

CARACTERIZACIÓN Y AMENAZA DE LOS VOLCANES DE LODO EN LOS MUNICIPIOS DE TURBO, NECOCLÍ, SAN JUAN DE URABÁ Y ARBOLETES



Por:
Alberto Vivas Narváez
Profesional Especializado

**CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL URABÁ
CORPOURABA**

Apartadó, 28 de junio de 2019

TRD N° 400-08-02-01-1189-2019

1. INTRODUCCIÓN	7
2. AREA DE ESTUDIO	8
2.1 HIDROLOGÍA	9
2.2 GEOMORFOLOGÍA	10
2.2.1 Colinas Estructurales Alargadas (Cea)	10
2.2.2 Colinas Altas (Ca)	11
2.2.3 Colinas Bajas (Cb)	11
2.2.4 Vertiente Espinazo (ve)	12
2.2.5 Valle Aluvial (Va)	12
2.2.6 Terraza Aluvial (Qt)	13
2.2.7 Terraza Marina (Qtm)	13
2.2.8 Estructuras Dómicas (D)	13
2.3 GEOLOGÍA REGIONAL	14
2.3.1 Cinturones del Sinú y San Jacinto	14
2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	16
2.4.1 Unidades litológicas	17
2.4.1.1 Unidad Paujil (Loma Verde)	17
2.4.1.2 Formación Floresanto	17
2.4.1.3 Pavo Superior	18
2.4.1.4 Formación Arenas Monas	18
2.4.2 Estructuras	18
2.4.2.1 Lineamientos	18
2.4.2.2 Fallas	18
2.4.2.3 Pliegues	18
3. MARCO TEÓRICO	18
3.1 CONCEPTOS GENERALES	18
3.1.1 Diapiro	18
3.1.2 Volcán de lodo	19
3.1.3 Diapirismo de lodo	19
3.2 CLASIFICACIÓN DE VOLCANES DE LODO	20

3.2.1	De acuerdo a la forma de disponer el lodo	20
3.2.2	De acuerdo a la forma	21
3.2.3	De acuerdo al carácter de su actividad	21
3.3	MORFOLOGÍA DE LOS VOLCANES DE LODO	22
3.3.1	Composición química de los flujos de lodo	23
3.3.2	Volcanes de lodo submarinos	23
4.	METODOLOGÍA	24
4.1	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	24
4.1.1	Observación	24
4.1.2	Imágenes de Satélite	24
4.1.3	Fotografías aéreas	25
4.1.4	Entrevistas	25
4.2	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	26
4.2.1	Captura de información	26
4.2.2	Sensores remotos	26
4.2.3	Niveles de amenaza	26
5.	RESULTADOS	27
5.1	MORFOLOGÍA	27
5.1.1	Domos	27
5.1.2	Edificio volcánico	28
5.1.3	Sistema de grietas	29
5.1.4	Tipo de expulsiones	30
5.1.5	Lodos	30
5.1.5.1	Flujos de lodo	30
5.2	VOLCANES TIPO I	31
5.2.1	Volcán Las Platas	32
5.2.1.1	Morfología	32
5.2.1.2	Cronología de eventos	33
5.2.1.3	Evaluación de la amenaza	42
5.2.2	Volcán Los Aburridos	44

5.2.2.1	Morfología	44
5.2.2.2	Cronología de eventos	45
5.2.2.3	Evaluación de la amenaza	52
5.2.3	Volcán Nueva Esperanza	54
5.2.3.1	Morfología	55
5.2.3.2	Cronología de eventos	55
5.2.3.3	Evaluación de la amenaza	58
5.2.4	Volcán Alto de mulatos	60
5.2.4.1	Morfología	60
5.2.4.2	Cronología de eventos	61
5.2.4.3	Evaluación de la amenaza	67
5.2.5	Volcán San Juancito	69
5.2.5.1	Morfología	70
5.2.5.2	Cronología de eventos	72
5.2.5.3	Evaluación de la amenaza	74
5.2.6	Volcán Palmares Cenizosa	75
5.2.6.1	Morfología	75
5.2.6.2	Cronología de eventos	76
5.2.6.3	Evaluación de la amenaza	82
5.2.7	Volcán Cacahual	83
5.2.7.1	Morfología	83
5.2.7.2	Cronología de eventos	86
5.2.7.3	Evaluación de la amenaza	88
5.2.8	Volcán Damaquiel	89
5.2.8.1	Cronología de eventos	90
5.3	VOLCANES TIPO II	90
5.3.1	Volcán Arboletes	90
5.3.1.1	Morfología	92
5.3.1.2	Proceso erosivo	94
5.3.1.3	Turismo volcánico	95

5.3.1.4	Evaluación de la amenaza	98
5.3.2	Volcán Necoclí – Virgen del Cobre	98
5.3.2.1	Turismo volcánico	99
5.3.2.2	Evaluación de la amenaza	100
5.3.3	Volcán Mellito Alto	100
5.3.3.1	Morfología	100
5.3.3.2	Evaluación de la amenaza	102
5.3.4	Volcán Gigantón	102
5.3.4.1	Morfología	103
5.3.4.2	Evaluación de la amenaza	104
5.3.5	Volcán Candelaria	104
5.3.5.1	Morfología	105
5.3.5.2	Evaluación de la amenaza	106
5.3.6	Volcán Manuel Cuello	107
5.3.6.1	Morfología	107
5.3.6.2	Evaluación de la amenaza	109
5.3.7	Volcán San Felipe	109
5.3.7.1	Morfología	109
5.3.7.2	Evaluación de la amenaza	111
5.3.8	Volcán Pueblo Nuevo	111
5.3.8.1	Morfología	111
5.3.8.2	Evaluación de la amenaza	113
5.3.9	Volcán El Carlo	113
5.3.9.1	Morfología	114
5.3.9.2	Evaluación de la amenaza	115
5.3.10	Volcán Las Changas	115
5.3.10.1	Morfología	116
5.3.10.2	Evaluación de la amenaza	118
5.3.11	Volcán Santa Rosa de Los Palmares	119
5.3.11.1	Morfología	119

5.3.11.2 Evaluación de la amenaza	122
6. CONCLUSIONES	122
7. AGRADECIMIENTOS	123
8. REFERENCIAS	124

Portada: De arriba a abajo y de izquierda a derecha

Conos Puntiformes en el volcán de lodo Cacahual (Foto: Alberto Vivas Narváez)		
Burbuja de gas en el volcán de lodo El Carlo (Foto: Alberto Vivas Narváez)	Llama y restos de lodo en el volcán Las Platas (Foto: Juan Guillermo Cano Usma)	Fragmento de Roca con cristales en el volcán de lodo Nueva Esperanza (Foto: Alberto Vivas Narváez)

Se sugiere citar así:

VIVAS, N. A. 2019. Caracterización y amenaza de los volcanes de lodo en los municipios de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá – CORPOURABA - Apartadó, 133p+Cartografía.

CARACTERIZACIÓN Y AMENAZA DE LOS VOLCANES DE LODO EN LOS MUNICIPIOS DE TURBO, NECOCLÍ, SAN JUAN DE URABÁ Y ARBOLETES

Alberto Vivas Narváez¹

1. INTRODUCCIÓN

En el área geográfica que hoy ocupan los municipios de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá, San Pedro de Urabá y Arboletes existe un conjunto de secuencias sedimentarias representadas en fallas, anticlinales y domos que geológicamente conforman el Cinturón Plegado del Sinú. En esa área hace muchos millones de años, se depositó sobre una capa base a grandes profundidades, material orgánico y arcilla que, en la actualidad por diferencias de presión, asciende a la superficie de la tierra por las discontinuidades morfológicas y estructuras geológicas (fallas, anticlinales y deformaciones) presentes en estos municipios.

El ascenso de ese material arcilloso mezclado con gases, agua, aceite, clastos y rocas es lo que se conoce con el nombre de diapirismo de lodo (vulcanismo de lodo) que dependiendo de la morfología del edificio volcánico puede ser calmado como en el volcán de lodo de Arboletes o explosivo como en el volcán de lodo Los Aburridos en el municipio de Turbo.

Tanto la morfología, es decir; si es domo o caldera, como el carácter de su actividad, es decir; si es Tipo I o Tipo II, son parámetros que contribuyen a la caracterización de 19 volcanes de lodo distribuidos en los municipios que son jurisdicción de CORPOURABA.

La caracterización es un documento que tuvo como objetivo, describir la morfología y la cronología de eventos en los volcanes clasificados en el Tipo I para obtener, un mejor entendimiento de los procesos de gestión del riesgo, inherentes a la amenaza; porque, como es sabido, los volcanes de lodo constituyen una amenaza geológica donde la población y la infraestructura física resulta expuesta a deformaciones en el terreno y explosión violenta de rocas y material lodoso.

Una versión inicial de este documento² fue la base para que CORPOURABA, mediante la resolución N° 300-03-10-23-1907 del 30 de diciembre de 2010 dentro del proceso de formulación, revisión y ajuste de los Planes de Ordenamiento Territorial municipal determinara, por el carácter de su actividad, que los volcanes de lodo, constituyen un Determinante Ambiental ([CORPOURABA, 2010](#)); es decir, hacen parte del ordenamiento espacial del territorio y su conocimiento contribuye

¹ Ingeniero, Especialista en Geoinformática y Medio Ambiente, Profesional Especializado Subdirección de Gestión y Administración Ambiental-CORPOURABA. E: Mail. avivas@corpouraba.gov.co.

²Informe Técnico Radicado N° TRD 400-08-02-01-1752-2009 del 31 de diciembre de 2009.

a los procesos de gestión del riesgo que fue incorporado por los municipios en la actualización de los POT.

Esta antepenúltima versión amplía detalles de la morfología de cada uno de los 19 volcanes de lodo, precisa con base, en los relatos de las comunidades, los eventos explosivos, introduce mapas a escala 1:25.000 con los niveles de amenaza y con base en el análisis de imágenes de satélite presenta la variación en tamaño de las manchas de lodo de los eventos sobre los cuales se recopiló información.

2. AREA DE ESTUDIO

Para efectos de este documento y con base en los recorridos de campo el área de estudio corresponde a la Llanura del Caribe donde administrativamente, se localizan los municipios de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá, Arboletes y San Pedro de Urabá (Figura 1).

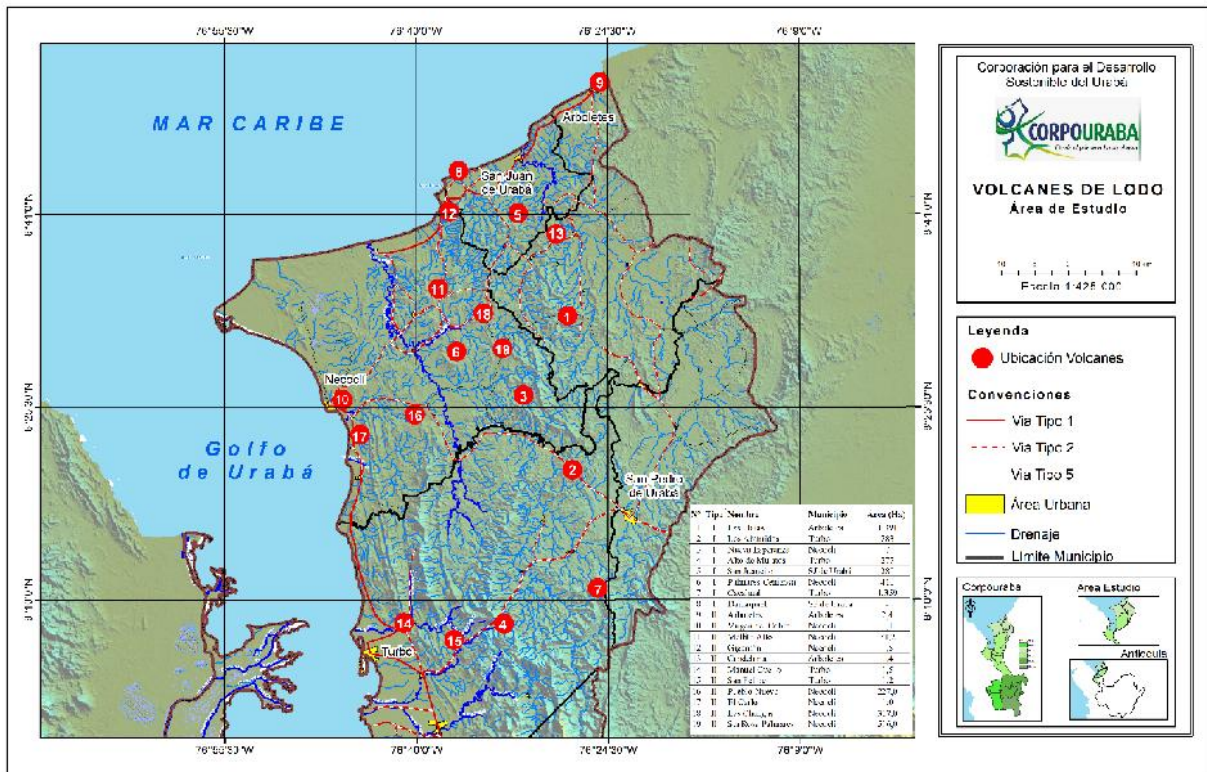


Figura 1. Municipios y ubicación geográfica de los volcanes de lodo

En estos municipios se distribuyen entre otros, 19 estructuras geológicas las cuales, son objeto de análisis en este documento. En el municipio de Turbo se caracterizó los siguientes volcanes de lodo: Los Aburridos, Cacahual, Alto de Mulatos, San Felipe y Manuel Cuello; de ellos, se presenta mapas con niveles de amenaza para los volcanes Los Aburridos, Cacahual y Alto de Mulatos. En el municipio de Necoclí

se caracterizó los volcanes Virgen del Cobre, El Carlo, Pueblo Nuevo, Palmares Cenizosa, Santa Rosa de los Palmares, Nueva Esperanza, Mellito Alto, Las Changas y Gigantón; de ellos, se presenta mapas con niveles de amenaza para los volcanes Palmares Cenizosa y Nueva Esperanza. En el municipio de San Juan de Urabá se caracterizó los volcanes Damaquiel y San Juancito; de ellos solo se presenta mapa con niveles de amenaza para el volcán San Juancito. En el municipio de Arboletes se caracterizó los volcanes, Arboletes, Candelaria y Las platas y solo en este último, se presenta mapa con niveles de amenaza.

2.1 HIDROLOGÍA

En gran parte de las áreas donde se localizan los volcanes de lodo se identificó humedales y nacimientos de fuentes hídricas que reciben en todo momento y transportan los materiales extruidos por los volcanes. Esas cuencas son:

- ✓ Cuenca de la quebrada El Carlo: En ella se encuentra volcán de lodo El Carlo
- ✓ Cuenca del río Bobal: En ella se encuentra el volcán de lodo Pueblo Nuevo; el cual, tiene influencia directa sobre la quebrada El Venado y sus afluentes.
- ✓ Cuenca del río Bobal: En ella se encuentra el volcán de lodo Virgen del Cobre.
- ✓ Cuenca del río Mulaticos: En ella se encuentra el volcán de lodo Palmares Cenizosa. El cual influencia directamente a las quebradas La Cenizosa y Corcovado.
- ✓ Cuenca del río Mulaticos: En ella se encuentra el volcán de lodo Santa Rosa de los Palmares. El cual influencia directamente a la quebrada Florisanto.
- ✓ Cuenca del río Mulaticos: En ella se encuentra el volcán de lodo Las Changas. El cual influencia directamente a drenajes que vierten agua al río Mulaticos.
- ✓ Cuenca del río Mulatos: En ella se encuentra el volcán de lodo Los Aburridos. El cual influencia directamente a drenajes que vierten aguas a la quebrada Aguas Prietas que vierte aguas al río.
- ✓ Cuenca de la quebrada Las Platas: En ella se encuentra el volcán de lodo Las Platas; el cual influencia, directamente a las quebradas Ceniza, Salada, La Olleta, La Burrita, La Iraca.
- ✓ Cuenca del río Mulatos: En ella se encuentra el volcán de lodo Cacahual. El cual influencia directamente a las quebradas El Cahual, Cenizosa, Azúcar,
- ✓ Cuenca de la quebrada Las Patillas: En ella se encuentra el volcán de lodo Candelaria.
- ✓ Cuenca del río San Juancito: En ella se encuentra el volcán de lodo del mismo nombre.
- ✓ Cuenca de la quebrada Iguanita. En ella se encuentra el volcán de lodo Mellito Alto.
- ✓ Cuenca de la quebrada Zapata. En ella se encuentra el volcán de lodo Gigantón. el cual influencia, directamente a las quebradas afluentes de esta.
- ✓ Cuenca de la quebrada Sabanilla. En ella se encuentra el volcán de lodo Gigantón. el cual influencia, directamente a las quebradas afluentes de esta.

En esas cuencas los depósitos de lodo podrían incrementar la cantidad de sedimentos y alterar las propiedades físicas principalmente el color, el sabor y el olor.

2.2 GEOMORFOLOGÍA

La Zona Caribe que comprende los municipios de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá, Arboletes y San Pedro de Urabá evidencia dos geoformas características: **1)** Zonas planas, formadas por la llanura costera y los depósitos aluviales de ríos y quebradas; y **2)** Zona de colinas y montañas formadas por rocas sedimentarias.

En la geoforma zona de colinas tiene topografía relativamente suave, son de poca altura, con desniveles del orden de los 100 metros, cimas redondeadas y pendientes cortas y convexas. Las montañas tienen alturas mayores, con desniveles hasta de 400 metros, cimas angulares y pendientes moderadas a fuertes, largas y rectas. En esta geoforma, las fuentes bibliográficas ([Necoclí, 2000](#)), identifican las siguientes Macrounidades Geomorfológicas:

- 1) Colinas estructurales alargadas (Cea)
- 2) Colinas Altas (Ca)
- 3) Colinas bajas (Cb)
- 4) Vertiente Espinazo (Ve)
- 5) Valle aluvial (Va)
- 6) Terraza aluvial (Qt)
- 7) Terraza marina (Qtm)
- 8) Estructuras dómicas (D)

2.2.1 Colinas Estructurales Alargadas (Cea)

Este tipo de paisaje en el municipio de Necoclí corresponde ([Necoclí, 2000](#)), a una estructura de relieve de colinas bajas de carácter estructural, que conforma cimas estrechas y alargadas cuyos ejes presentan direcciones principales NS y NE-SW, con alturas promedias por debajo de los 200 msnm. Las colinas se encuentran separadas por depresiones excavadas por la escorrentía o por valles aluviales estrechos. El tipo de drenaje que se presenta al interior del sistema de colinas es el denominado «*trellis*»; es decir, aquel que presenta control estructural y en donde los drenajes son paralelos. Las colinas se desarrollan sobre rocas sedimentarias del terciario, compuestas de estratos blandos como lodolitas y shales y estratos duros como conglomerados.

Este paisaje, en el municipio de San Juan de Urabá, se encuentran en los corregimientos de San Juancito y al Este de la Cabecera municipal ([San Juan de Urabá, 2000](#))

Esta macrounidad, en el municipio de Arboletes, corresponde ([Arboletes, 2000](#)) a una estructura de relieve de colinas bajas de carácter estructural, que conforma

cimas estrechas y alargadas cuyos ejes presentan direcciones principales al SN y NE-SW, con alturas promedias por debajo de los 200 msnm.

En el municipio de San Pedro de Urabá, esta macrounidad, comprende la mayor área del municipio ([San Pedro de Urabá, 2000](#)).

2.2.2 Colinas Altas (Ca)

Geográficamente se localizan en la parte alta de la cuenca del río San Juan donde están las partes elevadas y de mayor disección. Las colinas alcanzan alturas de hasta 300 msnm, tienen pendientes pronunciadas con relieve quebrado y escarpado de cimas angostas y laderas fuertes y prolongadas. Esta unidad por ser la más montañosa posee una mayor concentración de fragmentos de bosque.

Esta macrounidad, en el municipio de San Pedro de Urabá, corresponde ([San Pedro de Urabá, 2000](#)) a una unidad de colinas altas, que alcanzan hasta los 300 msnm y se asocian a las partes más elevadas y de mayor disección localizadas en la parte alta de la cuenca del río San Juan. En esos sitios, las pendientes son pronunciadas con relieve fuertemente quebrado y escarpado de cimas angostas y laderas fuertes y prolongadas. Se observa al SW del área urbana en las veredas Angostura, Tacanal, San Juancito Arriba, Piru y Santa Rosa.

2.2.3 Colinas Bajas (Cb)

Geográficamente, en el municipio de Necoclí, se localizan ([Necoclí, 2000](#)) en los corregimientos de Pueblo Nuevo, Mello Villavicencio, veredas El Vale Adentro, Virgen del Cobre y el Vale Pavas. Las colinas alcanzan alturas de hasta 100 msnm, tienen laderas cortas, con pendientes que van de bajas a moderadas y de cóncavas a convexas, en geoformas de colinas redondeadas y cuchillas suaves y cortas. Presentan dos patrones de drenaje: el primero es subparalelo de baja densidad y el segundo es dendrítico, en ambos tipos de drenaje las incisiones son de baja profundidad.

Este paisaje, en el municipio de San Juan de Urabá, se presenta ([San Juan de Urabá, 2000](#)) en la parte central, en los corregimientos de San Nicolás del Río, San Juancito y veredas Alto Bonito, El Castillo y Caña Brava

Esta macrounidad, en el municipio de Arboletes, presenta dos patrones de drenaje ([Arboletes, 2000](#)): el primero paralelo de baja densidad localizado en el extremo Sureste del municipio en el corregimiento de Buenos Aires, las incisiones son profundas, el segundo patrón de drenaje es dendrítico este se presenta en el extremo norte del municipio sobre la cabecera (veredas Bajo Grande, El Guáimaro, Las Pavitas, El Socorro, El Coco y Pajillal), en este tipo de drenaje las incisiones son de baja profundidad.

Esta macrounidad, en el municipio de San Pedro de Urabá, se observa ([San Pedro de Urabá, 2000](#)) hacia los flancos del valle del río San Juan, en los corregimientos Santa Catalina, Cabecera y Alto San Juan.

2.2.4 Vertiente Espinazo (ve)

En el municipio de Necoclí se distribuye ([Necoclí, 2000](#)) por los corregimientos Mello Villavicencio, Las Changas y Zapata. Las colinas alcanzan alturas de hasta 685 msnm; su altura, decrece en dirección SN; es decir, de 380 m al sur pasa a 50 m al norte. Presenta drenajes tipo «*trellis*». Las vertientes en espinazo forman un paisaje homoclinal dispuesto en ladera estructural, sobre rocas sedimentarias del terciario y de composición variada, lo que permite configurar.

En el municipio de San Juan de Urabá se aprecia ([San Juan de Urabá, 2000](#)) al sur y oeste, en los corregimientos Siete Vueltas y San Nicolás del Río.

Este tipo de macrounidad, en el municipio de Arboletes, se aprecia en el extremo SW en los corregimientos La Candelaria, Las Platas y Trinidad ([Arboletes, 2000](#)). Esta macrounidad, en el municipio de San Pedro de Urabá, se aprecia ([San Pedro de Urabá, 2000](#)) al SE en los corregimientos Alto San Juan, Cabecera y Santa Catalina.

2.2.5 Valle Aluvial (Va)

Geográficamente, en el municipio de Necoclí, se localiza como una franja alargada en sentido SN, que cruza los corregimientos de Pueblo Nuevo, Mello Villavicencio, Caribia, Mellito y Mulatos. El eje principal de estos valles lo constituye el río Mulatos, que desarrolla un cauce sinuoso tipo meándrico irregular siguiendo un curso hacia un nivel más bajo en donde vierte aguas al Mar Caribe ([Necoclí, 2000](#)). En estas áreas los valles alcanzan alturas inferiores a 100 msnm, pendientes bajas que se asocian a depósitos cuaternarios del río Mulatos, quebradas El Bobal, Mellito, Mello Grande, La Pita y afluentes. Presenta drenaje sinuoso de baja densidad que discurre entre colinas estructurales alargadas cuya morfología depende de procesos de sedimentación del régimen hidrológico de las corrientes y de erosión de fondo. El valle de inundación entre las colinas es menos extenso que en el de una llanura aluvial, pues estas sirven como barrera para expandirse, el recorrido de esta macrounidad. El drenaje es sinuoso tipo meándrico.

En el municipio de San Juan de Urabá, estos valles lo constituyen ([San Juan de Urabá, 2000](#)) los ríos San Juan y San Juancito, que desarrollan cauces sinuosos de tipo meándrico irregular siguiendo un curso hacia un nivel más bajo en donde vierte aguas al mar. Esta macrounidad presenta forma de hoz al cruzar el corregimiento San Juancito y las veredas Las Lajas, El Coco y Montecristo.

Esta macrounidad, en el municipio de Arboletes, se extiende en sentido SN y cruza por los corregimientos Las Naranjitas, Buenos Aires, El Carmelo y La Candelaria ([Arboletes, 2000](#)).

En el municipio de San Pedro de Urabá, esta macrounidad, presenta pendientes bajas, asociados a los depósitos cuaternarios del río San Juan y de sus afluentes. Evidencia ([San Pedro de Urabá, 2000](#)) drenajes sinuosos de baja densidad, colinas bajas y colinas estructurales alargadas, su morfología depende de procesos de sedimentación del régimen hidrológico de las corrientes y de erosión al fondo de su cauce, no obstante, el valle de inundación entre las colinas es menos extenso que en el de una llanura aluvial, pues estas sirven como barrera para expandirse, el recorrido de esta macrounidad se muestra sinuoso de tipo meándrico.

2.2.6 Terraza Aluvial (Qt)

Geográficamente se localiza en el corregimiento de Pueblo Nuevo donde se evidencia terrazas asociadas con el río Mulatos donde los materiales basales consisten en guijarros y gravillas de arenisca bien redondeadas y envueltos en una matriz de arena fina.

2.2.7 Terraza Marina (Qtm)

Geográficamente, en el municipio de Necoclí, comprende una franja paralela a la línea de costa ([Necoclí, 2000](#)) que se ubica al este de la desembocadura del río Mulatos. Las terrazas marinas corresponden a superficies elevadas, planas o levemente inclinadas, formadas por depósitos marinos y fluviales. Los límites tierra adentro e esta macrounidad corresponden a escarpes de paleo-acantilados con rasgos fósiles de línea de costa en sus bases, incluyendo peñascos aislados y barras de playa que evidencia el levantamiento costero durante el Holoceno ([Page, 1986](#), en [Correa & Vernette, 2004](#)).

Esta macrounidad, en el municipio de San Juan de Urabá, interactúa con otros agentes, fluviales, eólicos y las alturas promedias son de 36 m por encima del nivel medio mar ([San Juan de Urabá, 2000](#)).

Esta macrounidad, en el municipio de Arboletes, muestra terrazas asociadas al río San Juan, aunque su composición y textura varía dependiendo del caudal y material de arrastre de los drenajes. Los materiales basales consisten en guijarros y gravillas de arenisca bien redondeadas y envueltos en una matriz de arena fina. Las terrazas ([Arboletes, 2000](#)) pueden apreciarse en el corregimiento El Carmelo.

2.2.8 Estructuras Dómicas (D)

En el área de estudio se encuentra relieves montañosos en forma de domo que en términos generales tienen las siguientes características: forma de una pirámide truncada, base amplia, flancos uniformes y generalmente constituyen el nacimiento de drenajes que discurren en forma radial. Los domos son producto del ascenso de material lodoso que penetra las fisuras y levanta los estratos que lo cubren, al salir el lodo a la superficie y con el consecuente flujo del material da una forma circular vistos en planta. Las estructuras dómicas están ampliamente distribuidas ([Necoclí, 2000](#)) y sobresalen por su extensión las localizadas en los corregimientos de Pueblo

Nuevo y Las Changas. En el municipio de Turbo ([Turbo, 2000](#)) están las localizadas en las veredas Cacahual y Los Aburridos.

Las estructuras dómicas se caracterizan por tener alturas menores a 100 metros y diámetros basales de hasta 750 metros y son, además la expresión superficial, pasada o reciente, de la salida de fluidos asociados al diapirismo de lodo ([Briceño y Vernet, 1992](#)).

En el municipio de San Juan de Urabá, se encuentra ([San Juan de Urabá, 2000](#)) cuatro estructuras, tres de ellas alineadas en sentido NE: la primera al SE del municipio en la vereda La Mugrosa; la segunda en las veredas Subterráneo Montecristo y la tercera en las veredas Caña Brava y Bocas del Rio San Juan. Es probable que la alineación NE se relacione con el control estructural asociado a las fallas San Juan, Los Volcanes y Mulaticos. La cuarta se encuentra en el mar a 200 m de la playa. El patrón de drenaje es tipo radial, con incisiones de poca profundidad.

Esta macrounidad en el municipio de Arboletes, se localiza ([Arboletes, 2000](#)) al sur del municipio y sobresalen por su extensión los domos localizados en los corregimientos Las Platas, Trinidad, El Guadual y Las Naranjitas

Este tipo de macrounidad, en el municipio de San Pedro de Urabá, se localiza ([San Pedro de Urabá, 2000](#)) en los corregimientos Zapindonga, Arenas Monas, El Tomate y Santa Catalina.

2.3 GEOLOGÍA REGIONAL

2.3.1 Cinturones del Sinú y San Jacinto

El cinturón del Sinú (Figura 1) limita al este con la falla Sinú que lo separa del cinturón San Jacinto y al Occidente por la Falla de Uramita y el cinturón San Jacinto limita al este con la Falla de Romeral que lo separa de las subcuencas de San Jorge y Plato y al Occidente por el lineamiento del Sinú que lo separa del cinturón Sinú ([Duque-Caro, 1978](#) citado por [Ingeominas, 2004](#)).

Los cinturones de Sinú y San Jacinto, forman una cuña sedimentaria de hasta 12 kilómetros de espesor que fue acrecionada a la margen suramericana durante el cenozoico; dicha cuña, exhibe en la actualidad topografía plana con pendientes inferiores a 2 grados y abundante vulcanismo de lodo ([Toto and Kellogg, 1992](#)).

El cinturón plegado de Sinú, donde se encuentra la mayor parte de las estructuras volcánicas que se analizan en este documento, se caracteriza por tener estructuras dómicas con presencia de sedimentitas que datan del Eoceno Medio al Oligoceno y que en la actualidad se representan por las unidades Chert de Candelaria (Pgc), secuencia La Risa (Pgr), secuencia Manantial (Pgm) y secuencia Maralú (Pgma), que abarca desde el Eoceno Medio al Oligoceno Superior. Hay también, desarrollos

sedimentológicos con alta variabilidad de facies y una tectónica propia de un prisma acrecentivo que data del Neógeno y que en la actualidad se representa por las secuencias de Pavo (Ngp), Campano (Ngca), Floresanto (Ngf), Pajuil (Ngpa), Moñitos (Ngmn), Morrocoy - El Pantano (Ngmp), Arenas Monas (Ngam), Broqueles (Ngb), Cachaco (Ngch), Loma del Muerto (Nglm) y Tabular (Qta) (Ingeominas, 2003).

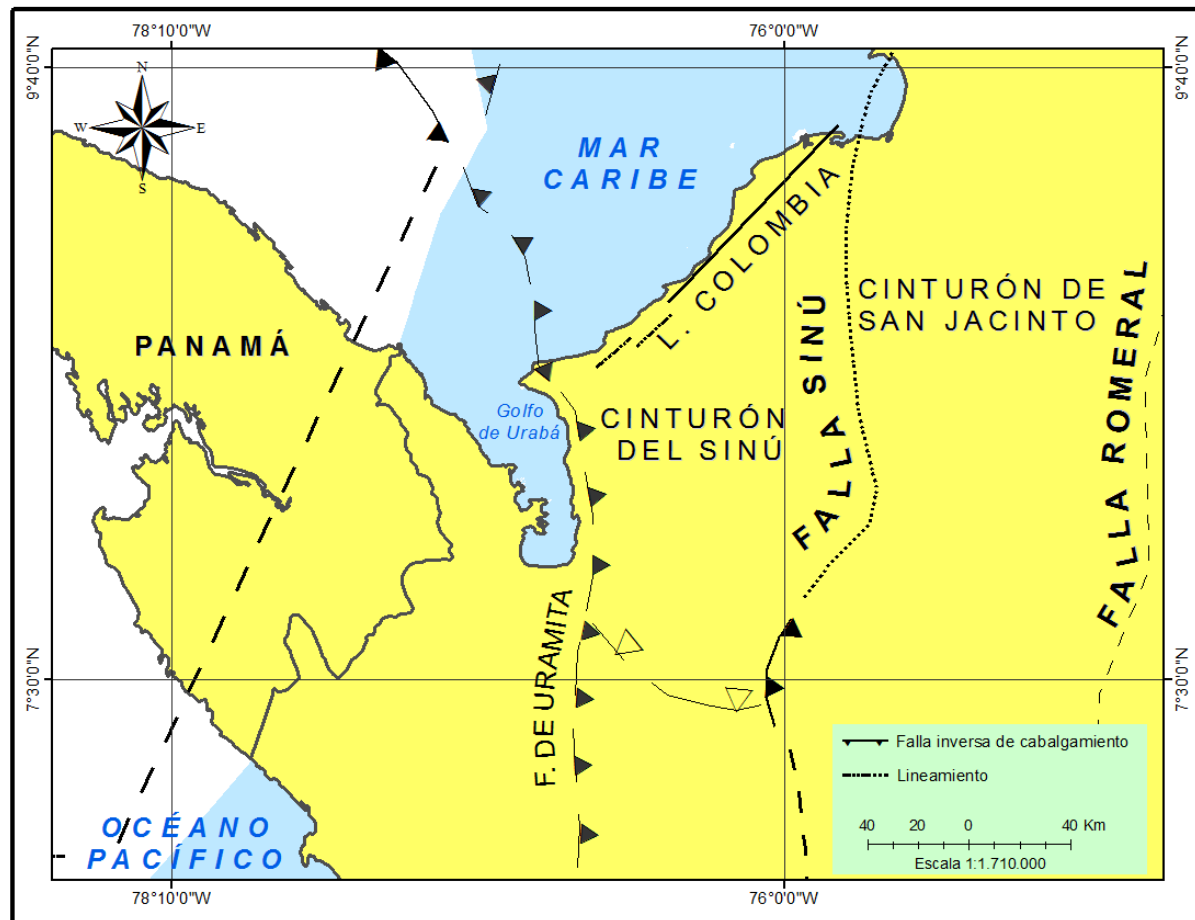


Figura 2. Localización de los cinturones Sinú y San Jacinto. Adaptado y ajustado de Toto, E., Kellogg, J.N. 1992.

En el Cinturón del Sinú las estructuras presentes son en buena parte producto del efecto del diapirismo de lodo, el cual genera sinclinales amplios; estos, se suelen presentar en los domos de los diapiros y a veces pueden coincidir con volcanes de lodo (ANH, 2009). Los diapiros a diferencia de los volcanes de lodo, no siempre tienen una expresión superficial definida. El diapirismo de lodo da lugar a deformaciones y levantamientos del terreno que puedan alcanzar varias decenas de metros (Arboletes, 2009).

metamórficas o sedimentarias respectivamente (ejemplo u: ultramáfica, bg: bajo grado de metamorfismo, ct: continental–transicional). A continuación, se muestra la forma de notación:

MP3NP1–Mag2
 Edad Litología Terreno geológico
 Esténico–Tónico Rocas metamórficas de alto grado Terreno Chibcha–TCH

Las Unidades Cronoestratigráficas más representativas encontradas en el lugar de los volcanes de lodo son las siguientes.

- ✓ **n1n2-St:** Se caracteriza por la presencia de Arenitas líticas a sublíticas de grano medio interestratificadas con lodolitas; localmente turbas, carbón y lentes de conglomerados arenosos cuya edad corresponde al Aquitaniano-Burdigaliano. A esta unidad se asocia la formación Floresanto.
- ✓ **n3n5-St:** Se caracteriza por la presencia de lodolitas y shales calcáreos, con algunos niveles de arenitas. A esta unidad se integra la Formación Floresanto, Unidad Pavo Superior. La edad de la unidad corresponde al Langhiano-Tortoniano
- ✓ **n3n5-Sm:** Se caracteriza por la presencia de arenitas líticas y feldespáticas de grano fino a grueso con glauconita y shales calcáreos intercalados con lodolitas. La edad de la unidad corresponde al Langhiano-Tortoniano
- ✓ **n6n7-St:** Se caracteriza por la presencia de intercalaciones de conglomerados, arenitas líticas a sublíticas de grano medio a conglomeráticas, arenitas calcáreas y lodolitas
- ✓ **Q-al:** Se caracteriza por la presencia de depósitos aluviales y de llanuras aluviales cuya edad corresponde al cuaternario.

2.4.1 Unidades litológicas

2.4.1.1 Unidad Paujil (Loma Verde)

Corresponde a una secuencia lutítica que incluye intercalaciones de limolitas y arenitas finogranulares. El ambiente de formación de esta unidad corresponde ([Geotec, 2003](#)), a un ambiente marino de profundidades batiales superiores a las neríticas.

2.4.1.2 Formación Floresanto

Compuesta ([Geotec, 2003](#)), por una secuencia homogénea de lutitas, dispuesta en capas delgadas a gruesas con colores pardos amarillentos y rojizos resultado de la meteorización. Ella, evidencia capas de limolitas calcáreas y litoarenitas de grano fino friables, granos angulares a redondeados, bien seleccionados compuestos por cuarzo, fragmentos líticos volcánicos, chert negro y cristales de plagioclasa. La edad de formación va desde el Mioceno medio al superior.

2.4.1.3 Pavo Superior

Se caracteriza (Ingeominas, 1999a) por la presencia de lutitas con yeso y jarositas y algunas intercalaciones de arenitas con ostreas. La edad de la Unidad Pavo Superior estimada con base en el análisis de características micropaleontológicas de foraminíferos y palinología (Geotec, 2003) la ubican desde el Mioceno Inferior-medio hasta el Mioceno superior inclusive Plioceno inferior.

2.4.1.4 Formación Arenas Monas

Se encuentra en los corregimientos de El Mellito, Las Changas, Mulatos y Zapata donde forma lomos y cerros medianos a bajos con laderas de pendientes medias a bajas algunas suavizadas. Está formada por arenitas, con menor proporción de lutitas y conglomerados. Presentando una secuencia granodecreciente donde hacia la base se tiene conglomerados arenosos que varían a areniscas conglomeráticas y areniscas, y lutitas hacia la parte superior.

2.4.2 Estructuras

2.4.2.1 Lineamientos

Se encuentran en varios sitios y en campo se evidencia por los cambios de pendiente. Se observan de manera principal en la vía que del área urbana de Necoclí conduce hacia el corregimiento de Mulatos y del corregimiento El Tres hacia el área urbana del municipio de Sa Pedro de Urabá.

2.4.2.2 Fallas

Este tipo de estructuras se evidencia en el paisaje a través de cambios en la pendiente, control estructural en los drenajes, sitios con incrementos en los movimientos en masa. Se identificó la Falla del Congo donde se localizan los volcanes Cacahual y Pueblo Nuevo. La Falla de Umbita que se asocia al volcán de lodo Nueva Esperanza. La falla de San Juan que se asocia a los volcanes Candelaria, San Juancito, Gigantón y Damaquiel. Falla de Canalete que se asocia al volcán de lodo Arboletes y Falla del Caimán que se asocia al volcán Las Platas.

2.4.2.3 Pliegues

Hace referencia a los sinclinales que tienen forma cóncava, como a los anticlinales que tienen forma convexa. Entre los principales se encuentra el sinclinal de Tulipa que se asocia con el volcán San Felipe y el sinclinal de Santa Catalina que se asocia con los volcanes de lodo en San Pedro de Urabá.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 CONCEPTOS GENERALES

3.1.1 Diapiro

En orden a identificar la diferencia entre diapiro de lodo y volcán de lodo resulta prudente desarrollar esos conceptos así: un diapiro de lodo es una estructura

intrusiva que se caracteriza por el ascenso lento de sedimentos ricos en arcilla y un volcán de lodo, generalmente se encuentra, encima del diapiro y se forma como resultado de la migración de fluido directamente a lo largo del cuerpo del diapiro o a través de fallas que conectan al diapiro (Milkov, 2000; Kopf, 2002).

3.1.2 Volcán de lodo

Los volcanes de lodo son estructuras geológicas que se derivan de la infiltración de materiales arcillosos a la superficie terrestre o del mar. En ellos, grandes cantidades de agua, gas y materiales arcillosos se combinan y por diferencias de presión salen expulsados hacia la superficie terrestre a través de las grietas o fracturas (Dimitrov M., 2002) que existen en sitios donde se identifica cuñas de acreción y en donde las principales fuerzas tectónicas son de compresión (Limonov, A.F., and Woodside, 1996 citado por Chen, S.C., Hsu, S.k., et al., 2014).

3.1.3 Diapirismo de lodo

Conocido este concepto, el fenómeno de diapirismo será el movimiento dinámico de un cuerpo plástico que se encuentra en un área de gran presión a un área de menor presión (Mrazec's, 1915, citado por Kopf, 2002). El movimiento se caracteriza por el ascenso progresivo de lodos ricos en agua y gas que circulan a través de las fisuras que existen en las rocas que conforman los terrenos litorales y la plataforma marina adyacente (Bedoya, G., Correa, I.D., Hermelin, M., Mejía, T. 2006) que en el caso de los municipios del Urabá se asocian al Cinturón Plegado del Sinú. El diapirismo se origina en la presencia de un horizonte limo arcilloso no consolidado, que unido a la existencia de gases mezclados con hidrocarburos ascienden por medio de fallas, fracturas o zonas de debilidad (Page, 1986).

El fenómeno de diapirismo de lodo existe en lugares donde se identifica cimas de anticlinales asociados con fallas de compresión (fallas inversas) y zonas sometidas a tectónica colisional con presencia de fallas activas (Barber, et al., 1986, Kopf, 2002, Zitter., et al., 2006).

El diapirismo y el volcanismo de lodo su sustenta también, en procesos tectónicos (Milkov, 2000) y su frecuencia derivada de la tensión tectónica y su distribución sobre la llanura del caribe constituye un factor determinante en la morfología y la sedimentación costera toda vez que su accionar contribuye a incrementar el espesor de la sedimentación (Verette., et al., 1992).

En este aspecto la sedimentación costera, principalmente en tramo comprendido entre Mulatos (Necoclí) y Moñitos (Córdoba), muestra deformaciones y levantamientos de las terrazas marinas en dirección N25E las cuales, se derivan de la alternancia de sinclinales delgados y anticlinales amplios, con fallamientos normales que puedan alcanzar kilómetros. Las tasas medias de levantamiento, según las observaciones realizadas (Page, 1986) pueden llegar a ser de hasta 15 mm/año.

3.2 CLASIFICACIÓN DE VOLCANES DE LODO

Cuando hablamos de volcanes de lodo la primera asociación mental que se tiene es la de una pirámide con base amplia y un vértice agudo al final. La realidad no dista mucho de esa idea sólo que en vez de planos rectos existen formas irregulares y una cúspide aplanada formada naturalmente por la expulsión de sedimentos de arcilla a los que se suman, entre otros: sólidos finos, gases, líquidos y fluidos hidrocarbonados; todos ellos, determinan de una u otra manera la viscosidad de los materiales extruidos. Entre los gases liberados se tiene metano y algo de dióxido de carbono y nitrógeno.

En un volcán de lodo se distingue los siguientes rasgos geomorfológicos: Cráter principal y cráteres secundarios, terrenos irregulares, acumulación de lodo en la periferia y una geometría que se representa tanto en la forma como en la altura que varían según la actividad (frecuencia de la erupción), la naturaleza del material extruido y la presión a la que sale el lodo (determina la viscosidad) por eso, habrá volcanes con diámetros pequeños y volcanes con alturas de varios metros

Los rasgos geomorfológicos, para algunos autores ([Dimitrov, M., 2002](#)), definen reglas básicas como por ejemplo [...] "*entre más alta la presión más violenta la erupción, la actividad es más frecuente, la estructura es más grande, la viscosidad es más baja y los flancos del edificio volcánico son más largos*" [...] y de esta manera, los volcanes de lodo, pueden clasificarse así: 1) De acuerdo a la forma de disponer el lodo, de acuerdo a la forma y de acuerdo al carácter de su actividad. Las características de cada una de ellas se presentan a continuación.

3.2.1 De acuerdo a la forma de disponer el lodo

La morfología de un volcán de lodo es función del estilo de expulsión de lodo; en ese sentido, encontraremos volcanes que evidencian estratos de lodo que escurren en sentido de la pendiente formando una gran mancha de lodo o encontraremos volcanes que tienen un cráter amplio sobre el cual se distribuye el lodo. Estudios recientes ([Kholodov, 2002.](#), citado por [Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G., et al., 2007](#)) clasifican los volcanes en las siguientes categorías.

1. **Clásico:** Aquel volcán que evidencia estratos de lodo que reflejan erupciones periódicas; tiene un edificio volcánico en forma de cono invertido, con un cráter principal definido y varios secundarios.
2. **Rígido:** Aquel que al expulsar lodo de alta viscosidad forma colinas escarpadas.
3. **Pantano:** Aquel que expulsa lodo de baja viscosidad que se extiende sobre un área grande.
4. **Cráter en forma de lago:** Aquel volcán que debido a la morfología, la viscosidad del lodo y la etapa de desarrollo exhibe una combinación de los anteriores.

3.2.2 De acuerdo a la forma

Todos los volcanes evidencian un domo sin embargo, de acuerdo al ángulo de los flancos, tienen dos formas: el tipo domo (conos) y el tipo caldera (ligeramente aplanados); el primero (Figura 4A) tiene forma de pirámide, flancos ensanchados en la base que se estrechan en la parte alta donde se distingue la cresta que si exhibe una depresión se denomina cráter principal; en los flancos se identifica conos pequeños (*gryphon*³) por los que, al igual que el cráter principal, emana lodo compuesto de clastos y bloques de diámetro variable. El segundo (Figura 4B), tiene forma de pirámide truncada, pendiente inferior a 5 grados y caldera y conducto alimentador amplios (Figura 4B).

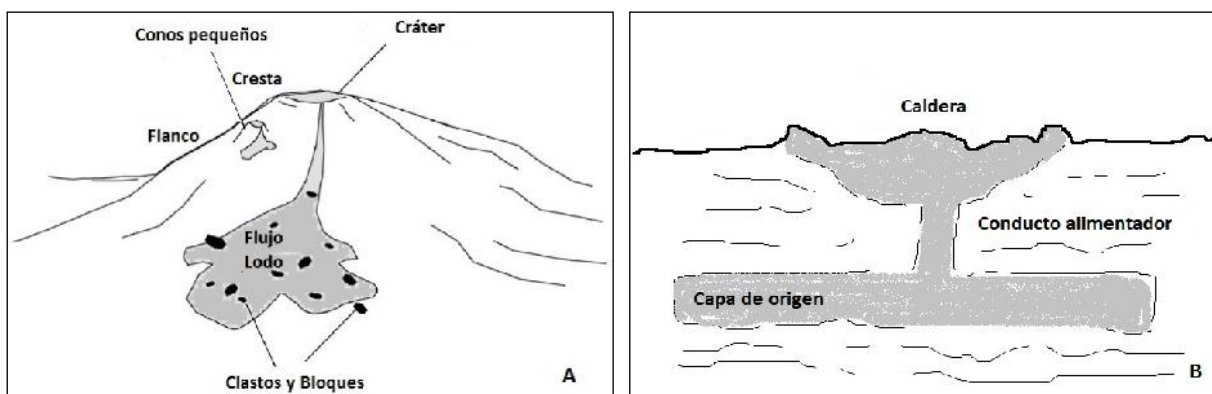


Figura 4. Tipo de volcanes de acuerdo al ángulo de los flancos: A) Tipo domo. B) Tipo caldera. Adaptado de [Kopf, A., 2000](#)).

El conducto alimentador (Figura 4B), tal como lo explica en sus investigaciones ([Kopf, A., 2000](#)) es la estructura que facilita la extrusión del lodo; puede ser cilíndrico, de forma irregular o con una hendidura que denota fractura o falla

Los investigadores ([Kopf, A., 2002](#)) muestran que tanto en los tipo domo (conos) como en los tipo caldera (ligeramente aplanados) los elementos que marcan diferencia son: La altura del edificio volcánico, el origen del fluido, la geometría de los flancos y el diámetro del cráter a partir de los cuales, con análisis, se puede determinar la edad y el tipo de material tanto extruido como volátil.

3.2.3 De acuerdo al carácter de su actividad

Algunos volcanes de lodo se caracterizan por la emisión violenta de materiales arcillosos y la combustión espontánea de gases y otros, menos peligrosos, emiten materiales de manera continua. De esta hipótesis podríamos concluir que no todas las erupciones de los volcanes de lodo son violentas y por tanto existe una manera de clasificarlas por ejemplo autores ([Fowler, S.R., Mildenhall, J., et al., 2000](#) citado por [Yusifov, M., 2004](#)) proponen la siguiente clasificación:

³ Grifos.

1. **Explosivo:** Se caracteriza por la expulsión poderosa de lodo y gas que se inflama espontáneamente.
2. **Efusivo1:** Se caracteriza por la eyección de abundante lodo con emisión de gas que no se enciende.
3. **Efusivo2:** Se caracteriza por el flujo de lodo de baja viscosidad sin emisión de gas.
4. **Extrusivo:** Se caracteriza por la extrusión lenta de lodo viscoso con una cantidad muy insuficiente de gas.

En este contexto mientras el carácter de la actividad de los volcanes de lodo explosivo y efusivo resulta peligrosa la actividad de los volcanes de lodo efusivos y extrusivos tiene menor poder destructivo.

El análisis del carácter de la actividad junto a la expresión de su morfología que inició [Kalinko, \(1964\)](#) y años más tarde complementó [Dimitrov, \(2002\)](#) permitió definir un sistema de clasificación que incluye los siguientes tipos:

1. **Tipo I:** Incluye aquellos volcanes de lodo cuya actividad tiene un carácter explosivo habitualmente con la ignición de los gases emitidos; evidencia períodos cortos de actividad y largos períodos de pasividad. El lodo (brecha) extruido se caracteriza por una baja viscosidad y el edificio volcánico generalmente se caracteriza por tener forma cónica muy bien definida.
2. **Tipo II:** Incluye aquellos volcanes de lodo que se caracterizan por evidenciar actividad tranquila, relativamente débil y continua. El gas se purga continuamente en cantidades uniforme; los respiraderos escupen cantidades pequeñas de barro y agua gaseosa, tienen formas bajas, abultados o bóvedas planas, que se funden con el entorno plano, o en forma de depresiones que a menudo se llenan de agua.
3. **Tipo III:** Los períodos eruptivos son reemplazados por una actividad débil. Los volcanes tienen varias morfologías, pero lo más común es la de cráteres compuestos ([Roberts, 2011](#)).

3.3 MORFOLOGÍA DE LOS VOLCANES DE LODO

Un volcán de lodo es una formación geológica creada por el geo-exudado de lodo que usualmente incluye clastos, agua y gases; de los cuales, el 80% corresponde a metano ([Etiope, G., Caracausi, A., Italiano., et al., 2002](#)) junto a cantidades menores de dióxido de carbono y otros gases

El material que el volcán expulsa forma una mezcla heterogénea de partículas finas de lodo, hidrocarburos, rocas y agua que en algunas ocasiones, dependiendo de la formación rocosa, será ácida o salada ([Brustur, T., Stănescu, I., Macalat, R., et al., 2015](#)).

La viscosidad del material expulsado determina la forma y tamaño de los conos así como también la presión y cantidad de gas (Peahă, M., 1965 citado por [Brustur, T., Stănescu, I., Macalat, R., et al., 2015](#)).

De esta manera, en la morfología de los volcanes de lodo existirán conos positivos como por ejemplo los conos puntiagudos y conos negativos como por ejemplo los huecos grandes con lodo. Los conos puntiagudos llegan a tener cráteres laterales y los huecos de lodo pueden tener eyecciones puntiagudas.

3.3.1 Composición química de los flujos de lodo

La composición química de los flujos de lodo es variable y por lo general está relacionada con la naturaleza del conducto y la litología de los sedimentos movilizados. En términos generales, los depósitos que forman los volcanes de lodo comprenden clastos y fragmentos de roca inmersos en una matriz rica en arcilla y minerales ([Kopf, A., 2002](#)).

Los minerales de arcilla ([Plumlee, G.S., Casadevall, T.J., et al., 2008](#)) están compuestos por esmectita, illita y una mezcla de illita-smectita y en menores proporciones, los análisis muestran caolinita y clorita.

En un trabajo investigativo ([Ross, S., 2008](#)) realizado en el volcán LUSI en Indonesia se encontró que el lodo extruido por el volcán evidencia características inusuales como por ejemplo, baja proporción de nitrógeno (N), pH básico y alta capacidad de intercambio catiónico (CIC). En concreto, los bajos porcentajes de N junto a la presencia de un pH básico son elementos que condicionan el desarrollo de las especies vegetales y si esta condición se compara con suelos tropicales empobrecidos resulta, en la investigación, que el lodo del volcán ofrece condiciones más inhóspitas, a pesar de tener una alta CIC.

En el campo de los gases emitidos por los volcanes de lodo, otros investigadores ([Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G., et al., 2007](#)) encontraron que el gas expulsado por el volcán Lumpur "*mud*" Sidoarjo (LUSI) localizado en Indonesia, contiene metano en proporción del 20% ~10.000 ppm y trazas de H₂S en proporción de 35 ppm. Muestras de gas en la proximidad del cráter mostraron que los contenidos de CO₂ variaron entre 9,9% - 11,3% y el contenido de CH₄ varió entre 83 -85,4%.

3.3.2 Volcanes de lodo submarinos

Los conceptos que hasta esta parte del documento se han expuesto se relacionan con el volcanismo de lodo en la superficie de la tierra en la cual los diapiros o volcanes se pueden observar, recorrer, analizar y cartografiar pero, el análisis de los volcanes de lodo bajo el agua constituye una limitación para este documento por lo que sólo se orientará a enunciar experiencias resultado de la toma de muestras sedimentarias en el golfo de Urabá, en el sector de Bahía Colombia y en

el mar Caribe en jurisdicción de los municipios de Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes.

4. METODOLOGÍA

La caracterización de los volcanes de lodo se sustentó en las siguientes herramientas metodológicas: observación, recolección de información sobre eventos explosivos, análisis de información y entrevistas semi-estructuradas y abiertas.

4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se orientó a reunir información cronológica de los eventos eruptivos ocurridos en los volcanes: Los Aburridos (Turbo), Las Platas (Arboletes), Nueva Esperanza (Necoclí), Alto de Mulatos (Turbo), San Juancito (San Juan de Urabá), Palmares Cenizosa (Necoclí) y Cacahual (Turbo). La cronología de las erupciones reveló que los eventos volcánicos tuvieron repercusiones en el ambiente y en las comunidades asentadas en el área perimetral de los edificios volcánicos.

4.1.1 Observación

Se apoyó en recorridos de campo que tuvieron como objetivo coleccionar información geográfica para: **1)** Definir la morfología de los volcanes de lodo y describir las siguientes estructuras: grietas, edificios volcánicos y domos/volcanes de lodo. Este aspecto se apoyó en la revisión de información geológica contenida en las planchas 79-Turbo, 80-Tierralta, 59-Mulatos, 60-Canalete, 69-Necoclí y 70-San Pedro de Urabá ([Geotec, 2003](#)) a una escala 1:100.000 y permitió aproximadamente identificar 59 domos y 19 volcanes de lodo de los cuales en este documento se caracterizan los 19 volcanes. **2)** Determinar en los municipios de Arboletes, San Juan de Urabá, Turbo, Necoclí y San Pedro de Urabá los tipos de volcanes de lodo con base en el carácter de su actividad tal como lo propuso inicialmente [Kalinko \(1964\)](#) y años más tarde complementó [Dimitrov, L.I. \(2002\)](#). **3)** analizar los flujos de lodo. **4)** identificar *in situ* la cobertura vegetal aledaña y discutir con base en las características del lodo extruido la capacidad de colonización de algunas especies vegetales.

4.1.2 Imágenes de Satélite

Como herramienta permitió detectar cambios en el terreno derivados de la extrusión de lodo que proviene de un evento eruptivo. Se utilizó 16 imágenes de satélite (Tabla 1) a partir de las cuales se obtuvo las dimensiones de la mancha de lodo antes y después de un evento en los volcanes: Las Platas, Los Aburridos, Nueva Esperanza y Cacahual.

Tabla 1. Características de las imágenes de satélite utilizadas por tipo de sensor.

Id Scene	Fecha	Nubosidad	Sensor	Path	Row
Volcán Las Platas					
LE07-L1TP-010054-19990810-20170217-01-T1	10/08/99	24,4	Landsat 7	10	54
LT50100541991336CPE00	2/12/91	56	Landsat5TM	10	54

Id Scene	Fecha	Nubosidad	Sensor	Path	Row
LE07-L1TP-010054-20061101-20170106-T1	1/11/06	25,9	Landsat7	10	54
LE07-L1TP-010054-20110421-20161209-01-T1	21/04/11	31,24	Landsat7	10	54
S2B-tile-20171128-18PUQ-0	28/11/17	17,84	Sentinel2		
S2A-tile-20170427-18PUQ-0	27/04/17	12,94	Sentinel2		
LC08-L1TP-010054-20171209-20171209-01-RT	9/12/17	11,34	Sentinel2		
Volcán Los Aburridos					
LE07-L1TP-010054-0020122-20170201-01-T1	22/01/02	17,55	Landsat7	10	54
LE07-L1TP-010054-20050506-20170114-01-T1	6/05/05	41,8	Landsat7	10	54
LE07-L1TP-010054-20081005-20161224-01-T1	5/10/08	43,1	Landsat7	10	54
LC80100542016277LGN00	3/10/16	17,69	Landsat8	10	55
S2B-tile-20171218-18PUQ-0	18/12/17	0,12	Sentinel 2B		
Volcán San Juancito					
S2B-tile-20171218-18PUQ-0	18/12/17	0,12	Sentinel 2B		
Volcán Nueva Esperanza					
LC80100542015002LGN00	2/06/15	3,5	Landsat8	10	55
Volcán Cacahual					
LT05_L1TP_010054_19960724-201701103_01_T1	24/07/96	12	Landsat 5 TM	10	54
S2B-tile-20171218-18PUQ-0	18/12/17	0,12	Sentinel 2B		

4.1.3 Fotografías aéreas

Para el caso de los volcanes en los cuales no fue posible obtener imágenes de satélite se utilizó fotografías aéreas sin zonas oscuras, sin distorsiones por revelado y con menor densidad por nubes. Las características de ellas se presentan a continuación:

- 1) En el volcán Alto de Mulatos, se utilizó una fotografía a escala aproximada 1:12.000 tomada en 1994 por la empresa Aeroestudios que exhibe la mancha de lodo extruido posiblemente en el evento de 1993.
- 2) Para el volcán, Las Platas, se utilizó un par de fotografías aéreas escala 1:20.000, FAL 458, faja 8 fotos 72-73 con el objetivo de comparar las dimensiones del evento eruptivo que se presenta en esta imagen con la imagen del sensor Landsat 7 del 1/11/2006.
- 3) Para mostrar la ubicación geográfica del volcán de lodo Damaquiel se utilizó una fotografía aérea escala aproximada 1:10.000, septiembre de 2004, plancha 59-IV-B-I en formato TIFF, sistema de referencia Wgs-84.
- 4) Para mostrar la ubicación geográfica del conjunto de volcanes de lodo Gigantón se utilizó una fotografía aérea escala 1:10.000, septiembre de 2006, plancha 59-IV-B-III en formato TIFF, sistema de referencia Wgs-84.
- 5) Para el caso del volcán de lodo Cacahual, la mancha de lodo se delimitó a partir del análisis de imágenes de satélite (Tabla 1) apoyadas en una fotografía aérea en formato TIFF, escala aproximada 1:10.000, del año 2007, plancha 80-I-A-II cedida por catastro del municipio de San Pedro de Urabá.

4.1.4 Entrevistas

Las comunidades constituyen una fuente importante de información primero, porque conocen la cronología de los eventos eruptivos; segundo porque al conocer la dinámica del proceso eruptivo son los primeros testigos y tercero porque son los

damnificados. Recordar con ellos las características de los eventos eruptivos fue enriquecedor y aportó en gran manera a la construcción del documento.

Las entrevistas estuvieron acompañadas del consentimiento informado que garantizó que las entrevistas se hicieran dentro del marco del respeto y de la libre opinión.

4.2 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

4.2.1 Captura de información

La captura de información geográfica se hizo con un navegador GPS Map 76 CSx, la descarga de los datos se hizo a través del software de uso libre DNR-Garmin versión 5.02 (<https://www.dnr.state.mn.us/mis/gis/DNRGPS/DNRGPS.html>) y la visualización de los mismos se hizo en el software ArcGis™ versión 10.1. Los datos se estructuraron y almacenaron en una Geodatabase personal denominada *volcanes.mdb*.

4.2.2 Sensores remotos

La búsqueda de las imágenes de satélite y fotografías aéreas se hizo a partir del conocimiento de la cronología de eventos eruptivos y la descarga de las imágenes coincidentes con esos sucesos se gestionó a través de la plataforma EOS (Earth Observing System) que tiene acceso libre a través del link <https://eos.com/landviewer/>. Las imágenes se descargaron en formato TIFF, se georreferenciaron y analizaron en el software geográfico ArcGis™ versión 10.1.

El análisis de las imágenes tuvo como objetivo delimitar y construir polígonos en formato .shp «*shape*» de las manchas de lodo y para ello se utilizó, las herramientas de edición del software geográfico. Sobre los polígonos, se calculó la longitud (m), amplitud (m) y el volumen del lodo extruido (aproximado m³). Los cálculos realizados con los sensores remotos se corroboraron con los informes técnicos elaborados por CORPOURABA.

4.2.3 Niveles de amenaza

La delimitación de las manchas de lodo se corroboró y ajustó con información de curvas de nivel generadas cada 5 metros a partir del análisis de un DTM (Digital Terrain Model) de 12,5X12,5 metros de pixel aportado por el sensor ALOS PALSAR que fue descargado libremente del link <https://www.asf.alaska.edu/search/?q=Alos+Palsar>. Para la obtención de las curvas de nivel se utilizó la herramienta «*raster Surface/contour*» del software geográfico ArcGis™ versión 10.1; en este proceso, se asignó al DTM el sistema de referencia Magna Oeste.

Teniendo las curvas de nivel y los polígonos que delimitan las manchas de lodo se definió, siguiendo las curvas de nivel, tres franjas aledañas de amplitud variable que corresponden a los niveles de amenaza alta, amenaza media y amenaza baja.

Se asignó amenaza alta al área donde históricamente el volcán ha depositado el lodo extruido en cada uno de eventos históricos. Esta franja de forma irregular, se ubica a una distancia que varía según el volcán (Tabla 2) y las características geomorfológicas a él asociadas. El área de amenaza media es contigua a la primera área y su trazado se hace sobre los sitios o infraestructuras que tienen un nivel menor de impacto en caso de ocurrir una erupción. El área de amenaza baja corresponde a una franja aledaña a los dos anteriores; por tanto, cubre superficies que en caso de producirse la erupción del volcán tendrían un impacto bajo.

Tabla 2. Área de amenaza en hectáreas y distancia en metros del cráter principal de esa área por volcán

Volcán	Área amenaza (ha)			Distancia (m) cráter principal		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Las Platas	82,1	91,5	15,6	331	592,5	581,5
Los Aburridos	77,3	33,9	35,7	420,2	511,9	550,3
Nueva Esperanza	22,8	18,4	7,9	120,8	224,7	252,4
Alto Mulatos	6,4	6,1	6,8	60	98	170
San Juancito	11,6	24,8	41,1	177,3	240,8	269,7
Palmares Cenizosa	87,6	279,4	53,8	479,8	1.197,4	1.203,7
Cacahual	9,4	27,9	18,8	200	315	486

La delimitación de la amenaza para el volcán de lodo Palmares Cenizosa se hizo con base en el informe técnico realizado por [Gómez, J.F. \(2007\)](#) que a su vez tomó como referencia el informe realizado por [Parra, L.E. \(2004\)](#). Alrededor del edificio volcánico se definió tres niveles de amenaza: alta, media y baja y al interior de estas áreas se identificó grietas, zona de deformación del terreno (abultamientos), salida principal y secundaria de lodo, zonas de deslizamiento y viviendas a reubicar. Los mapas en formato PDF fueron digitalizados y para ello se utilizó la herramienta «georeferencing» del software ArcGis™ versión 10.1.

El análisis de la amenaza en los volcanes Palmares Cenizosa, San Juancito, Las Platas, El Aburrado, Cacahual y Alto de Mulatos, se apoyó en un Modelo Digital de Elevación (DEM) de 12,5X12,5 metros de pixel junto a cartografía digital escala 1:25.000. En la delimitación de la amenaza para el volcán de lodo Cacahual se utilizó un DEM de 10 x 10 m de pixel junto a cartografía digital escala 1:10.000

5. RESULTADOS

5.1 MORFOLOGÍA

5.1.1 Domos

En los municipios de Turbo, Necoclí y Arboletes los domos (Figura 5) corresponden a estructuras geológicas alargadas o elípticas formadas por la fractura y levantamiento de la roca. Son también, un tipo de anticlinal donde las curvas de

nivel se dan hacia afuera en todas las direcciones desde un punto central más elevado ([Encyclopaedia Britannica, 2015](#)) (Figura 5).

En esos municipios los relieves en forma de domo están presentes en los volcanes de lodo, Los Aburridos, Cacahual, Palmares Cenizosa, Las Platas, Nueva Esperanza, Alto de Mulatos y entre otros; los cuales en términos generales ostentan variadas dimensiones, las capas que los forman provienen de las violentas y tranquilas erupciones de lodo, se localizan generalmente sobre fallas, poseen laderas empinadas, en algunos de ellos el lodo se derrama por un extremo de las laderas y alcanza varios metros, en el centro se identifica una depresión o cráter principal que también puede estar acompañado por cráteres secundarios, puntuales que liberan lodo de manera continua o intermitente. En la forma de la cima influyen los procesos erosivos que desgastan las formas agudas.



Figura 5. Ejemplo de domos en el área de estudio. **A)** Volcán El Aburrído. **B)** Cráter secundario Candelaria. **C)** La Totumita, en el municipio de San Pedro de Urabá. Foto: Alberto Vivas Narváez.

5.1.2 Edificio volcánico

En los municipios que son del área de estudio, los edificios volcánicos, grandes o pequeños, poseen cimas planas, base amplia, un cráter principal, varios cráteres

secundarios y en general, formas simétricas que siguen siendo moldeadas por los materiales (lodo, clastos, roca) extruido en las erupciones.

Los edificios volcánicos son estructuras geológicas formadas como resultado de la emisión de material arcilloso sobre la superficie de la tierra o del mar. La morfología de estos volcanes normalmente se representa, por montañas (edificios) en forma de cono, que ha sido formado en el tiempo por la extrusión de una mezcla de material arcilloso que proviene de fuentes ubicadas a grandes profundidades demostrando así la existencia de procesos geológicos a nivel regional. La extrusión de los materiales marca, entre otras, las siguientes diferencias:

- 1) Extrusiones calmadas ocurren en los volcanes de lodo Arboletes, Candelaria, y Necoclí. En estos el lodo se purga de manera continua, hay presencia de burbujas de gas y se evidencia trazas de aceite.
- 2) Extrusiones violentas ocurren en los volcanes de lodo Los Aburridos, Las Platas, Cacahual, Alto de Mulatos y Nueva Esperanza. En estos hay emisión de llamas y grandes cantidades de material arcilloso que contribuye a moldear la morfología del edificio volcánico.
- 3) Extrusiones calmadas con salida de gas en el volcán de lodo Palmares Cenizosa. En este hay abombamiento del terreno y formación de grietas.
- 4) La alta viscosidad del material extruido en el volcán Los Aburridos ha contribuido a la formación de un edificio volcánico con morfología de cono mientras que la baja viscosidad de lodo extruido en los volcanes Arboletes, Filo de Piedra y Necoclí ha contribuido a la formación de un edificio volcánico con morfología de piscina.
- 5) Las erupciones frecuentes en los volcanes Las Platas y Los Aburridos facilitan el desarrollo rápido del edificio volcánico en tanto que los largos periodos de quietud como en el caso del volcán Cacahual evidencia un desarrollo lento del edificio volcánico.

Los edificios volcánicos se distribuyen al interior del Cinturón del Sinú que geomorfológicamente constituye un conjunto de secuencias sedimentarias agrupadas en estructuras anticlinales-sinclinales y estructuras diapíricas (domos, volcanes de lodo) comunes tanto en la llanura del Caribe como en el mar Caribe a grandes profundidades.

Hidrológicamente, los edificios volcánicos, se distribuyen entre otras, en las cuencas de los ríos Turbo, Quebrada El Mello, Río Mulatos, Río San Juan, Río Volcán, Quebrada El Congo, Quebrada La Cenizosa, Quebrada La Toyosa y Quebrada El Encanto, Río Mulaticos, Quebrada Las Patillas.

5.1.3 Sistema de grietas

Las grietas, observadas principalmente en los volcanes Palmares Cenizosa y San Juancito, representan un sistema de fallas que son casi circulares vistas en planta o radiales vistas en campo. En otro ámbito, los estudios y análisis ([Roberts, 2011](#))

muestran que las grietas radiales, se asocian con fallas presentes en el domo volcánico y con el hundimiento o levantamiento del suelo; condiciones estas últimas, presentes en el volcán Palmares Cenizosa.

El sistema de grietas que se asocian a los volcanes lodo Palmares Cenizosa y San Juancito, muestra que aumentan en longitud en cada uno de los eventos por lo que se podría sugerir que juegan un papel importante en la determinación de la mayor o menor presión liberada.

5.1.4 Tipo de expulsiones

La expulsión de lodo en los volcanes de Urabá se hace a través de eyecciones puntuales, charcos de lodo y en forma de cono tal como se observa a continuación:

Tabla 3. Tipo de expulsión y descripción de la misma.

Tipo expulsión	Figura de la expulsión	Descripción	Dimensiones (m)
Puntual		Aparece como una expulsión aislada de lodo con depresión elíptica y película concéntrica de hidrocarburo. Característica del volcán Filo de Piedra (Necoclí).	0,41 X 0,43
Charcos de lodo		Un gran charco de lodo acuoso que emite varias burbujas de gas, los bordes son irregulares y hay un canal por donde se purga el lodo. Característica del volcán Filo de Piedra (Necoclí).	13,6 X 5,1
En forma de cono		La estructura se caracteriza por la presencia de un cono bien desarrollado. A veces hay canales en los flancos. El cráter es semicircular. Característica del volcán Cacahual (Turbo).	5,2 X 3,2. Diámetro 0,21

5.1.5 Lodos

5.1.5.1 Flujos de lodo

La morfología de los flujos de lodo en los volcanes Las Platas, Los Aburridos, Nueva Esperanza, Alto de Mulatos y Cacahual depende del: ángulo de inclinación y del contenido de clastos en el fluido. En esos volcanes los flujos siempre fluirán por el flanco más empinado del edificio. Ese flujo, en el caso de los volcanes Alto de Mulatos y Nueva Esperanza es limitado por una característica topográfica que respectivamente corresponde a las quebradas Juan Benítez y El Mello.

En estos volcanes la morfología del edificio volcánico estará determinada por la duración y frecuencia de los eventos eruptivos unido a factores externos como son la pendiente del terreno, la viscosidad del material extruido y la precipitación pluvial.

5.2 VOLCANES TIPO I

En este documento se analizó 19 volcanes de lodo (Tabla 4) así: 8 volcanes clasificados en el tipo I y 11 volcanes clasificados en el tipo II. En cada uno de ellos se analizó las características generales, la morfología, la cronología de eventos y se avaluó la amenaza.

Tabla 4. Ubicación geográfica de volcanes de lodo por vereda y municipio.

ID	Tipo Volcán	Nombre	Vereda	Municipio	Área (ha)	Coordenadas	
						Latitud	Longitud
1	I	Las Platas	El Volcán	Arboletes	1.391	8°32'52,1"	76°27'44,4"
2		Los Aburridos	El Volcán	Turbo	783,4	8°20'28,2"	76°27'23,4"
3		Nueva Esperanza	Nueva Esperanza	Necoclí	7,1	8°26'29,1"	76°31'19,3"
4		Alto de Mulatos	Alto de Mulatos	Turbo	277	8°08'5,31"	76°32'56,2"
5		San Juancito	San Juancito	San Juan de Urabá	280	8°41'8,4"	76°31'44,9"
6		Palmares Cenizosa	Vena de Palma	Necoclí	410	8°30'1,2"	76°36'44,3"
7		Cacahual	Cacahual Arriba	Turbo	1.359	8°10'55,5"	76°25'20,6"
8		Damaquiel	Damaquiel	San Juan de Urabá		8°44'33,3"	76°36'32,9"
9	II	Arboletes	Barracuda	Arboletes	2,4	8°51'42,3"	76°25'6,9"
10		Virgen del Cobre	Área Urbana	Necoclí	1,1	8°26'6,2"	76°45'57,5"
11		Mellito Alto	El Mellito	Necoclí	71,2	8°35'5,9"	76°38'12,5"
12		Gigantón	Gigantón	Necoclí	1,5	8°41'17,2"	76°37'18,8"
13		Candelaria	La Candelaria	Arboletes	1,4	8°39'27,7"	76°28'38,7"
14		Manuel Cuello	Manuel Cuello	Turbo	1,5	8°08'09,1"	76°41'0,7"
15		San Felipe	San Felipe	Turbo	1,2	8°6'48,3"	76°36'57,3"
16		Pueblo Nuevo	Pueblo Nuevo	Necoclí	227	8°24'56,2"	76°40'7,3"
17		El Carlo	El Carlo Abajo	Necoclí	1	8°23'20"	76°44'33"
18		Las Changas	Las Changas	Necoclí	317	8°33'5,3"	76°34'33,5"
19		Santa Rosa de los Palmares	Santa Rosa de	Necoclí	516	8°30'15"	76°33'0"

ID	Tipo Volcán	Nombre	Vereda	Municipio	Área (ha)	Coordenadas	
						Latitud	Longitud
			los Palmares				

La clasificación de los volcanes de lodo en Tipo I y Tipo II obedece a una clasificación inicial dada por Kalinko (1964) que años más tarde (Dimitrov, L.I. 2002) la complementó.

La clasificación de los volcanes (Tabla 4) según el carácter de su actividad y la expresión morfológica de los mismos permitió definir, en los municipios de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá, Arboletes y San Pedro de Urabá, tres tipos así: Tipo I cuando su actividad es de carácter explosivo y habitualmente hay ignición de gases emitidos. Tiene períodos cortos de actividad y largos períodos de pasividad. El lodo extruido se caracteriza por una baja viscosidad y por lo general tiene una forma cónica muy bien definida. Entre los volcanes de lodo que se agrupan en esta categoría se tiene:

5.2.1 Volcán Las Platas

El volcán de lodo Las Platas se localiza en la margen izquierda de la vía que del corregimiento Las Changas conduce hacia Las Platas en un área de las fincas Tecalandia y La Pachanga, vereda El Volcán, corregimiento Santafé de Las Platas del municipio de Arboletes. El volcán se ubica a 40 kilómetros en dirección SW de la cabecera urbana del municipio de Arboletes y a 4,3 kilómetros en dirección SW de la cabecera urbana del corregimiento Santafé de Las Platas.

5.2.1.1 Morfología

El volcán de lodo Las Platas, visto en planta, se asemeja a una figura geométrica irregular, elíptica, con laderas de pendiente moderada. La base es amplia y cubre un área aproximada de 1.391 hectáreas. La cima es plana y tiene en dirección NE un canal que tiene la función de conducir los materiales expulsados (una mezcla de lodo, clastos y agua) que fluyen a partir de foco de emisión que se encuentra a 317 metros sobre el nivel medio del mar y se localiza en las coordenadas 8°32'52,1"N – 76°27'44,4"W.

El canal de flujo de lodo del volcán tiene aproximadamente 1.000 metros de largo y 400 metros de ancho y viene siendo formado por varias coladas de lodo superpuestas las cuales, fluyen de manera abundante y periódica como veremos más adelante cuando se analice la cronología de eventos. Las coladas de lodo impactan ambientalmente las quebradas La Salada y La Burrita afluentes de la quebrada Las Platas que vierte aguas al Río San Juan.

El volcán de lodo Las Platas, geomorfológicamente hablando se localiza sobre la macrounidad denominada "vertiente en espinazo"(ve) caracterizada (PBOT, 1999) por formar un paisaje homoclinal dispuesto en ladera estructural, sobre rocas sedimentarias del terciario y de composición variada, lo que permite configurar una red de drenaje tipo angular. Este tipo de paisaje se aprecia en el extremo SW a la altura de los corregimientos La Candelaria, Las Platas y Trinidad donde las colinas alcanzan alturas de 300 msnm. En el área del volcán el drenaje es de tipo radial. El volcán esta al interior del Cinturón Plegado del Sinú (Ingeominas, 1999a), se asigna la sigla Ngpas que corresponde a la Unidad Paujil (Loma Verde) con secuencia lutítica que incluye intercalaciones de limolitas y arenitas finogranulares. El ambiente de formación de esta unidad corresponde (Geotec, 2003), a un ambiente marino de profundidades batiales superiores a las neríticas.

El volcán de lodo Las Platas se clasifica en el Tipo I debido a su naturaleza explosiva donde tradicionalmente hay ignición de los gases que emite; evidencia también, períodos cortos de actividad y largos períodos de pasividad. El lodo extruido se caracteriza por una baja viscosidad.

5.2.1.2 Cronología de eventos

Durante las visitas de campo al área del volcán de lodo Las Platas se recuperó información histórica que constituye evidencia que el volcán experimenta largos periodos de quiescencia o inactividad a los que siguen erupciones violentas acompañadas de grandes cantidades de gases mezclados con agua, aceite, lodo y fragmentos de roca que se dispersan en sentido sur-norte a lo largo del canal de flujo lodoso (Figura 7). Junto a estas señales el volcán evidencia, además ignición de gases, hundimiento del suelo y grietas que en conjunto ponen en riesgo la integridad de la comunidad.

La información muestra que la comunidad preserva en la memoria eventos que datan desde 1958 hasta el último ocurrido en 2017. El evento más antiguo, sin mes ni fecha recordada, al ser corroborado por otras personas en sitios cercanos al corregimiento Las Platas da cuenta de su ocurrencia; sin embargo, conociendo los eventos del volcán en los últimos 15 años se guarda reserva sobre la ocurrencia de ese evento principalmente porque su periodo de quiescencia se extiende durante 44 años lo cual es muy largo si se compara a los conocidos en la actualidad. ¿Que hizo que este volcán permaneciera tanto tiempo inactivo y que mecanismo hizo que mostrara actividad en 2002?

De otro lado la información recopilada del análisis de los sensores remotos Landsat 5, Landsat 7 y Sentinel 2B, en el periodo 1991-2017 que, aunque no coincide con la fecha exacta de las explosiones, mostró que los sedimentos y demás materiales que el volcán arroja se distribuyen por el canal de flujo que se extiende en sentido sur norte. El canal, según lo analizado en las imágenes (Figura 6) adopta una forma

diferente según la magnitud de la explosión y la cantidad de material extruido así, por ejemplo:

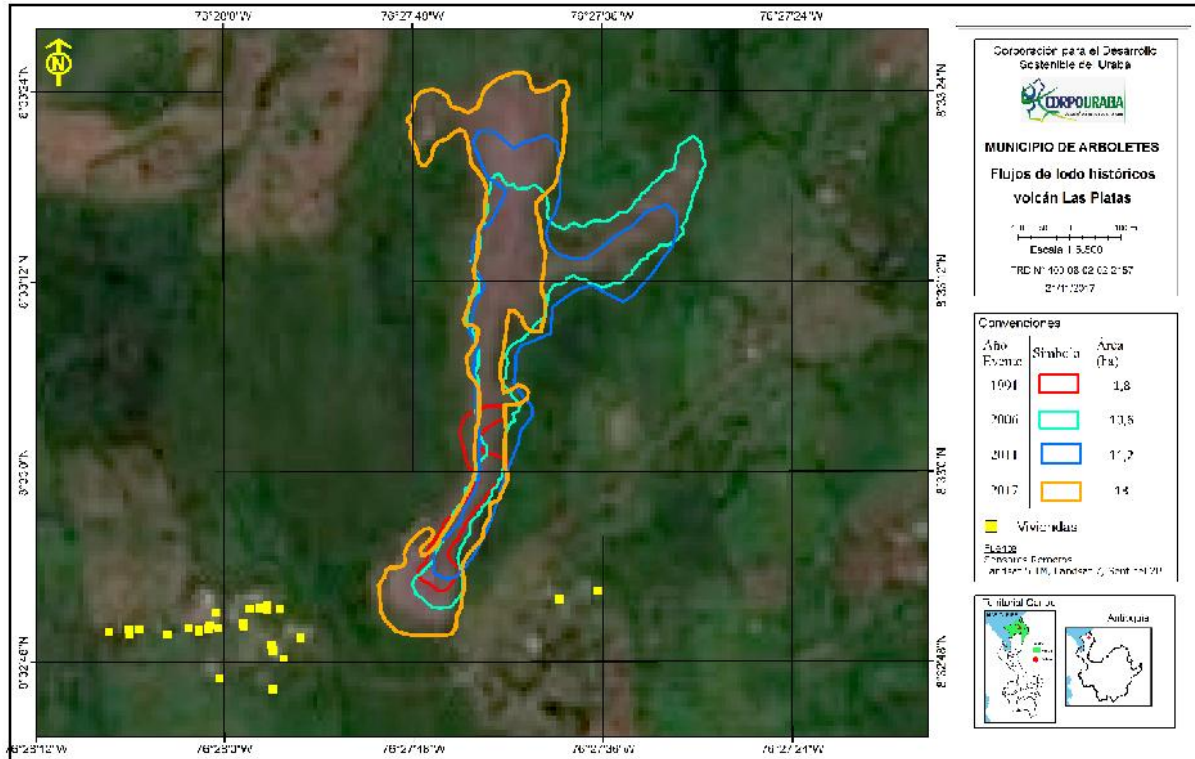


Figura 6. Se muestra los flujos de lodo históricos presentes en el volcán Las Platas.

- 1) La imagen Landsat 5 TM del 2/12/1991 que tiene tamaño de pixel 30 metros muestra que la mancha de lodo en esa época cubre un área de 1,8 hectáreas y el volumen aproximado de material extruido in situ fue de 9.165,7 m³.
- 2) La imagen Landsat 7 del 1/11/2006 que tiene tamaño de pixel 30 metros para las bandas 1-7 y 15 metros para la banda 8 mostró que la mancha de lodo en esa época cubría un área de 10,6 hectáreas y el volumen aproximado de material extruido in situ fue de 70.895,9 m³.
- 3) La imagen Landsat 7 del 21/04/2011 que tiene tamaño de pixel 30 metros para las bandas 1-7 y 15 metros para la banda 8 mostró que la mancha de lodo en esa época cubría un área de 11,2 hectáreas y el volumen aproximado de material extruido in situ fue de 72.649,2 m³.
- 4) La imagen Sentinel 2B del 28/11/2017 que tiene tamaño de pixel 10 metros mostró que la mancha de lodo en esa época cubría un área de 13 hectáreas y el volumen aproximado de material extruido in situ fue de 90.111,3 m³ (Figura 6).

Como resultado de este análisis se concluye que el volcán de lodo Las Platas evidencia un creciente incremento en la magnitud de las explosiones que se manifiesta tanto en el aumento de la longitud y amplitud de la mancha de lodo como en la cantidad (aproximada) de material extruido. La presencia de una gran mancha de lodo introduce alteraciones ambientales por un lado en el suelo que se evidencia en la disminución de la flora y por otro lado en los drenajes que se asocian al edificio volcánico ya que los sedimento alteran las propiedades físicas (color, olor) etcétera, del agua. El incremento de la mancha de lodo se interpreta como la evolución explosiva del volcán en el tiempo y surgen la siguiente pregunta: ¿Por qué cada evento explosivo aporta mayor cantidad de sedimento?

Se observa también que la distribución del lodo se da en función de la velocidad de expulsión así: altas velocidades permiten la ocupación de una mayor cantidad y área con una afectación idéntica sobre el ecosistema y una velocidad lenta facilita la acumulación de lodo sobre lugares donde ya existía.

Para el volcán de lodo Las Platas la siguiente es la relación de eventos

- 1)** A finales de 1958, sin mes ni fecha definida la comunidad⁴ informó al personal técnico de CORPOURABA la ocurrencia de un *"evento de gran magnitud toda vez que la llama, se vio desde el gofo de Urabá e iluminó el cielo durante largo tiempo"*.
- 2)** A mediados de 2002, sin mes ni fecha definida la comunidad informó que *"el volcán hizo erupción, arrojó mucho lodo, asustó mucho a la gente, no recuerdo la presencia de llamas, pero si un calor intenso"*.
- 3)** En el primer semestre de 2005, probablemente (7/06/2005) los primeros días de junio: *"como dos días antes de la explosión se empezó a sentir, principalmente en horas de la tarde, un fuerte olor a petróleo. El día que explotó, fue entre las 5 ó 6 de la mañana, se sintió un golpe fuerte, seco como cuando uno golpea un tambor, retumbó. No recuerdo la presencia de llamas, pero si salió mucho lodo. Algunas casas mostraron grietas anchas y profundas en el suelo. Todo esto da mucho miedo; pero, no tenemos donde ir"*.
- 4)** 12 de julio de 2006. *"Faltaba muy poco para que el día aclarara, no se había sentido ni temblores, ni olor a petróleo y ustedes saben que ese mes trae días lluviosos y secos. El aire se puso pesado y al rato sentí una explosión fuerte, inmediatamente el cielo se iluminó con una luz amarilla que causó sensación de asombro y miedo. Como esta es la segunda vez que veo este fenómeno me calmé"*

⁴ 18 de julio de 2006: Entrevista personal con los señores Never de Jesús Puentes Montalvo, Maritza Arrieta, Ludis Puentes, Euclides López Martínez. Consentimiento informado.



Figura 7. Secuencia grafica del evento ocurrido el 12 de julio de 2006. **A)** Cráter principal del volcán. **B)** Línea de flujo del canal de lodo. **C)** Hundimiento del terreno. Foto Juan Guillermo Cano Usma. **D)** Grietas radiales en una vivienda ubicada a 200 metros del cráter principal. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

El 18 de julio de 2006 personal técnico de CORPOURABA dialogó con la comunidad y en un recorrido por el área del volcán encontró que alrededor del volcán se distribuyen 5 cráteres secundarios por donde emana lodo de manera continua. El cráter principal (Figura 7A), se encuentra bajo el nivel normal del suelo y el pequeño domo que la comunidad asegura que existía, desapareció con la explosión. A su alrededor hay un charco donde se mezcla agua, lodo fresco y manchas de aceite.

De manera continua, por un área no identificada del cráter principal, se escucha ronquidos profundos que evidencian la liberación de presiones internas.

De cráter principal, en sentido noreste, se encuentra un canal natural que sigue el lineamiento de la pendiente, es de forma cóncava y es el sitio por donde escurrió el lodo (Figura 7B). Tiene aproximadamente 900 metros de largo, 150 metros de ancho y el grosor de lodo extruido alcanzó 1,1 metros de espesor. Con estas estimaciones se tiene que el volumen de lodo liberado en este evento fue de 148.500 m³.



Figura 8. Detalle del área perteneciente a la finca Tecalandia donde se reportó vegetación quemada durante la explosión del volcán. Foto 18 de julio de 2006. Foto: Alberto Vivas Narváez.

En las áreas periféricas al volcán, sentido noroccidental, que colindan con la finca Tecalandia, la comunidad informó la existencia de áreas quemadas (Figura 8). Se visitó los sitios y se encontró que la vegetación tiene dos tipos de quemaduras una ocasionada por agentes químicos tipo herbicidas y otra que si es derivada de la exposición a una fuente de calor. Además de las 0,25 hectáreas de pastos quemados se contabilizó 150 plántulas de teca quemadas que se distribuyen en 1,5 hectáreas. No se recomienda resembrar las plántulas de teca ya que ella tiene una alta capacidad de rebrote.

Por el camino que conduce hacia la finca La Pachanga, como consecuencia de la explosión y posterior discurrir del lodo, se observó la desestabilización del talud (Figura 7C). El terreno se agrietó, el talud cedió 2,5 metros como consecuencia del desconfinamiento de la pata del talud que desapareció por el impulso de lodo pendiente abajo.

En la parte trasera del cráter principal, sector suroccidental, se localizan las viviendas quizá la más afectada fue la que habita la familia del señor Never de Jesús Puentes Montalvo que resultó dividida en dos partes por una grieta radial (Figura 7D) de 8 metros de largo, 0,60 metros de ancho y 0,30 metros de profundidad.

Junto a las viviendas y a 800 metros del cráter principal se encuentra el Centro Educativo Rural Las Platas en la cual estudian 37 niños la mayor parte de la cual proviene de La Divisa. Junto a la escuela, se encuentran 66 casas (250 personas), algunas abandonadas y otras en proceso de traslado hacia un área segura. Cuatro casas evidenciaron grietas en el piso.

En el recorrido de campo se evidenció también, que el lodo extruido tal como ocurrió en 2002 y 2005, alcanzó la quebrada La Caoba, que vierte aguas a la quebrada Las Platas.

En las áreas aledañas a los volcanes de lodo existe una vegetación característica. En relación a este ítem se encontró que la vegetación arbórea se encuentra a lo largo de las orillas del plano de escurrimiento y está constituida, entre otras por: roble (*Tabebuia rosea*), teca (*Tectona grandis*), palma amarga (*Sabal mauritiiformis*), guamo churimo (*Inga sp*), guamo borrachero (*Inga Sp*), mango (*Manguifera indica*), vara santa (*Triplaris sp*), yarumo (*Cecropia Sp*), pisquin (*Albizia carbonaria*), carbonero (*Prosopis Sp*), jagua (*Genipa americana*), guásimo (*Guazuma ulmifolia*). La vegetación arbustiva está constituida por especies de la familia Compositae entre las que se destaca la especie (*Bacharis Sp*). En los pastos se observó panameña.

5) El 18 de octubre de 2010 a las 8:15 de la noche [...] "*vimos una llamarada muy alta que iluminó el cielo. Cuando fuimos a verificar establecimos que se trataba de la erupción del volcán de lodo que hay en el lugar. Él estalló hace poco, pero esa vez sólo hubo emanación de lodo, pero ...esta noche lo que vimos fue candela. Hay 25 personas con laceraciones y afortunadamente de las 30 casas no hay ninguna afectada*"[...] ⁵.

El señor Nelson Enrique Mestre Cárdenas alcalde encargado del municipio en entrevista con el periódico ([El Colombiano, 2010](#)) informó que [...] "*no hay una tragedia porque cuando el volcán hizo erupción hace tres o cuatro años se ordenó evacuar los terrenos aledaños y a sus moradores los trasladaron a otro sitio seguro, porque la zona se declaró en alto riesgo y quienes se quedaron fue porque no quisieron desalojar*"[...].

Personal técnico de CORPOURABA visitó el área el 19 de octubre de 2010 y dejó constancia de la misma en el informe técnico radicado N° 400-08-02-01-1956-2010. De ese informe se desprende la ocurrencia de un evento con erupción de lodo

⁵ 19 de octubre de 2010. Comunicación persona con el señor concejal José Luis David Martínez. Consentimiento informado.

y fuego desde el cráter del volcán, creando pánico general entre los habitantes de la vereda ubicados cerca del cráter del volcán, quienes huyeron de sus viviendas para alejarse de la columna de fuego que se generó (Cano, J.G. 2010).

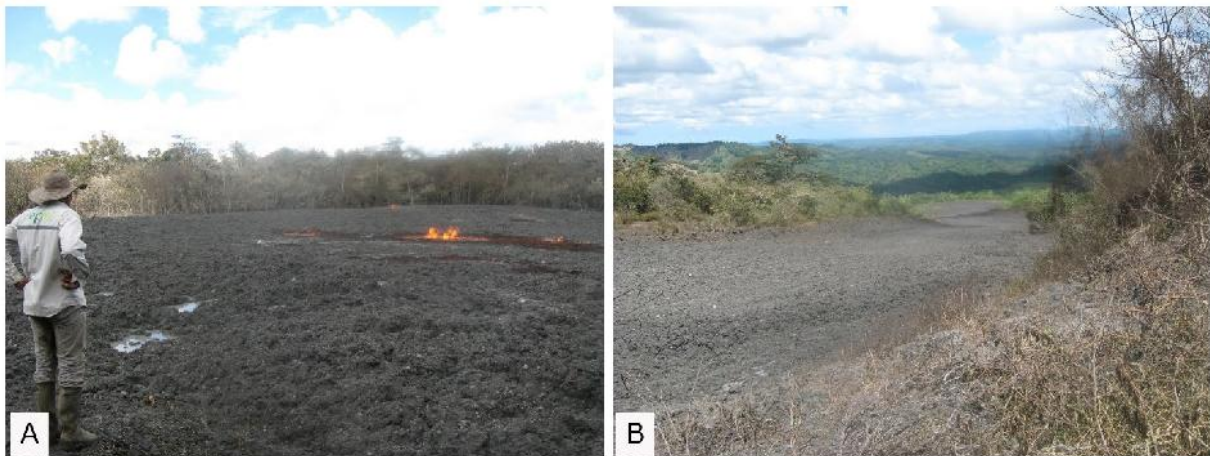


Figura 9. Secuencia gráfica del volcán de lodo Las Platas el 19 de octubre de 2010. **A)** Cráter volcánico y llamas dispersas producto de la combustión de gases. **B)** Canal de flujo de lodo y vegetación circundante quemada. Fotos: Juan Guillermo Cano Usma.

Como lo indicó un habitante local [...] "*en los momentos previos se sintió un fuerte ruido, como el de un carro viejo, seguido de una columna de fuego de varios cientos de metros de alto*" [...]. Es de anotar que esta columna de fuego que iluminó la noche en buena parte de la región, fue vista desde varias decenas de kilómetros a la redonda, incluso se reporta avistamiento de la misma desde los municipios vecinos y el departamento de Córdoba (Cano, J.G. 2010).

El evento fue imprevisto, no se reportaron movimientos en el terreno, la columna de fuego duró aproximadamente 10 minutos y luego paulatinamente, comenzó a descender. Fue tanto el material en combustión que a las 9:30 a.m. del siguiente día todavía existían llamas de 3 metros de altura distribuidas por todo el cráter (Figura 9A).

El lodo arrojado fue relativamente poco comparado con otros eventos, quedando en el propio cráter del volcán (considerando un diámetro de 120 metros del cráter y 1,5 metros de profundo, el volumen de material arrojado durante el evento pudo ser de 17.000 m³; es de anotar, que el diámetro del área circundante al cráter que presenta hundimientos en el terreno puede alcanzar los 300 metros). En los eventos en que arroja volúmenes considerables, el material lodoso fluye por la ladera norte del domo volcánico hasta una longitud aproximada de 800 metros hasta llegar a la quebrada El Caobo, afluente de la quebrada Las Platas. La línea de flujo del canal de lodo, como se observa en la figura 7B, tiene un ancho aproximado de 100 metros.

Durante el evento no se presentaron daños en las viviendas ni agrietamientos adicionales en el terreno. Las viviendas próximas al cráter se ubican hacia la ladera occidental a lo largo de la carretera que comunica con la vereda El Volcancito. En este sector se ubica además el Centro Educativo Rural Las Platas, la casa comunal y la Iglesia denominada "La Victoria".

Tabla 5. Número de personas por familias dentro del área de amenaza alta del volcán de lodo Las Platas.

Id	Familia	Habitantes
1	Ana Milena Sánchez	5
2	José Narciso Álvarez ¹	4
3	Never Puente	3
4	Luis Enrique Rodríguez Madera	6
5	Carmen Alicia Ávila Sánchez	10
6	Enrique Sánchez	8
7	Eder Álvarez Perea	3
8	Luis Manuel	En construcción
9	Sunilda Fera Hernández	8
10	Robinson Narváez	7
11	Escuela	
12	Templo religioso	
13	Casa comunal	

1: Presidente de la JAC de la vereda El Volcán del corregimiento de Santa Fe de las Platas.

Durante el evento la vegetación circundante al cráter volcánico (constituida por plantaciones de teca, palmas de coco y otros arbustos del sector) fue quemada durante el evento, percibiendo dichos efectos sobre la vegetación hasta una longitud de aproximadamente 500 metros desde el cráter.

6) El 6 de noviembre de 2017 a las 2 am el volcán de lodo Las Platas hizo erupción. Horas después, el presidente de la Junta de Acción Comunal narraría lo siguiente: [...]"fuimos despertados por una sonora explosión, que fue seguida por otras de menor intensidad que causaron pánico. A esa hora toda la gente dormía, se formó un caos terrible. Todos salimos de las casas como pudimos, los niños lloraban. El objetivo era buscar un lugar seguro y en ese afán unos cayeron al piso y se golpearon y otros corrían afanosamente en busca de protección. El volcán había explotado no hubo fuego y cuando ya aclaró el día vimos el lodo escurrido. En los días previos no se sintió ni ruidos, no olores, ni movimientos. En un recorrido preliminar por las viviendas no se encontró daños ni tampoco se encontró grietas como en otras ocasiones"[...] (López, 2017).

La explosión aquí registrada se presenta después de un periodo de 7,1 años de relativa quiescencia en el cual el volcán, siempre descargó material compuesto por lodo, agua y gases. Los registros de actividad, consignados en este documento, permiten concluir que los canales internos del volcán siempre son recargados en profundidad por los reservorios sedimentarios. Durante estos largos y cortos

periodos de tiempo los depósitos de lodo en superficie cambian la morfología del área, contribuyen a moldear la geometría de la caldera la misma que colapsa cuando se presenta una explosión violenta que en el caso de este volcán y con base en los registros existentes permiten concluir que el escape significativo de material y los periodos de inactividad varían entre 4 – 8 años. Los cortos y largos periodos de actividad/inactividad indican que la comunidad (Figura 8) no debe estar en su periferia por el peligro que ello genera.

Personal técnico de CORPOURABA visitó el área y dejó constancia de la misma en el informe técnico radicado N° 400-08-02-01-1997-2017 del 21 de noviembre de 2017. El informe recoge entre otras, las palabras del señor López (2017) presidente de la Junta de Acción Comunal y presenta detalles del evento.



Figura 10. La comunidad escucha las indicaciones dadas por persona del Cuerpo de Bomberos de Arboletes. Foto. Cortesía Sebastián Valencia Espinosa.

El evento inició a las 2 de la mañana con un sonido seco que marcó la expulsión de la primera colada de lodo. Luego vinieron otras explosiones acompañadas por la expulsión de iguales cantidades de sedimentos de color gris oscuro, con abundante cantidad de agua y con olor a hidrocarburo. El material expelido en este evento contiene material clástico fino (Figura 10) y una parte del mismo se acumuló alrededor del cráter principal y el resto fluyó por el canal de flujo localizado en la ladera norte y estuvo muy lejos de alcanzar la quebrada La Caoba. El volumen del material extruido fue aproximadamente de 7.650 m³ (Vivas, N., A. 2017).

En el evento, según lo narrado por la comunidad, es posible identificar tres fases así (Figura 11): **Quiescencia (Inactividad)** en la cual el volcán purga los fluidos

necesarios, puede durar varios años y en algunas ocasiones el lodo extruido es invadido por la vegetación de la región. **Reactivación** se manifiesta en olores, movimientos del suelo y salida de lodo en mayor cantidad. **Eruptiva** en la cual una mezcla de fluidos y gases sale a la superficie por efecto de la ruptura de la presión interna

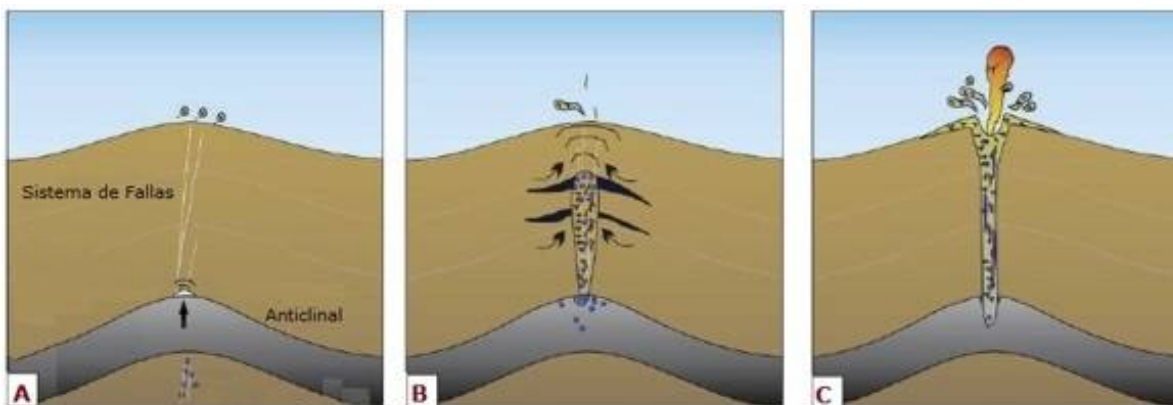


Figura 11. A modo de ejemplo se cita las fases identificadas en el volcán de lodo Las Platas así: **A)** Quiescencia o inactividad, donde se purga una cantidad mínima de lodo. **B)** Reactivación donde hay salida de mayor cantidad de lodo y **C)** Eruptión donde hay una mezcla de lodo y gases. Fuente: Tomado y adaptado de [Mazzini, A. 2009](#).

5.2.1.3 Evaluación de la amenaza

La caracterización de eventos abordada en el ítem anterior, constituye una herramienta básica a partir de la cual se determina los periodos y la intensidad de ocurrencia del fenómeno amenazante. En este contexto, la caracterización evidencia que el volcán de lodo Las Platas tiene un área expuesta, que los eventos eruptivos son seguidos de una etapa de reactivación y que la magnitud de la mancha de lodo y el volumen de lodo extruido, analizado en el periodo 1991-2017, va en aumento.

La caracterización de eventos junto a la información que se presentan a continuación, sirvió para definir a escala mediana (1:10.000 – 1.25.000) el mapa de amenaza por erupción del volcán de lodo Las Platas.

Tabla 6. Tipo y características de la información utilizadas para definir los niveles de amenaza.

Tipo Información	Características	Dónde se encuentra esta información
Caracterización eventos	Eventos ocurridos en el volcán Las Platas (fecha, magnitud, daños causados)	<ul style="list-style-type: none"> • Este documento • Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Arboletes.

Tipo Información	Características	Dónde se encuentra esta información
Geología - Geomorfología	Cartografía geológica, geoformas del terreno, procesos morfodinámicos	<ul style="list-style-type: none"> • Publicaciones SGC • Mapas geológicos • Servicios WMS.
Vegetación	Coberturas vegetales, tipo de ecosistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de ecosistemas • Coberturas vegetales IDEAM, 2012
Área de la línea de flujo del canal de lodo.	Análisis de la longitud y ancho de la mancha de lodo, presencia de grietas, áreas quemadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Este documento • Análisis de sensores remotos (Landsat, Sentinel 2B). • Fotografías aéreas • Catastro municipal
Otros	Entrevistas, documentos fílmicos, fotografías aéreas, información GPS, análisis DTM.	<ul style="list-style-type: none"> • Este documento

A partir del análisis esta información se plantea el mapa de amenaza por erupción del volcán de lodo (Figura 12); es decir, se definió como **amenaza alta** una franja irregular de 82,1 hectáreas, separada aproximadamente 350 metros del cráter principal.

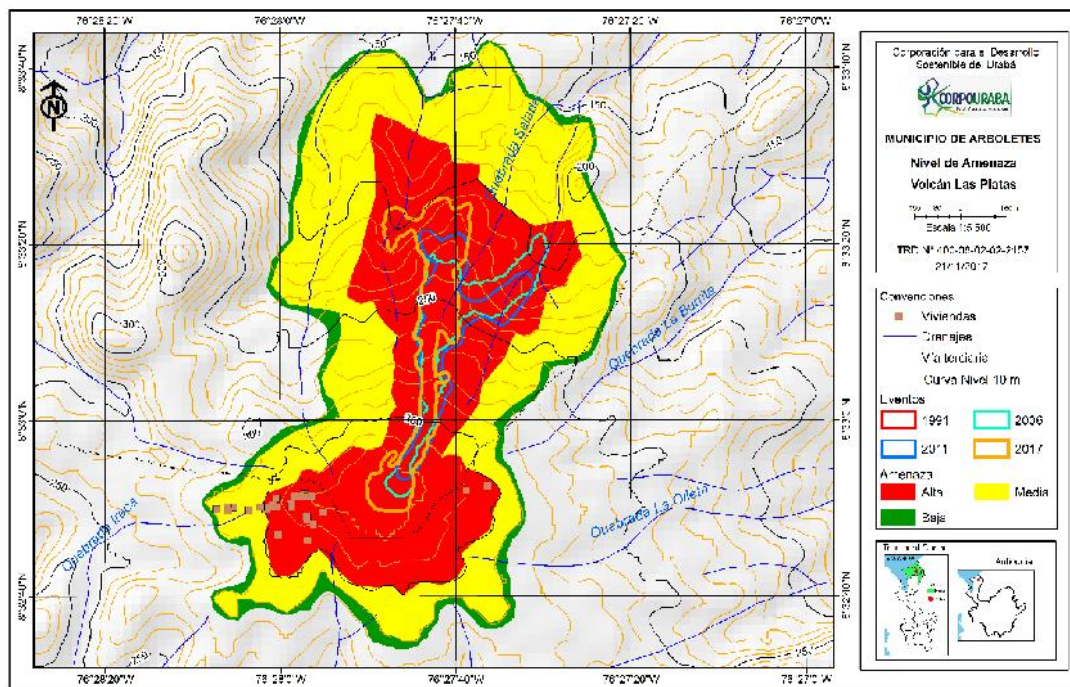


Figura 12. Niveles de amenaza alta, media y baja por erupción del volcán de lodo Las Platas.

Cubre áreas donde, en la historia del volcán, se ha evidenciado: existencia de grietas, afectación por fuego, presencia de flujos antiguos de lodo, aporte de sedimentos a la quebrada Salada, caminos, presencia de viviendas, escuela e iglesia que ante la incertidumbre del fenómeno pueden resultar afectadas por una erupción.

A continuación de esta franja se demarcó otra que se denominó de **amenaza media** cubre 91,5 hectáreas y se separó aproximadamente 550 metros del cráter principal. En la historia de volcán, en esta franja, se ha evidenciado áreas de pasto quemadas y temor por la onda de sonido y calor en el momento de la erupción. El área de **amenaza baja** se separa 450 metros del cráter principal y cubre un área de 15,6 hectáreas. Constituye una franja de seguridad.

5.2.2 Volcán Los Aburridos

El volcán de lodo Los Aburridos se localiza a 8,4 kilómetros en dirección NW de la cabecera urbana del municipio de San Pedro de Urabá y a 8,5 kilómetros en dirección SE de la cabecera urbana del corregimiento San José de Mulatos. La zona de vida del área se asocia con el bosque húmedo tropical (bh-T) que tiene temperatura anual promedio de 28°C y un rango de precipitación de 2.000 mm anuales.

Geográficamente, el volcán Los Aburridos, se ubica en las coordenadas 8°20'28,2" latitud norte y 76°27'23,4" longitud Oeste en una finca y vereda llamadas El Volcán, corregimiento San José de Mulatos, jurisdicción del municipio de Turbo. La finca es propiedad del señor Francisco Ayala. El edificio volcánico, definida con base en cartografía geológica, ocupa un área aproximada de 783,4 hectáreas.

5.2.2.1 Morfología

El volcán de lodo Los Aburridos corresponde, en planta, a una estructura geométrica en forma de domo con laderas empinadas y una depresión o cráter principal en el centro. La morfología del volcán es el resultado de las erupciones que pueden ser tranquilas o violentas que, en cualquier caso, cumplen el objetivo de acumular el material extruido (una mezcla de agua, arcilla, clastos y rocas) alrededor del cráter principal.

El volcán de lodo, geomorfológicamente hablando, se localiza sobre el Cinturón Plegado del Sinú donde ([Ingeominas, 1999a](#)) lo clasifica al interior de la Unidad Pavo Inferior (Ngpi) que está constituida por arenitas líticas intercaladas con lutitas y ocasionales capas de turba. Junto a esto, el mismo autor identificó en el área del volcán, la Falla inversa o de cabalgamiento denominada Los Aburridos. Otros estudios ([Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015](#)), asignan a este paisaje la Unidad Cronoestratigráfica n1n2-St que se caracteriza por la presencia de Arenitas líticas a sublíticas de grano medio interestratificadas con lodolitas;

localmente turbas, carbón y lentes de conglomerados arenosos cuya edad corresponde al Aquitaniano-Burdigaliano. A esta unidad se asocia la formación Floresanto.

La Formación Floresanto está compuesta (Geotec, 2003), por una secuencia homogénea de lutitas, dispuesta en capas delgadas a gruesas con colores pardos amarillentos y rojizos resultado de la meteorización. Ella, evidencia capas de limolitas calcáreas y litoarenitas de grano fino friables, granos angulares a redondeados, bien seleccionados compuestos por cuarzo, fragmentos líticos volcánicos, chert negro y cristales de plagioclasa. La edad de formación va desde el Mioceno medio al superior.

5.2.2.2 Cronología de eventos

Cuando el volcán de lodo Los Aburridos extruye una mezcla de gases, agua, rocas y lodo la distribuye por dos canales principales (Figura 13) los cuales, geoméricamente hablando constituyen una sección transversal, donde la línea de lodo puede ser o no paralela a la pendiente que tenga el fondo del canal, su formación y modelación se debe a las vigorosas descargas de lodo del volcán.

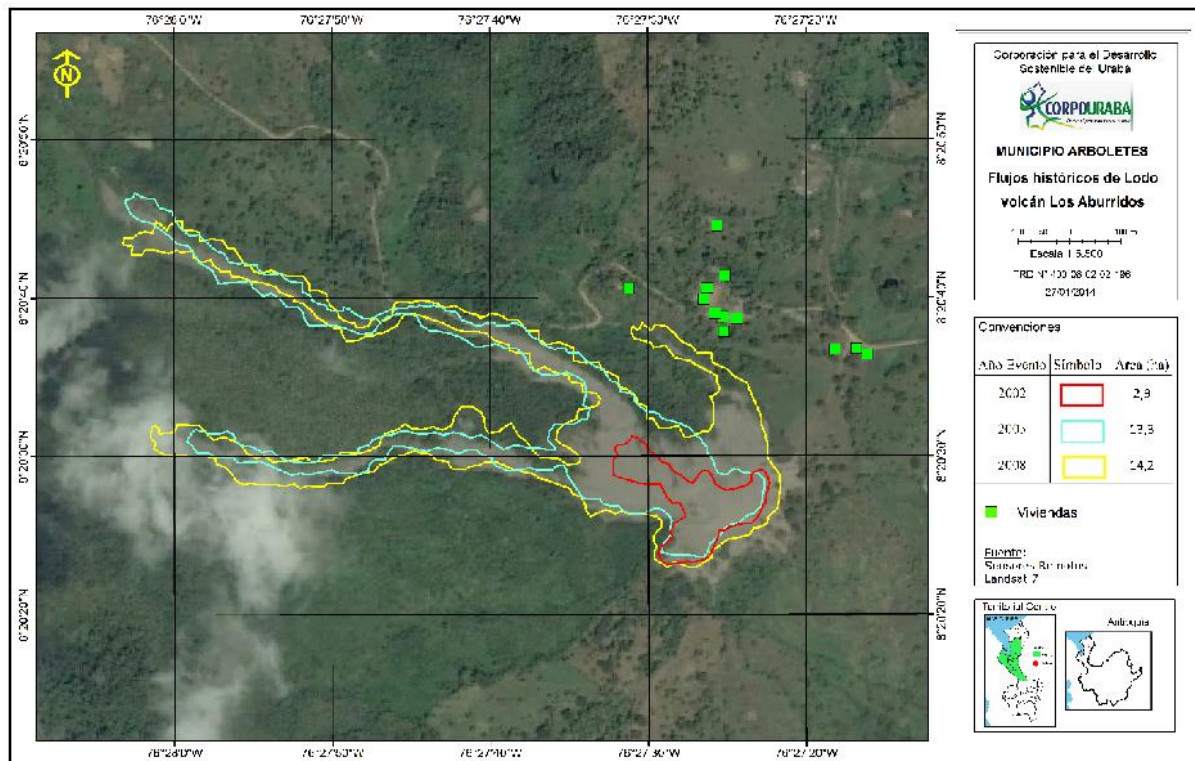


Figura 13. Área del volcán de lodo Los Aburridos donde se muestra las líneas de flujo históricas.

Los canales tienen como función conducir a grandes velocidades el material expelido y al adoptar la forma de la pendiente del terreno, llegan a tener formas elongadas que aumentan de tamaño en función del tiempo, de los procesos erosivos y de la cantidad de sedimento aportado por el volcán.

El material expelido por el volcán, una vez toca la superficie, comienza a secarse, evapora el contenido de agua y adquiere consistencia rígida. Su presencia modifica el paisaje ya que sobre sus arcillas no crece material vegetal y si lo hay es porque el volcán lleva un considerable periodo de quiescencia o inactividad. En las muestras de mano, recogidas al azar en lodos de diferentes épocas nunca se detectó la presencia de lombrices que sirviera de indicadores de actividad orgánica. Existe, en lugares donde el material arcilloso es más antiguo una vegetación arbustiva que empieza a colonizar los flancos del volcán y que ya fue descrita atrás.

Para conocer el impacto que el material arcilloso expelido por el volcán genera en términos de ocupación de un área se analizó imágenes de sensores remotos (Landsat 5 TM, Landsat 7 y Sentinel 2B) y el resultado se presenta en la figura 13.

- ❖ La imagen Landsat 7 del 22 de enero de 2002 que, en este documento se utiliza como base para describir la evolución histórica del volcán, mostró que la mancha de lodo cubría en esa época un área de 2,9 hectáreas. En la imagen, el largo de la mancha de lodo fue de 271 m, el ancho promedio de 129 m y en 0,9 m la altura calculada del material extruido. Con estos acotamientos, el volumen aproximado del material extruido fue de 31.463 m³.
- ❖ La imagen Landsat 7 del 6/05/2005 que, en este documento se utiliza para describir el evento ocurrido el 19 de septiembre de 2003, mostró que la mancha de lodo cubría en esa época un área de 13,3 hectáreas. En la imagen, el largo de la mancha de lodo fue en promedio de 1.192 m, el ancho promedio de 104 m y en 1,8 m la altura calculada del material extruido. Con estos acotamientos, el volumen aproximado del material extruido fue de 224.215 m³.
- ❖ La imagen Landsat 7 del 5/10/2008 que, en este documento se utiliza para describir el evento ocurrido el 11 de septiembre de 2006 mostró que la mancha de lodo en esa época cubría un área de 14,2 hectáreas. En la imagen, el largo de la mancha de lodo fue en promedio de 979 m, el ancho promedio de 141,5 m y en 2,5 m la altura calculada del material extruido. Con estos acotamientos, el volumen aproximado del material extruido fue de 346.321 m³.

No fue posible obtener imágenes anteriores al año 2000 del área del volcán y el análisis de las existentes muestra que el lodo extruido alrededor del cráter principal en el año 2002 cubría un área de 2,9 hectáreas. En 2005 esa área se incrementó en 10,4 hectáreas como resultado de la erupción que se presentó en el año 2003 (Figura 13).

En el año 2006 el lodo extruido por el volcán cubrió un área de 15,5 hectáreas como consecuencia de la erupción que se presentó el 10 de septiembre del citado año. En el año 2008, se observan evidencias del surgimiento de un nuevo cráter junto a la vía que conduce al corregimiento San José de Mulatos (Figura 13)

El incremento continuo del área de impacto del volcán de lodo constituye una evidencia de la naturaleza explosiva del mismo. A continuación, se presenta el relato histórico de las comunidades (Peña, A, 2006) en cuya memoria existe el recuerdo de las erupciones de 1972, 1983, 2003⁶ y 2006⁷; en todas ellas, la erupción siempre estuvo precedida de «olor a petróleo», ruido y una columna de lodo y fuego que causó afectaciones ambientales en la vegetación y cultivos.

1. Los habitantes de la vereda El Volcán reportan la ocurrencia de eventos en los años 1972, 1982 y 1983. No fue posible corroborar esta información en la consulta de las imágenes de satélite.

2. El 19 de septiembre de 2003, se presentó una erupción del volcán Los Aburridos que además de pavor, causó un desplazamiento temporal de los habitantes hacia las colinas altas localizadas en cercanía a la comunidad indígena El Mango (8° 20' 47,3" N y 76° 27' 19,9") que pertenece a etnia Senú donde existen aproximadamente 200 personas.

Tres años después de ocurrido el evento, es decir 19 de julio de 2006, personal técnico de CORPOURABA visitó el área del volcán y los elementos que se describen a continuación constituyen evidencia de lo observado.

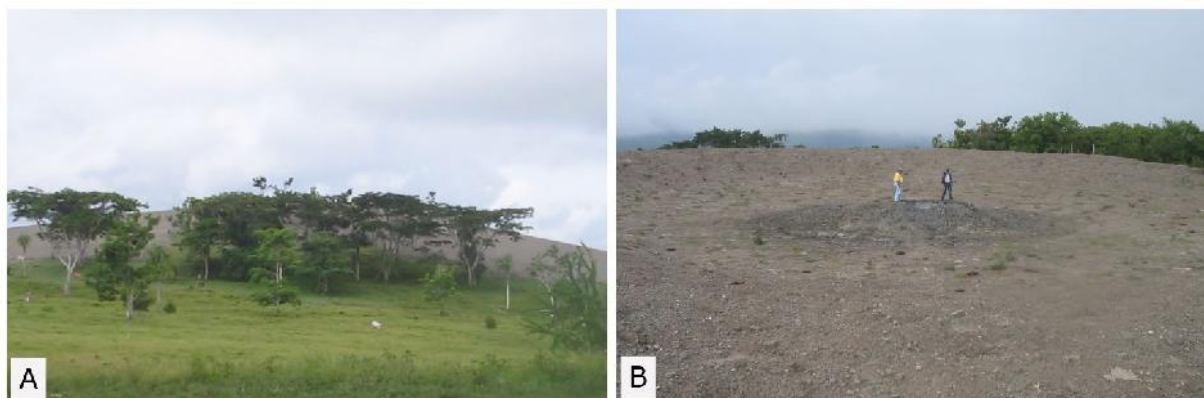


Figura 14. Características del volcán de lodo Los Aburridos el 19 de julio de 2006. **A)** Vista frontal del edificio volcánico similar a un cono truncado y rodeado de vegetación arbórea. **B).** Vista superior del cráter principal donde dos técnicos de CORPOURABA sirven de escala. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

⁶ Erupción ocurrida el 19 de julio a las 10 de la noche

⁷ Erupción ocurrida el 10 de septiembre entre 9-10 de la mañana.

El volcán Los Aburridos tiene forma de cono truncado (Figura 14A) donde los flancos laterales tienen pendientes de 25 grados de inclinación y altura máxima aproximada de 314 m; su formación proviene de la acumulación de lodo que el volcán extruye en cada uno de los eventos. El cráter principal (Figura 14B) se localiza en la parte cóncava del cono y la base se localiza sobre un terreno plano, cuyo uso actual es la ganadería.

Tanto el flanco derecho como el flanco izquierdo del volcán Los Aburridos poseen vegetación arbustiva y arbórea (Figura 14A) lo que indican un periodo largo de quiescencia. El cinturón ralo de vegetación contiene entre otras las siguientes especies: roble (*Tabebuia rosea*), palma amarga (*Sabal mauritiiformis*), totumo (*Crescentia cujete*), hobo (*Spondias mombin*), guayaba (*Psidium guajava*), tachuelo (*Xanthoxylum tachuelo*), pisquin (*Albizia carbonaria*), guerre (*Astrocaryum standleyanum*), nolí (*Elaeis oleifera*), táparo (*Attalea oleifera*), yarumo (*Cecropia Sp*), platanillos (*Heliconia sp*), guásimo (*Guazuma ulmifolia*), helecho1 (*Asplenium Sp*), helecho2 (*Peltapteris Sp*) y una pequeña asociación de helecho matatigre (*Acrostichum aureum*).

El volcán Los Aburridos posee una línea de flujo de lodo que se orienta en sentido SE, tiene una longitud aproximada de 850 m que se inician cuando cambia la pendiente en los alrededores del cráter principal y termina en la berma de la carretera terciaria que comunica la cabecera urbana de San Pedro de Urabá y el corregimiento de San José de Mulatos (Figura 15A). En el plano de escurrimiento, como resultado de erupciones pasadas, pudo evidenciarse superposición de capas de lodo compuestas de rocas que afloran como consecuencia de la lluvia (Figura 15B).

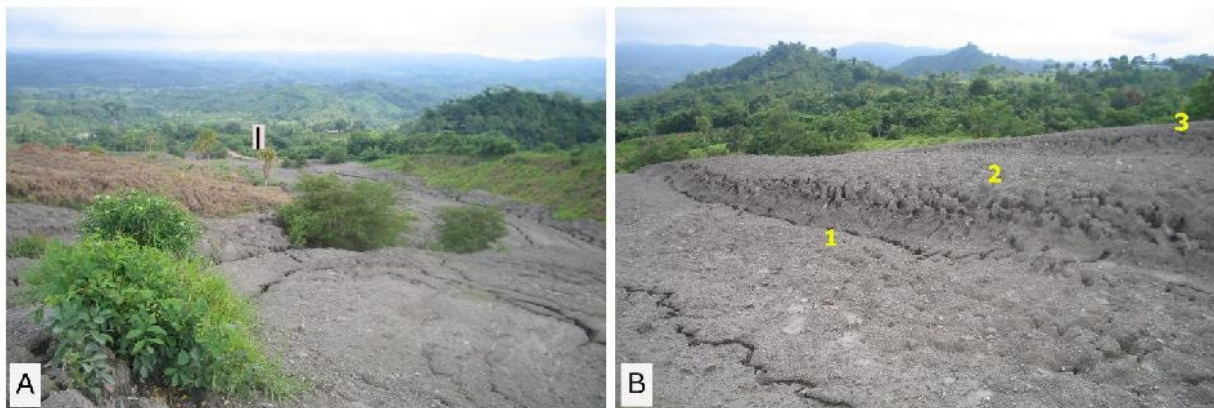


Figura 15. Vista superior del canal de flujo de lodo del volcán Los Aburridos captada el 19 de julio de 2006. **A)** La línea de flujo inicia a pocos metros del cráter principal y termina en la carretera que conduce hacia San José de Mulatos (línea). Observe la presencia de material vegetal arbustivo. Foto: Alberto Vivas Narváez. **B)** Tres capas de lodo que evidencian la magnitud de la(s) erupción(es). Foto: Juan Guillermo Cano Usma.

En el recorrido de campo por el área del volcán se encontró fragmentos de rocas y clastos que se desplazaron a altas velocidades (Manga, M. and Bonini, M 2012) por los conductos internos del volcán y llegaron a la superficie con tamaños variables en una mezcla heterogénea de agua, lodo y gases. Se evidenció depósitos de arcilla seca en cuya matriz se evidencia fragmentos líticos (clastos) de pocos decímetros a varios centímetros de diámetro. En términos generales las rocas grandes podrían parecerse a esferas con radios de 19 cm y a cubos con lados de 22 cm. Los clastos (Figura 16A) tienen diferente litología y su naturaleza depende de los estratos internos que atraviesen.



Figura 16. Diferentes tipos de rocas captadas el 19 de julio de 2006 y encontradas en el volcán Los Aburridos. **A)** Material arcilloso rico en clastos. **B)** Marga color jaspeado. **C)** Bloque de pirita. **D)** Arenisca estratificada sobre material arcilloso RESECO. Fotos. Alberto Vivas Narváez.

3. El 11 de septiembre de 2006 el volcán de lodo Los Aburridos se presentó una erupción de lodo y fuego la cual no tuvo efectos directos sobre las viviendas de la vereda, ni sobre las personas; pero, produjo afectación en varias hectáreas de cultivos y el bloqueo de la carretera que comunica a San José de Mulatos con San Pedro de Urabá (Cano, J.G. 2006).

La comunidad relató que el evento [...] "comenzó de improviso a las 6:10 pm y terminó a las 6:50 pm. Inicialmente se sintió un fuerte ruido que indicaba la erupción de materiales y en los últimos minutos se sintió además un fuerte calor emanado desde el cráter del volcán por una columna de fuego que alcanzaba hasta los 200 metros de altura y que duró aproximadamente 15 minutos antes de que la actividad del volcán cesara" [...].

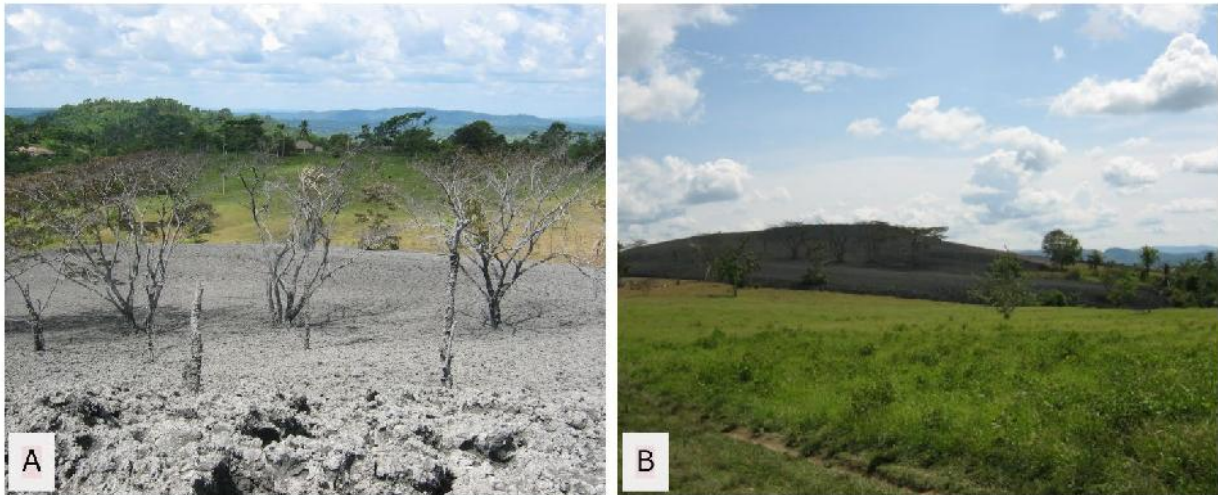


Figura 17. Detalles del volcán Los Aburridos captados el 11 de septiembre de 2006. **A**). Vista superior lograda desde el cráter principal que muestra vegetación quemada. **B**). Vista frontal del domo volcánico y el área cubierta por el lodo. Compare esta imagen con la que se presenta en la figura 14A Fotos: Juan Guillermo Cano Usma.

En este evento la comunidad informó que [...] "el resplandor de la columna de fuego fue visto en toda el área de la cuenca del río Mulatos que comprende el corregimiento San José de Mulatos y otras veredas. Como resultado del fuego, la vegetación que circunda el cráter fue quemada en el acto, incluyendo pasto, árboles y palmeras (Figura 17A). Por efecto del fuego se reportó afectación en 3 hectáreas maíz y 1 hectárea de arroz" [...].

El material arrojado que básicamente consiste en lodo gris, material rocoso compuesto principalmente por fragmentos de calizas, areniscas y limolitas se extendió desde el cráter central en todas direcciones por un radio aproximado de 150 metros, aprovechando la pendiente de la ladera (Cano, J.G. 2006).

Con lo acontecido en este evento es importante recordar que, durante la ocurrencia del evento del 19 de septiembre de 2003, se formó dos flujos de lodo que se desprendieron del sector central, el primero hacia el norte por unos 50 m y el más importante que se extendió siguiendo la cañada occidental por unos 800 m.

En el evento del pasado 11 de septiembre de 2006 además de formarse flujos de lodo de más de 1 kilómetro de longitud, por los mismos canales formados anteriormente, con un ancho promedio de 50 metros para cada canal, se creó un nuevo flujo de lodo (Figura 18A) hacia el sector nororiental del cono central, el cual recorrió una longitud de 500 metros aproximadamente desde el cráter central y con un ancho promedio también de 50 metros. Suponiendo una altura promedio de 2,5 m de material, el volumen aproximado de material arrojado durante este evento oscila entre 350.000 y 400.000 m³ (Cano, J.G. 2006).



Figura 18. Secuencia gráfica del volcán de lodo Los Aburridos lograda el 11 de septiembre de 2006. **A**). Reciente línea de flujo creada hacia el sector nororiental del volcán. **B**). Flujo de lodo proveniente del cráter del volcán que obstruyó la carretera veredal que conduce hacia el corregimiento San José de Mulatos. Fotos: Juan Guillermo Cano Usma.

En el evento los efectos producidos en el sector a consecuencia de este fenómeno son las áreas sepultadas destinadas a potreros y cultivos de maíz y arroz, la pérdida de aproximadamente 3 hectáreas de teca sembrada hace 7 meses de la finca El Campano Bonito del señor José Miguel Ruiz y la obstrucción de la carretera veredal por dos de los flujos de materiales, sobre un tramo de aproximadamente 60 m cada uno, por 3 de altura y que bloqueó totalmente el tráfico vehicular (Figura 18B) (Cano, J.G. 2006).

En el desarrollo de evento no hubo daños en viviendas ni agrietamientos de importancia en el suelo, fenómeno común a estos eventos. El día de la visita, la mayoría del material expulsado se había secado lo suficiente como para poder caminar sobre él, dentro del cráter se observan pequeñas bocas por las cuales salen constantemente gases calientes y a presión; es notoria también la gran afluencia de personas provenientes de las poblaciones cercanas, principalmente de San Pedro de Urabá. Una característica particular es que la magnitud del evento y los efectos son muy parecidos a los ocurridos durante el evento del 19 de septiembre de 2003 (Cano, J.G. 2006).

Como resultado del evento se recomienda a corto plazo reubicar las viviendas de los señores José Francisco Ayala Mendoza, Adela Peña Pérez y Cenet Suárez, ya que se encuentran a menos de 500 metros del cráter del volcán (Cano, J.G. 2006).

5.2.2.3 Evaluación de la amenaza

El volcán de lodo Los Aburridos se localiza sobre una colina de 315 msnm en forma de domo en cuya cima existe un cráter de 90 metros de diámetro. Las laderas o flancos son largas, planas a convexas, de pendiente moderada a fuerte y con drenaje poco evolucionado.

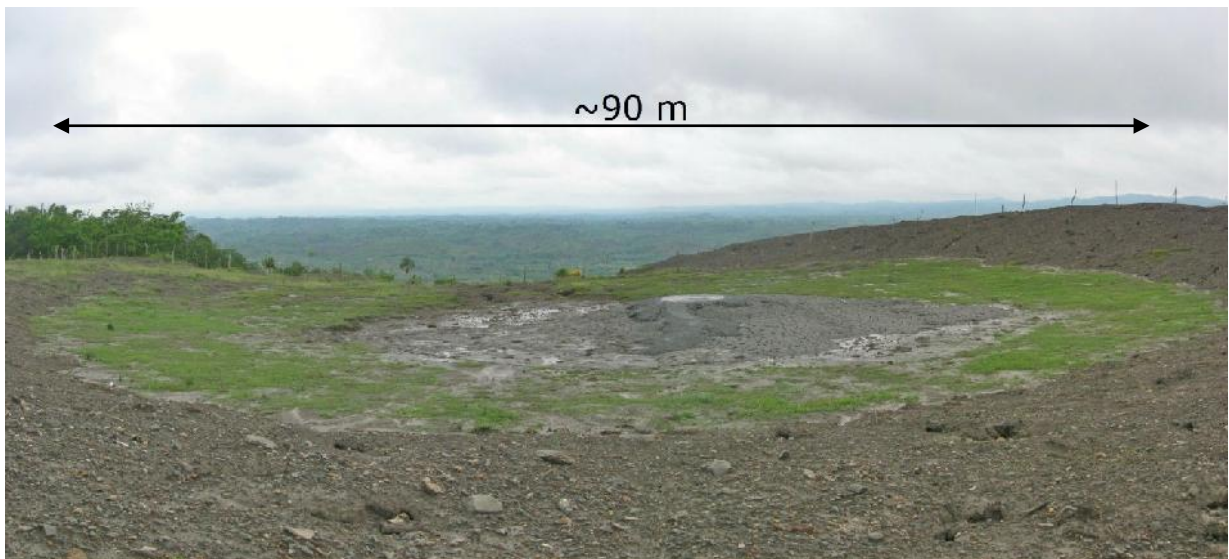


Figura 19. Cráter principal del volcán de lodo Los Aburridos ($8^{\circ}20'26,7''N$ $76^{\circ}27'26,1''W$). Foto. Alberto Vivas Narváez, 24/04/2012.

Por los eventos explosivos sucedidos en octubre de 1972, 1982, 1983, 19 de septiembre de 2003 y 11 de septiembre de 2006 el volcán de lodo Los Aburridos está presente en la memoria colectiva de las comunidades. Los eventos se caracterizan por:

- 1) **Extrusión de lodo, agua y expulsión de material rocoso y clastos:** La cronología de eventos parte del análisis de una imagen Landsat 7 del año 2002 donde se observa una mancha de lodo producto de un evento eruptivo, sucedido seguramente antes del registro hecho por ese sensor.

Los acotamientos hechos sobre esa imagen muestran que en ese año el volumen de lodo extruido fue de 31.604 m^3 los cuales, se distribuyeron en un área de 2,9 hectáreas. En el evento sucedido en 2003 el volumen de lodo extruido fue de 224.215 m^3 y el material se distribuyó en un área de 13,3 hectáreas y el evento de 2006 registró un volumen de material extruido de 346.321 m^3 los cuales, se distribuyeron en un área de 14,2 hectáreas.

El último evento explosivo permitió la activación de un nuevo cráter, ubicado en el sector NE, cerca de la vía por donde emana, de manera continua, material arcilloso. En el mapa que se presenta en la figura 20 los registros de los flujos históricos de lodo y el nuevo cráter se incluyen dentro del área de amenaza alta. La amenaza se materializa en la ocupación de áreas agrícolas por el material sedimentario proveniente del volcán.

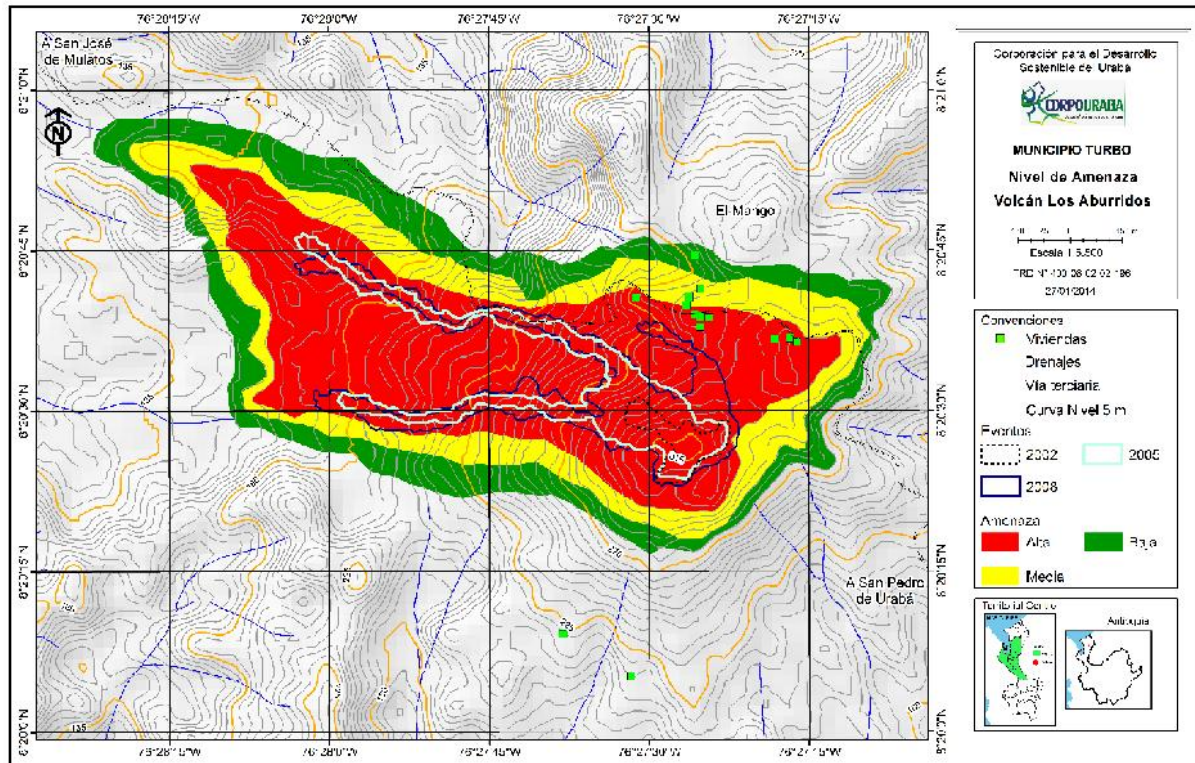


Figura 20. Niveles de amenaza alta, media y baja por erupción del volcán de lodo Los Aburridos.

- 2) **Ignición de gases:** Las violentas explosiones del volcán de lodo Los Aburridos están caracterizadas por una llama que alcanza varios metros de altura y ancho que quema todo lo que existe en un área de 100 m a la redonda (Figura 17A).

El conocimiento de los gases, como los que expelen los volcanes de lodo, es escaso a nivel mundial y desde un punto de vista geoquímico no se conoce su origen y en el caso de los hidrocarburos tampoco se conoce si el gas es de origen bacteriano o proviene del cracking de la materia orgánica. En el contexto puramente sedimentario, se sabe que el gas que arrojan los volcanes de lodo es principalmente metano (CH_4) asociado en concentraciones moderadas con gas hidrocarbónico (C_2+), nitrógeno (N_2) y dióxido de carbono (CO_2) (Deville, E.P., 2009).

Las áreas que han resultado quemadas por los gases expelidos por El Aburrido se incluyen dentro de un área denominada amenaza alta (Figura 20). Junto a esta área, la amenaza media, constituye una franja aledaña a la primera que incluye aquellos elementos como, por ejemplo; la vía que conduce al corregimiento San José de Mulatos, que resulta afectada por los flujos de lodo que salen del volcán.

5.2.3 Volcán Nueva Esperanza

El volcán de lodo Nueva Esperanza se localiza a 5 kilómetros en dirección SE de la cabecera urbana del corregimiento El Mellito. La zona de vida del área se asocia con el bosque húmedo tropical (bh-T) que tiene temperatura anual promedio de 28°C y un rango de precipitación de 2000 mm anuales.

Geográficamente, el volcán Nueva Esperanza, se ubica en las coordenadas 8°26'29,1"N - 76°31'19,3"W en la vereda llamada Nueva Esperanza, jurisdicción del municipio de Necoclí. El edificio volcánico ocupa un área de 7,1 hectáreas (Vivas, N., A. 2016).



Figura 21. Vista superior de la línea de flujo del Volcán de lodo Nueva Esperanza (8°26'32,4"N 76°31'19,7"). Foto. Alberto Vivas Narváez, 27/01/2016.

5.2.3.1 Morfología

El volcán de lodo Nueva Esperanza se localiza sobre una colina de tope redondeado con laderas escarpadas, un pequeño cráter lateral y en el centro al menos tres cráteres distribuidos en medio de una zona de pantanos rodeados de vegetación arbustiva dominada por la especie matatigre (*Acrostichum aureum*). El complejo montañoso donde se localiza el volcán de lodo se asocia a la vertiente montañosa de la Serranía de Abibe; tiene, aproximadamente 100 m de ancho y se extiende aproximadamente 1000 m en dirección EW (Ingeominas, 2003). Los cráteres principales se hallan a una altura de 250 msnm (Vivas, N., A. 2016).

El volcán de lodo se encuentra en un área donde el paisaje es homoclinal dispuesto en laderas estructurales, de rocas sedimentarias del terciario y de composición variada. El drenaje es tipo trellis; es decir, drenajes cortos casi paralelos resultado del control estructural.

El volcán de lodo, geomorfológicamente hablando, se localiza sobre el Cinturón Plegado del Sinú donde (Ingeominas, 1999a) lo clasifica al interior de la Unidad Pavo Superior (Ngps) que está constituida por lutitas con yeso y jarositas. Tiene también algunas intercalaciones de arenitas con ostreas. Junto a esto, el autor identificó la falla de rumbo dextral conocida con el nombre de Falla de Umbita. Otros estudios (Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015), asignan a este paisaje la Unidad Cronoestratigráfica n3n5-St que se caracteriza por la presencia de lodolitas y shales calcáreos, con algunos niveles de arenitas. A esta unidad se integra la Formación Floresanto, Unidad Pavo Superior. La edad de la unidad corresponde al Langhiano-Tortoniano

La Formación Floresanto está compuesta (Geotec, 2003), por una secuencia homogénea de lutitas, dispuesta en capas delgadas a gruesas con colores pardos amarillentos y rojizos resultado de la meteorización. Ella, evidencia capas de limolitas calcáreas y litoarenitas de grano fino friables, granos angulares a redondeados, bien seleccionados compuestos por cuarzo, fragmentos líticos volcánicos, chert negro y cristales de plagioclasa. La edad de formación va desde el Mioceno medio al superior.

5.2.3.2 Cronología de eventos

En la visita de campo efectuada el 27 de enero de 2016 se entrevistó a varias personas que habitan en inmediaciones de la Escuela Rural de la vereda Nueva Esperanza con el objetivo de conocer detalles del evento explosivo (Vivas, N., A. 2016) ocurrido el 2 de septiembre de 2003. Todos coincidieron en afirmar que en lo alto de la colina existía un emanadero de lodo que era frecuentemente visitado. Lo que nunca previeron que podía suceder era una erupción violenta.

La comunidad (Castillo, E. 2016) manifestó recordar los detalles del evento eruptivo así: [...] "*había tenido mi primera hija, regresaba del hospital y como no podía caminar me traían cargada. Sentimos un ruido fuerte, como el que produce un tambor gigante. El lugar se volvió amarillo y sentimos un calor intenso que venía de la candela de 50 m que salía de la montaña. Cuando el calor pasó, vimos que una gran mancha gris (Figura 21) estaba sobre lo que anteriormente eran potreros. El lodo llegó hasta la quebrada El Mello y las pocas aguas que esta tenía fueron represadas. El agua llegó hasta la escuela y empezó a correr por otro lado. Más tarde nos dimos cuenta que se habían quemado 5 casas*" [...].



Figura 22. Vista oblicua de un depósito de material sedimentario proveniente de la erupción en 2003 del volcán de lodo Nueva Esperanza, margen derecha de la quebrada El Mello ($8^{\circ}26'21,1''N$ $76^{\circ}31'24''W$). Foto Alberto Vivas Narváez, 27/01/2016.

El evento eruptivo transportó una mezcla de sedimentos, rocas y clastos a través de un canal de flujo angosto cuya longitud, calculada con base en una imagen del sensor Landsat (2004), mostro que alcanzó 855 m de largo, el ancho en promedio fue de 49 m y la altura del material depositado en la margen derecha de la quebrada El Mello fue de 10 m (Ingeominas, 2003). El volumen total aproximado del material extruido en ese evento fue 418.950 m^3 (Vivas, N., A. 2016).

Trece años después de ocurrido el evento eruptivo los procesos erosivos actuales dejan expuesto el material rocoso y labran el material sedimentario hasta formar

canales de aproximadamente 3 m de profundidad que zigzaguean en dirección a la ladera y vierten en época invernal, el sedimento a la quebrada El Mello ocasionando impacto ambiental y alteración de las propiedades físicas de la corriente (Vivas, N., A. 2016).



Figura 23. Detalle general del paisaje en el volcán Nueva Esperanza. **A**). El agua erosiona los depósitos de lodo y forma canales profundos de formas caprichosas. **B**). Roca meteorizada y fragmentada por los procesos erosivos. Foto: Alberto Vivas Narváez, 27/01/2016.

La ladera por la que escurrió el material extruido en 2003 brinda un paisaje inhóspito en el que la vegetación natural (pastos, hierbas y arbustos) que existe en su periferia no ha logrado colonizar los lodos seguramente porque existen limitantes en tres factores del suelo que permiten el crecimiento de las plantas como son: existencia de niveles mínimos en la relación C:N, altos pH (básicos) y bajos porcentajes en la Capacidad de Intercambio Catiónica (CIC).

El N es el elemento más importante para el crecimiento de las plantas y el cálculo de la relación C:N se hace para indicar la disponibilidad de N para las plantas. Si el N es alto significaría que no existe microorganismos o que estos no pueden movilizarse; por tanto, no está disponible para las plantas (Ross, S. 2008). Ahora si el ph es alcalino (7,4-8) significaría que el material sedimentario tiene un alto contenido de carbonatos, baja solubilidad en P y por tanto inhibe el crecimiento de las plantas. La CIC se asocia con la textura, el tipo de arcilla y el contenido de materia orgánica en ellas. En términos generales es deseable que los suelos presenten una CIC alta (>20 meq/100 g) ya que esta condición determinaría una condición potencial para suministrar Ca, M y K a las plantas.

El análisis del contenido de elementos químicos para el crecimiento de las plantas es un tema amplio; sin embargo, no se conoce, a nivel de Colombia, investigaciones sobre el contenido de esos elementos en los lodos extruidos por los volcanes (Vivas, N., A. 2016).

Los lodos extruidos carecen de elementos químicos que impiden el crecimiento de las plantas o como se ha visto en otros volcanes (pe: Alto de Mulatos, Cacahual) deberá transcurrir mucho tiempo para que la sucesión secundaria colonice con vegetación las líneas de flujo de canal de lodo (Vivas, N., A. 2016). Sin embargo, existiendo limitantes en el suelo se identificó vegetación (Figura 24) que en la actualidad está presente en los lodos extruidos por el volcán Nueva Esperanza.

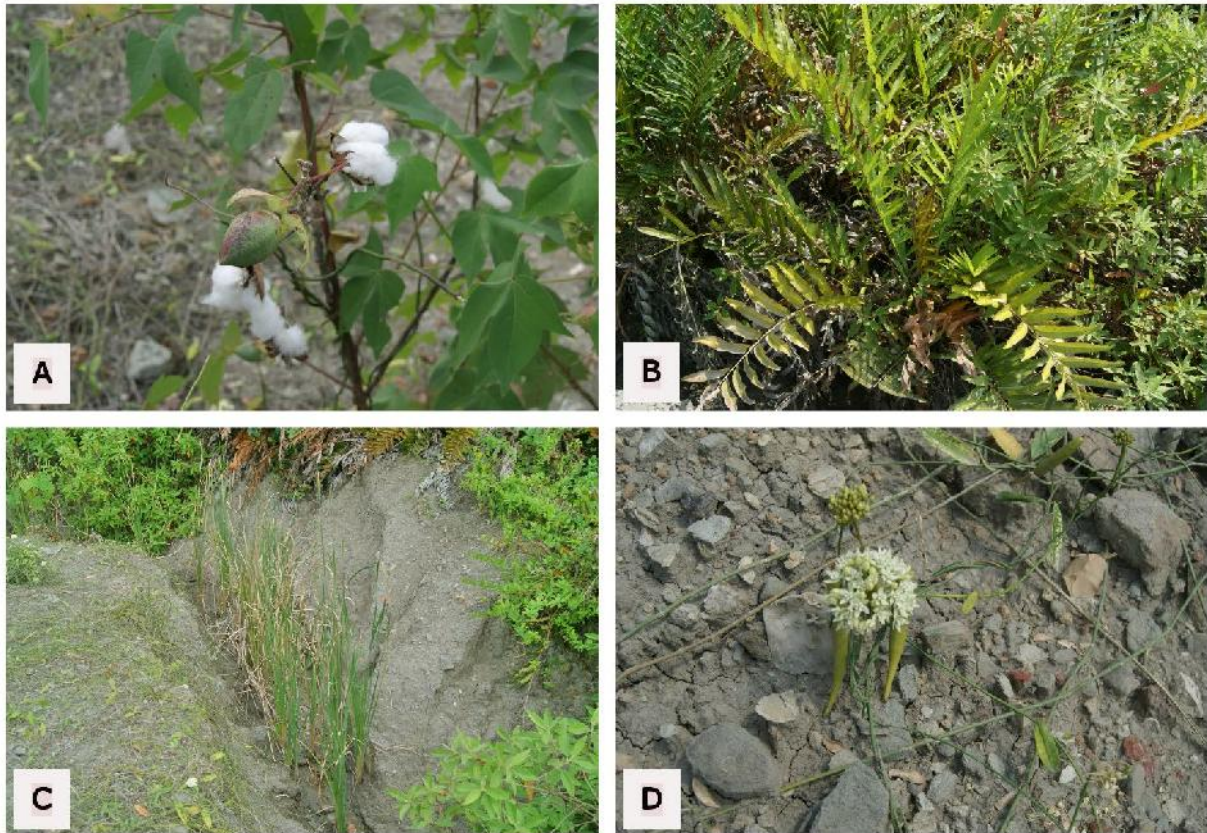


Figura 24. Especies vegetales presentes en los lodos extruidos por el volcán de lodo Nueva Esperanza. **A**). *Gossypium* Sp., planta leñosa, arbustiva de la familia Malvaceae. **B**). *Acrostichum aureum*, planta herbácea de la familia Pteridaceae. **C**). *Typha* Sp., planta herbácea de la familia Typhaceae. **D**). *Funastrum* Sp., planta trepadora, bejuco leñoso de la familia Asclepidaceae. Fotos: Alberto Vivas Narvárez, 27/01/2016.

5.2.3.3 Evaluación de la amenaza

En 2003 la violenta erupción del volcán de lodo Nueva Esperanza permitió que una mezcla de lodo, agua, rocas y clastos se depositaron sobre un área de 4,5 hectáreas (418.950 m³) donde anteriormente existían potreros y cultivos agrícolas. El evento disparó al aire una llama de fuego de aproximadamente 50 metros de altura que alteró por un momento el clima local y quemó la vegetación aledaña al cráter; y

finalmente, el lodo extruido taponó la quebrada El Mello e introdujo un material sedimentario que alteró las propiedades físicas del agua (color, turbiedad, olor) cuya afectación persiste en la actualidad.

Por las características aquí sustentadas se propone el siguiente mapa de amenaza

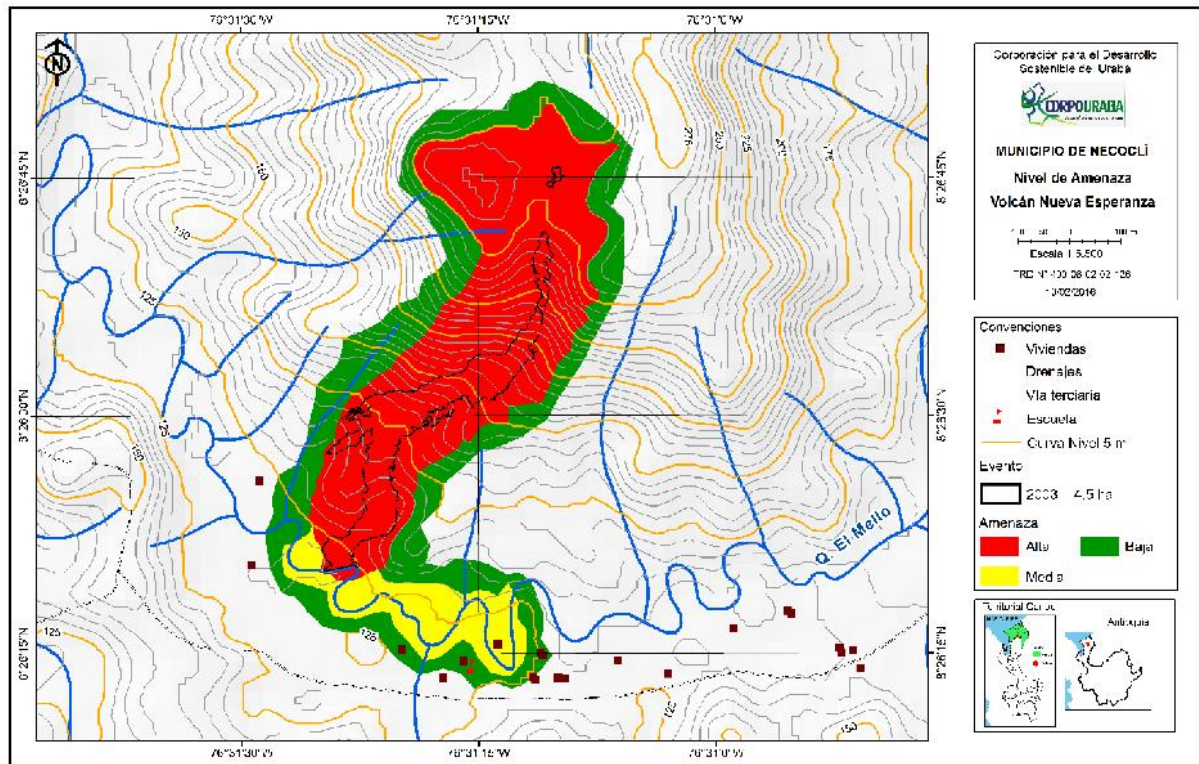


Figura 25. Niveles de amenaza alta, media y baja por erupción del volcán de lodo Nueva Esperanza

El mapa de amenazas (Figura 25) que se propone para el volcán de lodo Nueva Esperanza comprende tres niveles de amenaza: alta, media y baja así:

- 1) **Amenaza Alta:** Comprende un área de 22,8 hectáreas, separada 270 m del cráter principal en la que, a partir de los recorridos de campo se reconoció dos cráteres secundarios localizados en el flanco SE, un área húmeda de aproximadamente 5m² localizada en el tope de la colina donde hay un cráter principal y varios cráteres secundarios todos activos. Incluye, además el flujo de lodo de 4,5 hectáreas que fue arrojado en 2003 que se extiende hasta la quebrada El Mello (Figura 25). Esta área, se encuentra también, una franja de bosque natural que fue quemada por la columna de fuego que alcanzó 50 m de altura.

- 2) **Amenaza Media:** Comprende un área de 4,8 hectáreas, se localiza a 134 metros del cráter principal y cubre la margen derecha e izquierda de la quebrada El Mello. Se contempla como medida de protección a las viviendas y a la escuela ante la ocurrencia de movimientos en masa que podrían disponer lodo en el lecho de la quebrada y ocasionarían, como ya ocurrió en 2003, un «represamiento» de la quebrada que alcanzaría principalmente a la escuela.
- 3) **Amenaza baja:** Comprende un área de 16,1 hectáreas trazada sobre la cuchilla de las colinas donde, por las características, topográficas, existe baja probabilidad que sean afectadas por un flujo de lodo.

5.2.4 Volcán Alto de mulatos

El Alto de Mulatos se localiza a 14 kilómetros en dirección NE del área urbana del corregimiento El Tres. El acceso a él es a través de una vía afirmada en buenas condiciones que inicia cuando la vía trocal se bifurca en el citado corregimiento (Vivas, N., A. 2016).

El Alto de Mulatos además de la importancia que brinda su altitud constituye para las personas, un centro de acopio y un referente geográfico que se ubica a 350 m.s.n.m., sobre el flanco oriental del Cerro Azul; tanto el uno y como el otro, se asocian geográficamente, a la Serranía de Abibe e hidrológicamente a las cuencas de los ríos Mulatos y Turbo respectivamente.

5.2.4.1 Morfología

En el Alto de Mulatos y a 100 metros en dirección SE del área urbana se encuentra el volcán de lodo Alto de Mulatos que según el ángulo de sus flancos se asemeja a una pirámide truncada donde la caldera o cráter principal se ubica en un área amplia, plana, con pendiente inferior a 3 grados. El tipo de drenaje en este sitio es radial y los caños y quebradas vierten aguas a la quebrada Juan Benítez y esta entrega aguas a la quebrada Toribio (Vivas, N., A. 2016). La estructura geológica presente en el área del volcán corresponde a un flanco de sinclinal en el cual los estratos tienen tendencia N45E con inclinación entre 40-50° al oeste (Parra, L. E. 1994).

El volcán de lodo, geomorfológicamente hablando, se encuentra sobre un paisaje de montañas y colinas modeladas por unidades de origen estructural-erosional (Ingeominas, 2005a) con presencia de lomas anticlinales en arenisca. La cartografía geológica asocia, al área donde se localiza el volcán, la falla inversa o de cabalgamiento conocida con el nombre de Falla de Mataplátanos y hacia el occidente del volcán el Sinclinal de Tulipa. Otros estudios (Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015), asignan a este paisaje la Unidad Cronoestratigráfica n1n2-St que se caracteriza por la presencia Arenitas líticas a sublíticas de grano medio interestratificadas con lodolitas; localmente turbas, carbón y lentes de

conglomerados arenosos. La edad de la unidad corresponde al Aquitaniano-Burdigaliano. A esta unidad se integra la Formación Floresanto, Unidad Pavo Inferior.

La Formación Floresanto está compuesta (Geotec, 2003), por una secuencia homogénea de lutitas, dispuesta en capas delgadas a gruesas con colores pardos amarillentos y rojizos resultado de la meteorización. Ella, evidencia capas de limolitas calcáreas y litoarenitas de grano fino friables, granos angulares a redondeados, bien seleccionados compuestos por cuarzo, fragmentos líticos volcánicos, chert negro y cristales de plagioclasa. La edad de formación va desde el Mioceno medio al superior.

El volcán de lodo Alto de Mulatos se encuentra en el piedemonte de la Serranía de Abibe que se caracteriza por tener un relieve de colinas altas y bajas con pendientes escarpadas y susceptibles a los movimientos en masa. El área se asocia a la zona de vida bosque húmedo tropical (bh-T), que tiene temperatura anual promedio de 28°C y un rango de precipitación de 2.000 mm anuales. Se localiza en las coordenadas 8°8'5,31"N - 76°32'56,2"W y se encuentra a 374 m.s.n.m. El edificio volcánico ocupa un área aproximada de 277 hectáreas y se localiza en la finca de propiedad del señor Emilio Sánchez (Vivas, N., A. 2016).

En el área se identifica las quebradas Juan Benítez y Toribio que en algunos tramos de su recorrido presentan disección; es decir, en su dinámica erosionan sus lechos que están constituidos por materiales fáciles de transportar contribuyendo así a un proceso de erosión vertical o profundización de su cauce.

En el área los suelos agrícolas se asocian a la categoría agrológica 7 lo que significa que su aptitud se orienta a la protección de las coberturas forestales que ahí existen; en caso contrario, tendrán limitaciones bien sea por la pendiente escarpada o la presencia de afloramientos rocosos que impiden la implementación de cultivos. La presencia de la ganadería genera conflictos de uso del suelo y contribuye a la generación de procesos erosivos (IGAC, GOBANT, 2007).

5.2.4.2 Cronología de eventos

La historia de eventos explosivos del volcán de lodo Alto de Mulatos sobrevienen después de largos periodos de inactividad en los cuales el volcán solo libera cantidades normales de líquidos y gases.

1. En 1.993 una parte de la población asentada en el área urbana del corregimiento Alto de Mulatos sintió ruidos provenientes del volcán de lodo ubicado a 100 metros de sus viviendas. En ese momento cuentan los testigos (Velásquez, 2006) que en el área del volcán [...] *la tierra se levantó, se agrietó y salió una columna de lodo de aproximadamente 4 metros de altura que escurrió rápidamente en dirección hacia la quebrada Juan Benítez; pero, no llegó hasta allá. La llama y el*

calor que generó no hizo daño a la gente, pero si quemó las ramas de los árboles y toda la vegetación que había alrededor"[...]

La columna de lodo, una combinación de arcilla, rocas y clastos de diferente tamaño, cubrió rápidamente gran parte del flanco SE del edificio volcánico y hoy, a través de fotografías aéreas de la época, sabemos aproximadamente, que ese flujo de lodo (Figura 26) alcanzó una longitud de 806 metros, una amplitud promedio de 72,8 metros y un espesor de 0,8 metros. Con este acotamiento se concluye, que en ese evento el volumen de lodo extruido fue de 46.941,4 m³ y cubrió un área de 4,8 hectáreas (Vivas, N., A. 2016).

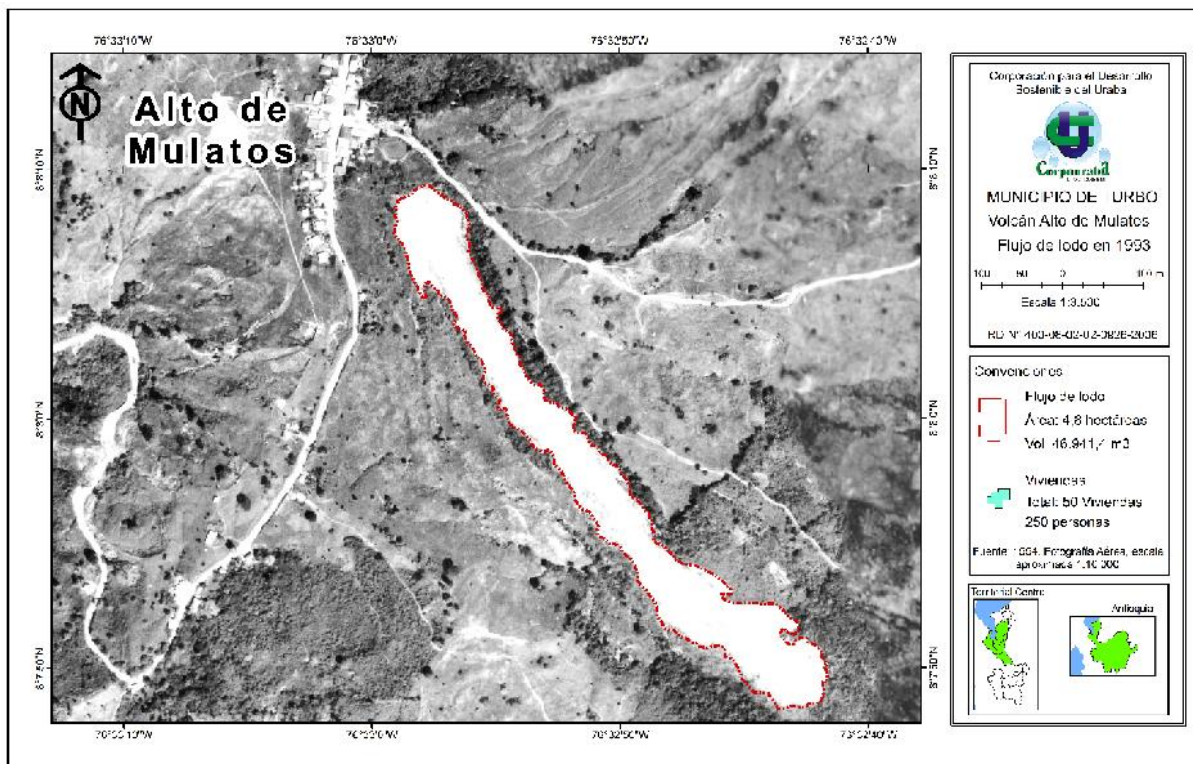


Figura 26. Área urbana del corregimiento Alto de Mulatos en 1994 y detalle general del canal de flujo de lodo después del evento presentado en 1993.

En referencia a este evento (Parra, L. E. 1994) mencionó en su investigación que esa larga estela de lodo blando alcanzó una longitud de 600 metros y dejó constancia que sobre ella no existía vegetación alguna.

2. En 2.000 el volcán tuvo un evento que se manifestó por ruidos fuertes como de olla pitadora. Hubo emisión de poco de lodo. En el área del cráter no se sintió aumento de la temperatura.

3. En 2.004 el volcán elevó el suelo y emitió ruidos. Se mantuvo vigilancia durante dos días y luego volvió a la normalidad (Contreras, 2016).
4. En 2.006 personal técnico de CORPOURABA visitó el corregimiento Alto de Mulatos, dialogó con los habitantes del área y durante el recorrido de campo por área del cráter principal (Figura 27A) encontró dos cráteres secundarios con salida lenta de lodo. La presencia de vegetación herbácea en el sitio por donde escurrió el flujo de lodo evidenció que ha transcurrido mucho tiempo desde del último evento (Vivas, N., A. 2016).
5. En 2.012 personal técnico de CORPOURABA en compañía de los ingenieros Eduardo Parra y Javier Millán hicieron un recorrido por el área del volcán (Figura 27B). Se encontró un cráter circular del que emanaba, de manera lenta lodo acuoso, sin olor que discurría hasta una barrera de vegetación arbustiva que controlaba su avance. A 10 metros del cráter principal y sin orden alguno se encontró dos pequeños cráteres sin evidencia de actividad. Se observó también 4 niveles que marcan la ocurrencia de eventos posteriores al de 1993 pero con menor velocidad y cantidad de lodo.

En la línea del tiempo tanto la figura 27A como la figura 27B se presentan con el objetivo de contrastar que la estructura volcánica levanta el suelo durante el proceso de liberación de energía y posteriormente esa estructura colapsa. La precipitación contribuye a dispersar el material arcilloso y expone a nivel de superficie el material rocoso. Existen algunas plantas de las familias *Convulvulaceae* *Asteracea* y *Pteridaceae* que inician la colonización de los flujos de lodo.

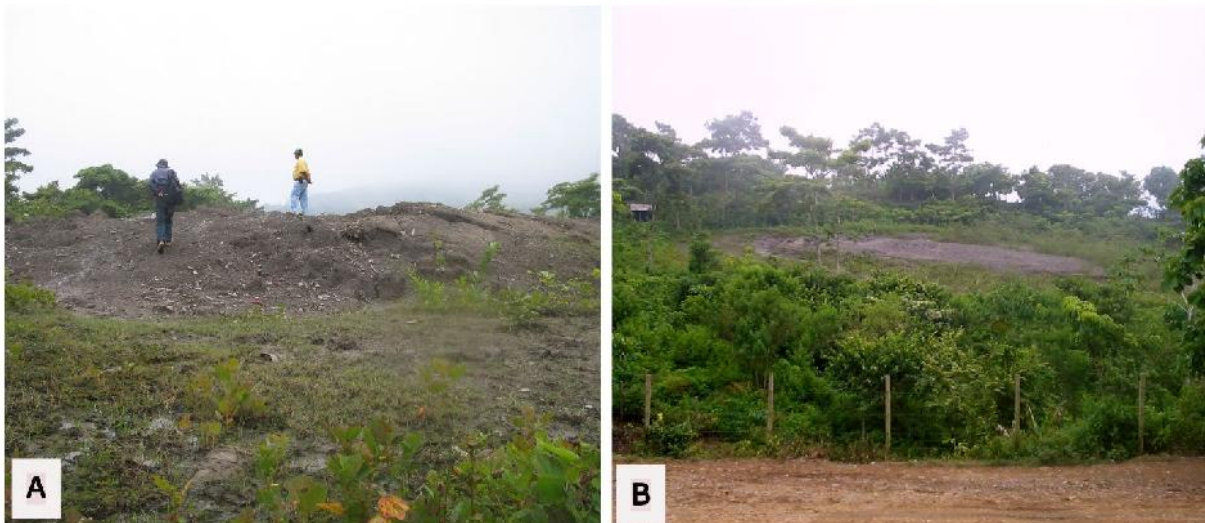


Figura 27. Detalle del cráter principal del volcán de lodo Alto de Mulatos. **A)** Vista frontal del cráter principal captada el 19 de julio de 2006. **B)** Vista superior del cráter principal captada en 7 de junio de 2012. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

6. En 2.016 el periodo comprendido entre las 2-6 am del día 3 de junio el volcán de lodo mostró levantamiento topográfico, ruidos fuertes, agrietamiento y expulsión de material arcilloso y agua. Describir los elementos que se encontraron en la visita de campo constituye el objetivo de este documento.

La visita de campo estuvo coordinada por el señor Belisario López identificado con cédula N° 98.463.862 en calidad de presidente de la JAC de la vereda Alto Mulatos, la señora Luz Marina Rojas Sánchez identificada con cédula N° 39.312.764 en calidad de secretaria de la JAC, el señor Edward Esteban López Ballesta identificado con cédula N° 15.377.261 en calidad de miembro de la JAC, el señor Darío Velásquez en calidad de miembro de la JAC, el arquitecto Andrés Felipe Maturana González identificado con cédula N° 1.045.504.165 en calidad de Secretario de Planeación y Presidente del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Turbo, el capitán Adubayne Contreras identificado con cédula N° 71.977.864 en calidad de Comandante del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Turbo (Vivas, N., A. 2016).

En la visita de campo se reunió a la comunidad y se explicó el origen y características del fenómeno, las fases comunes en la actividad de estos volcanes y el peligro que vivir en su cercanía conlleva. A partir de la reflexión la comunidad organizó una comisión de alerta y vigilancia del comportamiento del volcán. El proceso de erupción en el volcán de lodo Alto de Mulatos inició en la madrugada del 3 de junio de 2016 y en la voz de los testigos presenciales (López, 2016) se resume lo siguiente:

- 1) [...] "2-2:30 am: *La mañana para nosotros, en el matadero, inició con un mal tiempo, caí una lluvia y la noche estaba oscura.*
- 2) Aproximadamente entre las 2:30-3:00 am: *Escuché de un lugar cercano a la boca principal del volcán de lodo ruidos parecidos a truenos y seguidos de un sonido intermitente, algo así como poc-poc-poc.*
- 3) Aproximadamente entre 3:00-4:30 am: *Los sonidos parecidos cuando se hierve la mazamorra continuaron de manera interrumpida. No me acerque a verificar lo que sucedía en el volcán porque estaba en mi trabajo.*
- 4) Aproximadamente entre 4:30-5:30 am: *Me di cuenta que la tierra se había levantado, había grietas cortas por donde se escuchaba las salida continua y fuerte de aire. No sentí calor, ni tampoco olor a petróleo. Observé que había un hueco por donde salía abundante lodo de color gris y muy acuoso; luego me di cuenta que había otros dos huecos por donde también salía lodo. El levantamiento de la tierra dejó al descubierto piedras grandes y pequeñas.*
- 5) Aproximadamente entre 5:45-6:00 am: *Informé a la comunidad sobre lo que sucedía en el volcán. A unos les pareció serio y otros no creyeron" [...].*

El conjunto del material extruido y levantado se distribuyó en un área de 0,34 hectáreas (0,034 km²) y el volumen que se expulsó fue aproximadamente de 5.215,2 m³ (Vivas, N., A. 2016).

Durante el proceso eruptivo del Volcán de Lodo Alto de Mulatos y como consecuencia de la presión en los estratos profundos del suelo se dio un levantamiento vertical del domo (Figura 28A) que se materializó en la fractura y ruptura de las capas superficiales del suelo. A medida que este proceso avanzó la presión acumulada disminuyó y los elementos de menor cohesión, como el lodo afloraron en superficie (Figura 28D).

Las fracturas (Figura 28C) se dieron como resultado de la pérdida de cohesión debido al movimiento del suelo y las fisuras, que son fracturas de tipo radial, se presentaron principalmente en sentido NS hacia la quebrada Juan Benítez y se extendieron en longitudes de hasta 25 metros.

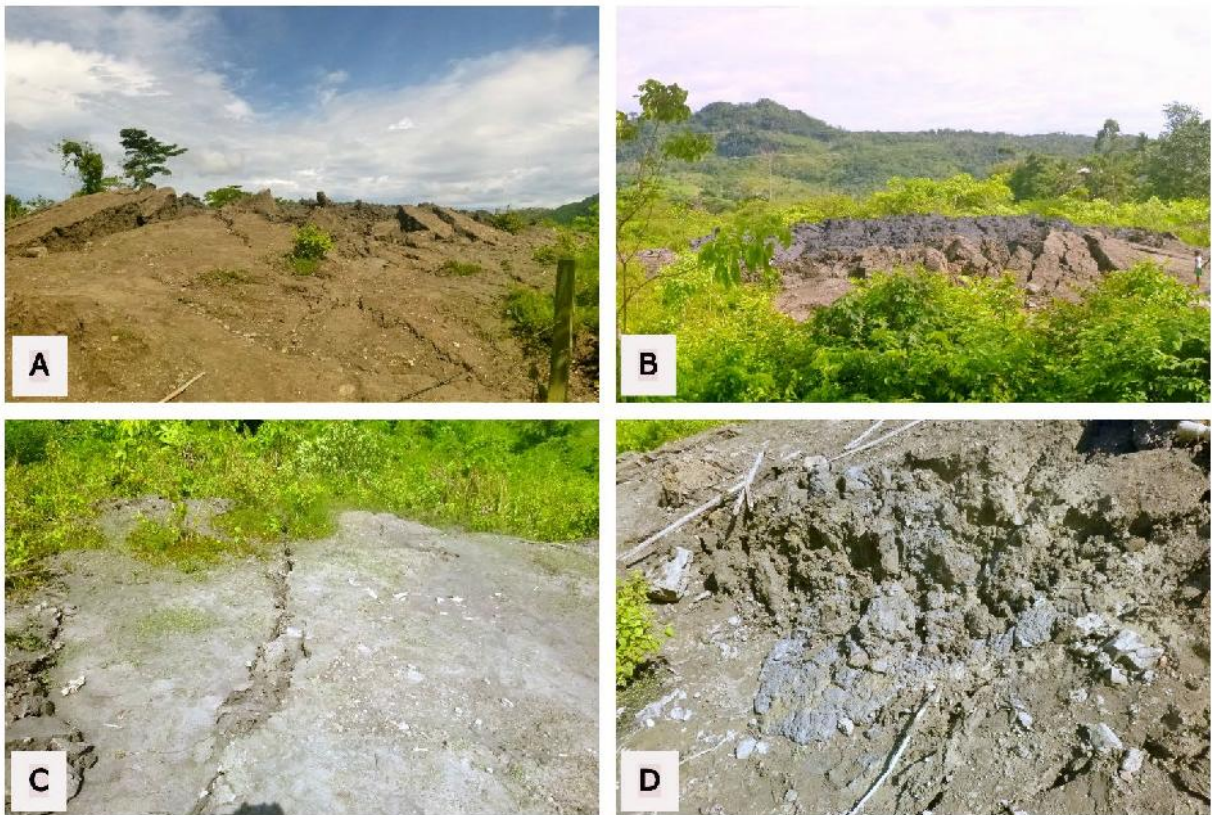


Figura 28. Secuencia de imágenes que muestran un evento eruptivo en el volcán de lodo Alto de Mulatos: **A)** Levantamiento y deformación del suelo. **B)** Emisión de material arcilloso en dirección SE. **C)** Grietas radiales en el suelo. **D)** Emisión de material arcilloso de color gris claro. Fotos: Alberto Vivas Narváez (3/06/2016).

7. El 5 de junio de 2017 personal técnico de CORPOURABA y los ingenieros Iván Correa y Georges Vernette visitaron el área del volcán con el objetivo de obtener testimonios gráficos para la construcción de video sobre los volcanes de lodo en Colombia (<https://www.jarouphoto.com/volcans-de-boue>) en ese proceso, se verificó la actividad en los cráteres, examinó los fragmentos de roca, confrontó los

sitios de agrietamiento en la vía y se escuchó los relatos de los eventos en la voz de la comunidad.

8. El 8 de diciembre de 2018, personal técnico de CORPOURABA efectuó visita de inspección al sector Alto de Mulatos con el objetivo de verificar afectaciones derivadas de la erupción del volcán de lodo ocurrida el 28 de noviembre de 2018. Versiones entregadas por la comunidad confirmaron que el evento inició a las 5:15 am con sonidos agudos en el subsuelo que terminaron a las 5:30 am con una explosión seca acompañada de un ligero movimiento del suelo. Al examinar el cráter principal se encontró una fracción del suelo (aproximadamente 0,08 ha) levantada 3 m, en forma de cono truncado, con grietas radiales de longitud variable (\approx 6-7 m) que se extienden en sentido SE. Las grietas mayores (Figura 29A) tienen una amplitud de 0,66 m y las menores tienen dimensiones centimétricas. Por una de esas grietas se percibe un silbido agudo que indica salida de gas alta presión; el cual, dejará de salir cuando haya liberado las presiones internas. En el recorrido de campo se evidenció la extrusión de lodo, en pequeñas proporciones, por dos cráteres puntuales ubicados a 60 m de un camino veredal.



Figura 29. Volcán de lodo Alto de Mulatos. **A)** Levantamiento del suelo en el área del cráter principal que evidencia grietas radiales de amplitudes variable. **B)** Grietas por asentamiento del suelo en viviendas del área urbana del Alto de Mulatos. Fotos: Alberto Vivas Narváez (8/12/2018).

En desarrollo de la visita de inspección se verificó también la existencia de grietas por asentamiento (Figura 29B) en 7 viviendas localizadas en la margen derecha de la vía que conduce hacia San Pedro de Urabá. Las grietas se presentan tanto en las viviendas de madera con piso en tierra como en las de mampostería con piso en cemento; tanto en unas como en otras hay hundimientos (\approx 5-10 cm) del suelo y agrietamientos en las paredes.

Las grietas por asentamiento podrían tener su origen en los movimientos de ascenso y descenso que tiene el volcán de lodo cuando libera gases u originarse también en la respuesta del suelo a la carga de la estructura de las viviendas. Hay

que recordar que los suelos en este sector están constituidos en su mayor parte por arenitas líticas de grano medio interestratificadas con lodolitas (Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., *et. al.*, 2015).

5.2.4.3 Evaluación de la amenaza

El Alto de Mulatos alberga una población en condición de vulnerabilidad toda vez que ante las erupciones periódicas del volcán de lodo podría verse afectada por la emisión de llamas, el levantamiento y fracturación de la estructura del suelo y la invasión de lodo en bienes y viviendas. Por ello, resulta importante que el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo del municipio de Turbo oriente acciones hacia el conocimiento y reducción del riesgo contemplados por la Ley 1523 de 2012.

El Alto de Mulatos (Figura 30) tiene aproximadamente 127 viviendas (Rojas, 2016) (≈ 635 personas) distribuidas en un patrón lineal dado por la vía principal que en sentido norte conduce hacia el municipio de San Pedro de Urabá. Están construidas en ladrillo y cemento y muy pocas en madera. Las personas derivan su sustento del ofrecimiento de servicios y de los en cultivos de maíz, café, cacao y el desarrollo del sector maderero el cual se convirtió en uno de los indicadores o factores de explotación de las tierras y transformación del relieve natural (Vivas, N., A. 2016).



Figura 30. Vista superior del corregimiento Alto de Mulatos donde la señal de color rojo, muestra la ubicación del cráter principal del volcán de lodo. Foto: Alberto Vivas Narváez (15/04/2014).

El volcán de lodo Alto de Mulatos representa, para las comunidades asentadas en su periferia, una amenaza porque evidencia, de acuerdo a lo aquí documentado, el siguiente comportamiento.

1. **Generación de llamas:** En algunos de los eventos eruptivos del volcán de lodo Alto de Mulatos se documentó la liberación de gases que al entrar en contacto con el aire generan fuego que quema los objetos cercanos al volcán. En el evento ocurrido en 1993 fueron quemados árboles de roble que tenían alturas superiores a 12 m.
2. **Expulsión de rocas y clastos:** La ocurrencia de al menos 6 eventos aquí documentados muestra que existe un área susceptible principalmente el flanco SE por donde escurre el flujo de lodo. En el recorrido de campo se observó otras bocas y por tanto no se sabe cuándo pueda cambiar esa tendencia.
3. **Fracturamiento del suelo:** Ocurren por la liberación de energía; el suelo se levanta, libera energía y posteriormente colapsa (Palmares de Cenizosa 2007-2016). Las zonas de fractura se dan en el área de influencia del volcán y pueden extenderse por kilómetros.
4. **Emisión de sonidos:** Genera miedo y temor en la comunidad.

Por el comportamiento que exhibe el volcán Alto de Mulatos se propone el siguiente mapa de amenaza (Figura 31) donde se muestra dos niveles: Amenaza alta y Amenaza Media con las siguientes características

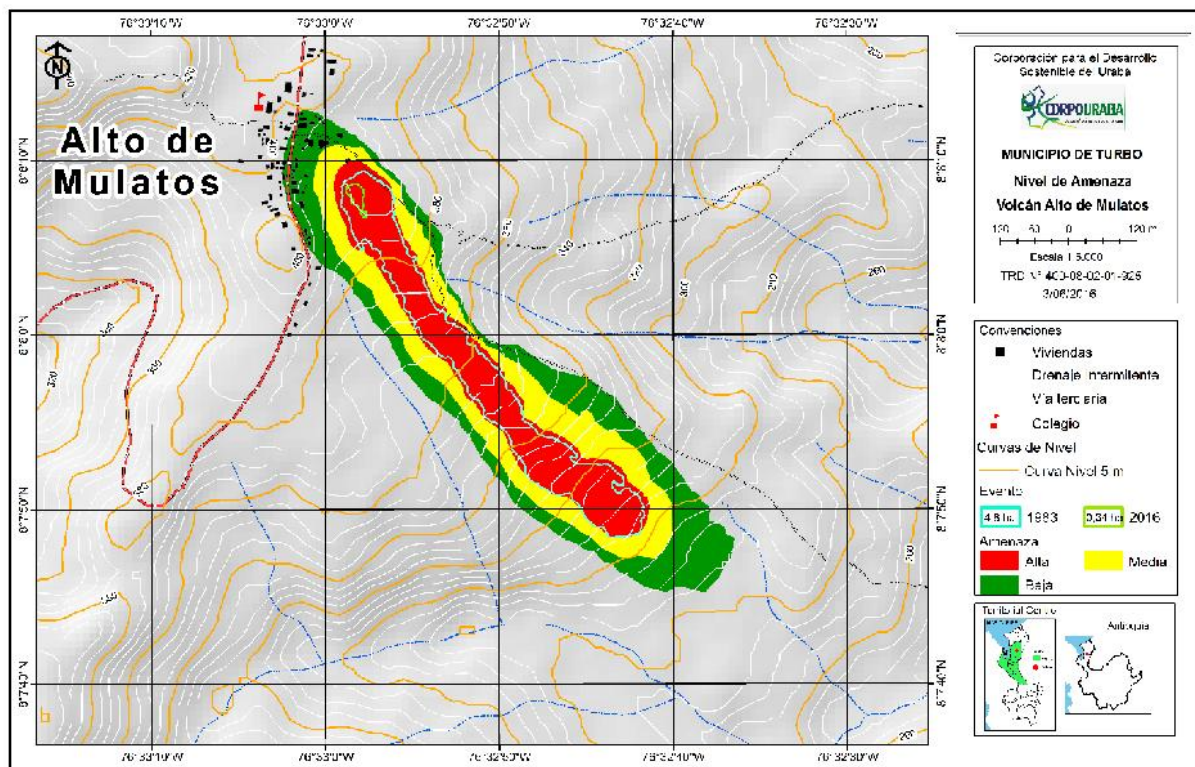


Figura 31. Niveles de amenaza alta, media y baja por erupción del volcán de lodo Alto de Mulatos

- 1) **Amenaza Alta:** Se delimita un área de 6,4 hectáreas y dentro de ella una franja separada 52 m del cráter principal que sigue la curva de nivel y que incluye: 11 viviendas localizadas en la periferia, una parte de la vía terciaria que conduce a San Pedro de Urabá y una parte del camino veredal que conduce hacia Juan Benítez. La franja incluye también las áreas que de conformidad con las observaciones de la comunidad han sido quemadas y el área donde en la actualidad se encuentra el canal de flujo de lodo compuesto por el material extruido que es una mezcla de sedimentos, rocas y clastos que fueron depositados en un área 4,7 hectáreas durante el evento explosivo de 1983.
- 2) **Amenaza Media:** Se delimita un área de 6,1 hectáreas, distante 46,1 metros del cráter principal como medida de protección ante la ocurrencia de grietas y movimientos en masa derivados de la presencia del volcán de lodo.
- 3) **Amenaza Baja:** Se delimita un área de 7,3 hectáreas, distante 85 metros del cráter principal que se traslapa con la vía que conduce hacia San Pedro de Urabá y las viviendas que evidencian agrietamientos, levantamientos y hundimientos del terreno.

5.2.5 Volcán San Juancito

En la vereda San Juancito localizada a 4,5 kilómetros, en dirección SE, del área urbana del municipio de San Juan de Urabá, se encuentra el volcán de lodo San Juancito (Figura 32).

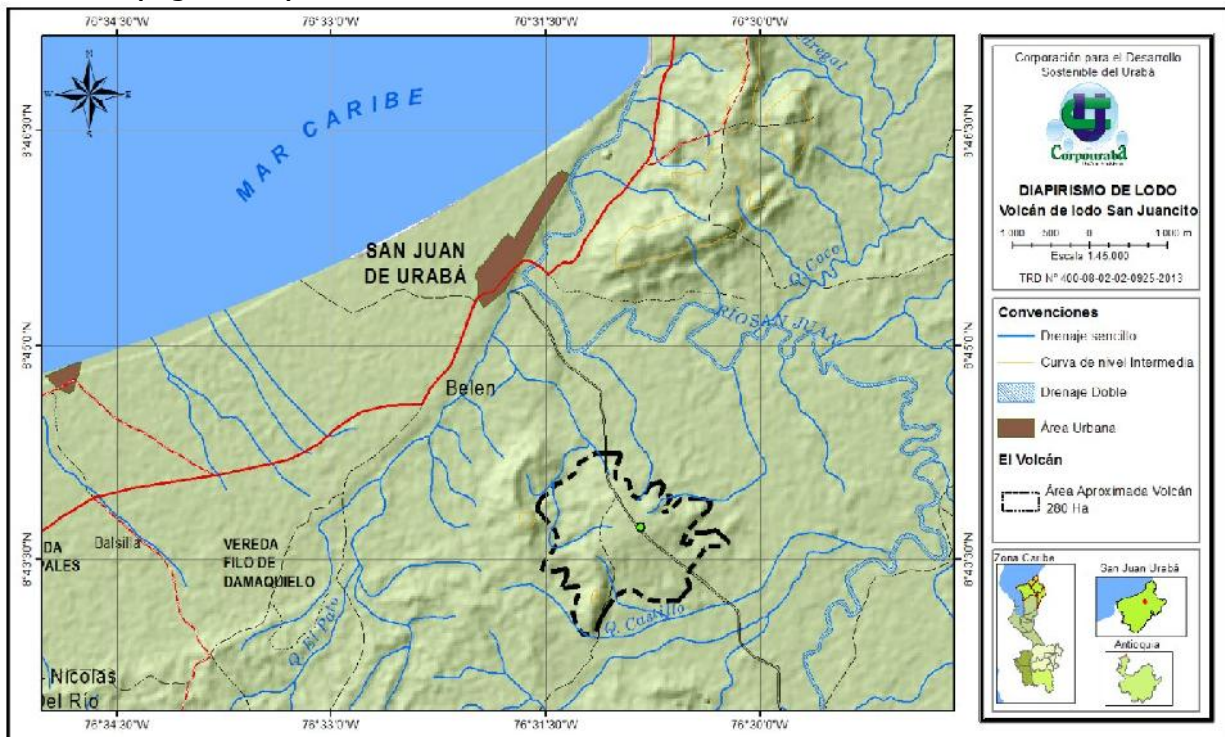


Figura 32. Ubicación geográfica del volcán de lodo San Juancito

La zona de vida en esta área corresponde al bosque húmedo tropical (bh-T) aunque también, se observa áreas que por su vegetación y la sensación térmica se asocian al bosque seco tropical (bs-T).

Geográficamente, el volcán San Juancito, se ubica en las coordenadas 8°41'8,4"N - 76°31'44,9"W. Para acceder a él se toma la vía terciaria que conduce a la vereda Filo de Venus y en un sitio conocido como La Ganadería Montecristo se toma el camino que conduce hacia la vereda San Nicolás del Río hasta una finca sin identificar donde se encuentra el edificio volcánico que ocupa aproximadamente un área de 280 hectáreas cuyo uso de suelo corresponde a la ganadería (Vivas, N., A. 2012).

5.2.5.1 Morfología

El volcán de lodo San Juancito se localiza sobre una colina baja que en planta se asemeja a una pirámide de base amplia y tope plano sobre la cual se identifica un conjunto de 5 volcanes que evidencia expulsiones puntuales distribuidos en un área de 8,8 hectáreas.



Figura 33. Vista frontal del cráter principal del volcán de lodo San Juancito (8°41'7,2" N 76°31'39,5" W). Sobre el material arcilloso se observa dos tipos de vegetación herbácea: **A**). *Acrostichum aureum*, pertenece a la familia *Pteridaceae*. **B**). *Juncus Sp.*, pertenece a la Familia *Juncaceae*. Foto: Alberto Vivas Narváez (23/10/2012).

El volcán de lodo, geomorfológicamente hablando se localiza sobre una macrounidad denominada Colinas Bajas que alcanzan alturas de hasta 100 msnm. Ellas tienen laderas cortas con pendientes que van de bajas a moderadas y de cóncavas a convexas, en geformas de colinas redondeadas y cuchillas suaves y cortas. Presentan dos patrones de drenaje: el primero es subparalelo de baja densidad y el segundo es dendrítico, en ambos tipos de drenaje las incisiones son de baja profundidad ([San Juan de Urabá, 2.000](#)).

Otros estudios ([Ingeominas, 1999c](#)) catalogan el área del volcán de lodo al interior del Cinturón Plegado del Sinú y lo relacionan con la Unidad Pajuil (Ngpas) que posee una secuencia lutítica que incluye intercalaciones de limolitas y arenitas finogranulares. En el análisis de la cartografía geológica se identificó, al oriente del área del volcán, la falla de rumbo sinistral denominada Falla de San Juan. De otro lado ([Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015](#)), asignan a este paisaje la Unidad Cronoestratigráfica n3n5-Sm que se caracteriza por la presencia de arenitas líticas y feldespáticas de grano fino a grueso con glauconita y shales calcáreos intercalados con lodolitas. La edad de la unidad corresponde al Langhiano-Tortoniano.

En esta área el uso del suelo acelera el escurrimiento superficial difuso que visualmente está representado en la abundancia de colores rojizos principalmente en el lugar donde encuentra el volcán de lodo. Este, corresponde a una colina baja que a distancia y sobre un terreno plano, marca una diferencia altitudinal importante. La colina se asemeja a una pirámide truncada, con poca vegetación, base amplia, flancos cortos y cúspide plana en donde a primera vista se observa un área amplia de humedal en la que destaca la vegetación típica de lugares húmedos (Figura 33A, B).

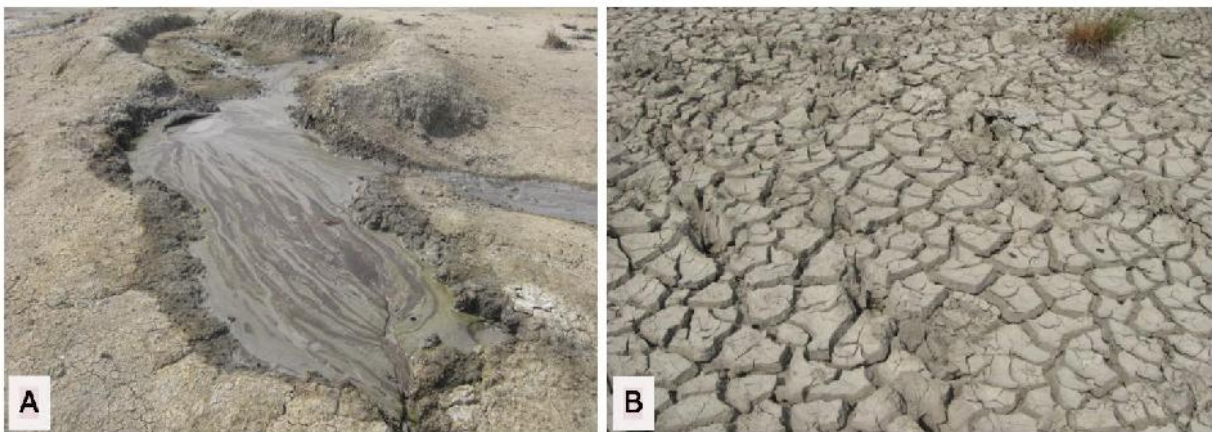


Figura 34. Pequeño cráter activado después de la explosión que muestra la emisión de lodo fresco y continuo con trazas de hidrocarburo en el área donde se encuentra del volcán San Juancito ($8^{\circ}41'8,7''$ N $76^{\circ}31'43''$ W). Foto: Alberto Vivas Narváz (23/10/2012).

Si nos adentramos en este ambiente encontraremos agua salada, rocas, restos de hidrocarburos sedimentos finos y material arcilloso que sale desde los pequeños cráteres (Figura 34), que se distribuyen en el área del volcán (Vivas, N., A. 2012).

En el área del volcán existen drenajes intermitentes y permanentes que siguen un patrón radial; algunos de ellos, vierten aguas a la quebrada El Castillo o directamente al río San Juan.

5.2.5.2 Cronología de eventos

Antes de 2012 la memoria colectiva de la comunidad asentada en la vereda San Juancito solo recordaba los eventos eruptivos ocurridos en otros volcanes de lodo como por ejemplo el de Las Platas. Pero nunca, habían imaginado que el volcán que estaba en su vereda podría tener un comportamiento similar al que siempre tienen en su memoria.

El área donde se localiza el volcán San Juancito, para el que no conoce, pasa desapercibida porque en primer lugar no existe el típico canal de lodo de otros volcanes; existe en cambio, una amplia zona de humedales cubierta con vegetación típica de esos ecosistemas. Esa vegetación se pierde y deja descubierto, en alguna época del año, el material arcilloso que de manera continua arroja el volcán y que en el momento de la visita de campo cubría un área de 0,5 hectáreas.

El área se visitó el 23 de octubre de 2012 cuando la comunidad reportó la ocurrencia de un evento eruptivo con las siguientes características: [...] "*Yo vivo en un caserío que se llama Montecristo aproximadamente a 2 kilómetros del volcán. Eran las 4 de la mañana cuando sentimos un estruendo muy fuerte con eco que se sintió en el aire y debajo del suelo. Cuando amaneció la novedad fue ir a ver qué había pasado en el volcán. No sentí olores, ni fuego ni tampoco temblores; pero, si mucho susto*"[...] (Robledo, A.F. 2012).

La visita de campo sirvió para verificar que paralelo al estruendo se presentó: **1**). Deformaciones en el suelo aledaño al cráter principal. **2**). Cambios en la morfología y activación de nuevos emanaderos de lodo. Ambos procesos se asocian a una red de grietas (Figura 33) derivadas de la onda de choque producida por explosión de gas que fue lo que la comunidad sintió esa mañana (Madonia, P., et al., 2011; Vivas, N., A. 2012).



Figura 35. Red de fracturas originadas del evento del 23 de octubre de 2012. **A).** Grietas simples con desplazamientos centímetros sobre la vía que conduce a la vereda Filo de Venus. **B).** Depósito de arcillas en el área cercana al cráter principal. **C).** Conjunto de grietas asociadas a desnivel del terreno en el cráter principal. **D).** Parte cóncava de la vía cortada por una discontinuidad con movimiento horizontal y vertical. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

Las grietas tuvieron su punto de partida en un lugar cercano al cráter principal (Figura 35), donde se observó grietas radiales laterales someras y grietas radiales profundas. Dos de estas últimas bordean el domo por completo, se encuentran separadas 25 metros la una de la otra y alcanzan longitudes aproximadas de 311, 322 y 179 metros, tienen orientación WE y su profundidad, medida en una sección de la vía, fue de 0,45 metros (Vivas, N., A. 2012).

Las grietas presentaron desplazamiento vertical con tensión horizontal (Figura 35D) y los planos de falla (Figura 35B) mostraron un bloque superior levantado y un bloque inferior cedido, el ángulo entre los bloques, calculado de manera aproximada, fue de 55°. El roce de los dos bloques dejó en evidencia estrías irregulares (Figura 35C).

Las grietas además de alterar el paisaje interrumpieron por algunas horas el tránsito terrestre entre el área urbana de San Juan de Urabá y la vereda Filo de Venus y ocasionaron la filtración del agua de un estanque piscícola en una finca aledaña.

5.2.5.3 Evaluación de la amenaza

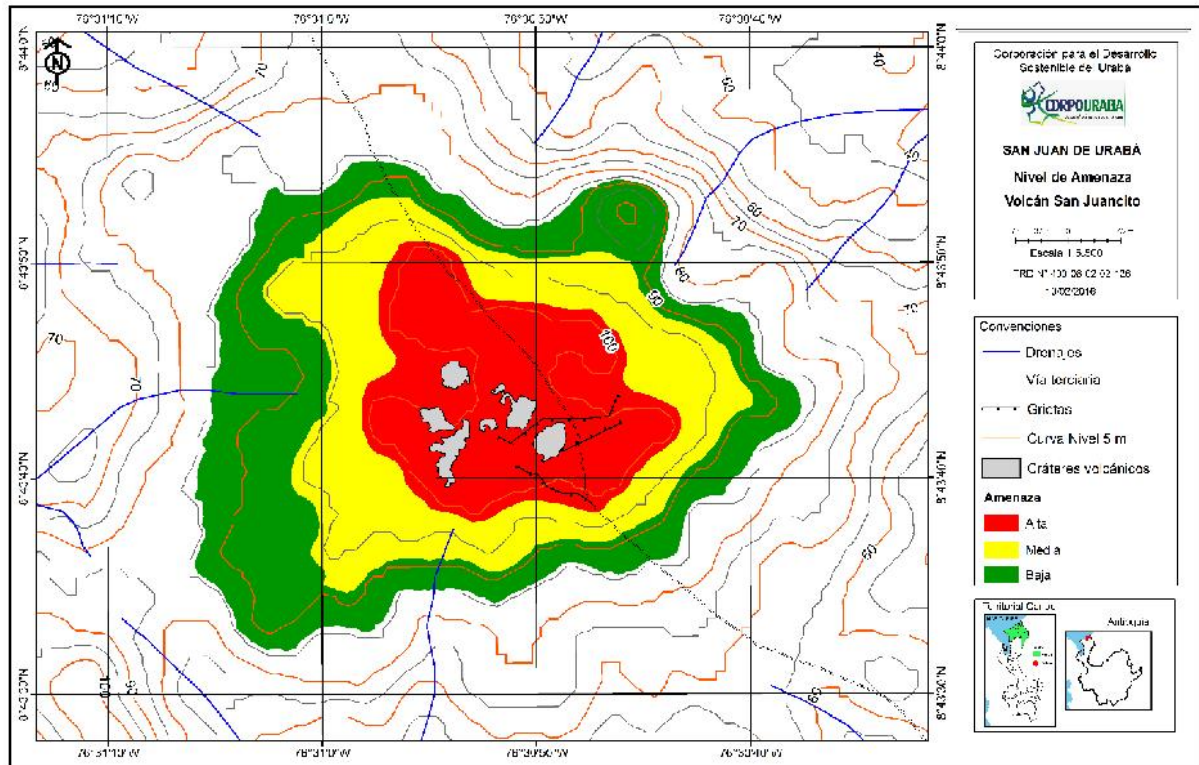


Figura 36. Niveles de amenaza alta, media y baja por erupción del volcán de lodo San Juancito.

- 1) **Amenaza Alta:** Siguiendo la curva de nivel se delimitó un área de 11,5 hectáreas en la que se distribuyen 6 cráteres volcánicos que tienen las siguientes características:

Nº Cráter	Formación	Área (m ²)
1	Reciente	1.718
2	Antiguo	0,16
3	Reciente	0,11
4	Reciente	0,031
5	Reciente	0,210
6	Reciente	0,1

Además de los cráteres, el área de amenaza alta, incluye la vía de acceso hacia el corregimiento de San Juancito que ha resultado afectada en los eventos aquí descritos. Incluye también el área impactada por las grietas (Figura 36).

- 2) **Amenaza Media:** Se delimitó un área de 13,3 hectáreas, distante 290 metros del cráter principal como medida de protección ante la ocurrencia de

grietas, levantamientos y hundimientos del terreno derivados de la actividad del volcán de lodo. En el área, sentido NW, se evidenció que se avanza en la construcción de una vivienda rural cuyos habitantes no conocen el impacto de este tipo de estructuras geológicas.

- 3) Amenaza Baja:** Se delimitó un área de 16,2 hectáreas, distante 168 metros del cráter principal que se traslapa con la vía que conduce hacia el corregimiento de San Juancito.

5.2.6 Volcán Palmares Cenizosa

Se denomina volcán de lodo Palmares Cenizosa a una estructura en forma de domo de tope plano y laderas planas con deformaciones superficiales que se localiza a 24 kilómetros en dirección NE de la cabecera urbana del municipio de Necoclí, en la finca El Chejal, vereda Vena de Palma, según catastro departamental, o Palmares Cenizosa según la comunidad, corregimiento Las Changas en las coordenadas $8^{\circ}30'1,2''N - 76^{\circ}36'44,3''W$.



Figura 37. Vista frontal del volcán de lodo Palmares Cenizosa captada el 15 de marzo de 2007, sentido NW ($8^{\circ}30'1,7''N 76^{\circ}36'39,8''$). Foto: Alberto Vivas Narváez.

Para acceder al volcán se parte del área urbana de Necoclí hasta el área urbana del corregimiento El Mellito; de ahí, se avanza 4,7 kilómetros en dirección SE hasta el puente de la quebrada El Palo y de ahí se avanza 4 km en dirección SW hasta la vereda Vena de Palma.

5.2.6.1 Morfología

El volcán de lodo (Figura 37) se localiza sobre un área donde el paisaje lo dominan las colinas bajas al norte y las colinas estructurales alargadas al sur. El edificio

volcánico está constituido por una colina en forma de domo de tope plano, con una altura aproximada de 160 msnm y con su cráter principal en la cima. Las laderas son largas, planas, de pendientes moderadas a fuertes, tienen deformaciones superficiales y el drenaje es de forma radial con incisiones de baja profundidad.

En esta área las colinas bajas evidencian pendientes moderadas, de perfil cóncavo y están labradas en roca sedimentaria. Ellas se separan del domo volcánico por valles estrechos formados por los cauces de las quebradas La cenizosa, La Toyosa y El Encanto. El domo volcánico ocupa un área de 410 hectáreas (Cano y Vivas, N., A. 2007).

El domo del volcán de lodo Palmares Cenizosa se encuentra sobre un área que estudios (Ingeominas, 1999a) la asocian a la Unidad Pavo Superior (Ngps) que se caracteriza por la presencia de lutitas con yeso y jarositas y algunas intercalaciones de arenitas con ostreas; otros estudios (Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015), asignan a esa área la Unidad Cronoestratigráfica n6n7-St caracterizada por la presencia de intercalaciones de conglomerados, arenitas líticas a sublíticas de grano medio a conglomeráticas, arenitas calcáreas y lodolitas

La edad de la Unidad Pavo Superior estimada con base en el análisis de características micropaleontológicas de foraminíferos y palinología (Geotec, 2003) la ubican desde el Mioceno Inferior-medio hasta el Mioceno superior inclusive Plioceno inferior.

5.2.6.2 Cronología de eventos

La comunidad asentada en la periferia del volcán de lodo Palmares Cenizosa recuerda vagamente los eventos eruptivos sucedidos en los años 1994 y 2000 (Parra, L. E. 2004) que se suman a la actividad registrada en los últimos 22 años en los cuales alterna fases de relativa quietud en las que no hay salida de lodo con fases de intensa actividad (Parra, E. 2004) que evidencian deformación del terreno, sonidos similares a un burbujeo al interior de la tierra, olores a gas y petróleo (Gómez, J.F., 2007), grietas centimétricas, desecación de jagüeyes por infiltración del agua (Cano y Vivas, N., A. 2007), emisión de gas y extrusión de una mezcla de agua, lodo y rocas alrededor del cráter principal (Vivas, N., A. 2010; Vivas, N., A. 2016).

A continuación, se presenta una relación de los eventos eruptivos y sus características registradas para este volcán de lodo:

- El 12 de diciembre de 2006 a las 8 pm, la actividad eruptiva de volcán de lodo evidenció comportamientos que pueden resumirse en 4 fases (Gómez, J.F., 2007). En el ímpetu de la combinación de ellas surgió el lodo que cubrió un área de 5.245 m². Emanó de una ventosa irregular de aproximadamente 25 cm de

diámetro que se localizó en las coordenadas $8^{\circ}30'3,5''N$ $76^{\circ}36'42,4''$ en el flanco norte del volcán (Figura 37).

1. **Fase 1:** Muestra el terreno con leve deformación y litología con estratos de material de alta densidad sobre estratos de menor densidad.
2. **Fase 2:** Las fuerzas de compresión al interior de la corteza producen la deformación y elevación del terreno.



Figura 38. Detalle que ilustra las fases en la actividad de volcán de lodo Palmares Cenizosa. Fuente: adaptado de [Gómez, J.F., 2007](#).

3. **Fase 3:** Se presenta fractura de los estratos rocosos, lo cual permite la expulsión de lodo. Este proceso puede ir acompañado de explosión.
4. **Fase 4:** Generalmente, después de la liberación de los esfuerzos, el terreno pierde elevación. Entre la primera y cuarta fase es común, que ocurran agrietamientos en el terreno.

Como complemento a la salida de lodo, fincas localizadas en el área de influencia del edificio volcánico, evidenciaron agrietamientos y abultamientos en el terreno y un salón de la escuela rural localizada a 100 metros del cráter principal presentó grietas en una de sus paredes. En la dinámica del proceso eruptivo se informó también de la filtración del agua en una laguna ([Gómez, J.F., 2007](#)).

El 15 de marzo de 2007 personal técnico de CORPOURABA en atención a la solicitud realizada por el líder comunitario Azael Luna identificado con cédula N° 8.186.616 visitó el área del volcán con el objetivo de efectuar una reunión con la comunidad, verificar la situación de riesgo y realizar un recorrido de campo por las áreas afectadas ([Cano y Vivas, N., A. 2007](#)).

En el desarrollo de la reunión se conoció que la comunidad habita la vereda desde hace aproximadamente 30 años tiempo en el cual, el volcán siempre ha registrado actividad periódica, en cuyos eventos hay expulsión de lodo y material rocoso acompañado de agrietamientos en el terreno y deformaciones topográficas (Figura 39A).

La comunidad manifestó, en relación al evento del 12 de diciembre de 2006, que este comenzó con [...] "*temblores de tierra y a continuación se escuchó ruidos por debajo del suelo, luego observamos levantamiento del suelo, formación de grietas*

y finalmente, salió lodo que cubrió un área de media hectárea (5.000 m²)" [...] (Luna y Mercado, 2007).



Figura 39. Grietas derivadas del evento del 12/12/2006 y captadas el 15/03/2007. **A**). Grieta1, se localiza en la base del domo volcánico y se extiende aproximadamente 800 m en sentido SE ($8^{\circ}30'1,7''N$ $76^{\circ}36'40,8''W$). **B**). Grieta2, se localiza a 50 m de la vivienda de Temistocle Mercado ($8^{\circ}30'5,1''N$ $76^{\circ}36'29,3''W$). Ocasionó la ruptura del fuste de un árbol de roble de 35 cm de diámetro. **C**). Grieta3, con evidente plano de falla y dirección SE hacia la quebrada Cenizosa. Se origina en el domo volcánico ($8^{\circ}30'1,1''N$ $76^{\circ}36'36,5''W$) y se extiende 746 m. **D**). Grieta4, se origina a 1 m del cráter principal, se extiende 250 m en sentido NE alterando las cercas de alambre. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

El relato coincide con lo verificado en campo y sirve para reafirmar que el principal efecto del volcán se relaciona con las grietas que se extienden principalmente hacia el flanco SE de la colina cómica. En cálculos realizados con GPS se encontró longitudes de 800 m medidos desde la periferia del cráter hasta el valle de las quebradas Cenizosa y El Encanto; el ancho de las grietas varía entre 15 a 35 centímetros y tienen una profundidad aproximada comprendida entre 1,5 a 2 m. (Cano y Vivas, N., A. 2007).

Las grietas afectan varias hectáreas de terreno y se extienden hasta la Escuela Rural que está localizada a 100 metros del cráter principal del volcán. Ellas, se

observan también en 8 viviendas en madera, la casa comunal y la cancha de fútbol donde, además existe un orificio ($8^{\circ}30'1,24''N$ $76^{\circ}36'42,3''W$) de 12 centímetros de diámetro por donde salen gases y lodo saturado de color gris. En el predio del señor Temistocle Mercado, el efecto cortante de las grietas ocasionó la rajadura de árboles en pie (Figura 39B) y la desecación de un jagüey dedicado al cultivo de cachama (Cano y Vivas, N., A. 2007).

- El 26 de noviembre de 2010 el señor Temistocle Mercado presidente de la Junta de Acción Comunal de la vereda Vena de Palma (Palmares Cenizosa) informó telefónicamente ocurrencia de un evento eruptivo en el volcán de lodo Palmares Cenizosa.

El evento según la comunidad inició con [...] "*sonidos desde el fondo de la tierra que empezaron a sentirse desde el día 25 de noviembre en horas de la tarde; los sonidos eran secos como si algo se cayera allá adentro. Ya cuando nos levantamos, nos dimos cuenta que el volcán se había elevado, era muy alto, como las palmas que lo rodean. Este terreno es plano y era tan alto que no se veía nada al otro lado. Aquí hay grietas antiguas y con este nuevo suceso vemos que volvieron a abrirse y en los potreros se formaron otras nuevas. El hueco principal no botó lodo, sino que emite sonidos y hay otros ojos del volcán que empezaron a botar lodo*" [...] (Vivas, N., A. 2010)



Figura 40. Vista frontal, sentido NE, del estado del volcán el 26 de noviembre de 2010. Según la comunidad, desde el sitio ($8^{\circ}30'1,3''N$ $76^{\circ}36'42,8''W$) donde se tomó la foto no era posible ver los árboles del fondo debido al levantamiento vertical del suelo. Foto: Alberto Vivas Narvárez.

Personal técnico de CORPOURABA visitó el área del volcán, el mismo día de la ocurrencia del evento; es decir, el 26 de noviembre de 2010 en horas de la tarde (4:30 pm) y verificó que, en la periferia del cráter principal, el levantamiento

del suelo alcanzaba 3,5 m (Figura 40) contra los 5 m que la comunidad mencionó que alcanzó a las 6 am. Esta circunstancia demuestra que los sustratos de suelo se elevan y descienden cuando se libera la presión, esta condición es particular y no ha sido observada en otros volcanes (Vivas, N., A. 2010)

El volcán, además del levantamiento de suelo evidencia un área reciente de grietas, derivadas de unas principales ya descritas (Cano y Vivas, N., A. 2007), que se distribuyen sobre predios cercanos al edificio volcánico. Las grietas en conjunto forman planos escalonados que dificultan caminar por el área.



Figura 41. Rasgos característicos del evento del 26 de noviembre de 2010. **A)** Grietas en el camino ($8^{\circ}30'7,3''N$ $76^{\circ}36'28,9''W$) que conduce hacia el volcán Palmares Cenizosa. **B)** Levantamiento del suelo en el área cercana al cráter principal ($8^{\circ}30'2,3''N$ $76^{\circ}36'43,1''W$). Fotos: Alberto Vivas Narváez.

Las dimensiones de las grietas recientes son variadas alcanza profundidades de 0,7 m y aperturas máximas de 0,12 m. El suelo expuesto por la grieta es de aspecto liso, seco, de color gris claro a gris oscuro, con fuerte olor a materia en descomposición y de estructura limo arcillosa. En los primeros centímetros hay una franja delgada de materia orgánica con abundantes raíces (Figura 41A).

El suelo expuesto en el área cercana del cráter principal también es de aspecto liso, muy húmedo debido a que en superficie existe un humedal que en la Figura 41B se evidencia por la vegetación constituida por matatigre (*Acrostichum aureum*). La pared muestra una franja delgada de material muy fino que contiene trazas de hidrocarburo y olor característico a este. En conjunto es una estructura débil que impide, por ejemplo, ser escalda. Con el paso del tiempo esta estructura cede, y el lodo se seca (Vivas, N., A. 2010).

- El 2 de marzo de 2016 el señor Felipe Pérez identificado con cédula N° 70.520.028, en calidad de miembro de la Junta de Acción Comunal de la vereda

Palmares Cenizosa informó la ocurrencia de evento eruptivo en el volcán de lodo de la vereda Palmares Cenisoza.

El señor Pérez informó lo siguiente: [...] "*el volcán de gas empezó con sonidos fuertes desde el día 1 de marzo como a eso de las 10 de la noche y el día 2 de marzo como a las 9 de mañana el volcán empezó a hincharse al lado del respiradero principal; es decir, de las casas hacia el camino (sentido Occidente a Este) y luego siguió hacia abajo (Sentido Este). La montaña más alta la formó en la cabecera (8°30'2,9"N 76°36'42,7"W) y la parte más baja hacia el camino (8°30'2,7"N 76°36'41,2"W). Usted ha visto que hay grietas en todo el potrero y ahora se las ve más frescas. La comunidad sigue viviendo al lado del volcán ya que el predio para la reubicación que compró el señor Edison Yáñez Tirado, alcalde de Necoclí en 2007 no fue el mejor. En ese sitio se construyó la escuela, pero nosotros los viejos no fuimos para allá porque ese lugar no es productivo y nosotros somos agricultores y los cultivos los tenemos al lado del volcán*" [...].

Las características de la erupción en el evento de este día no difieren de las que ya hemos enunciado en este documento. No se presentó afectaciones en las viviendas y aunque existe un sitio seleccionado para la reubicación los habitantes se rehúsan a abandonar este sector por las razones atrás citadas.

- El 23 de enero de 2019 la señora María Encarnación Ayazo Fernández identificada con cédula N° 34.985.871 en calidad de presidenta la JAC de la vereda Palmares Cenizosa informó la ocurrencia de un evento eruptivo, que CORPOURABA verificó el 26 de ese mismo mes (Figura 42).

En ese mes en Necoclí, la ausencia de lluvias es notoria y los pastos de color amarillo oscuro lo evidencian así. En el área cercana al volcán la situación no es diferente y la condición climática resalta el paisaje inhóspito dominado por grietas, rocas, clastos y arcilla de color gris que se mezcla con lodo fresco que brota por dos pequeños cráteres. La comunidad reunida manifestó preocupación por un fenómeno que es repetitivo que genera incertidumbre porque no se sabe cuándo sea catastrófico.

La señora Ayazo narró de la siguiente manera la experiencia vivida en el área del volcán [...] "*el evento empezó alrededor de las 4 am con un fuerte olor a «gas» que me movió a revisar la pipeta en la cocina, luego sentí un movimiento en la casa como si estuviera transportando la casa hacia el camino principal (sentido NE). Yo acostada en la cama sentía que en la profundidad del suelo había algo que se movía, se rompían las raíces de los árboles, las cercas de alambre se reventaron, todo allá abajo se reventó hasta que por ahí a las 5:30 am estalló el volcán. Los hombres salieron y regresaron contando que el volcán estaba muy «hinchado». Ya cuando amaneció vimos que había lodo, no mucho. Apareció un nuevo hueco por donde salía lodo líquido, no espeso. Como esta es una época de mucho calor ese lodo se está secando fácil. Las grietas se volvieron*

abrir y creo, como usted nos ha explicado, que aparecieron otras"[...] (Ayazo, M.E., 2019).

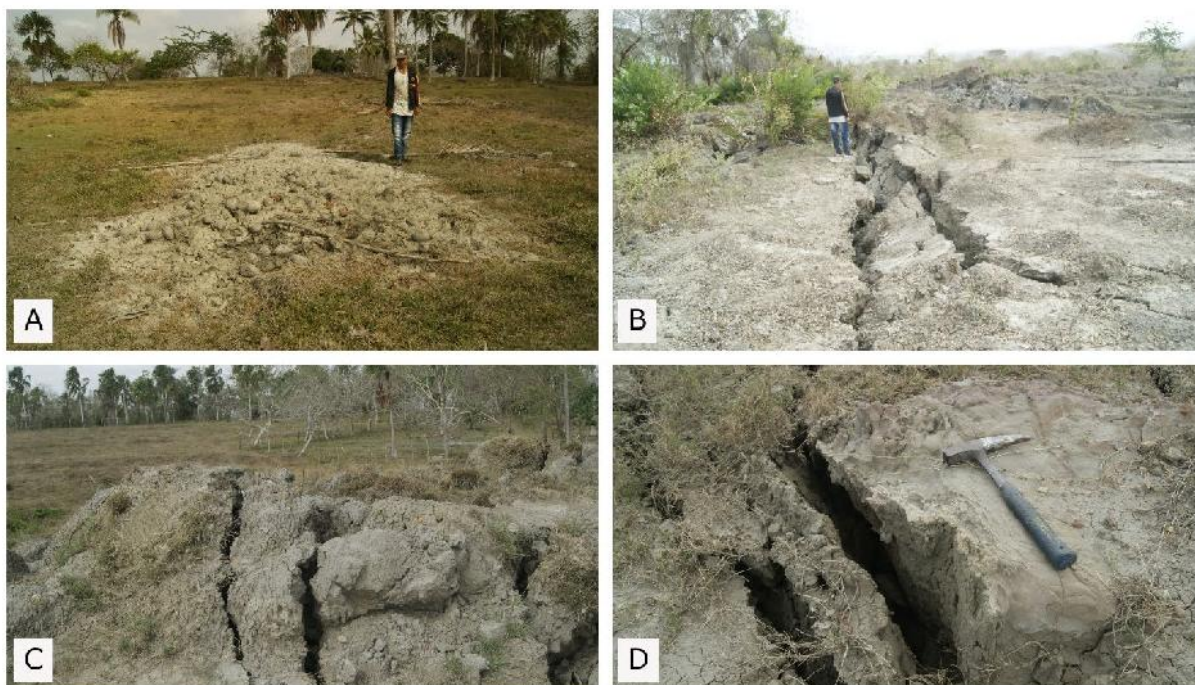


Figura 42. Secuencia gráfica del volcán de lodo Palmars Cenizosa durante el evento del explosivo del 23/01/2019. **A)** Nuevo cráter secundario ubicado en las coordenadas $8^{\circ}30'2,7''\text{N}$ - $76^{\circ}36'55,1''\text{W}$. **B)** Grietas en el perímetro del volcán. **C)** Grietas en la cúspide del domo volcánico; nótese la presencia de hierbas señal inequívoca de la poca actividad. **D)** Tamaño de las rocas que expulsa en los periodos de actividad. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

5.2.6.3 Evaluación de la amenaza

El área aledaña al cráter principal fue delimitada con base en trabajos anteriores (Gómez, J.F. 2007; Parra, L.E. 2004) en tres niveles de amenaza: alta, media y baja. A este insumo se adicionó, con base en recorridos de campo (Cano y Vivas, N., A. 2007) una mayor precisión en información geográfica relacionada con la longitud de las grietas, presencia de cráteres secundarios que se activan en eventos recientes y ubicación geográfica de las viviendas a reubicar.

El área de **amenaza alta** comprende 87,6 hectáreas y al interior de ella se localiza la porción de suelo que en cada evento se hincha y se reduce junto a los cráteres secundarios, grietas, escuela, viviendas, camino y cancha de fútbol que son impactados, como se describió atrás, cuando ocurre un evento explosivo. El área de **amenaza media** es un anillo de 279,4 hectáreas que rodea el área de amenaza alta. En esta se encuentran las fuentes hídricas que nacen en el área del volcán y

vierten aguas al río Mulaticos. Finalmente el área de **amenaza baja** cubre 53,8 hectáreas y se distribuye por la quebrada La Cenizosa en donde se evidencia grietas y movimientos del terreno (Gómez, J.F. 2007).

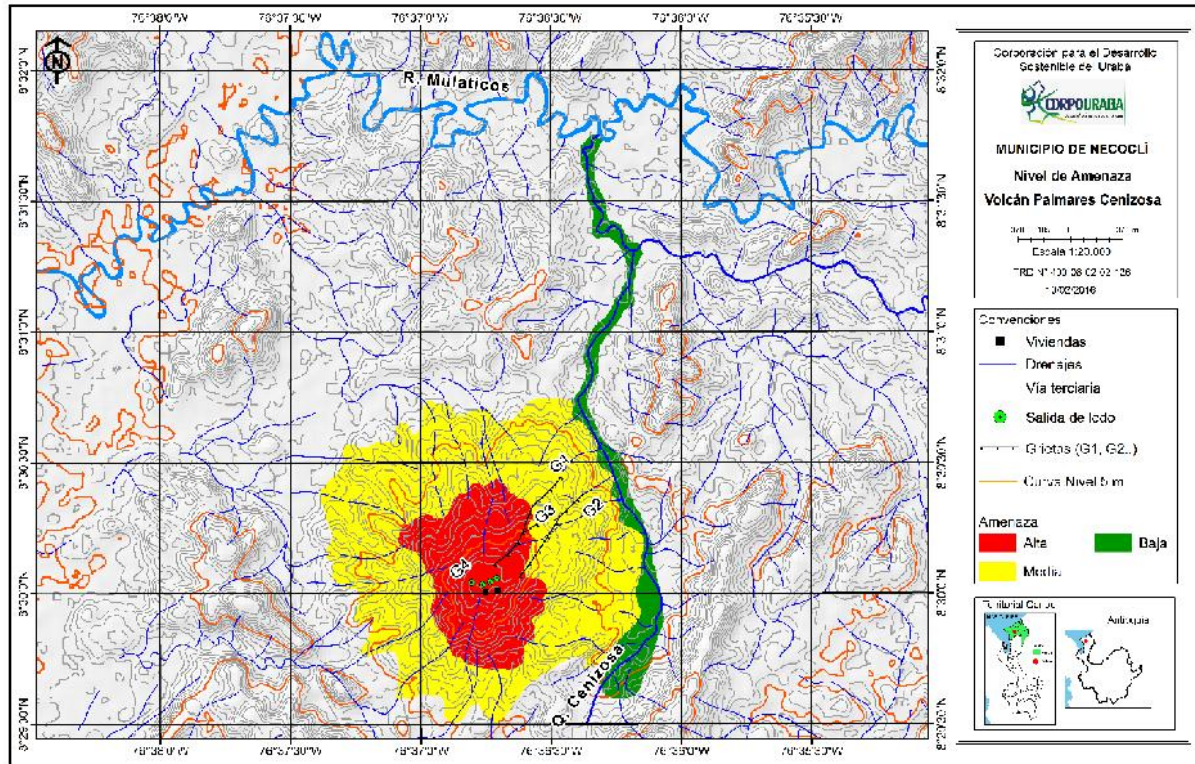


Figura 43. Niveles de amenaza alta, media y baja por erupción del volcán de lodo Palmares Cenizosa. Fuente: Ajustado y modificado de Gómez, J.F.2007.

5.2.7 Volcán Cacahual

Se localiza en la vereda Cacahual Arriba, corregimiento San Vicente del Congo en el municipio de Turbo. Para acceder al área del volcán existen dos caminos: el primero de 4,1 kilómetros de longitud, parte en dirección SE desde el área urbana del corregimiento San Vicente del Congo hasta la intersección de la quebrada El Congo; el segundo, de 15 kilómetros parte en sentido SW desde la cabecera urbana del municipio de San Pedro de Urabá, pasa por el puente sobre la quebrada El Congo y avanza hasta el edificio volcánico que se encuentra en la margen izquierda del camino, 200 m antes de llegar a la Escuela Rural Cacahual, donde se encuentra el caserío del mismo nombre. El edificio volcánico, con base en cartografía geológica cubre un área de 1.359 hectáreas (Figura 44).

5.2.7.1 Morfología

El volcán Cacahual se localiza en las coordenadas geográficas $8^{\circ}10'55,5''N-76^{\circ}25'20,6''W$ que se asocian a la macrounidad piedemonte de la Serranía de Abibe que en este sitio presenta un paisaje de colinas bajas redondeadas compuestas en su parte superior por materiales de textura media a fina y en su parte inferior por una mezcla de gravillas las cuales generalmente, descansan sobre unidades terciarias. Los materiales que la forman son generalmente rocas meteorizadas o materiales que anteriormente fueron transportados (POT, Turbo, 2000).

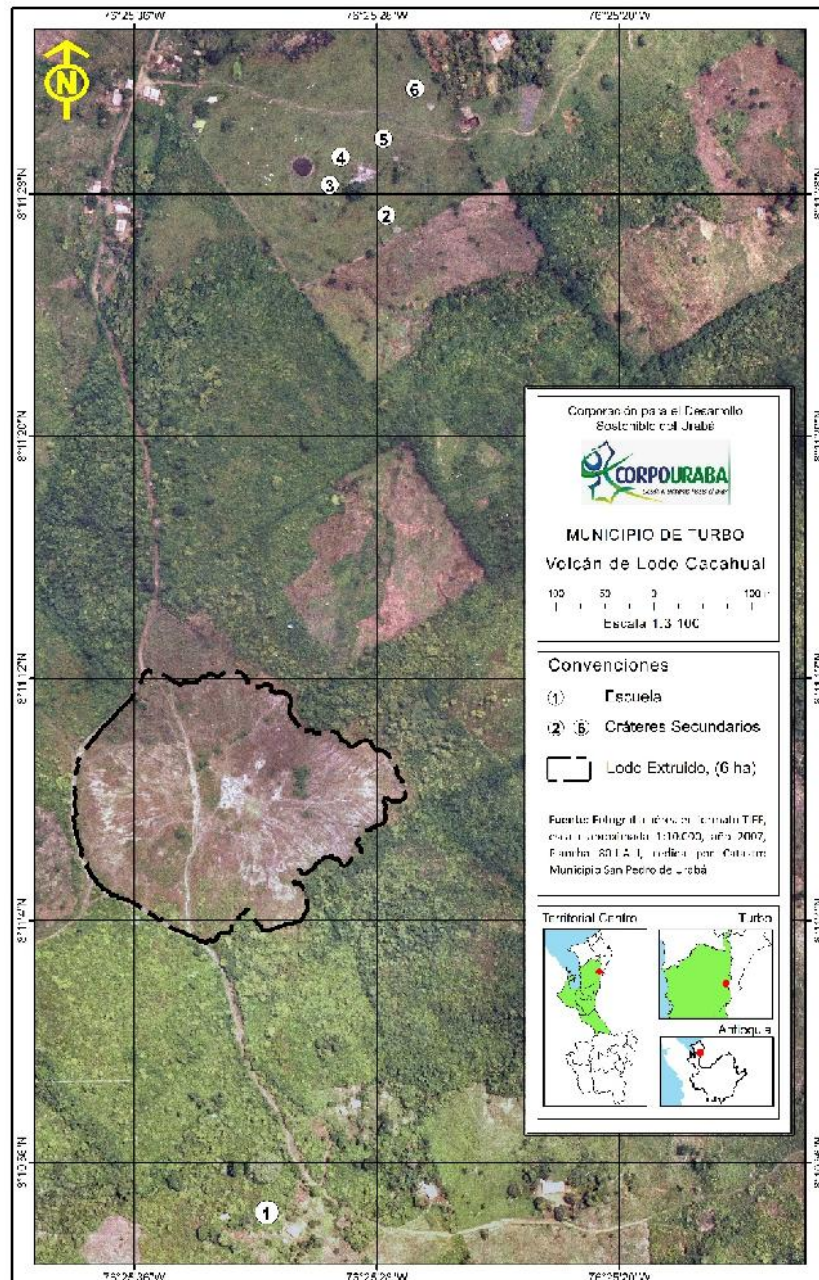


Figura 44. Ubicación geográfica del volcán de lodo Cacahual.

El volcán Cacahual corresponde a una estructura geológica en forma de domo en el cual hay presencia (Ingeominas, 1999b, Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015) en sentido SN de la Falla del Caimán (inversa o de cabalgamiento) y en sentido SW de la Falla del Congo (Falla de rumbo dextral). Este domo se caracteriza, además por poseer laderas de pendiente suave y varios cráteres en forma de cono (Figura 45A). En el área donde se encuentra el volcán de lodo la unidad cronoestratigráfica (Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015) es n1n2-St que se caracteriza por presentar arenitas líticas a sublíticas de grano medio interestratificadas con lodolitas; localmente turbas, carbón y lentes de conglomerados arenosos. A esta unidad se integra la Formación Floresanto, Unidad Pavo Inferior. La Formación Floresanto está compuesta (Geotec, 2003), por una secuencia homogénea de lutitas, dispuesta en capas delgadas a gruesas con colores pardos amarillentos y rojizos resultado de la meteorización. Ella, evidencia capas de limolitas calcáreas y litoarenitas de grano fino friables, granos angulares a redondeados, bien seleccionados compuestos por cuarzo, fragmentos líticos volcánicos, chert negro y cristales de plagioclasa. La edad de formación va desde el Mioceno medio al superior.



Figura 45. Detalle general del volcán de lodo Cacahual el 8 de julio de 2011. **A)** Cráter principal con varios conos puntiformes de diferente altura. **B)** Salida de lodo por uno de los flancos del cono. **C)** Cráter de salida de lodo. **D)** Salida de lodo a nivel del suelo. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

El volcán Cacahual expelle material fluido (lodo, agua, detritus) de alta viscosidad eyectado por los flancos. Esta condición contribuye a formar un edificio volcánico en el que hay presencia de varios conos de altura variable ($\approx 3,5$ m) y base amplia circular que terminan en un ápice plano por donde sale el material fluido (Figura 45B). Seis de los ocho conos observados arrojaban lodo y dos de ellos se encontraron taponados. También, existen salidas de lodo a nivel del suelo donde el lodo se esparce según la pendiente del suelo (Figura 45C) (Vivas, N., A. 2011).

El volcán Cacahual tiene cuatro cráteres secundarios (Figura 46) que se localizan dentro del edificio volcánico, pero distan entre 600-750 m del cráter principal por esta circunstancia, otros autores (Parra, L. E. 1994) se refieren al Cacahual como un "complejo volcánico de lodo" donde existen otros centros de emisión activos.

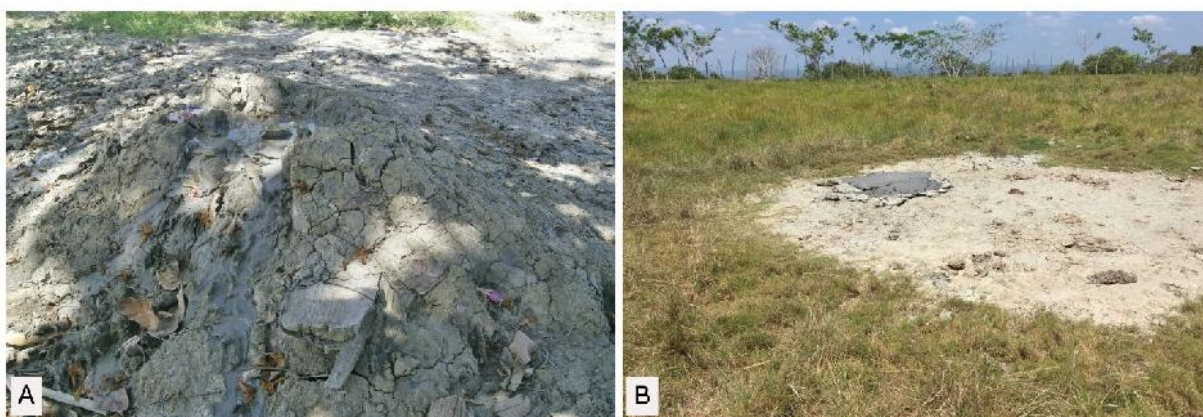


Figura 46. Cráteres secundarios asociados al volcán Cacahual. **A)** Se localiza a 610 m del cráter principal en las coordenadas $8^{\circ}10'56''N$ $76^{\circ}25'21,0''W$ sobre un plano inclinado. **B)** Se localiza a 730 m del cráter principal en las coordenadas $8^{\circ}11'17''N$ $76^{\circ}25'17,0''W$ sobre un terreno plano donde el uso del suelo es la ganadería. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

5.2.7.2 Cronología de eventos

El 18 de octubre de 1992 a las 11 horas, 11 minutos el territorio Colombiano fue sacudido por un terremoto de 7,1 grados de intensidad en la escala de Richter (SGC, 2011) con epicentro en Opogadó, al Este del municipio de Murindó (Mosquera-Machado, S, Lalinde-Pulido, C. 2016., et al) y a las 11 h, 13 m el volcán de lodo Cacahual hizo erupción. En desarrollo de este evento, la liberación de presiones provocó explosiones, incendios y una llama de gran altura que estuvo acompañada de la emisión de agua, hidrocarburos, lodo y fragmentos de roca que cubrieron un área de 3 km² alrededor del cráter principal (El Tiempo, 1992).

Ese día [...] "nadie se imaginaba que el volcán podía explotar de esa manera, en otras ocasiones nosotros habíamos sentido olores a petróleo, agitación del suelo, ruidos profundos pero esa mañana todo fue tranquilo; habíamos preparado una

celebración y el sitio de concentración era precisamente donde hoy está el volcán; es decir, si la explosión ocurre con toda esa gente ahí celebrando la situación hubiera sido más espantosa. Ocurrió el temblor y al rato explotó el volcán, muchas personas resultaron afectadas; luego, la alcaldía de San Pedro reubicó a la gente; pero, volvimos nuevamente a este sitio, al lado de la escuela. El volcán se hace sentir; por ejemplo, en 2008 el volcán formó otros conos y presentó ruidos fuertes" [...] (Pérez, M.E., 2011).

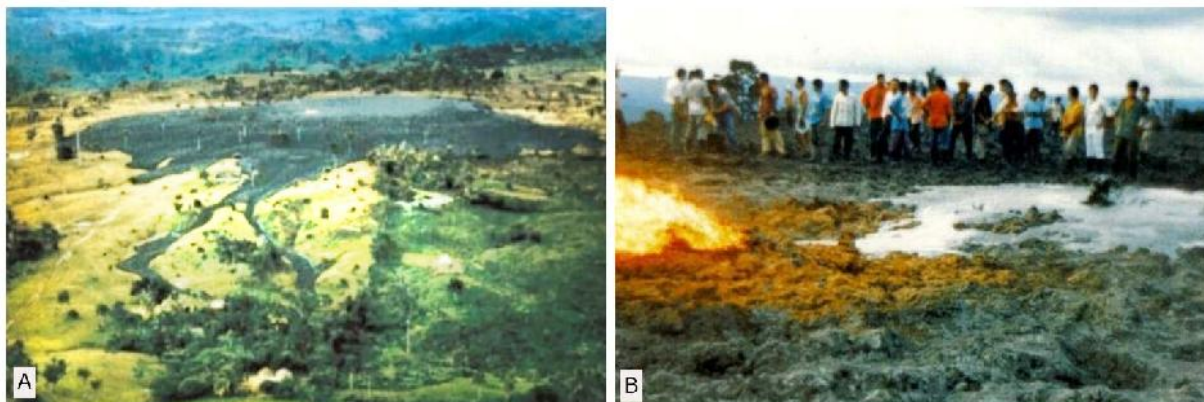


Figura 47. Detalle de erupción del volcán de lodo Cacahual captada el 19 de octubre de 1992. **A)** Fotografía oblicua que muestra el área impactada por el lodo eyectado el 18 de octubre de 1992. **B)** un día después de la erupción un grupo de personas observa las llamas y la emanación de lodo fresco en el cráter principal del volcán. Fotos: Ingeniero Eduardo Parra.

Durante la erupción el volcán arrojó aproximadamente 50.000 m³ de fluidos y roca que sepultaron viviendas e incineraron cobertura vegetal, cultivos y animales. La llama derivada de la explosión quemó 4 viviendas y fue tan intensa, que un día después todavía era avivada por los contenidos de gas que expelía el volcán junto a los contenidos de lodo fresco tal como puede verse en la Figura 47 (SGC, 2011).

En el momento de la erupción el sector alrededor del volcán estaba habitado por 359 personas en 58 casas campesinas, que fueron las que resultaron afectadas por la explosión. Al final, 7 personas fallecieron y 77 resultaron heridos (El Tiempo, 1992, Ingeominas et.al., 1992).

Tabla 7. Nombre las personas afectadas por la explosión del volcán de lodo Cacahual

Id	Nombre	Edad (Años)	Id	Nombre	Edad (Años)
1	Jesús Padilla	4	18	Luis Fuentes	4
2	Diley Aparicio	3	19	Elcy Estrada,	4
3	Leobardo Fuentes	0,9	20	Albeiro Enrique Fuentes	15
4	Lina María Fuentes	3	21	Denys Fuentes,	11
5	Duber Arboleda,	11	22	Yudy Fuentes,	10
6	Ever Argumedo,	16	23	Samy Pérez	4

Id	Nombre	Edad (Años)	Id	Nombre	Edad (Años)
7	Arnuby de Jesús Fuentes	14	24	Cristian Pérez,	7
8	Darley Fuentes	8	25	Diney Afarino	3
9	Bibiana Bustamante Fuentes	4	26	Lubis Estrada,	0,4
10	José Bustamante	6	27	María Cabrales,	34
11	Rafael Segundo Padilla	18	28	Emerita Alarcón,	28
12	Elba Fuentes	38	29	Jesús Borja	21
13	Tista Alarcón	54	30	Luis Fuentes Argumedo	58
14	Álvaro Regino Pérez,	28	31	Elvia Luz Hoyos	18
15	Luz marina Regino	21	32	Rafael Padilla,	34
16	Elcy Estrada,	17	33	Fara laza	20
17	Derlides Laza	18			

5.2.7.3 Evaluación de la amenaza

Con base en recorridos de campo y análisis de información cartográfica a escala de detalle (fotografía aérea a escala $\approx 1:10.000$ y DTM 5 x 5 m de pixel) se delimitó, en el área aledaña a los cráteres principales del volcán de lodo Cacahual, tres áreas de amenaza (Figura 48).

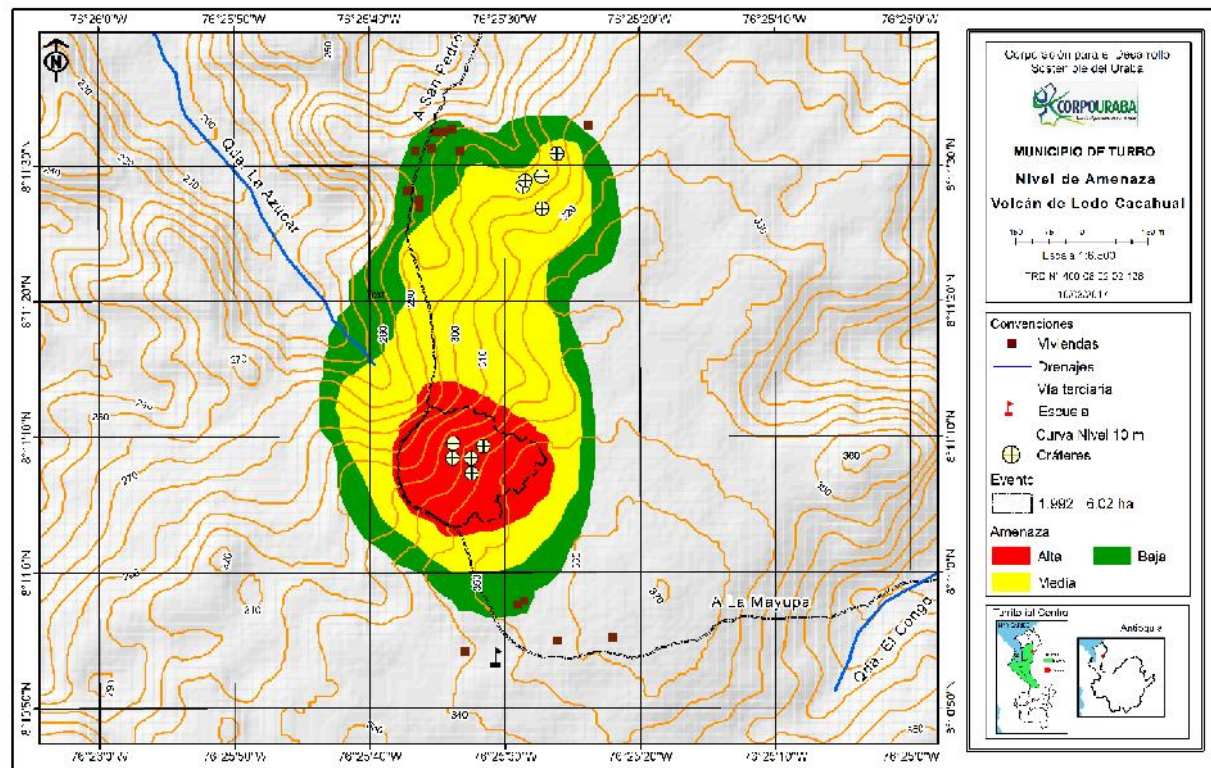


Figura 48. Niveles de amenaza definidos para el volcán de lodo Cacahual con base en recorridos de campo.

El área de **amenaza alta** constituye una figura casi circular que delimitó (con dificultad) los rastros de lodo y rocas dejados por la erupción del volcán en 1.992; cubre un área de 9,4 hectáreas donde se localizan los cráteres principales y un tramo del camino que en el evento que se describe en este documento fue cubierto por lodo. El área de **amenaza media** cubre un área de 27,9 hectáreas, se extiende por un terreno de topografía quebrada en la que hay hondonadas por donde circulan drenajes permanentes e intermitentes que se asocian a la cuenca de la quebrada La Azúcar. En el evento que se describe en este documento una porción del lodo eyectado discurrió por estas hondonadas (Figura 47A). Esta área copa también los cráteres secundarios localizados a una distancia comprendida entre 600-750 m del cráter principal. El área de **amenaza baja** cubre un área de 18,8 hectáreas en la que se encuentra 12 viviendas con los cuales es prudente explicarles la naturaleza del fenómeno y sus consecuencias.

5.2.8 Volcán Damaquiel

El volcán de lodo Damaquiel se localiza en el corregimiento del mismo nombre que, administrativamente está en el municipio de San Juan de Urabá. La estructura volcánica se ubica en las coordenadas $8^{\circ}44'33,3''N - 76^{\circ}36'32,9''W$ a 160 metros aproximadamente de la línea de costa.



Figura 49. Ubicación geográfica del volcán de lodo Damaquiel, área urbana y río del mismo nombre.

5.2.8.1 Cronología de eventos

- 1 En 1992 durante la ocurrencia de los movimientos sísmicos que afectaron a Murindó el volcán de lodo Damaquiel hizo erupción el 19 de octubre y formó una isla que tuvo un área de 5.000 m² por 3 metros de altura ([El Tiempo, 1992](#)). La comunidad informó que junto al lodo se encontró fragmentos de rocas doradas (pirita).
- 2 El 12/01/2007 el volcán emergió y en ese tiempo, el señor Héctor Garcés habitante de ese poblado contó que [...] "*la gente caminó hasta la isla por un sendero de piedras que se formó en el mar y clavaron una bandera de Colombia como si estuvieran llegando a la Luna. Todos estaban felices porque desde hacía cinco años no emergía, pero desconcertados porque, según ellos, era más pequeña. Medía 90 metros de largo y unos 80 metros de ancho, pero no era alta como antes*" [...] y el señor Celestino Pájaro recordó que [...] "*cuando era un niño y la vi en 1972, tenía 3 o 4 metros de altura sobre el nivel del mar, como si fueran pisos. Los abuelos decían que la habían visto más alta y que cuando el único medio de transporte era la embarcación no dejaba ver esos barcos que venían de Cartagena*" [...] ([El Tiempo, 2007](#)).

En visita de campo realizada al área del volcán ([Gómez, J.F. 2007](#)) se comprobó que el área que emergía en el mar tenía forma alargada y estaba orientada en dirección este-oeste. Poseía 20 metros de largo por 10 metros de ancho en dirección norte-sur. No obstante, no toda esta área citada se encontraba emergida aunque si a una profundidad de menos de 20 centímetros. El sector emergido para el momento de la visita tenía una altura de 1,40 m y un área aproximada de 10 m².

5.3 VOLCANES TIPO II

Corresponde a aquellos volcanes de lodo que se caracterizan por una actividad tranquila, relativamente débil y continua. En ellos, el gas se purga continuamente en cantidades uniformes; los respiraderos arrojan cantidades pequeñas de barro y agua gaseosa, tienen formas bajas, abultados o bóvedas planas, que se funden con el entorno plano, o en forma de depresiones que a menudo se llenan de agua.

5.3.1 Volcán Arboletes

El volcán de Arboletes es el referente del volcanismo de lodo en el Urabá Antioqueño. Esta condición se sustenta en la cercanía al mar Caribe, el diámetro del cráter principal y los elementos de turismo a él asociados que lo convierten en un lugar de obligatoria visita para locales y visitantes.

El volcán de lodo se localiza en la vereda Barrancuda, cabecera municipal de Arboletes en las coordenadas 8°51'42,3"N - 76°25'6,9"W a una altura aproximada

de 15 msnm. El edificio volcánico (Figura 50) cubre un área aproximada de 2,4 hectáreas en las que se distribuyen las siguientes geoformas: cráter principal (**CP**) con un diámetro aproximado de 51,2 m, dos cráteres secundarios (**CS1**, **CS2**), al menos dos canales de flujo de lodo (**CF1**, **CF2**) que sirven para evacuar el lodo hacia el mar después que este discurre por la ladera (**L**) completamente inestable y cae formando un escarpe que en la actualidad es el sector más afectado por los procesos de erosión costera.

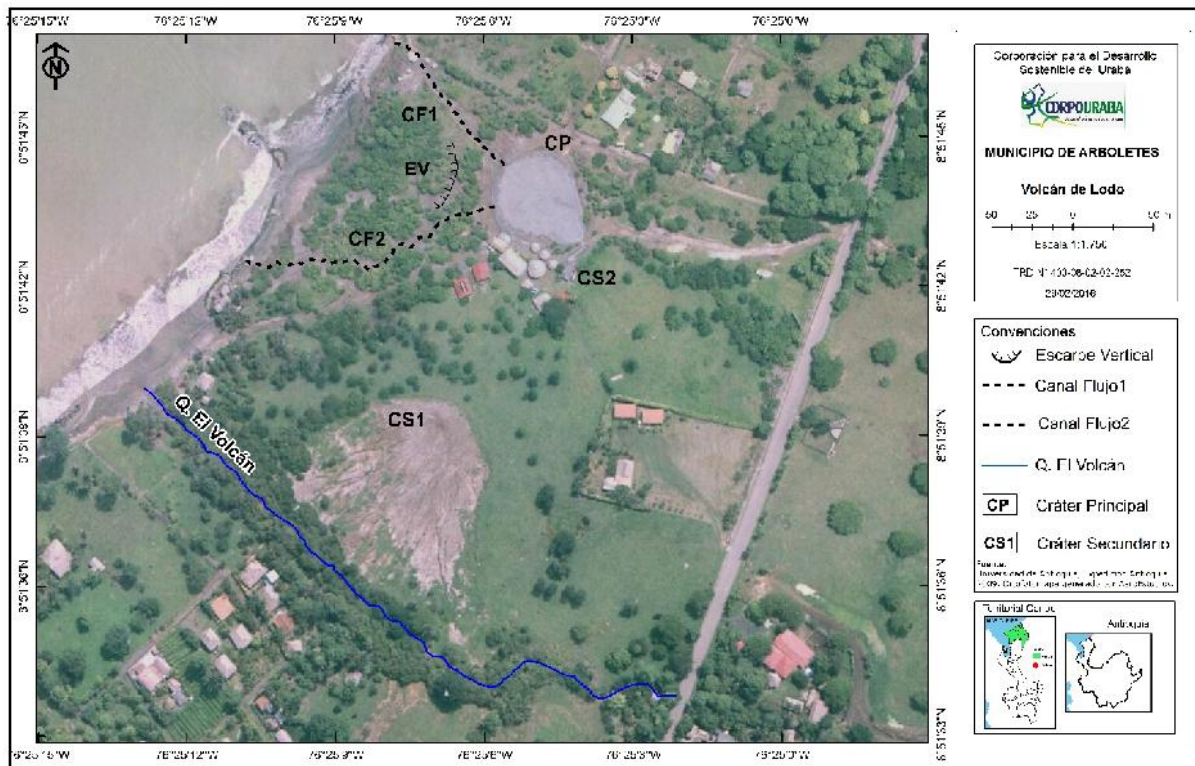


Figura 50. Volcán de lodo de Arboletes y algunas de sus geoformas: **CP**: Cráter principal. **CS1**: Cráter secundario1. **CS2**: Cráter secundario2. **CF1**: canal de flujo1. **CF2**: Canal de flujo2. **EV**: Escarpe vertical. Fuente: Ortofotomapa 2009, Universidad de Antioquia, escala 1:10.000.

El volcán de lodo limita al norte existen también 6 viviendas en mampostería estructural las cuales se utilizan como lugares de residencia permanente ó sitios de descanso en temporada de vacaciones. Al este limita con la vía que del área urbana de Arboletes conduce hacia Montería. La vía se encuentra a aproximadamente 160 metros del cráter principal. Al sur con un tramo de la quebrada El Volcán en cuya área de retiro crecen árboles de mangle zaragoza (*Conocarpus erecta*) y un cráter secundario y al occidente con la línea costera, la ladera, una masa de suelo totalmente inestable, cuyo movimiento derivó en un escarpe vertical (**EV**) de 4-5 metros de altura.

5.3.1.1 Morfología

Para describir los parámetros morfométricos se comparó el edificio volcánico con la geometría de un cono truncado; es decir el volcán de lodo de Arboletes tiene un cuerpo en forma de cúpula, donde la ladera sur es más empinada que la ladera norte. En el centro, hay una depresión o cráter principal (**CP**) (Figura 50) de 51,2 metros de diámetro que cubre un área aproximada de 0,25 ha. A 130 m del cráter principal, en dirección SW en las coordenadas $8^{\circ}51'39,2''N$ y $76^{\circ}57'7,0''W$ surgió en el periodo 2004-2005 un cráter secundario (**CS1**) (Figura 50A) de 0,30 m de diámetro que en el evento eruptivo arrojó lodo y clastos que se esparcieron en un área de 1,2 ha, el volumen de lodo arrojado en ese evento, si se calcula un espesor de 0,25 m, fue de $3.534,3 \text{ m}^3$. En 2006 cuando un equipo técnico de CORPOURABA visitó el **CS1** encontró el lodo escurrido completamente seco (Figura 50B).



Figura 51. Detalles del volcán de lodo de Arboletes. **A)** Fotografía aérea captada el 4/11/2005 donde se muestra el cráter principal y la mancha de lodo emanada del cráter secundario (**CS1**). Fuente: Municipio de Arboletes. **B)** Imagen captada el 18/07/2006 en las coordenadas $8^{\circ}51'38,6''N$ y $76^{\circ}25'7,4''W$ donde se muestra el domo del cráter secundario (**CS1**) y lodo escurrido completamente seco. Foto: Alberto Vivas Narváez.

En la historia morfológica del volcán de lodo se tiene que en octubre de 2008 a 12,1 m del cráter principal en dirección SE, al lado de una vivienda, surgió un cráter secundario (**CS2**) (Figura 52) de aproximadamente 5,1 m de radio y un canal de flujo de 12 m que conecta con el cráter principal que cumple el objetivo de entregar el lodo.

El proceso en el cráter secundario (**CS2**), inició con un orificio pequeño en uno de los vértices de la vivienda (Figura 52A) por el cual, se escuchaba silbidos agudos y salía, de manera intermitente, burbujas de lodo que al explotar salpicaban la pared de la vivienda. Con el paso del tiempo se observó aumento en la actividad que se materializó en la extrusión continua de lodo e incremento de las burbujas de gas.

El lodo extruido que es una mezcla acuosa de arcilla se esparció sin control alrededor de la vivienda y seguramente, para evitar que cayera por el flanco este, en dirección hacia la vía que conduce a Montería, algunas personas, basado en observaciones de campo, realizaron intervenciones antrópicas orientadas a construir un canal rectilíneo (Figura 52A) que sirviera para conducir el lodo extruido hacia el cráter principal. De esta manera la intervención limitó el área para que el turista se concentrara en un solo sitio.



Figura 52. Detalle del cráter secundario (**CS2**) en imágenes captadas el 1/12/2012. **A)** Canal de flujo que conduce el lodo hacia el cráter principal, la imagen fue captada en sentido SE en las coordenadas 8°51'42,7"N y 76°25'4,3"W. **B)** Burbujas de gas en sentido SW en las coordenadas 8°51'42,5"N y 76°25'4,4"W. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

Del cráter principal (Figura 50) se desprenden dos canales de flujo: el primer canal (**CF1**) en sentido NW tiene 107,6 m de longitud y ancho de 1,1 m cumple la función de entregar el lodo en la playa; el segundo canal (**CF2**) en sentido SW tiene 184,5 m de longitud y ancho de 1,1 m cumple la función evacuar el lodo hacia el mar después que este discurre por la ladera completamente inestable y cae por el escarpe vertical (**EV**) que en la actualidad es el sector más afectado por los procesos de erosión costera en la playa.

La historia morfológica del volcán muestra que el diámetro del cráter principal (**CP**) no siempre ha sido el mismo que exhibe en la actualidad, por ejemplo [...] "en 1961 cuando yo tuve oportunidad de conocerlo era un hueco pequeño y como había ganadería un toro se enterró en ese hueco, tocó ir a halarlo, la gente empezó a meterse en él y el hueco se volvió grande. La vegetación era mangle y helechos de esos que crecen en zonas húmedas y el mar estaba lejos"(s.n. 2013)⁸[...].

Sin embargo, si contrastamos esa fecha con una fotografía captada en 1974 (Figura 53) vemos que el diámetro cambió, bien sea por la intervención antrópica o los

⁸ 2013. Habitante de arboletes sin identificar.

procesos de ascenso o descenso de lodo. Se desprenden del cráter principal 2 fisuras radiales, por una de las cuales circula lodo (Figura 53). Las grietas están separadas aproximadamente 3 m entre sí, se orientan en sentido NW y son derivadas de movimientos verticales que contribuyen a configurar el domo volcánico. El paisaje estéril alrededor del volcán se ve interrumpido, en el sector norte, por la presencia de vegetación arbórea que corresponde al mangle zaragoza. Al interior del cráter se observa lodo de color oscuro con trazas de hidrocarburo.



Figura 53. Detalle parcial del flanco norte del volcán de lodo captada en 1974. En sentido NW se observa un paisaje estéril con grietas radiales una de las cuales se utiliza, por los turistas, como tobogán. Fuente: Gabriel Carvajal Pérez-Biblioteca Pública Piloto, código BPP-F-003-0546.

5.3.1.2 Proceso erosivo

La erosión costera es un proceso natural que se caracteriza por la permanente pérdida de arena del sistema playa (Van Rijn, 2011) y depende del tipo de costa (exposición, oleaje, composición de sedimentos, pendiente de la playa) y de la incidencia de proceso regionales tales como ascenso del nivel del mar, intensidad de las tormentas (mar de leva) e intervenciones antrópicas.

La erosión costera afecta la mayor parte de los municipios costeros en Antioquia; pero, donde mayor importancia reviste es en Arboletes y de manera concreta en el área del volcán de lodo donde el flanco oeste localizado entre las abscisas K1200+23 a K1380+3, en un tramo de longitud aproximada de 160 m sufre la embestida de las olas sobre el escarpe de la terraza marina que ocasiona destrucción de los estratos débiles y por ende colapso de los estratos superiores.

En ese tramo se observa desestabilización de la ladera, agrietamiento con fracturas escalonadas y orientadas en sentido de las curvas de nivel y grietas centimétricas en dirección de la pendiente.

En la parte alta del talud, el proceso de erosión costera, se ve beneficiado cuando el lodo del volcán y el agua de escorrentía penetran por grietas de 40-50 cm de longitud las cuales facilitan el movimiento de los bloques individuales y volúmenes de materiales definidos por ellas. Como resultado de este proceso se tiene la formación de un escarpe vertical (**EV**) que bordea el flanco oeste del volcán y que ha venido variando en el tiempo tal como se analiza a continuación.

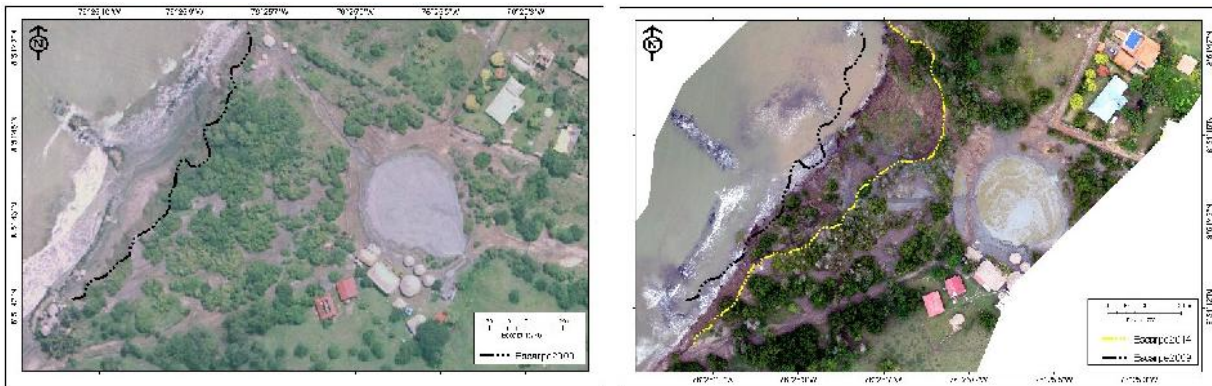


Figura 54. Impacto de la erosión costera en el volcán de lodo. **A)** En 2009, deterioro de la base de la colina y formación de un escarpe. Se evidencia dos canales de flujo de lodo. Fuente: Ortofotomapa 2009, Universidad de Antioquia, escala 1:10.000. **B)** En 2014 se contrasta la línea límite del escarpe en 2009 con la línea límite en 2014; hay desaparición de la cobertura de mangle y flujo de lodo es caótico. Fuente: CORPOURABA, 2014, Ortofotomapa, escala 1:5.000.

En 2009 (Figura 54A) el borde del volcán de lodo se encontraba a 90 metros del escarpe vertical (**EV**), la cobertura vegetal formada en su mayor parte por mangle (0,654 ha) armonizaba el paisaje con las cabañas que imprimían una forma de desarrollo turístico y con el paso del tiempo se llegó a adecuar uno de los canales de flujo (**CF1**). En 2014 (Figura 54B) el embate de las olas había deteriorado notablemente la base de la colina y el escarpe (**EV**) es cada vez más evidente, la cobertura de manglar (0,3320 ha) que con su sistema radicular mitiga el proceso erosivo mostró una disminución del 50% y el borde del volcán llegó a estar a 12 metros.

5.3.1.3 Turismo volcánico

La ubicación geográfica del volcán de lodo de Arboletes permite que el turista camine por la playa, entre al cráter principal, se unte de lodo y luego se bañe en el mar. Otras actividades, dependiendo del tipo de turista, se orientan a conocer los cráteres extintos (oídos), visitar otros volcanes y analizar fragmentos de roca. En términos generales, todas estas actividades se enmarcan en el concepto de turismo

volcánico (Erfurt-Cooper, P. 2011) que también envuelve la exploración y estudio de los procesos y geoformas asociadas a los volcanes.

Para el turista, la visita al volcán de lodo en Arboletes esta precedida de motivaciones individuales, las cuales, varían desde recreación, aventura-turismo hasta estudios o investigaciones; es decir, habrá tantas motivaciones como turista haya; pero, conociendo el tipo de turista ellas pueden agruparse tal como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 8. Motivaciones para visitar el volcán de lodo en Arboletes

Recreación, aventura, turismo	Estudio, investigación
Turismo	Interés científico
Fotografía	Recorridos de campo
Curiosidad (medicinal)	Colección de datos
Videos	Colección de muestras de lodo
Fiestas (Volcatlón)	Erosión costera

Adaptado de (Erfurt-Cooper, P. 2011).

Algunas motivaciones del turista se fundamentan en la creencia popular que los minerales que contiene el lodo mitigan el desarrollo de enfermedades principalmente las que se asocian con la piel y reumatismo. Por eso se sumergen en el lodo y luego almacenan muestras de lodo que permita más adelante y en casa, repetir los baños reparadores. El lodo se almacena y comercializa en botellas de plástico.



Figura 55. Carteles promocionales del festival de la expresión cultural del Mar y del Volcán en Arboletes. **A)** La morfología del volcán es representado por una pirámide de base troncada donde el vértice representa el cráter principal. **B)** La morfología del volcán se representa por un cono troncado donde el vértice corresponde al cráter principal y en el flanco derecho aparece un domo secundario. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

El turista asiste anualmente en el mes de junio a Arboletes para celebrar el "festival de la expresión cultural del Mar y del Volcán" en el cual hay una prueba deportiva

llamada el «*volcatlón*» que consiste en nadar 500 metros en el mar, trotar aproximadamente 1 km hasta el volcán de lodo, cruzar los 60 metros que tiene el volcán, recorrer 6 km en bicicleta y terminar trotando 1 km hasta el parque principal.

El volcatlón y el festival demuestran el sentido de apropiación y la categoría que el volcán de lodo tiene en la tradición, las costumbres y la identidad cultural al grado que, se asigna como símbolo dentro del escudo municipal imprimiéndole de esa manera una representación patriótica y patrimonio histórico, regional y cultural de Arboletes (Figura 55). Además de esto, el volcán es una fuente clave en la generación de ingresos por geoturismo y por su diámetro es la geoforma más representativa del volcanismo de lodo en el Urabá.

La identidad cultural delimita modos de comportamiento y define tradiciones; por ejemplo, [...] "*en 1972 la tradición era salir del pueblo, caminar por la playa, visitar la quebrada Facundito y otras que caían al mar y llegar hasta el área del volcán donde había dos o tres cárcavas que evacuaban el lodo de manera esporádica hacia el mar que de ahí quedaba muy retirado. En el lugar recuerdo había una casa del señor Mariano Teherán. Un lado del morro (NE) estaba cubierto de pastos donde pastaban vacas, caballos, burros y el otro lado (NW) estaba cubierto en mangle. En el área había cangrejos, conejos y un bejuco que se llama verdolaga*" [...] (Vélez, R. 2018). Quizá desde mucho tiempo atrás hasta el presente el volcán de lodo ha sido y será un elemento que cohesiona la sociedad en Arboletes.



Figura 56. Arte popular que representa el volcán de lodo de Arboletes y que es expuesta en un restaurante del municipio de San Pedro de Urabá. Foto: Alberto Vivas Narváez

La identidad cultural define sentimientos de pertenencia que se materializan también en el arte popular (Figura 56) realizado por personas anónimas que buscan, en este caso, plasmar una idea colectiva del volcán mezclando para ello lo

representativo del paisaje (palmas de coco, vivienda campestre, barcos, aves, agua, montañas)

5.3.1.4 Evaluación de la amenaza

Los elementos técnicos presentados en este documento evidencian que el volcán de lodo de Arboletes ha tenido emanaciones continuas de lodo (**CP**), emanaciones abundantes (**CS1**) y sonidos fuertes (**CS2**) que sustentan el tipo II de volcán; es decir, aquel que tiene una actividad tranquila, relativamente débil pero continua. Dada la actividad del volcán se sugiere que el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD) del municipio de Arboletes incluya en su Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) y en la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias (EMRE) la ejecución de acciones de capacitación sobre el fenómeno de volcanismo de lodo, sus características y las principales geoamenazas.

5.3.2 Volcán Necoclí – Virgen del Cobre

Se denomina volcán de Necoclí a una estructura en forma de domo con laderas ligeramente inclinadas que consta de cinco cráteres secundarios (oídos), un cráter principal de forma irregular (Figura 57) que cubre un área de 0,0135 hectáreas (135 m²) y orientado, en sentido NW un canal de flujo de 8 m de longitud que transporta lodo hasta un drenaje que se asocia a la quebrada Rufino que vierte aguas al río Necoclí. El edificio volcánico ocupa un área de 1,1 hectáreas.

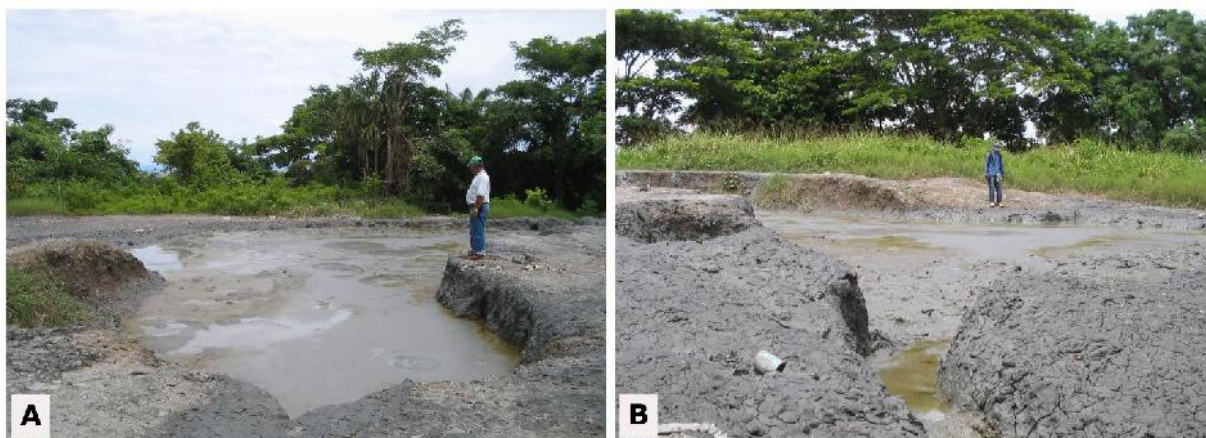


Figura 57. Bordes del caldero principal (cráter), masa lodo gris, acuoso y canal de flujo que permite la evacuación del lodo. Fotografías captadas el 17/06/2006 en sentido SE en las coordenadas 8°26'41,8"N y 76°44'48,9"W. Héctor Orrego y Juan Guillermo Cano proveen la escala. Foto: Alberto Vivas Narvárez.

El volcán de lodo se localiza al interior de la finca Virgen del Cobre, a 4 km en sentido NE de la cabecera urbana de Necoclí en las coordenadas 8°26'6,2"N -

76°45'57,5"W a 56 msnm. En el área se identifica un paisaje de colinas estructurales alargadas (POT, 2011) que conforma cimas estrechas y alargadas cuyos ejes presentan direcciones principales NS y NE-SW, con alturas promedias por debajo de los 200 msnm. Las colinas están desarrolladas sobre rocas sedimentarias del terciario, compuestas de estratos blandos como lodolitas y shales y estratos duros como conglomerados. Los drenajes presentan control estructural y son paralelos a las colinas.

Para acceder al sitio donde se localiza el volcán de lodo se abandona, en la margen derecha, sector finca Virgen del Cobre, la vía troncal que de Turbo conduce hacia Necoclí y se avanza en medio del potrero, por un sendero que se intercepta con la vía que conduce hacia la vereda El Vale Pavas. De la intersección, se avanza 300 m hasta encontrar un sector de colinas que constituyen el edificio volcánico y donde se encuentra el caldero (cráter principal).

5.3.2.1 Turismo volcánico

Por la cercanía al área urbana y la facilidad de ingreso el volcán de lodo Necoclí es un destino atractivo por tres elementos así: **Geoturismo** (Erfurt-Cooper, P. 2011) toda vez que el turista tiene la posibilidad de interactuar con el lodo; el cual, además de ser una mezcla de agua, arcilla e hidrocarburos tiene, para el común de la gente, propiedades medicinales. Aquí el turista se encuentra en un ambiente volcánico. El **Ecoturismo** se materializa cuando el turista abandona el área urbana de Necoclí y se adentra en el área rural para visitar un entorno natural. En su recorrido disfruta del paisaje, del bosque y demás elementos rurales existentes en el perímetro del volcán; además, por medio de avisos (Figura 58), se busca crear conciencia para la conservación del ambiente volcánico. En Necoclí, desde hace varios años, el turismo orientado al volcán de lodo, es una forma de **Turismo de aventura** donde el visitante en cumplimiento de una actividad turística se adentra en la forma del volcán e interactúa con el lodo que es el resultado de un proceso volcánico. Estas acciones constituyen una aventura.



Figura 58. Señales localizadas en el sendero que conduce hacia el volcán de lodo Necoclí localizado en la finca Virgen del Cobre. Foto: Alberto Vivas Narváez.

El turismo volcánico entorno al volcán de lodo Necoclí determina que la atracción principal es el volcán y por ello es recomendable se integren, elementos de protección al ambiente volcánico como lo es la adecuada disposición de los residuos que resultan de las excursiones, medidas orientadas a evitar que se corte palos para introducirlos en los «*oídos del volcán*», señales que orienten al turista, el cercado con alambre para evitar que el ganado bovino entre al volcán.

5.3.2.2 Evaluación de la amenaza

Las consultas realizadas entre la comunidad no dan cuenta de la existencia de eventos relacionados con ruidos o emanaciones abundantes de lodo; sin embargo se sugiere que el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD) del municipio de Necoclí incluya en su Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) y en la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias (EMRE) la ejecución de acciones de capacitación sobre el fenómeno de volcanismo de lodo, sus características y las principales geoamenazas.

5.3.3 **Volcán Mellito Alto**

El denominado volcán Mellito Alto, se encuentra en la finca Montecristo que se localiza a 7 km en dirección NE del área urbana del corregimiento Mellito. Administrativamente se asocia a la vereda El Mellito, del municipio de Necoclí en las coordenadas 8°35'5,9"N - 76°38'12,5"W, a 112 m.s.n.m.

Al volcán Mellito Alto se accede así: se parte del área urbana del municipio de Necoclí y se avanza 20 km en dirección SE hasta el área urbana del corregimiento El Mellito y una vez allí se avanza 7 km por un carretable que conduce hacia la vereda El Carreto. Una vez en el caserío (conocido por los locales como Mellito Alto) se avanza 150 m en sentido SW por la citada finca hasta encontrar un conjunto de 5 volcanes dispersos en un área de 71,2 hectáreas. Los volcanes siguen un alineamiento SW (Figura 59).

5.3.3.1 Morfología

El volcán Mellito Alto, geomorfológicamente hablando, se localiza en un sitio que se asocia a un relieve de colinas bajas de carácter estructural, que conforma colinas estrechas y alargadas cuyos ejes presentan direcciones principales NS y NE-SW, con alturas promedias por debajo de los 200 m.s.n.m. Las colinas se encuentran separadas por depresiones excavadas por la escorrentía o por valles aluviales estrechos. El tipo de drenaje que se presenta al interior del sistema de colinas es el denominado "*Trellis*"; es decir, aquel que presenta control estructural y en donde los drenajes son paralelos. Las colinas están desarrolladas sobre rocas sedimentarias del terciario, compuestas de estratos blandos como lodolitas y shales y estratos duros como conglomerados (POT, 2011). El área donde se localizan los

volcanes se asocia a la cuenca de la quebrada Iguanita que vierte aguas directamente al Mar Caribe a la altura de la vereda Punta Gorda.

El volcán Mellito Alto, antes de la visita efectuada por personal técnico de CORPOURABA, se encontraba en medio de un potrero; pero, el propietario de la finca Montecristo, al interesarse por el continuo fluir de lodo aisló el área del volcán. Esa condición permitió el crecimiento de vegetación arbórea entre la que se destaca: cocuelo (*Couropita sp*), roble (*Tabebuia sp*), zurrumbo (*Trema sp*), camajón (*Sterculia sp*), palma amarga (*Sabal sp*) y helecho matatigre (*Acrostichum aureum*).

El conjunto de volcanes que conforman el volcán Mellito Alto evidencian expulsiones de lodo tipo puntiforme (Brustur, T., Stănescu, I., Macalat, R., et al., 2015) es decir, aparecen como un solo flujo de lodo o en pequeñas depresiones elípticas con concentraciones de aceite (Figura 59).

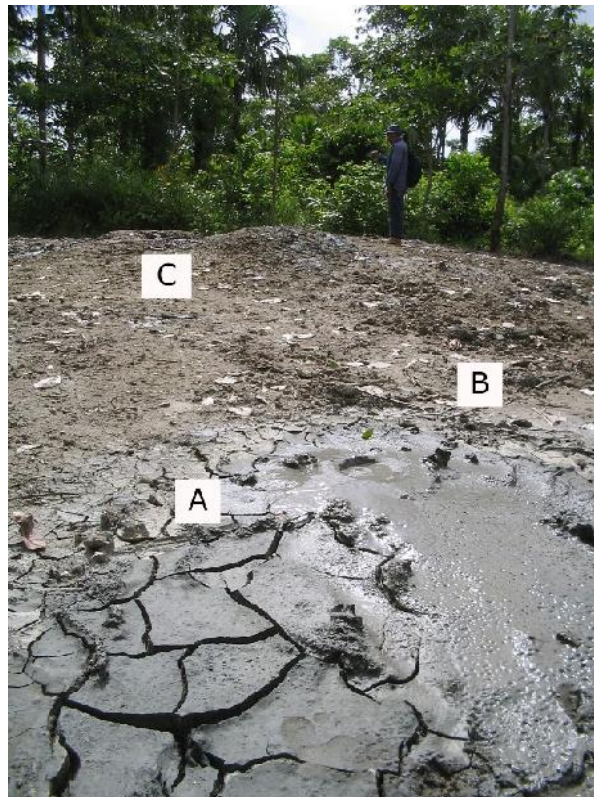


Figura 59. Características morfológicas de un volcán de lodo de 0,55 m de altura. **A)** Cráter principal de donde sale la mayor parte del lodo que conforma el edificio volcánico. Los colores más oscuros son materiales bituminosos. **B)** Cono pequeño en el flanco SE. **C)** Otro volcán de características similares alineado en sentido SW con el primer volcán ($8^{\circ}35'5,9''\text{N}-76^{\circ}38'12,5''\text{W}$, 17/07/2007). Foto: Alberto Vivas Narváez.

5.3.3.2 Evaluación de la amenaza

Las consultas realizadas entre la comunidad no dan cuenta de la existencia de eventos relacionados con ruidos o emanaciones abundantes de lodo; sin embargo se sugiere que el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD) del municipio de Necoclí incluya en su Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) y en la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias (EMRE) la ejecución de acciones de capacitación sobre el fenómeno de volcanismo de lodo, sus características y las principales geoamenazas. Las capacitaciones podrían orientarse en primer lugar a las aproximadamente 15 personas que residen en el sitio denominado Mellito Alto y que se localizan a 100 metros del conjunto de volcanes.

5.3.4 Volcán Gigantón

El conjunto 8 de volcanes denominados Gigantón se encuentran en un predio registrado a nombre del señor Enrique Acevedo denominado Rancho Aparte que se localiza en la vereda Gigantón, corregimiento Zapata del municipio de Necoclí en las coordenadas $8^{\circ}41'17,2''N - 76^{\circ}37'18,8''W$, a 67 m.s.n.m. Ellos se distribuyen en un área de 1,5 hectáreas. Los drenajes en esta área se asocian a la cuenca de la quebrada Zapata.



Figura 60. Ubicación geográfica del conjunto de volcanes en la vereda Gigantón.

Al conjunto de volcanes (Figura 60) Gigantón se accede desde el área urbana del corregimiento de Zapata, por la vía pavimentada que conduce hacia San Juan de Urabá se avanza 0,6 km en dirección NE hasta encontrar la vía destapada que conduce hacia la vereda Zapatica y luego se avanza en sentido N por potreros hasta encontrar el predio Rancho Aparte.

5.3.4.1 Morfología

El conjunto de volcanes, geomorfológicamente hablando, se encuentra sobre un paisaje de colinas bajas que se asocian a la Serranía de Abibe. Las colinas en términos generales alcanzan alturas de hasta 685 msnm, su altura decrece en dirección SN; es decir, de 380 m al sur pasa a 50 m al norte. Presenta drenajes tipo "Trellis" (POT, 2011).



Figura 61. Detalle del conjunto de volcanes en Gigantón. **A)** Pequeño domo volcánico donde la característica es una expulsión puntual $8^{\circ}41'19,1''N-76^{\circ}37'21,3''W$, 17/07/2006. **B)** Expulsión de lodo en forma de charco. **C)** Depresión puntual de 0,15 m de diámetro con trazas de hidrocarburo $8^{\circ}41'16,5''N-76^{\circ}37'17,2''W$. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

En este paisaje las vertientes en espinazo forman un paisaje homoclinal dispuesto en ladera estructural, sobre rocas sedimentarias del terciario y de composición

variada que se asocian a la Formación Paujil (Ngpas) la cual se caracteriza por la presencia de intercalaciones de limolitas grises azulosas y amarillo-naranja, con niveles supeditados de arenitas (ANH, 2009).

En el conjunto de volcanes (Figura 61) se distingue expulsiones puntuales (Figura 61 A, C) y expulsiones de lodo en forma de charco (Figura 61B). Las expulsiones puntuales son las más comunes encontradas en el conjunto de volcanes de lodo Gigantón y se caracterizan principalmente por presentar una sola depresión en el suelo por donde sale el lodo con trazas de hidrocarburo.

De otro lado las expulsiones en forma de charco son esporádicas; en ellas, el lodo es expulsado de manera lenta y a baja presión tanto que no alcanza a formar una depresión, sino que se esparce alrededor del orificio del orificio u orificios de salida. Debajo del conjunto de volcanes identificados en Gigantón se encuentran estratos a los que con base en dataciones de foraminíferos se les atribuye (Geotec, 2003) una edad del Mioceno Medio y Mioceno Superior cuyo ambiente de formación se correlaciona con un ambiente marino de profundidades batiales superiores a las neríticas, en una zona de plataforma para la Formación Paujil.

Al lado del área donde se encuentra el conjunto de volcanes Gigantón (Figura 60) se identificó vegetación arbórea y arbustiva representada por palma amarga (*Sabal mauritiiformis*), ceiba amarilla (*Hura crepitans*), ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*), samán (*Pseudosamanea guachapele*), roble (*Tabebuia rosea*), iraca (*Carludovica palmata*), juncos (*Elaecharis sp*), matatigre (*Acrostichum aureum*), tachuelo (*Xanthoxylum tachuelo*), *Cyperus sp* y *Thevetia sp* y el uso del suelo que se da al área de los volcanes es la ganadería.

5.3.4.2 Evaluación de la amenaza

Las consultas realizadas entre la comunidad y de manera particular con el señor Lázaro Mejía quien hace 30 años tiene su vivienda a 100 m del conjunto de volcanes Gigantón, muestran que los volcanes son "tranquilos" y no experimentan ni sonidos ni expulsiones voluminosos de lodo. Por la ubicación y el tipo de volcán este no constituye una amenaza para la población ni el ambiente.

En 1992, durante los terremotos que afectaron Murindó, [...] "todos los «oídos» (cráteres) escurrieron lodo líquido, no hubo explosiones, pero si olores a aceite" [...] (Mejía, 2006).

5.3.5 Volcán Candelaria

Corresponde también, a un conjunto de 10 volcanes distribuidos en un área aproximada de 1,4 hectáreas que hacen parte de la finca El Búho, vereda La Candelaria, corregimiento del mismo nombre, municipio de Arboletes en las coordenadas 8°39'27,7"N - 76°28'38,7"W a 82 m.s.n.m. Hidrológicamente el área

se encuentra en la cuenca de la quebrada Las Patillas que aguas abajo vierte al río San Juan.

Para acceder a los volcanes La Candelaria puede hacerse desde dos sitios. El primero partiendo del corregimiento Las Changas, en el municipio de Necoclí, desde donde se avanza 20 km en dirección NE hasta llegar al área urbana del corregimiento La Candelaria. De ahí se avanza 2,7 km en dirección NW hasta encontrar el conjunto de volcanes por un camino interno de la finca El Búho. El segundo partiendo del área urbana del municipio de San Juan de Urabá, desde donde se avanza 15 km en dirección SW hasta llegar a la vereda Villa Fátima, corregimiento San Juancito y desde ahí se avanza 5 km en dirección SW hasta área urbana del corregimiento La Candelaria. De ahí se avanza 2,7 km en dirección NW hasta encontrar el conjunto de volcanes por un camino interno de la finca El Búho.

5.3.5.1 Morfología

Los volcanes La Candelaria (Figura 62) se encuentran a lado y lado de un camino interno de la finca El Búho, en la parte alta y plana de una colina en la que además se identificó dos nacimientos de agua y un área de humedal que hacen parte de la cuenca de la quebrada Las Patillas. El sitio donde están los volcanes se dedica a ganadería de levante.

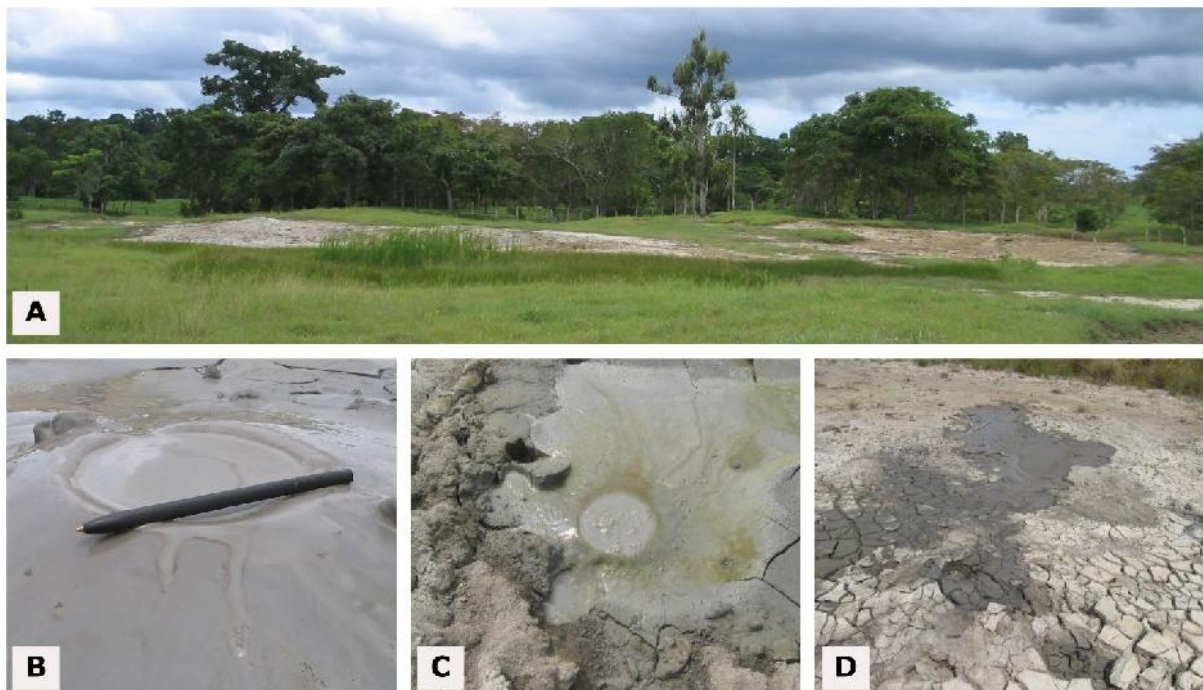


Figura 62. Aspecto general del conjunto de volcanes de lodo en La Candelaria. **A)** Paisaje de relieve plano con predominio de pastos, vegetación arbórea, área de humedal y sedimentos provenientes de los volcanes de lodo. **B)** Depresión puntual

de 0,17 m de diámetro en 8°39'23,7"N-76°28'43,5"W. **C)** Trazas de hidrocarburo alrededor de una depresión puntual de 0,15 m de diámetro en 8°39'28,2"N-76°28'32,7"W, 17/07/2006. **D)** El lodo expulsado forma un lóbulo en un flanco del cráter. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

Los volcanes La Candelaria, geomorfológicamente hablando, se localizan sobre un paisaje de colinas bajas de base amplia y colinas aplanadas. Las vertientes son en forma de espinazo y forman un paisaje homoclinal dispuesto en ladera estructural, sobre rocas sedimentarias del terciario y de composición variada que se asocia a la formación Arenas Monas (Ngam). El drenaje es tipo "*trellis*"; es decir, aquel que presenta control estructural y presenta drenajes relativamente paralelos entre sí que se juntan en ángulos rectos, reflejando la estructura de la roca madre.

En el área donde se localizan Los volcanes La Candelaria, la Formación Arenas Monas (Geotec, 2003) presenta secuencias rítmicas granodecrecientes, que incluyen hacia la base conglomerados arenosos de guijos que varían a arenitas conglomeráticas, arenitas grises y lutitas gris verdosas al techo. La secuencia está compuesta en un 80% por arenitas, 15% por lutitas y 5% por conglomerados. En concordancia con descripciones de campo, la Formación Arenas Monas está constituida de base a tope por limolitas arcillosas de color gris claro, que gradan a arenitas de gran o muy fino dispuestas en capas medias a gruesas que son suprayacidas por litoarenitas de grano fino que gradan a conglomerados de guijos finos y medios. Con base en reportes de microfauna la edad estimada para la Formación Arenas Monas abarca desde el Mioceno tardío al Plioceno temprano.

El conjunto de 10 volcanes La Candelaria, se encuentra a ras de tierra y sólo uno de ellos sobrepasa los 0,5 m de altura; todos, muestran actividad que se evidencia en las burbujas de gas y lodo que emiten constantemente. En la dirección de la pendiente se observan grietas superficiales por donde discurre el lodo. La forma más común de expulsión de lodo es la puntual (Figura 62B, 62C) con formas circulares y trazas de hidrocarburo. Existen también expulsiones en forma de charco que representan geometrías alargadas en lóbulo que forma capas superpuestas.

La vegetación arbórea, en el conjunto volcanes La Candelaria, sólo se encuentra en una barrera de viento en sentido NW constituida por hobo (*Spondias purpurea*), guásimo (*Guazuma ulmifolia*), totumo (*Crescentia cujete*), matarratón (*Glericidia sepium*), olleto (*Lecitys tuyrana*), amarillo (*Platypodium Sp*), matatigre (*Acrostichum aureum*), palma amarga (*Sabal mauritiiformis*) y teca (*Tectona grandis*). Entre las gramíneas se destaca: cortadera (*Torulinium odoratum*), pasto guinea (*Panicum maximum*), bleo (*Amaranthus Sp*), botoncillo (*Melapodium Sp*), y *Cyperus sp*.

5.3.5.2 Evaluación de la amenaza

En la memoria histórica de algunos habitantes del corregimiento La Candelaria no existe eventos relacionados con el conjunto de volcanes de lodo La Candelaria y en la voz de un habitante se tiene el siguiente relato [...] "*en 30 años que vivo en el área no conozco evidencia de explosiones en los volcanes localizados en La Candelaria, son sitios donde sale lodo de manera continua, se ve las burbujas de gas y manchas oscuras en el lodo, las vacas los utilizan para dormir, la gente los visita porque son curiosos, se toma fotos pero no se mete en ellos porque son pequeños*"[...] (Novoa, N., 2006).

En el recorrido por el área del conjunto de volcanes La Candelaria se encontró grietas, radiales de longitud corta (< 1m) que se asocian no al volcanismo de lodo sino a la escasez de agua en el suelo. A 20 metros del área donde se encuentran los volcanes de lodo se encontró una corraleja y una bodega de implementos de campo. Los volcanes de lodo no representan una amenaza para la infraestructura descrita.

5.3.6 Volcán Manuel Cuello

En este documento se adoptó el nombre de Manuel Cuello a un conjunto de pequeños volcanes de lodo de los cuales el mayor corresponde un cráter de 0,7 m de diámetro (Figura 63 B) y los otros corresponden a 9 cráteres (oídos) secundarios con diámetros en promedio entre 0,1-0,20 m de diámetro que se distribuyen en un área de 0,3 hectáreas que pertenecen a la finca El Encanto, vereda Manuel Cuello, corregimiento El Dos, municipio de Turbo en las coordenadas geográficas 8°08'09,1"N - 76°41'0,7"W. En esta misma vereda 1,5 kilómetros más adelante del volcán Manuel Cuello, en sentido NE, en el sector Los Corrales coordenadas 8°08'42,5" N y 76°38'47,7" W, margen derecha de la quebrada Los Indios existe, en medio de un potrero, un pequeño volcán de lodo.

5.3.6.1 Morfología

El complejo de volcanes que se localiza en la vereda Manuel Cuello hace parte de la cuenca baja de la quebrada Los Indios afluente del río Turbo. Para acceder al volcán se sigue la vía que desde el área urbana de Turbo conduce hacia Necoclí hasta la intersección del camino que conduce a la vereda Manuel Cuello; de este punto, se avanza 1,2 km en dirección norte hacia la finca El Encanto la cual, se localiza en la margen izquierda de la vía sobre un relieve montañoso con lomas de cimas redondeadas y pendientes que van de ligera a altamente inclinadas (Figura 58). En los procesos erosivos (Ingeominas, 2003) es evidente la presencia de arenitas líticas a sublíticas de grano medio interestratificadas con lodolitas; otros estudios (Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015), asignan a esa área la Unidad Cronoestratigráfica n1n2-St caracterizada por la presencia de intercalaciones de conglomerados, arenitas líticas a sublíticas de grano medio a conglomeráticas, arenitas calcáreas y lodolitas que se asocian a la Formación Floresanto, Unidad Pavo Inferior-

La Formación Floresanto está compuesta (Geotec, 2003), por una secuencia homogénea de lutitas, dispuesta en capas delgadas a gruesas con colores pardos amarillentos y rojizos resultado de la meteorización. Ella, evidencia capas de limolitas calcáreas y litoarenitas de grano fino friables, granos angulares a redondeados, bien seleccionados compuestos por cuarzo, fragmentos líticos volcánicos, chert negro y cristales de plagioclasa. La edad de formación va desde el Mioceno medio al superior.



Figura 63. Aspectos generales del volcán de lodo en Manuel Cuello. **A)** A nivel del suelo se muestra un relieve ligeramente cóncavo y en el centro de la imagen se encuentra el volcán de lodo. **B)** Detalle de uno de los 9 cráteres secundarios. Dióver Blanco Agamez provee la escala. **C)** Depresión y cráter principal de 0,7 m de diámetro captado el 7/02/2007. **D)** El mismo cráter de 2,7 m de diámetro captado el 29/04/2012. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

En el área del complejo de volcanes se evidenció múltiples eyecciones de lodo localizados cerca uno del otro y cerca del cráter principal por cada uno de los cuales, hay salida de lodo de color gris, acuoso. En ese lugar, a partir de la observación y el análisis de los datos de campo puede deducirse que el cráter principal ha tenido intervenciones antrópicas que sustentan el cambio tanto en su forma como en sus dimensiones. Es decir, se pasó de una forma casi circular (Figuras 63C) que exhibía el 7/02/2007 a una en forma de lóbulo (Figura 63D), más amplia que exhibía el 20/04 de 2012. Los cráteres secundarios se caracterizan porque la forma del cono

es puntiforme (Figura 63B) es decir, corresponde a un pequeño volcán pegado al suelo y en ellos, la eyección del lodo es lenta y escurre de forma uniforme por los flancos.

El lodo del cráter principal escurre por un canal de 3,1 m de longitud orientado en sentido noreste hacia un área de humedales que es alimentado por una corriente intermitente que en época de lluvias vierte aguas directamente al río Turbo.

En el área del humedal y en la periferia del volcán de lodo se identificó la siguiente vegetación roble (*Tabebuia rosea*), matarratón (*Glericidia sepium*), totumo (*Crescentia cujete*), matatigre (*Acrostichum aureum*), lomo de machete (*Machaerium Sp*), jagua (*Genipa americana*), guásimo (*Guazuma ulmifolia*), palma nolí (*Elaeis oleifera*), chilco (*Bacharis sp*), yarumo (*Cecropia sp*).

5.3.6.2 Evaluación de la amenaza

Este documento clasifica los volcanes de lodo localizados en la vereda Manuel Cuello en el Tipo II es decir, aquellos que evidencian actividad tranquila y salida de lodo débil y continua. Todos muestran burbujas de gas y junto a un cráter principal existen otros cráteres secundarios que expulsan cantidades pequeñas de lodo mezclado con agua.

En la vereda Manuel Cuello, un miembro de la Junta de Acción Comunal que habita el área desde hace 35 años manifestó que [...] "*son sitios tranquilos, a veces el lodo se seca, pero al tiempo vuelve a aparecer de forma líquida. Los muchachos en contadas ocasiones, utilizan el volcán para bañarse, se untan de lodo y luego se bañan en el río Turbo. No hemos escuchado ruidos ni olores extraños*" [...] (Díaz, B., 2007).

5.3.7 **Volcán San Felipe**

En este documento se denomina volcán de lodo San Felipe a un conjunto de 6 depresiones circulares y un cráter principal de 2 m de diámetro (Figura 59), en forma de lóbulo orientada en sentido NE y formada por la acumulación periódica de material arcilloso que es expulsado por dos orificios y escurre por el flanco norte hacia un drenaje intermitente asociado a la cuenca de la quebrada San Felipe.

5.3.7.1 Morfología

El complejo de volcanes caracterizados en la vereda San Felipe hace parte de la cuenca baja de la quebrada San Felipe afluente del río Turbo. Para acceder al área de los volcanes se parte del área urbana del municipio de Turbo hasta la intersección del camino que conduce hasta el corregimiento El Dos; de ahí, se sigue hasta el puente sobre el río Turbo en la vereda La Playona y se continúa por un camino de herradura hasta la escuela de la vereda San Felipe de donde se avanza 500 m en

dirección este hasta la finca a la finca Los Volcanes de propiedad del señor Carlos Ocampo Galvis en las coordenadas $8^{\circ}6'48,3''N$ - $76^{\circ}36'57,3''W$ donde los volcanes se distribuyen en un área de 200 m^2 (Figura 64).



Figura 64. Depresión principal del volcán de lodo San Felipe que exhibe forma elongada y se orienta en sentido NE. Fue captada en las coordenadas $8^{\circ}7'43''N$ - $76^{\circ}36'27,2''W$, el 14/2/2007. El señor Ariel Angulo de 1,90 m de estatura proporciona la escala. Foto: Alberto Vivas Narváez.

El complejo de volcanes de lodo San Felipe se localiza morfológicamente hablando sobre un paisaje de relieve montañoso con lomas de cimas redondeadas en las cuales los estudios realizados (Ingeominas, 2003) arrojan la presencia de arenitas líticas a sublíticas de grano medio interestratificadas con lodolitas; otros estudios (Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015), asignan a este paisaje la Unidad Cronoestratigráfica n1n2-St caracterizada; además, por la presencia turbas, carbón y lentes de conglomerados arenosos que se asocian a la Formación Floresanto, Unidad Pavo Inferior. Esta formación está compuesta (Geotec, 2003), por una secuencia homogénea de lutitas, dispuesta en capas delgadas a gruesas con colores pardos amarillentos y rojizos resultado de la meteorización. Ella, evidencia capas de limolitas calcáreas y litoarenitas de grano fino friables, granos angulares a redondeados, bien seleccionados compuestos por cuarzo, fragmentos líticos volcánicos, chert negro y cristales de plagioclasa. La edad de formación va desde el Mioceno medio al superior.

En el área del complejo de volcanes de lodo San Felipe es evidente las expulsiones puntuales es decir aquellas que se distribuyen alrededor del cráter principal y cada uno de ellos se constituye en un pequeño volcán por donde emana lodo de manera lenta pero intermitente. El cráter principal (Figura 64) emite también lodo de manera lenta y lo conduce hacia una cañada a través de un canal de 5 m de longitud.

En el área del complejo de volcanes de lodo San Felipe se encontró las siguientes especies forestales: roble (*Tabebuia rosea*), palma amarga (*Sabal mauritiiformis*), vara de humo (*Cordia gerascanthus*), guanábana (*Annona muricata*), totumo (*Crescentia cujete*), guásimo (*Guazuma ulmifolia*) y matatigre (*Acrostichum aureum*).

5.3.7.2 Evaluación de la amenaza

Este documento clasifica los volcanes de lodo localizados en la vereda San Felipe en el Tipo II es decir, aquellos que evidencian actividad tranquila y salida de lodo débil y continua. Todos muestran burbujas de gas y junto a un cráter principal existen otros cráteres secundarios que expulsan cantidades pequeñas de lodo mezclado con agua. Por sus características morfológicas, el tipo de expulsión de lodo y los datos recopilados en campo estos volcanes no constituyen amenaza para la comunidad.

5.3.8 Volcán Pueblo Nuevo

El volcán de Lodo Pueblo Nuevo se localiza en la vereda y corregimiento del mismo nombre del municipio de Necoclí en las coordenadas geográficas 8°24'56,2"N - 76°40'7,3"W. Para llegar al edificio volcánico se abandona la vía que conduce hacia el área urbana de Necoclí y se avanza 4 kilómetros por el carreteable que conduce hacia Pueblo Nuevo hasta un sitio denominado Loma de Piedra. En este sitio y teniendo como referencia una corraleja de color rojo se avanza 2 kilómetros en medio de potreros que hacen parte de la finca La Estrella hasta encontrar el domo volcánico (Figura 65).

5.3.8.1 Morfología

El volcán de lodo Pueblo Nuevo es una estructura geológica en forma de domo que se encuentra a 140 metros sobre el nivel del mar (msnm); tiene laderas de pendiente suave por las que discurren drenajes radiales e intermitentes que, en época de lluvia, conducen la esorrentía hacia afluentes del río Bobal. El domo termina en una cúspide plana en la que se distingue una depresión o cráter que tiene 77,8 m² de área que viene formándose como resultado de la emisión de lodo, agua y trazas de hidrocarburo. Con base en el análisis de cartografía geológica se determinó que el domo cubre un área aproximada de 227 hectáreas.

El volcán de lodo Pueblo Nuevo se encuentra sobre un paisaje de colinas bajas, angulares, alargadas, de base ancha y de tope plano o agudo que hacen parte del piedemonte de la Serranía de Abibe; son evidentes las cicatrices de movimientos en masa derivados principalmente del uso del suelo que en este caso se orienta a la ganadería, el establecimiento de las plantaciones forestales y la conservación de las áreas que son nacimientos de agua. Los drenajes son tipo "Trellis" (POT, 2011); es decir, aquellos que al descender de las colinas lo hacen de forma paralela y

cuando se desvían forman ángulos rectos. En los domos los drenajes son radiales y poco profundos.



Figura 65. Características del volcán de lodo Pueblo Nuevo. **A)** Un charco de lodo es la principal forma de extrusión del lodo; está compuesto por una mezcla de arcilla, agua y lodo. **B)** Canal de flujo de lodo de 0,3 m de ancho y 2,5 m de longitud. **C)** Expulsión puntual de lodo de 0,43 m de diámetro. **D)** Trazas de hidrocarburo. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

En el área donde se encuentra el volcán de lodo Pueblo Nuevo los estudios realizados ([Ingeominas, 1999a](#)) incluyen la falla El Congo sobre la cual se identifica la presencia de lutitas con yeso y jorositas y algunas intercalaciones de arenitas con ostras; otros estudios ([Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015](#)), asignan a este paisaje la Unidad Cronoestratigráfica n3n5-St que se caracteriza por la presencia de Lodolitas y shales calcáreos, con algunos niveles de arenitas. Como unidad integrada se tiene la Formación Floresanto, Unidad Pavo Superior. Esta formación está compuesta ([Geotec, 2003](#)), por lodolitas y limolitas de colores variados y niveles arenosos. Se reporta, además la presencia de lentejones de carbón y superficies firmes en los contactos con las arenitas. Las arenitas son de grano fino de composición esencialmente cuarzosa con granos subangulares.

El volcán de lodo Pueblo Nuevo evidencia un cráter en forma de caldera en la cual, el tipo de expulsión se asocia al denominado «*charco de lodo*» (Figura 65A) que

contiene una mezcla de trazas de aceite, burbujas de gas, agua subterránea y lodo que son expulsados por varios centros eruptivos. El canal de flujo (Figura 65B) transporta en sentido NW materiales arcillosos resultantes de cortos periodos (días, horas) eruptivos. El canal de flujo tiene 0,3 m de ancho y 2,5 m de largo. En la periferia de la caldera principal se identificó varios «*volcancitos*» que consisten en depresiones circulares (Figura 65C) que en su interior contienen materiales arcillosos y emiten burbujas de gas; de igual manera, como lo hace la caldera principal. En el sector SE de la caldera principal existe una macha oscura (Figura 65D) compuesta por trazas de aceite, hidrocarburo y agua.

El volcán de lodo Pueblo Nuevo se encuentra en medio de potreros que son dedicados a la ganadería y los animales utilizan el área del volcán como sitio para dormir. Los fluidos expulsados son conducidos a través de un canal de flujo que los deposita en áreas donde el perfil del suelo es cóncavo para ir de esta manera, construyendo el edificio volcánico. El análisis en campo del material extruido muestra la presencia de fragmentos de rocas angulares y microfósiles de conchas marinas que indica la existencia de movimiento vertical de líquidos a presión a través de discontinuidades en el suelo.

5.3.8.2 Evaluación de la amenaza

Se sustenta la inclusión del volcán de lodo Pueblo Nuevo en el Tipo II por las evidencias recolectadas en campo representadas en una actividad tranquila manifestada en la expulsión débil y continua de lodo. Junto a este comportamiento y como resultado de las fuerzas de presión interna es evidente la liberación continua de burbujas de gas que salen por varios centros eruptivos. Las características morfológicas de este volcán (domo, forma del cráter, tipo de expulsión de lodo) y los datos que aquí se analizan permiten concluir que volcán de lodo Pueblo Nuevo no constituye amenaza para la comunidad.

5.3.9 **Volcán El Carlo**

A 1 kilómetro en dirección NW del caserío El Carlo en las coordenadas 8°23'20"N - 76°44'33"W que se asocian a la vereda El Carlo Abajo del municipio de Necoclí se encuentra una estructura volcánica que para efectos de este documento se denomina volcán de lodo El Carlo el cual, está constituido por un cráter principal en forma de caldera en la cual, el tipo de expulsión se asocia al que en este documento se denomina «*charco de lodo*» (Figura 66).



Figura 66. Cráter principal en forma de caldera del volcán de lodo El Carlo. Foto: Alberto Vivas Narváez.

Para llegar al volcán de lodo El Carlo se abandona, 2 km antes de llegar a la Base Antinarcóticos, la vía que conduce hacia el área urbana de Necoclí; y se avanza 2,5 km en dirección SE hasta el Museo El Carlo. De este sitio, se avanza por potreros dedicados a la ganadería 1 km en dirección SW hasta encontrar la estructura volcánica en forma de caldera.

5.3.9.1 Morfología

El volcán de lodo El Carlo se localiza, geomorfológicamente hablando sobre una unidad de origen marino y fluvio marino denotada como M4 (Ingeominas, 2005) que corresponde a las terrazas marinas subactuales. Herramientas de planeación del municipio de Necoclí (POT, 2011) ubican el área donde se localiza el volcán al interior de la Llanura Costera (Lc) y la describen como una superficie plana y topográficamente baja, conformada por depósitos recientes, dentro de los cuales existe influencia oceánica, generalmente interactuando con otros agentes, fluviales, eólicos y antrópicos. Los depósitos están constituidos por arenas, gravas, limos y arcillas. otros estudios (Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015), asignan a este paisaje la Unidad Cronoestratigráfica Q-al que se caracteriza por la presencia de depósitos aluviales y de llanuras aluviales cuya edad corresponde al cuaternario.

En el área del volcán de lodo los depósitos cuaternarios (Q-al) corresponden a sedimentos actuales no consolidados transportados como material de arrastre y las terrazas más bajas asociadas a las corrientes de la cuenca de la quebrada El Carlo.

En el volcán de lodo El Carlo el cráter principal (Figura 62A) ocupa un área de 128,1 m² y alrededor de él se distribuyen tres volcanes secundarios ubicados en sentido NE así: el primero de 19,1 m² de área ubicado a 2 m del cráter principal; el segundo de 39,2 m² de área ubicado a 7 m y el tercero de 24,5 m² de área ubicado a 10 m

del cráter principal. Los tres volcanes emiten lodo de manera intermitente y quizá por esa razón no se evidencia la existencia de un canal de flujo que los conecte y conduzca el material que extruyen. Las burbujas de gas (Figura 62B) sólo son visibles en el cráter principal.

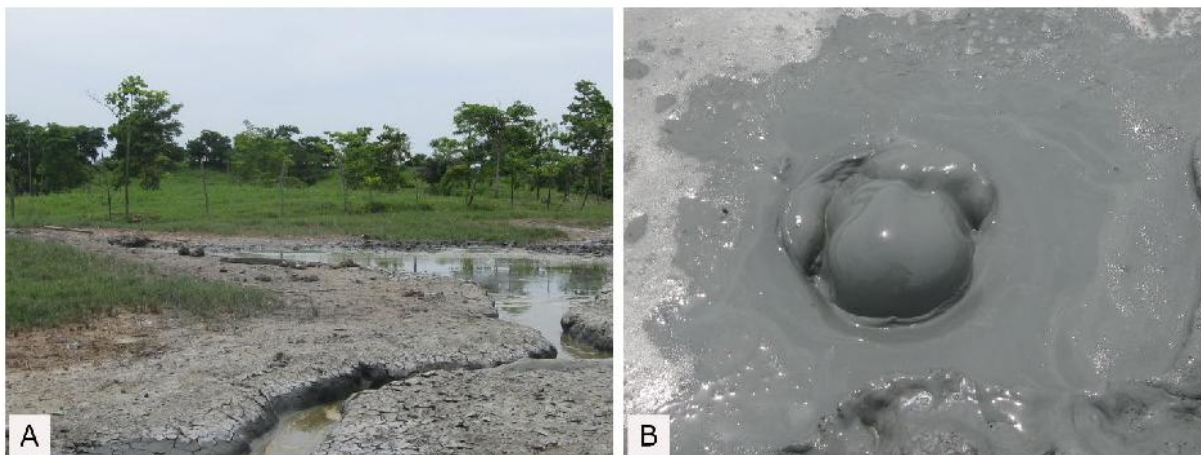


Figura 67. Características del volcán de lodo El Carlo captadas el 30/06/2012 en las coordenadas 8°23'18,6"N - 76°44'33,4"W. **A)** Canal de flujo de lodo orientado en sentido SW, tiene aproximadamente 30 m de longitud y 0,45 m de ancho. **B)** Tres burbujas de gas, aproximadamente de 10 mm de diámetro emitida cada 5 segundos. Fotos: Alberto Vivas Narváez.

5.3.9.2 Evaluación de la amenaza

Se sustenta la inclusión del volcán de lodo El Carlo en el Tipo II por las evidencias recolectadas en campo representadas en una actividad tranquila manifestada en la expulsión débil y continua de lodo. Junto a este comportamiento y como resultado de las fuerzas de presión interna es evidente la liberación continua de burbujas de gas que salen por varios centros eruptivos. Las características morfológicas de este volcán respaldadas por los datos que aquí se analizan permiten concluir que volcán de lodo El Carlo no constituye amenaza para la comunidad; aunque, si lo es para el ambiente toda vez que el lodo se mezcla con áreas que son de humedales y nacimientos de agua que vierten a la quebrada El Carlo.

5.3.10 Volcán Las Changas

En este documento se denomina volcán de lodo Las Changas (Figura 68) a una estructura geológica en forma de domo que cubre un área de 317 hectáreas y se localiza a 800 metros en dirección NW de la escuela Las Changas, en la vereda y corregimiento del mismo nombre que administrativamente pertenecen al municipio de Necoclí.



Figura 68. Detalle del cráter principal del volcán de lodo Las Changas el 4/03/2010, coordenadas 8°33'5,3"N - 76°34'33,5"W, dirección SW. Un miembro de la Junta de Acción Comunal proporciona la escala. Foto: Ana Lucía Pérez Calle.

Para acceder al volcán de lodo se parte del área urbana de Necoclí en dirección NW hasta el área urbana del corregimiento Las Changas. Se avanza hasta la escuela Las Changas y se avanza 800 m en dirección NW por el camino que conduce hacia la vereda Pitamorrial hasta encontrar, en la margen derecha del camino, el área que corresponde al volcán.

5.3.10.1 Morfología

El volcán de lodo Las Changas se localiza sobre una unidad de origen estructural-erosional expresada ([Ingeominas, 2005](#)) como E4 que se caracteriza por evidenciar colinas y lomas en arcillolitas y lodolitas. Por el área se identificó la falla definida Los Volcanes. Una herramienta de ordenamiento del territorio en el municipio de Necoclí ([POT, 2011](#)) clasifica el área del volcán de lodo dentro de la macrounidad geomorfológica vertiente espinazo; la cual, se caracteriza por presentar paisaje homoclinal dispuesto en ladera estructural, sobre rocas sedimentarias del terciario y de composición variada, lo que permite configurar una red de drenaje tipo angular. Otros estudios ([Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015](#)), asignan a esta área la Unidad Cronoestratigráfica n3n5-St que se caracteriza por la presencia de lodolitas y shales calcáreos, con algunos niveles de arenitas. Como unidad integrada se tiene la Formación Floresanto, Unidad Pavo Superior. Esta formación está compuesta ([Geotec, 2003](#)), por lodolitas y limolitas de colores variados y niveles arenosos. Se reporta, además la presencia de lentejones de carbón y superficies firmes en los contactos con las arenitas. Las arenitas son de grano fino de composición esencialmente cuarzosa con granos subangulares.

El denominado volcán de lodo Las Changas, tiene además de su cráter principal, varios cráteres secundarios o manifestaciones puntuales que se distribuyen a 400

m en dirección SE que corresponde al área urbana del corregimiento Las Changas la cual, superficialmente se ubica sobre un suelo de perfil convexo e internamente (Bambang P. I, Handoko T. W, Sunardy, E., 2012), en un sitio de rápida tasa de sedimentación, activa compresión tectónica, zona de subducción, eje anticlinal, fallas activas y posible zona de generación de hidrocarburos. Los cráteres secundarios se distribuyen en varios sitios como por ejemplo el patio de las casas, cerca o en los bordes de repositorios de agua, en potreros, cancha de futbol, etcétera. Para ilustrar su distribución se presenta a continuación una imagen que contiene solo los 5 principales cráteres secundarios.



Figura 69. Ubicación geográfica de cráteres secundarios en el área urbana del corregimiento Las Changas.

Los cráteres secundarios (figura 69) se orientan en sentido SN, se encuentran a nivel del suelo, su geometría está representada, a pequeña escala, por un domo de base ancha, paredes rectas formadas por el lodo que emana y chorrea por los flancos. El domo termina en la parte superior con cráter principal que, en términos generales, tienen diámetros que varían entre 10 y 20 cm. Estos pequeños «volcancitos» expulsan, de manera intermitente, material arcilloso con altos contenido de agua su actividad no es continua, sino que cesa por un tiempo que varía entre días o meses, luego vuelve y se activan. En ninguno de ellos se observó la emisión de burbujas de gas. Por la naturaleza de la expulsión de lodo, estos

cráteres secundarios no representan riesgo para la comunidad asentada en el corregimiento.

El cráter principal (Figura 70) tiene un diámetro de 1,3 m, se localiza al nivel del suelo y está acompañado de otro cráter de menor tamaño; juntos expulsan material arcilloso que cubre un área de 200 m².



Figura 70. Dirección de flujo del lodo expulsado por los cráteres principal y secundario del volcán de lodo Las Changas. La imagen fue captada el 10/03/2010 en sentido SE, en las coordenadas 8°33'5,5"N-76°34'33,6"W. Foto: Ana Lucía Pérez Calle.

El cráter principal expulsa lodo, gas y agua constantemente. [...] "*el agua borbotea elevándose varias pulgadas y salpica con frecuencia alrededor durante la ebullición. Cuando uno se inclina sobre el cráter se oye claramente un rugido sordo a una gran profundidad, una explosión de aire sucede con frecuencia apenas unos 15 o 18 segundos después de la ebullición*". En las salidas de los cráteres existe siempre un charco de agua en la cual [...] "*esporádicamente se desprenden burbujas de gas, a intervalos, el desprendimiento de burbujas se intensifica. El cráter se llena de lodo líquido, que comienza a derramarse por las vertientes. Estas corrientes de lodo líquido poseen algo de temperatura*" [...] (Pérez, 2010).

El cráter principal evidencia, en su periferia como consecuencia de las presiones internas, grietas, hundimientos y levantamientos del suelo de pocos centímetros hasta casi 2 m que introducen modificaciones en el paisaje (Figura 71).

5.3.10.2 Evaluación de la amenaza

Se sustenta la inclusión del volcán de lodo Las Changas dentro de la categoría de volcanes Tipo II es decir aquellos que evidencian actividad tranquila y expulsión débil y continua de lodo. De acuerdo a lo observado en campo se encontró un cráter principal ubicado a 800 m del área urbana del corregimiento y unos cráteres

secundarios distribuidos al interior de las viviendas del área urbana. Los cráteres secundarios expulsan lodo de manera intermitente junto a burbujas de gas. La comunidad manifiesta sentir ruidos en el subsuelo que desaparecen por largos periodos. No existe una época (lluvias o sequía) asociada a la actividad tanto en el cráter principal como en los cráteres secundarios.



Figura 71. Detalles en la periferia del volcán de lodo Las Changas. **A**). Hundimiento del suelo de aproximadamente 1m. **B**) Grietas centimétricas (< 5 cm) que se extienden en forma radial. Fotos: Ana Lucía Pérez Calle.

El volcán de lodo ocasiona levantamientos y hundimientos del terreno que, en algunas viviendas, según lo manifestado por la comunidad, es más evidente. Con todas estas características no se descarta la presencia de eventos extremos que pongan en amenaza a la comunidad; por eso, se sugiere informar sobre la amenaza de este volcán. El lodo del volcán altera las características físicas (olor, color) del agua que discurre por los drenajes intermitentes.

5.3.11 Volcán Santa Rosa de Los Palmares

A 40 km de cabecera urbana de Necoclí en la vereda Santa Rosa de Los Palmares se identificó un conjunto de volcanes de lodo (oídos) que cartográficamente se distribuyen en un área de 516 hectáreas. Para acceder a ellos, se parte del área urbana de Necoclí y se avanza 18 km en sentido NE hasta el corregimiento El Mellito, de ahí se avanza 16 km en sentido SE hasta el corregimiento Las Changas y desde ahí se avanza 6 km en sentido SE hasta encontrar el caserío de la vereda. Esta, administrativamente pertenece al corregimiento Las Changas.

5.3.11.1 Morfología

El caserío Santa Rosa de Los Palmares se localiza sobre la cima de una estructura geológica en forma de domo, base casi circular y laderas de pendiente suave. La estructura cubre un área aproximada de 673 hectáreas, en las que se identificó la presencia de dos volcanes (oídos) distribuidos el primero; en las coordenadas

8°30'15"N – 76°33'0"W, sobre un potrero a ras de suelo con evidentes muestras de reciente actividad (Figura 72A). El segundo, en las coordenadas 8°29'39"N – 76°32'54"W, en un área cuyo uso de suelo corresponde a una plantación forestal con la especie teca; tiene, más que el primero, evidencias claras de actividad que se revelan en la extrusión continua de lodo acuoso (Figura 72B).

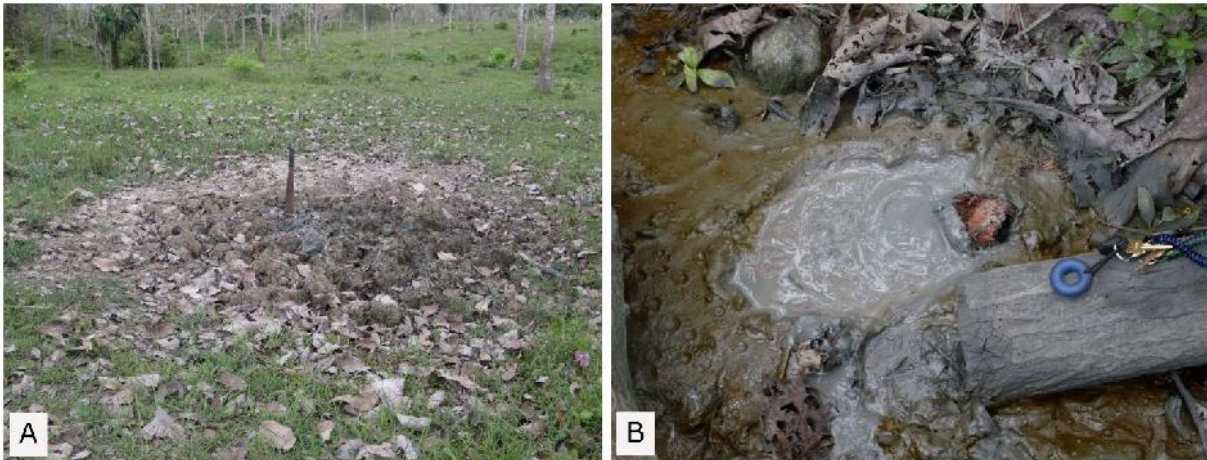


Figura 72. Detalle de los volcanes (oídos) en Santa Rosa de Los Palmares captados el 17/03/2010. **A)** Expresión puntual de un volcán de lodo 1,9 m de diámetro que, en el momento de la visita, emite lodo acuoso de manera intermitente. **B)** Expresión puntual de un volcán de lodo de 0,7 m de diámetro, emite lodo acuoso, evidencia cada 8-15 segundos burbujas de gas y en la periferia se observa trazas de hidrocarburo. Fotos: Ana Lucía Pérez Calle.

Tanto el volcán1 como el volcán2 muestran la intervención antrópica que se prueba en restos de madera (troncos, cocos) o plásticos (botellas de gaseosa, vasos desechables) que la gente introduce en el volcán con el objetivo de comprobar que el volcán lo arroja al aire cuando hay suficiente acumulación de gas. En estos lugares la tendencia, a partir de la Junta de Acción Comunal, podría orientarse a conservar y proteger las áreas de los volcanes de lodo.

Al volcán2 (Figura 72B) se atribuyó las evidentes deformaciones del terreno que se plasman en grietas centimétricas de forma radial orientadas en sentido SW, que afectan principalmente la vía comunal (Figura 72A) e introducen inclinaciones en los árboles (Figura 72B) que, de continuar así, ocasionarían el volcamiento de los árboles y por ende las pérdidas económicas serían significativas. El volcán se activó en 2008 y según el señor Fabio Acosta, el sistema de grietas ocasionó la inclinación de los árboles de teca y rompió una represa de agua distante 500 m del cráter principal del volcán2. La comunidad posteriormente, parchó el hueco tablones y troncos de madera.

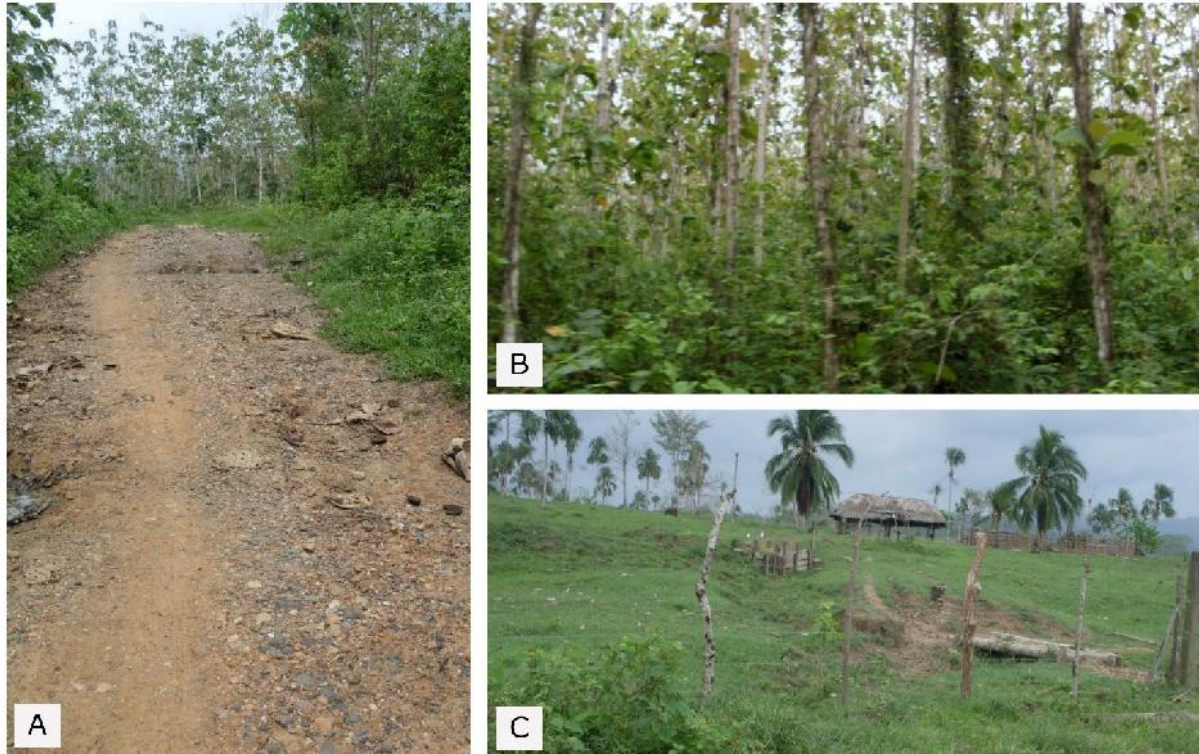


Figura 73. Afectaciones por volcanismo de lodo en la vereda Santa Rosa de Los Palmares documentadas el 17/03/2010. **A)** Grietas escalonadas (< 5 cm de ancho) con un salto de 4 cm hacia el oeste y una extensión de 500 m SW que afecta la vía interveredal. **B)** Árboles de teca con diferentes grados de inclinación. **C)** Al centro, a la izquierda, terraplén de la represa de agua que fue reforzado con madera después de la fuga de agua producido por el agrietamiento del volcán de lodo. Fotos: Ana Lucía Pérez Calle.

El conjunto de volcanes de lodo en Santa Rosa de Los Palmares, geomorfológicamente hablando, se localizan sobre una unidad de origen estructural-erosional expresada en plano (Ingeominas, 2005) como E4; la cual, se caracteriza por evidenciar colinas y lomas en arcillolitas y lodolitas. Por el área se identificó la falla definida Los Volcanes. Como complemento a esta información, se tiene que la herramienta de ordenamiento municipal (POT, 2011) clasificó el área dentro de la macrounidad denominada Estructura Dómica. Otros estudios (Gómez, J., Nivia, Á, Montes, N.E., et. al., 2015), asignan a esta área la Unidad Cronoestratigráfica n3n5-St que se caracteriza por la presencia de lodolitas y shales calcáreos, con algunos niveles de arenitas. Como unidad integrada se tiene la Formación Floresanto, Unidad Pavo Superior. Esta formación está compuesta (GEOTEC, 2003), por lodolitas y limolitas de colores variados y niveles arenosos. Se reporta, además la presencia de lentejones de carbón y superficies firmes en los contactos con las arenitas. Las arenitas son de grano fino de composición esencialmente cuarzosa con granos subangulares.

5.3.11.2 Evaluación de la amenaza

Se sustenta la inclusión del volcán de lodo Santa Rosa de Palmares en el Tipo II toda vez que exhibe actividad tranquila manifestada en la expulsión débil y continua de lodo; estas características, junto a las evidencias colectadas en campo respaldan que volcán de lodo Santa Rosa de Palmares no es de naturaleza explosiva, pero si ocasiona deformaciones en el terreno que ocasiones comprometen la infraestructura. Como no se descarta la presencia de eventos extremos se sugiere informar a la comunidad sobre las características del fenómeno.

6. CONCLUSIONES

- 1) Topográficamente hablando, el término volcán de lodo hace referencia a una expresión natural en forma de cono creada geológicamente por la extrusión de lodo, fragmentos de roca, líquidos y gases.
- 2) En los municipios de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes la geometría de los volcanes de lodo es variable. Ellos pueden ser de pocos centímetros de diámetro (Candelaria, Manuel Cuello) y varios metros de altura (Los Aburridos, La Esperanza). Los principales elementos morfológicos son: cráter principal, cráteres secundarios, canal de flujo, flujos periféricos de lodo, grietas, levantamientos y hundimientos del terreno y caldera.
- 3) En los municipios citados, se caracterizó 19 volcanes de lodo en volcanes Tipo I y volcanes Tipo II. En los volcanes Tipo I la actividad es explosiva y hay ignición de los gases emitidos y en los volcanes Tipo II la actividad es tranquila, relativamente débil y continua. Entre los volcanes tipo I se tiene: Los Aburridos y Las Platas; y entre los volcanes Tipo II se tiene Arboletes y Las Changas. La caracterización se orientó por el carácter de su actividad y la expresión de su morfología definida en un principio por [Kalinko \(1964\)](#) y continuada por [Dimitrov, \(2002\)](#).
- 4) El análisis de la cronología de eventos, en los volcanes Tipo I, mostró diferentes fases de actividad que incluye: eventos catastróficos y eventos de relativa quiescencia caracterizados por una actividad moderada. Cada uno de los volcanes analizados tiene su periodo catastrófico y posiblemente cada erupción está controlada por las presiones locales dentro de las secuencias sedimentarias; en tanto que, las fuertes explosiones dependen de los contenidos de gas.
- 5) La amenaza potencial de la explosión de un volcán Tipo I radica en la violenta eyección de lodo mezclado con rocas y combustión espontánea de gases.
- 6) En este documento se presenta cartografía a escala de detalle sobre los niveles de amenaza para 7 volcanes de lodo (Las Platas, Los Aburridos, Nueva Esperanza, Alto de Mulatos, San Juancito, Palmares Cenizosa y Cacahual) clasificados como Tipo I.

- 7) Las explosiones de los volcanes de lodo pueden ocurrir de repente y sin previo aviso, afectan las áreas cercanas a los volcanes y por tanto constituye una amenaza localizada.
- 8) Este trabajo reveló que los volcanes de lodo Las Platas, Los Aburridos tienen una larga historia eruptiva que envuelve la construcción y colapso de los edificios volcánicos.
- 9) El impacto ambiental de los flujos de lodo eyectados por los volcanes de lodo en los municipios objeto de este estudio se traduce en la pérdida de especies vegetales y alteración de los ecosistemas acuáticos. Estos impactos contrastan por otro lado con: las potencialidades en turismo de las áreas donde se localizan los volcanes, las propiedades medicinales que se atribuye a los contenidos de los lodos y la fuente de información sobre la migración de los hidrocarburos y gases que son emitidos.
- 10) Los lodos eyectados por los volcanes de lodo Nueva Esperanza, Las Platas, Los Aburridos, Alto de Mulatos y otros, forman un paisaje inhóspito debido a las condiciones ambientales de esos lodos; sin embargo, esas condiciones no impiden el surgimiento, entre otras, de las siguientes especies: *Gossypium Sp.* (Malvaceae), *Acrostichum aureum* (Pteridaceae), *Typha Sp.* (Typhaceae), *Funastrum Sp.* (Asclepidaceae), *Ipomea Sp.* (Convolvulaceae).
- 11) En este documento se encontró que existe una relación entre la forma como se distribuyen los lodos eyectados en los volcanes de lodo Los Aburridos, Alto de Mulatos, Las Platas, Nueva Esperanza y Cacahual y la forma del volcán.
- 12) La existencia de cráteres secundarios revela un estilo en la forma de expulsión del lodo.
- 13) Las motivaciones personales para visitar un volcán de lodo en los municipios aquí citados se orientan a la recreación, aventura, turismo, estudio e investigación. Se evidenció iniciativas de turismo en los volcanes de lodo Arboletes y Necoclí-Virgen del Cobre las cuales podrían ser más prosperas de existir elementos asociados al volcán como por ejemplo una figura de protección que enlace la gestión integral del patrimonio geológico de la nación (Decreto 1353 de 2018), donde exista un aula interactiva que muestre a la comunidad la naturaleza del fenómeno y capacite a la comunidad en la gestión del riesgo.
- 14) Estos fenómenos peligrosos pueden ocurrir de repente y sin previo aviso. Sólo afectan el área directamente cerca de los volcanes de lodo y por lo tanto solamente afecta a la zona directamente cerca de los volcanes de lodo y por tanto, sólo una amenaza localizada.

7. AGRADECIMIENTOS

A CORPOURABA y de manera especial a la Ingeniera Vanessa Paredes Zúñiga por brindar el espacio institucional, al ingeniero Iván Darío Correa Arango por hacer el intento de revisión de una versión de este documento, al Doctor Georges Vernet

por su compañía en campo y por responder mis dudas e inquietudes, al ingeniero Eduardo Parra por su charla sobre los mapas de amenaza y el obsequio de un valioso documento, al ingeniero Juan Guillermo Cano Usma por compartir su destreza en la captura de información y por guiar la primera salida de campo. A las comunidades asentadas en los municipios aquí analizados a quienes siempre les prometí este documento, a los presidentes de Juntas de Acción Comunal; sin su ayuda no hubiera sido posible el ingreso a las veredas. Seguramente algunas personas no las he citado; pero tengan la seguridad, que les estoy infinitamente agradecido.

8. REFERENCIAS

ANH, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. 2009. Proyecto cartografía geológica y modelamiento estructural de las cuencas de Urabá y Sinú-San Jacinto a partir de la interpretación de imágenes de sensores remotos y monitoreo sísmico. Convenio Interadministrativo N° 70 de 2008. Bogotá. 136p.

ARBOLETES. 2000. plan ordenamiento territorial. Documento básico de soporte para el Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipal. Arboletes. 135p.

ARISTIZÁBAL, Olga, CALDERÓN, Beatriz, ACOSTA, Susana, PIEDRAHITA, Ignacio, VERNETTE, Georges, SIEGERT, Erika y CORREA, Iván. 2001. Erosión marina en el litoral Caribe Colombiano (sector Punta Rey-Turbo): Introducción a sus causas naturales y antrópicas. **EN:** IX congreso latinoamericano sobre ciencias del mar, San Andrés Isla, 16-20 de septiembre.

AYAZO, María Encarnación. 2019. Presidenta de la Junta de Acción Comunal de la vereda Palmares Cenizosa. Se identificó con la cédula N° 34.985.871. Consentimiento Informado.

BAMBANG P. I, HANDOKO T. W, SUNARDY, E., HADI, S., and SAWOLO, N., 2012. Mud Volcano and its evolution. In: Earth Sciences, p376-444. Recuperado de: <https://www.intechopen.com/books/earth-sciences/mud-volcano-and-its-evolution> el 4 de abril de 2013.

BARBER, A.J., TJOKROSAPOETRO, S., and CHARLTON, T.R., 1986, Mud volcanoes, shale diapirs, wrench faults and melanges in accretionary complexes, eastern Indonesia: **IN:** Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, v. 70, p. 1729–1741. Consultada en <http://specialpapers.gsapubs.org/content/409/615.abstract> el 4 de abril de 2010.

BEDOYA, G; CORREA, I.D; HERMELIN, M; MEJÍA, L. TORO, M. 2006. Metodología para la elaboración y puesta en marcha del plan de prevención y atención de desastres. Plan municipal de emergencias para municipios costeros. Fondo editorial Universidad EAFIT, Medellín, 96p.

BRICEÑO L.A. and VERNETTE, G. 1992. Manifestaciones del diapirismo arcilloso en el margen Colombiano del Caribe. EN: Geoffs. Colomb. 1:21-30, ISSN 0121-2974. Recuperado: digital.unal.edu.co/index.php/esrj/article/.../31238 el 27 de marzo de 2012.

BRUSTUR, T., STĂNESCU, I., MACALAT, R., MIHAELA, C., 2015. The mud volcanoes from Berca: A significant geological patrimony site of the Bazău Land Geopark (Romania). Geo-Eco-Marina 21/2015. Recuperado del siguiente link: https://www.geoecomar.ro/website/publicatii/Nr.21-2015/21_02_brustur_2015_c4.pdf

CANO, Juan Guillermo, VIVAS, Alberto. 2007. Visita al volcán de lodo de la vereda Palmares Cenizosa- corregimiento de Las Changas. CORPOURABA. Informe Técnico radicado N° 430-08-18-01-0295 del 15 de marzo de 2007. Apartadó. 6p.

CANO, Juan Guillermo. 2006. Visita al corregimiento de San José de Mulatos, municipio de Turbo, a raíz de la erupción del volcán de lodo de la vereda El Volcán, ocurrida el 11 de septiembre de 2006. Informe Técnico N° 430-08-18-01-0909 del 14/06/2006. CORPOURABA. Apartadó. 4p.

CANO, Juan Guillermo. 2010. Visita al corregimiento de Las Platas, municipio de Arboletes, para evaluar situación por evento de erupción del volcán de Lodo de la vereda El Volcán. Informe Técnico N° 400-08-02-01-1956-2010 del 20/10/2010. CORPOURABA. Apartadó. 6p.

CORREA, Iván, VERNETTE, Georges. 2004. Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector arboletes - turbo) costa caribe Colombiana. Bol. Invest. Mar. Cost. Vol.33, N° 1. Santa Marta. Jan/Dec. Consultado en el siguiente Link http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612004000100001.

CASTILLO, Edyta. 2016. Miembro de la Junta de Acción Comunal de la vereda Nueva Esperanza. Se identificó con la cédula N° 32.202.207. Consentimiento Informado.

CHEN, S.C., HSU, S.K., WANG, Y., CHUNG, S.H., CHEN, P.C., TSI, C.H., LIU, C.H., LIN, H.S., LEE, Y.W. 2014. Distribution and characters of the mud diapirs and mud volcanoes off southwest Taiwan. Journal of Asian Earth Sciences N° 92. pp 201-214. Documento Recuperado el 15 de abril de 2016 del siguiente link <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367912013005440>.

CONTRERAS, Adubayne. Comandante del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Turbo. Entrevista personal realizada el 3 de junio de 2016. Consentimiento Informado.

CORPOURABA. 2010. Determinantes Ambientales

DEVILLE, E. P., 2009. Mud volcano systems. **IN**: Chapter 5: Volcanoes: Formation, Eruptions and Modelling. Editors: N. Lewis, A. Moretti, pp95-126. Consultado en www.researchgate.net/publication/286291175

DÍAZ, Manuel Benito. 2007. Entrevista personal, miembro de la Junta de Acción Comunal de la vereda Manuel Cuello. Consentimiento Informado.

DIMITROV, L.I. 2002. Mud volcanoes-the most important pathway for degassing deeply buried sediments. En: Earth-Science Reviews 59. pp49-76. Recuperado el 30 de diciembre de 2010 del siguiente link http://www.io-bas.bg/crimea/Partners/Publications/MV_mip-degasing_ESR.pdf [2011]

DUQUE-CARO, H, 1980. Geotectónica y evolución de la Región Noroccidental Colombiana. Bol. Geol., Ingeominas, 23(3), p. 4-37.

EL COLOMBIANO. 2010. Evalúan situación en Arboletes tras erupción del volcán de lodo. Información en línea Recuperada el 19 de octubre de 2010 en el siguiente link https://www.elcolombiano.com/historico/estallo_volcan_de_lodo_en_arboletes-IEEC_108660

EL TIEMPO. 1992. Cacahual: Aterradora erupción. Archivo digital de Colombia y el mundo. Información en línea recuperada el 20 de enero de 2011 de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-226375>.

EL TIEMPO. 1992. Explota volcán submarino en Urabá. Archivo digital de Colombia y el mundo. Información en línea recuperada el 20 de enero de 2011 de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-226005>.

EL TIEMPO. 2007. La isla del encanto volvió a aparecer después de 5 años. Testimonio de Héctor Garcés. Información en línea recuperada el 20 de enero de 2011 de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-2392276>.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 2008. Dome. The Editors of Encyclopaedia Britannica. Consultada en <https://www.britannica.com/science/dome-geology>.

ERFURT-COOPER, P. 2011. Geotourism in volcanic and geothermal environments: Playing with fire. In Geoh Heritage. 3(3): 187-193, September 2011 https://www.researchgate.net/publication/226188533_Geotourism_in_Volcanic_and_Geothermal_Environments_Playing_with_Fire.

ETIOPE, G., CARACAUSI, A., ITALIANO, F., BACIU, C. 2002. Methane emission from the mud volcanoes of Sicily (Italy). Geoph. Res. Lett., 29/8: p561-564. https://www.researchgate.net/publication/289769838_Methane_emission_from_the_mud_volcanoes_of_Sicily_Italy.

FOWLER, S. R., J. MILDENHALL, and S. ZALOVA, 2000. Mud volcanoes and structural development on Shah Deniz: En: Journal of Petroleum Science and Engineering, N° 28, pp189-206. Recuperado de <http://journals.ohiolink.edu/ejc/search.cgikeywords:%22mud%20flows%22> el 30 de diciembre de 2011.

GEOTEC. 2003. Geología de los cinturones Sinú-San Jacinto Planchas 1.100.000: 50 Puerto Escondido, 51 Lorica, 59 Mulatos, 60 Canaletes, 61 Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 70 turbo y 80 Tierra Alta. Informe I-20024. Recuperado de <http://centrodocumentacion.invemar.org.co/cgi-bin/koha/opac-MARCdetail.pl?biblionumber=29352>.

GÓMEZ, J. Felipe. 2007. Erupción del volcán de lodo de la vereda Palmares Cenizosa del Municipio de Necoclí, Antioquia. INGEOMINAS. Medellín. 15p.

GÓMEZ, J. Felipe. 2007. Activación del diapirismo de lodo en el corregimiento de Damaquiel, municipio de San Juan de Urabá, Antioquia. INGEOMINAS. Medellín. 14p.

GÓMEZ, J., NIVIA, Á, MONTES, N.E., ALMANZA, M.F., ALCÁRCEL, F.A. & MADRID, C.A. 2015. Notas explicativas: Mapa Geológico de Colombia. En: Gómez, J. & Almanza, M.F. (Editores), Compilando la geología de Colombia: Una visión a 2015. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 33, p. 9–33. Bogotá

IGAC-GOBANT. 2007. Mapa de clasificación de tierras por capacidad de uso. Escala 1:500.000.

INGEOMINAS, 1999a. Geología de la plancha 70, San Pedro de Urabá. Escala 1:100.000. Realizada por Geotec Ltda. Base cartográfica tomada de las planchas escala 1:100.000 del IGAC.

INGEOMINAS, 1999b. Geología de la plancha 80, Tierralta. Escala 1:100.000. Realizada por Geotec Ltda. Base cartográfica tomada de las planchas escala 1:100.000 del IGAC.

INGEOMINAS, 1999c. Geología de la plancha 60, Canalete. Escala 1:100.000. Realizada por Geotec Ltda. Base cartográfica tomada de las planchas escala 1:100.000 del IGAC.

INGEOMINAS, 1999. Geología de la plancha 69 Necoclí. Realizada por Geotec. Ltda. Base cartográfica tomada de las planchas escala 1:100.000 del IGAC, 1976.

INGEOMINAS. 2003. Geología de los cinturones Sinú-San Jacinto: Planchas 50 Puerto Escondido, 51 Lórica, 59 Mulatos, 60 Canalete, 61 Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planetarica, 79 Turbo, 80 Tierralta, Escala 1:100.000. Memoria Técnica Geotec Ltda. Bogotá. 225p.

INGEOMINAS. 2003. La erupción del volcán de lodo de la vereda Nueva Esperanza, corregimiento de Mello Villavicencio, municipio de Necoclí, Antioquia. Bogotá 5p.

INGEOMINAS. 2004. Geología de los cinturones del Sinú, San Jacinto y borde occidental del valle inferior del Magdalena Caribe Colombiano escala 1:300.000. **EN:** Informe de Subdirección de Geología Básica elaborado por: Georgina Guzmán Ospitia, Ernesto Gómez Londoño, Beatriz Elena Serrano Suarez. Bogotá 128p. Documento técnico consultado el 15 de abril de 2010 en: dc389.4shared.com/doc/H55koI4B/preview.html.

INGEOMINAS, IGAC. 2005a. Geomorfología de la plancha 79 Turbo. Escala 1:100.000. Bogotá.

INGEOMINAS, IGAC. 2005. Geomorfología de la plancha 69 Necoclí. Escala 1:100.000. Bogotá.

INGEOMINAS, IGAC. 2005. Geomorfología de la plancha 59 Mulatos. Escala 1:100.000. Bogotá.

KALINKO, M., 1964. Mud volcanoes, reasons of their origin, development and fading. VNIGRI 40, 30–54.

KOPF, A. 2002. Significance of mud volcanism. **IN:** Reviews of Geophysics N° 40 (2). Consultada en seismo.berkeley.edu/~manga/kopf2002.pdf el 4 abril de 2004. 1-52p.

LÓPEZ, Ballesta Eduardo Esteban. 2016. Miembro de la Junta de Acción Comunal del corregimiento Alto de Mulatos. Entrevista personal realizada 3 de junio de 2016. Consentimiento informado.

LÓPEZ, Libardo. 2017. Presidente de la Junta de Acción Comunal identificado con cédula N° 71.937.935. Consentimiento Informado.

LUNA, Azael y MERCADO, Temistocle. 2007. Miembros de la Junta de Acción Comunal de la vereda Vena de Palma. Entrevista personal realizada 15 de marzo de 2007. Consentimiento informado

MADONIA, P., GRASSA, F. CANGEMI, M., and MUSUMECI, C. 2011. Geomorphological and geochemical characterization of the 11 August 2008 mud volcano eruption at S. Barbara Village (Sicily, Italy) and its possible relationship

with seismic activity. IN: Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 1545–1557. Consultada en: <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/1545/2011/doi:10.5194/nhess-11-1545-2011>.

MANGA, M. and BONINI, M 2012. Large historical eruptions at subaerial mud volcanoes. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 3377–3386, 2012. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/3377/2012/.

MAZZINI, A 2009. Mud volcanism: Processes and implications. IN: Editorial, Marine and Petroleum Geology 26 (2009) 1677–1680. <http://seismo.berkeley.edu/~manga/mazzini2009.pdf>

MAZZINI, A., SVENSEN, H., AKHMANOV, G., ALOISI, G., PLANKE, S., MALTHERSØRENSEN, A., AND ISTADI, B. 2007. Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia. **IN:** Earth and Planetary Science Letters 261 pp375–388. Información en línea recuperada el 20 de diciembre de 2010 en https://folk.uio.no/adrianom/et%20al%20Mazzini%20et%20al/Mazzini_EPSL_07.pdf.

MEJÍA, Lázaro. 2006. Entrevista personal. Consentimiento informado.

MILKOV, A.V., 2000. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates. Marine Geology 167, p29–42. Recuperado del siguiente link <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025322700000220> el 20 de enero de 2007.

MOSQUERA-MACHADO, S, LALINDE-PULIDO, C, SALCEDO-HURTADO, E & MICHETTI, A.M. 2016. Ground effects of the 18 October 1992, Murindó earthquake (NW Colombia), using the Environmental Seismic Intensity Scale (ESI 2007) for the assessment of intensity. Información en línea recuperada de <http://sp.lyellcollection.org/> at Pennsylvania State University.

NECOCLÍ, 2000. Plan ordenamiento territorial. Fase Diagnóstico. Municipio de Necoclí. 134p.

NOVOA, Nelson. 2006. Entrevista personal, miembro de la Junta de Acción Comunal del corregimiento La Candelaria. Consentimiento informado.

PEÑA, Adela. 2006. Entrevista personal, miembro de la Junta de Acción Comunal de la vereda El Volcán. Consentimiento informado.

PEREZ, A.L. 2010. Recorrido de campo alrededor del corregimiento Las Changas.

PAGE, W.D. 1986. Seismic Geology and Seismicity of Northwest Colombia. Integral Ingenieros Consultores, Medellín (Colombia), ISA, Medellín (Colombia) and Woodward-Clyde Consultant, San Francisco, Internal Report, 156 (inédito).

PARRA, Eduardo. 1994. Reconocimiento geológico a los volcanes de lodo de Cacahual y Alto de Mulatos. Municipio de Turbo-Antioquia. Ingeominas, Unidad Operativa Medellín. 8p.

PARRA, Eduardo. 2004. La actividad del volcán de lodo de la vereda Palmares Cenizosa, Corregimiento de Las Chingas, Municipio de Necoclí, Antioquia. Informe Interno, INGEOMINAS, Medellín, 9p.

PÉREZ, E., Marcial Enrique. 2011. Presidente de la Junta de Acción Comunal de la vereda Cacahual. Entrevista personal realizada 8 de julio de 2011. Consentimiento informado.

PLUMLEE, G.S., CASADEVALL, T.J., WIBOWO, H.T., ROSENBAUER, R.J., JOHNSON, C.A., BREIT, G.N., LOWERS, H.A., WOLF, R.E., HAGEMAN, P.L., GOLDSTEIN, H., ANTHONY, M.W., BERRY, C.J., FEY, D.L., MEEKER, G.P., and MORMAN, S.A., 2008, Preliminary analytical results for a mud sample collected from the LUSI mud volcano, Sidoarjo, East Java, Indonesia: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1019. Recuperado de: http://pubs.usgs.gov/of/2008/1019/pdf/OF08-1019_508.pdf

ROBLEDO, Andrés Felipe. 2012. Miembro de la Junta de Acción Comunal de la vereda Montecristo. Entrevista personal realizada 23 de octubre de 2012. Consentimiento informado.

ROBERTS, KATIE, SARAH. 2011. Mud Volcano Systems: Structure, Evolution and Processes, Durham theses, Durham University. Available at Durham E-Theses Online <http://etheses.dur.ac.uk/752/>.

ROJAS, Sánchez Luz Marina. 2016. Miembro de la Junta de Acción Comunal del corregimiento Alto de Mulatos. Entrevista personal realizada 3 de junio de 2016. Consentimiento informado.

ROSS, Stephanie. 2008. Soil characteristics of mud from the Indonesian mud volcano "LUSI" 18p. Recuperado el 28 de diciembre de 2011 de http://nature.berkeley.edu/classes/es196/projects/2008final/Ross_2008.pdf.

SAN JUAN DE URABÁ. 2.000. Plan de Ordenamiento Territorial. Fase Diagnóstico. Municipio de San Juan de Urabá. 89p

SAN PEDRO DE URABÁ. 2000. Plan de Ordenamiento Territorial. Fase Diagnóstico. Municipio de San Pedro de Urabá. 75p

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. 2011. Sismicidad Histórica de Colombia. Información en línea recuperada de <http://sish.sgc.gov.co/visor/> el 20 de enero de 2011.

SGC. 2015. Mapa Geológico de Colombia.

TOTO, E., KELLOGG, J.N. 1992. Structure of the Sinu-San Jacinto fold belt an active accretionary prism in the northern Colombia. **IN**: Journal of South American Earth Sciences. Vol 5, N° 2. Pp 211-222. Consultado en web2.geol.sc.edu/agl/userfiles/file/Toto%20and%20Kellogg%201992.pdf. el 2 de diciembre de 2011.

TURBO, 2000. Plan ordenamiento territorial turbo. Fase Diagnóstico. Municipio de Turbo. Turbo. 98p.

VAN RIJN, L.C. 2011. Coastal erosion and control. In: Ocean & Coastal Management. <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/P6-2011A.pdf>

VELÁSQUEZ, Darío. Miembro de la Junta de Acción Comunal del corregimiento Alto de Mulatos. Entrevista personal realizada el 19 de julio de 2006. Consentimiento Informado.

VELEZ, Roy. 2018. Comunicación personal. Septiembre. Consentimiento informado.

VERNETTE, G., MAUFFRET, A., BOBIER, C., BRICEÑO, L., and GAYET, J. 1992. Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian Margin. **IN**: Tectonophysics Vol. 202, ISSN: 0040-1951, 335-349p. Abstract consultado en <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00401951/202/2-4> el 2 de diciembre de 2011.

VIVAS, N., Alberto. 2010. Evento volcánico en la vereda Vena de Palma, corregimiento Las Changas. CORPOURABA. Informe técnico radicado N° 400-06-02-01-953 del 29 de noviembre de 2010. Apartadó. 8p.

VIVAS, N., Alberto. 2011. Bitácora de campo para el volcán de lodo Cacahual. Salida de campo efectuada el 8 de julio de 2011. Apartadó. 2p.

VIVAS, N., Alberto. 2012. Informe Técnico sobre la explosión de un volcán de lodo: a 4,5 km del área urbana del municipio de San Juan de Urabá, en jurisdicción de las veredas Belén y El Coco, margen derecha de la vía que conduce a la Vereda Filo de Venus, corregimiento de San Juancito. Informe Técnico N° 400-08-02-01-924 del 23/10/2012. CORPOURABA. Apartadó. 9p.

VIVAS, N., Alberto. 2016. Informe Técnico de Inspección a erupción volcán de Lodo Nueva Esperanza, municipio de Necoclí, ocurrida el 2/09/2003. Informe Técnico N° 400-01-05-99-25 del 19/02/2016. CORPOURABA. Apartadó. 5p.

VIVAS, N., Alberto. 2016. Informe Técnico de Inspección a erupción volcán de Lodo Alto de Mulatos, municipio de Turbo, ocurrida el 3/06/2016. Informe Técnico N° 400-08-02-01-925 del 3/06/2016. CORPOURABA. Apartadó. 12p.

VIVAS, N., Alberto. 2016. Inspección a erupción volcán de lodo Palmares Cenisoza, municipio de Necoclí. CORPOURABA. Informe técnico radicado N° 400-10-03-01-053 del 3 de marzo de 2016. Apartadó. 10p.

VIVAS, N., Alberto. 2017. Informe Técnico de Inspección a erupción volcán de Lodo Las Platas, municipio de Arboletes. Informe Técnico N° 400-00-02-01-1997 del 21/11/2017. CORPOURABA. Apartadó. 10p.

YUSIFOV, M. 2004. Seismic interpretation and classification of mud volcanoes of the south Caspian Basin, offshore Azerbaijan. Tesis para optar al título de Master en Ciencias. Recuperado el 28 de diciembre de 2011 del siguiente link <http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/2769/etd-tamu>

ZITTER, T.A.C., HUGUEN, C., TEN VEEN, J., and WOODSIDE, J.M. 2006. Tectonic control on mud volcanoes and fluid seeps in the Anaximander Mountains, eastern Mediterranean Sea. **IN** Dilek, Y., and Pavlides, S., Eds., Postcollisional tectonics and magmatism in the Mediterranean region and Asia: Geological Society of America Special Paper 409, p. 615–631. Consultada en <http://specialpapers.gsapubs.org/content/409/615.abstract> el 4 de abril de 2010.