	5,66
VsSDS25	Cráter	0,30

VsSDS25	Colada	27,35
VsSDS26	Cráter	0,21
VsSDS26	Colada	17,43
VsSDS27	Cráter	0,17
VsSDS27	Colada	19,83
VsSDS28	Cráter	0,02
VsSDS28	Colada	0,71
VsSDS29	Cráter	0,05
VsSDS29	Colada	0,97
VsSDS30	Cráter	0,12
VsSDS30	Colada	1,14
VsSDS31	Cráter	0,09
VsSDS31	Colada	3,26
VsSDS32	Cráter	2,71
VsSDS32	Colada	6,20
VsSDS33	Cráter	0,71
VsSDS33	Colada	3,27
VsSDS34	Colada	1,19
VsSDS34	Cráter	0,35
VsSDS35	Base	0,83
VsSDS35	Cráter	0,03
VsSDS36	Cráter	0,30
VsSDS36	Colada	3,54
VsSDS37	Cráter	0,92
VsSDS37	Colada	4,33
VsSDS38	Colada	10,66
VsSDS38	Cráter	1,28
VsSDS39	Cráter	0,45
VsSDS39	Colada	1,64
VsSDS40	Cráter	0,53
VsSDS40	Colada	3,11