

**EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POTENCIAL DEL VOLCANISMO DE LODO, QUE
INCIDE EN LA PARTE URBANÍSTICA DE LAS ZONAS DE “TURBACO”, “EL
RODEO”, “MEMBRILLAL” y “BAYUNCA” DEL DEPARTAMENTO DE BOLIVAR.**



**JESÚS JULIÁN ACEVEDO BALDOVINO
DAYANA LUCIA BERROCAL PITALUA**

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D. T Y C.**

2020

**EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POTENCIAL DEL VOLCANISMO DE LODO, QUE
INCIDE EN LA PARTE URBANÍSTICA DE LAS ZONAS DE “TURBACO”, “EL
RODEO”, “MEMBRILLAL” y “BAYUNCA” DEL DEPARTAMENTO DE BOLIVAR.**

**JESÚS JULIÁN ACEVEDO BALDOVINO
DAYANA LUCIA BERROCAL PITALUA**

Informe de trabajo de grado para aspirar al título de ingeniero civil

**Ing. GUILLIAM BARBOZA MIRANDA, MSc
Director del Proyecto**



Grupo de Investigación:

GEOMAVIT

Línea de Investigación:

Evaluación geotécnica de las geoamenazas que afectan cascos urbanos y áreas rurales.

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D. T Y C.**

2020



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	9
2. CUERPO DE LA MONOGRAFÍA	12
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	12
2.2. ESTADO DEL ARTE	17
2.3. MARCO TEORICO	20
2.3.1. Marco tectónico.....	20
2.3.1.1. Tectónicas en el Caribe	22
2.3.1.2. Amenaza	22
2.3.1.3. Diapirismo de lodo.....	32
2.3.1.4. Diapirismo de lodo en la región de Cartagena	33
2.3.1.6. Volcán de lodo	33
2.3.1.7. Volcanismo de lodo en el Caribe	36
2.3.1.8. Cinturón de San Jacinto	38
2.3.1.9. Cinturón del Sinú.....	38
2.3.1.10. Localización de volcanes de lodo en la costa Caribe	40
2.3.1.11. Características eruptivas.....	41
2.3.2. Seguimiento de los volcanes de lodo estudiados.....	41
2.3.2.1. El Cañaveral.....	42
2.3.2.2. El Rodeo	46
2.3.2.3. Membrillal.....	50
2.3.2.4. El Reposo.....	54
3. CONCLUSIONES.....	59
4. BIBLIOGRAFIA.....	61



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Fabian Hoyos. Direcciones de movimientos de placas tectónicas cerca del territorio colombiano. (Carvajal & Mendivelso, 2017)	20
Ilustración 2. Ubicación del volcán “El Cañaveral” con respecto a la zona urbanística de la vereda Cañaveral. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).	23
Ilustración 3. Panorámica hacia el SW del volcán de lodo del Cañaveral. (Carvajal & Mendivelso, 2017)	23
Ilustración 4. Boca tipo A volcán "El Cañaveral". (Carvajal & Mendivelso, 2017).....	24
Ilustración 5. Boca tipo B volcán "El Cañaveral". (Carvajal & Mendivelso, 2017).....	24
Ilustración 6. Flujo de lodo en boca tipo B del volcán "El Cañaveral". (Carvajal & Mendivelso, 2017)	25
Ilustración 7. Ubicación del volcán "El Rodeo" respecto a la zona urbanística del barrio El Rodeo. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	26
Ilustración 8. Panorámica hacia el SW del volcán de lodo de El rodeo. (Carvajal & Mendivelso, 2017)	26
Ilustración 9. Boca tipo C del volcán "El Rodeo". (Carvajal & Mendivelso, 2017).....	27
Ilustración 10. Boca tipo O del volcán "El Rodeo". (Carvajal & Mendivelso, 2017).....	27
Ilustración 11. Panorámica hacia el NEE del volcán de lodo de Membrillal. (Carvajal & Mendivelso, 2017)	28
Ilustración 12. Boca tipo O del volcán "Membrillal". (Romero, 2019)	29
Ilustración 13. Emanación de gas volcán "Membrillal". (Romero, 2019)	29
Ilustración 14. Volcán de lodo El Reposo, Bayunca. (Carvajal & Mendivelso, 2017).....	30
Ilustración 15. Ubicación volcán “El Reposo” con respecto a la zona urbanística de Bayunca. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)	31
Ilustración 16. Boca tipo B volcán de lodo "El Reposo". (Carvajal & Mendivelso, 2017)	31
Ilustración 17. Boca tipo B volcán "El Reposo". (Carvajal & Mendivelso, 2017).....	32
Ilustración 18. Modelo general del acrecimiento de los prismas sedimentarios de los cinturones Sinú y San Jacinto en el Caribe colombiano. (Carvajal & Mendivelso, 2017)	34



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

Ilustración 19. Modelo esquemático de emplazamiento de los volcanes de lodo en sierras y lomos de presión generados por transpresión en el Caribe central colombiano. (Carvajal & Mendivelso, 2017)	35
Ilustración 20. Diagramas esquemáticos de un volcán de lodo. (Carvajal & Mendivelso, 2017)	35
Ilustración 21. Mapa geomorfológico de la ubicación de los volcanes de lodo del Caribe central colombiano. (Carvajal & Mendivelso, 2017)	37
Ilustración 22. Lineamiento estructural del cinturón de San Jacinto. (Duque, 1980).....	38
Ilustración 23. Distancia que hay entre el volcán de lodo “El Cañaveral” y la población del Cañaveral. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	42
Ilustración 24. Plano de amenazas y riesgos municipales. (Martinez R., 2015).....	42
Ilustración 25. Vista aérea del volcán de lodo “El Cañaveral” desde el año 2004 hasta la actualidad. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	44
Ilustración 26. Curvas de nivel de la zona del volcán de lodo "El Cañaveral". (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	44
Ilustración 27. Área y radio máximo del recorrido histórico alzado por los lodos del volcán de lodo "El Cañaveral". (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	45
Ilustración 28. Áreas de niveles de amenaza del volcán de lodo "El Cañaveral". (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	45
Ilustración 29. Agrietamiento estructural del suelo en la parte exterior de una vivienda en el barrio El Rodeo. (Carvajal & Calderon, 2013).....	46
Ilustración 30. Hundimiento del suelo de vivienda, reflejado en la base de la pared de esta. (Carvajal & Calderón, 2013).....	46
Ilustración 31. Áreas de niveles de amenaza del volcán de lodo de El Rodeo. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	47
Ilustración 32. Radio máximo (239 mts.) alcanzado por los derrames de lodo en todas las imágenes captadas de años anteriores. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)	47
Ilustración 33. Distancias desde las bocas del volcán de lodo de El Rodeo hasta las construcciones cercanas. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	48



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

Ilustración 34. Curvas de nivel del terreno cóncavo donde se encuentra el volcán de lodo de El Rodeo. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	48
Ilustración 35. Bocas identificadas (17), mediante imágenes digitales, del volcán de lodo de El Rodeo. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	49
Ilustración 36. Ubicación de cortes y sondeos eléctricos Verticales en la zona de influencia del volcán "El Rodeo". (Universidad Tecnológica de Bolívar, 2010).....	50
Ilustración 37. Corte geoelectrico en la zona de influencia del volcán "El Rodeo". (CARDIQUE, 2010)	50
Ilustración 38. Vista aérea del volcán de lodo “Membrillal” desde el año 1969 hasta la actualidad. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	51
Ilustración 39. Curvas de nivel volcán de lodo “Membrillal”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	52
Ilustración 40. Áreas de niveles de amenaza del volcán de lodo "Membrillal". (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	52
Ilustración 41. Plano de isoresistividad de zona de emanación de lodo en el volcán "Membrillal". (CARDIQUE, 2013).....	53
Ilustración 42. Erupción del año 1996 volcán “El Reposo”. (Carvajal & Mendivelso, 2017)....	54
Ilustración 43. Flujo de lodo y fracturamiento generado por la erupción del 2012 del volcán de lodo "El Reposo". (Carvajal & Mendivelso, 2017)	55
Ilustración 44. Vista aérea del volcán de lodo “Membrillal” desde el año 1969 hasta la actualidad. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	56
Ilustración 45. Curvas de nivel de la zona del volcán de lodo “El Reposo”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	56
Ilustración 46. Área histórica recorrida por el lodo del volcán de lodo “El Reposo”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	57
Ilustración 47. Áreas de niveles de amenaza del volcán de lodo “El Reposo”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	57
Ilustración 48. Distancia entre las viviendas cercanas y el volcán de lodo “El Reposo”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).....	58



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

RESUMEN

En el presente informe se llevan a cabo diferentes investigaciones, por medio de información secundaria, donde se pretende caracterizar cada volcán a estudiar, para la evaluación de la amenaza potencial en la que estarían expuestas estas zonas cercanas a los volcanes y por ende las personas que habitan en terrenos aledaños. Por lo tanto, podemos decir que la investigación realizada fue de orden descriptiva y no experimental, debido al limitante actual, que es el Covid-19, situación que nos hace prescindir de los estudios de campo.

Con ayuda de la información recopilada sobre el diapirismo de lodo y de los casos específicos de los volcanes de lodo de El Rodeo, Membrillal, El Reposo y El Cañaveral, y su posterior análisis, se pudo evaluar la amenaza potencial generada por los volcanes antes mencionados, en los sectores de “Cañaveral” en Turbaco, “Bajo Grande” en Bayunca, “El Rodeo” y “Membrillal”, estos dos últimos en la zona de expansión urbana del Distrito de Cartagena; luego se alcanzó a conocer la magnitud de la amenaza que representa este fenómeno geológico en el desarrollo urbanístico hacia la zona de influencia de estos volcanes de lodo.

Se logró llegar a varias conclusiones sobre el tema principal y además recomendar a futuros estudios que traten la temática, sobre la manera cómo proceder en este tipo de investigaciones. Es de resaltar que este trabajo recomienda finalmente dirigir atención especial al caso de diapirismo de lodo de la vereda “Membrillal” debido a que su zona activa y de influencia se encuentran invadidas por personas de ese lugar, y tal motivo hace que sea una amenaza latente aún más peligrosa que los otros tres casos. También se invita a que los futuros trabajos investigativos que estudien estos casos realicen trabajo de campo, de manera que se obtenga más información sobre las características de estas estructuras y el fenómeno.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

ABSTRACT

In this report, different investigations are carried out, by means of secondary information, where it is intended to characterize each volcano to be studied, for the evaluation of the potential threat in which these areas near the volcanoes would be exposed and therefore the people who they live in neighboring lands. Therefore, we can say that the research carried out was descriptive and not experimental, due to the current limitation, which is Covid-19, a situation that makes us dispense with field studies.

With the help of the information gathered on mud diapirism and the specific cases of the mud volcanoes of El Rodeo, Membrillal, El Reposo and El Cañaveral, and their subsequent analysis, it was possible to assess the potential threat generated by the above-mentioned volcanoes, in the sectors of "Cañaveral" in Turbaco, "Bajo Grande" in Bayunca, "El Rodeo" and "Membrillal", the latter two in the area of urban expansion of the District of Cartagena; The magnitude of the threat posed by this geological phenomenon in the urban development towards the zone of influence of these mud volcanoes was then known.

It was possible to reach several conclusions on the main topic and also to recommend to future studies dealing with the topic, on how to proceed in this type of research. It is noteworthy that this work finally recommends to direct special attention to the case of mud diapirism of the sidewalk "Membrillal" because its active zone and influence are invaded by people from that place, and that motive makes it an even more dangerous latent threat than the other three cases. Future research studies on these cases are also invited to carry out field work, so as to obtain more information on the characteristics of these structures and the phenomenon.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

INTRODUCCIÓN

El volcanismo de lodo es una manifestación superficial que se presenta como causa del fenómeno natural llamado “Diapirismo de lodo”, que genera levantamientos y fracturas del suelo debido al material arcilloso y a los gases de alta presión que posee en profundidad el terreno (Barrera, 2001). Se ha registrado que en lapsos de tiempo de 15 a 30 años se generan explosiones impetuosas de lodo, pudiéndosele atribuir como amenaza geológica para las conformaciones urbanísticas situadas sobre la superficie de incidencia geológica o en las cercanías (Carvajal J. H., 2010). El tema del presente informe investigativo es la evaluación de la amenaza potencial de los volcanes de lodo localizados en determinados sectores de Turbaco, Bayunca y la zona de expansión urbana del Distrito de Cartagena; con el fin de describir el grado de amenaza que presenta el desarrollo urbanístico hacia la zona de influencia de este fenómeno geológico.

La zona de influencia de los volcanes “El Rodeo” y “Membrillal” está a pocos metros de los habitantes del sector, y estudios anteriores evidencian el deterioro e inestabilidad de las infraestructuras a causa de este fenómeno. Las zonas de expansión de estos volcanes están en constante actividad, evitando la construcción de infraestructura, pues se pueden presentar explosiones súbitas de lodo que afectarían la vida y bienes de la población, así como a la infraestructura existente (Ochoa, 2012).

En el año 2015 las ingenieras civiles Leidy Bautista y Deibys Rada, presentaron como tesis de pregrado ante la Universidad de Cartagena el documento titulado: *Evaluación de la amenaza geológica potencial del volcanismo de lodo en la vereda de Membrillal - distrito turístico y cultural de Cartagena de indias*. El principal objetivo de la investigación fue evaluar de manera particular la amenaza geológica potencial que representa el volcanismo de lodo en Membrillal - Distrito de Cartagena, mediante el análisis de datos obtenidos, bibliografía recolectada y la observación del comportamiento geológico de los otros volcanes de lodo del Caribe central colombiano, con los cuales se compararon posteriormente; todo lo anterior para poder proponer planes de prevención y para el control de desastres. En el mismo, se concluyó que la población



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

de Membrillal está expuesta y es altamente susceptible a expulsiones y emanaciones volcánicas violentas que puede afectar la infraestructura y la población. (Atencio, 2018).

Un estudio realizado por Cristian Herrera y Claudia Díaz en el año 2018, titulado “*Evaluación geológica, geotécnica y ambiental de los fenómenos de volcanismo de lodos en la Costa Caribe Colombiana*”, tuvo como objetivo relacionar las características halladas en las diferentes zonas de la Costa Caribe afectadas por el diapirismo, determinando un patrón de cómo se comportan geotécnica y geológicamente para evaluar posibles amenazas o factores de riesgo de suelos para algunas actividades antrópicas. Los límites deben ser considerados como transicionales y susceptibles de ser ajustados en la medida que el conocimiento del fenómeno aumente (Atencio, 2018).

Teniendo en cuenta la contingencia que afecta a Colombia desde mediados de marzo del 2020, a raíz del Covid-19, y atendiendo el acatamiento de los decretos presidenciales y distritales, además de las directrices impartidas por el señor Fiscal General de La Nación, en los cuales se dictan medidas como la cuarentena y aislamiento social, no fue posible llevar a cabo la recolección de las muestras de lodo necesarias, que servirían para realizar los respectivos estudios que ayudarían a masificar este trabajo de grado y la información científica que se tiene del fenómeno, hasta el momento. Debido a lo anterior se optó por el análisis de información bibliográfica sobre el tema de diapirismo de lodo y sobre los casos particulares de Cartagena de Indias (la provincia de Bayunca, Barrio El Rodeo y la vereda de Membrillal) y del municipio de Turbaco (corregimiento de Cañaveral). La investigación de textos académicos se llevó a cabo en la ciudad de Cartagena de Indias, Bolívar, con el acompañamiento técnico y profesional de los ingenieros Guilliam Barboza Miranda y José Henry Carvajal Perico, expertos en el tema de volcanismo de lodo en el Caribe colombiano.

La ciencia, actualmente no cuenta con procedimientos precisos que permitan modelar exactamente fenómenos naturales como el diapirismo. Por esto, la evaluación de la amenaza que este representa en la mayoría de los casos se realiza combinando datos obtenidos del análisis probabilístico con los hallados por un análisis del comportamiento físico de la fuente generadora,



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

utilizando información de eventos que han sucedido en el pasado. En otras palabras, para poder conocer la probabilidad de que se presente un evento durante un lapso de tiempo, se requiere contar con información y datos acerca del número de eventos que han sucedido anteriormente y de la intensidad con la que se presentaron (Bautista L. A., 2015). Se entiende que con más información que se obtenga del comportamiento geológico de la zona en la cual se encuentra cada volcán de lodo a estudiar, la determinación del grado de amenaza para las personas que habitan en los alrededores será un factor base para la proposición de medidas preventivas y control ante un determinado evento. Los estudios realizados a una determinada zona donde se presenten volcanes de lodo con una alta actividad, funcionan como elemento de control para la predicción del comportamiento de los mismos.

La línea de investigación correspondiente representa el interés de la comunidad científica en comprender los fenómenos naturales a un grado cada vez mayor con el pasar de los años, sumado al hecho de encontrar medidas y soluciones que permitan un equilibrio entre el desarrollo social y el medio ambiente. Las geoamenazas son un factor natural, por lo cual el control completo por parte del hombre llega a ser una idea irracional hasta cierto punto en la actualidad. Lo que es completamente seguro es de la necesidad del hombre de controlar todo aquello con lo cual interactúa, incluyendo el ambiente en el cual habita. El choque entre estas dos ideas es la principal base de todas las investigaciones y estudios que tienen objetivos compatibles con los propuestos, al igual que cierta sintonía con los procesos metodológicos planteados en este documento, para realizar estudios del diapirismo de lodo.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

2. CUERPO DE LA MONOGRAFÍA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El diapiroismo de lodo en la región Caribe es un fenómeno que ha ido aumentando su renombre con el pasar de los años, a través de medios de comunicación, divulgaciones de tipo académicas y otras con motivo de preocupación de las personas que viven su día a día, cercanas a los volcanes de lodo hacia autoridades afines.

A este tema se han dedicado a estudiarlo pocas entidades y personas a nivel nacional, ya que hasta el momento no se presenta con la gran magnitud de riesgo que representa, debido a que aún no ha tenido repercusiones demasiado bruscas como en la realidad si ocurren y pueden estar próximas a ocurrir por el hecho de ser amenazas latentes sin patrón de actividad. Solo académicos de la región, unos cuantos a nivel nacional interesados, algunas universidades alineadas en la investigación que se encuentran en la zona costera y las autoridades competentes a estas manifestaciones del suelo como lo son el Servicio Geológico de Colombia y Cardique, han puesto su atención fija en el estudio de cada volcán de lodo identificado en el cinturón del Sinú, la cual es una línea de rocas de la región costera colombiana que se encuentra desde el golfo de Urabá hasta Barranquilla, que además incluye las zonas marinas de plataforma continental.

Desde el siglo pasado, hace más de dos décadas (en 1998), se encuentran las primeras menciones de uno de los volcanes tratados en esta investigación, por parte del equipo de redacción del periódico nacional “El Tiempo”, en el cual se informa sobre el volcán del Cañaveral y los avistamientos cercanos de las bocas generadas por el diapiroismo de lodo allí presentados.

En el año 2000 el antiguo INGEOMINAS ahora denominado Sistema Geológico de Colombia (SGC) construyó un informe, denominado “Reconocimiento del diapiroismo de lodo al norte del departamento de bolívar y de aguas minerales del municipio de Usiacurí, departamento



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

del atlántico”, en el cual se mencionan tres de los volcanes de lodo que hacen relevancia en ésta investigación como lo son los de El Rodeo, Membrillal y Cañaveral; además estas menciones están caracterizadas con la ubicación de cada volcán, una observación de campo, algunos con antecedentes, un marco geológico en el cual se resume la formación de cada uno, imágenes de manifestaciones in situ de los diapiros de lodo y luego de todo esto se presenta una tabla con datos resultantes, de la examinación del agua de saturación de los lodos, como la conductividad, concentración de sólidos disueltos totales, porcentaje de salinidad, pH y temperatura de cada muestra. En este, acaban por concluir lo que “...Los volcanes de lodo tienen en común las características siguientes: la fuente, ubicada en el complejo lodolítico, asociación a la tectónica, color gris medio a oscuro, emanaciones intermitentes de lodo, agua, gas metano y aceite, erupciones, agua de saturación de alta mineralización y pH por encima de 8. Desde el punto de vista terapéutico y turístico se explota el lodo del volcán El Totumo, con resultados aceptables de acuerdo, a la encuesta realizada...”.

Más adelante, las ingenieras civiles BAUTISTA M. Leidy A. y RADA L. Deibys, presentaron un trabajo de investigación como tesis de pregrado ante la Universidad de Cartagena, en el año 2015. En este, que lleva por título “Evaluación de la amenaza geológica potencial del volcanismo de lodo en la vereda de Membrillal - distrito turístico y cultural de Cartagena de indias”, se describe una investigación mixta que se compone de una exploratoria y descriptiva en el volcán de lodo de la vereda de Membrilla, que es tenido en cuenta en el presente trabajo. También tienen como finalidad principal “determinar los factibles escenarios de riesgo potencial con base a comparación del comportamiento geológico de los diferentes volcanes de lodo del Caribe colombiano, para elaborar planes de prevención y control de desastres” y de este propósito pudieron definir que la población de Membrillal es altamente vulnerable por su ubicación sobre el domo del volcán de lodo de esa zona. De esta investigación se utiliza información técnica que obtuvieron al ensayar y observar muestras de lodo del sitio en cuestión, y así, se enriquece el estudio que se presenta en este trabajo investigativo.

Para el año 2017, el Sistema Geológico Colombiano, publica un documento de colección especial llamado “VOLCANISMO DE LODO DEL CARIBE CENTRAL COLOMBIANO” y



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

consta de parte 1 y parte 2, siendo estas “Características del volcanismo de lodo” y “Catalogo de volcanes de lodo” respectivamente. Teniendo como Tomado y modificado de Google Earth principales a los geólogos Jose Henry Carvajal y Domingo Mendivelso. Este trabajo informativo, es presentado como un resumen de todo lo concerniente a los volcanes de lodo en cuanto a sus descripciones formativas, físicas y químicas de los diapiros, la manera en la que trabajan dentro del suelo, las ubicaciones de ellos, fotografías a través del tiempo y entre otros datos más sobre ellos. Todo lo anterior es de gran utilidad para los Tomado y modificado de Google Earth de esta monografía, ya que, en el especial de los volcanes, además de poder adquirir información de gran relevancia sobre el tema, también se encuentran caracterizaciones de los volcanes de El Rodeo, Membrillal y El Cañaveral, siendo esto último una ayuda importante para el progreso de esta investigación. Gracias a este trabajo del SGC de manera oficial, queda el tema de los volcanes de lodo en el Caribe colombiano propenso a interés de las personas que antes no encontraban más que unas reseñas sobre el tema y cubrimientos periodísticos en zonas de actividad volcánica de estos.

En la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, se elabora un documento por parte de HERRERA A. Cristian y DÍAZ M. Claudia el cual titulan “EVALUACIÓN GEOLÓGICA, GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL DE LOS FENÓMENOS DE VOLCANISMO DE LODOS EN LA COSTA CARIBE COLOMBIANA” y es aceptado en el año 2018. A lo largo de las líneas producidas se percibe que, a manera de informe investigativo, se detallan características encontradas en lugares por ellos estudiados, observando un lineamiento de comportamiento geotécnico y geológico el cual permitiría ubicar posibles diapiros de lodo futuros en otros lugares de similares condiciones, y así evaluar amenazas o factores de riesgo que hay en el suelo para llevar a cabo determinadas actividades antrópicas. Para la obtención de datos de los volcanes de lodo que en esta tesis se estudian, el trabajo de Herrera Y Díaz es de relevancia debido a la información que en el documento exponen, tal como la tabla de litologías para cada zona en donde se encuentran volcanes de lodo y resultados detallados del estudio geoelectrico que realizaron en los suelos donde hallaron volcanismo de lodo y de los que también presentan su posterior análisis.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

En estos informes pasados se hallaron muchas similitudes entre los volcanes a estudiar, gracias a la caracterización de cada uno. Como bien sabemos, todos pertenecen a una zona inestable de la región, dicha zona está formada estructuralmente por la división geológica llamada Cinturón del Sinú, que es un desplazamiento significativo de las capas de este terreno y se ve reflejado en las fallas de la zona, haciendo que rocas del Cretácico y del Plioceno friccionen. (Carvajal, 2013).

Los datos brindados por el Servicio Geológico Colombiano en 2017, permitirán que la evaluación de la amenaza potencial de estos volcanes sea más concreta y se pueda definir en futuros estudios el riesgo al que estarían expuestos los habitantes y las estructuras que se encuentran en terrenos aledaños a la zona de influencia de los volcanes de lodo de El Rodeo, Membrillal, Turbaco y Bayunca. Datos que son muy puntuales en la caracterización, dándonos a conocer la ubicación de los volcanes, lo cual permitirá medir y relacionar que zonas urbanísticas están más cercanas a la zona de influencia de los volcanes de lodo, es decir, que zona está en más riesgo. Al igual que nos comparte la topografía de cada zona para saber identificar que son terrenos muy susceptibles a fracturas, debido a que su topografía se presta para la extensión lateral de lodo. La evaluación en informes anteriores de la amenaza potencial que generan los volcanes de lodo, se hizo con el fin de evitar posibles actividades antrópicas, como lo son las construcciones, debido a que este fenómeno (diapirismo de lodo) afectaría de manera impetuosa las estructuras y por ende a quienes las ocupan.

En las zonas que se van a estudiar surgen rocas pertenecientes al Cinturón del Sinú que corresponden aproximadamente a 500m de pelagitas y hemipelagitas, lodolitas calcáreas y silíceas, chert y turbitas muy finas del Mioceno superior-Plioceno, que las cubren calizas arrecifales areniscas, arcillolitas y conglomerados con hasta 4000m de espesor aproximadamente. Estas rocas son originarias de las formaciones La popa y Bayunca, cubiertas localmente por sedimentos de precedencia marina, denudacional, fluvial y eólica. Por esto la caracterización de los volcanes “El Rodeo”, “Membrillal”, “El Cañaveral” y “El Reposo”, que nos brinda el Servicio Geológico Colombiano en 2017, muestran que estos volcanes tienen alturas de 60m, 20-25m, 60m y 40-60m respectivamente. Y que poseen diámetros que van desde 800m, el



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

cual tiene el volcán de Membrillal, hasta los 2100 m que tiene el volcán “El Reposo” ubicado en Bayunca. (Carvajal & Mendivelso, 2017).

Uno de los informes más relevantes para los Tomado y modificado de Google Earth de esta monografía es el de “Evaluación geológica, geotécnica y ambiental de los fenómenos de volcanismo de lodos en la costa Caribe colombiana”, de la misma manera que los informes realizados por el geólogo Henry Carvajal, donde caracteriza la actividad eruptiva y describe los factores de amenaza y riesgo geológico de los diferentes volcanes de lodo que hacen parte de la provincia geológica llamada Cinturón del Sinú. Debido a la profundización en el tema y que serán muy útiles a futuros estudios experimentales de estos volcanes.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

2.2. ESTADO DEL ARTE

Los volcanes de lodo están constituidos tanto por el diapirismo de lodo que produce deformaciones en el terreno como por depósitos de lodos causa de erupciones pasadas. Estos se relacionan como cerros en forma de domo con una morfología colinada, cima plana y laderas prominentes. (Carvajal & Mendivelso, 2017).

En el mundo existen aproximadamente 700 volcanes de lodos y Azerbaiyán (país perteneciente a los continentes: Europa y Asia) posee alrededor del 42% de estos volcanes (300 aproximadamente), teniendo un área total de volcanes de lodo de 16.000km con alturas hasta de 200 metros, con un promedio de erupción de cada 20 años en donde estas erupciones han llegado hasta a los 15 metros de alturas. La mitad de los volcanes de Azerbaiyán son submarinos y se encuentran en el Mar Caspio, la otra mitad están en forma de pozos y ocho formaron islas en el Archipiélago de Bakú. Ha habido más de 200 erupciones en 50 volcanes desde 1810, solo el volcán Turaghai hizo erupción 6 veces desde 1941 hasta 1950.

Sin embargo, el volcán de lodo más grande del mundo se encuentra en la ciudad de Sidoarjo, en la isla de Java (Indonesia), este volcán cubrió una extensión del terreno de 12km², llamando a este volcán con la abreviatura de LUSI que significa lodo de Sidoarjo en la lengua indonesia. Desde que se manifestó el 26 de mayo del 2006 no ha dejado de expulsar barro con un ritmo promedio de 10.000m³ diarios. Por medio de estudios realizados por la Universidad de Durham en Reino Unido se determinó que la erupción fue provocada por la perforación del terreno con el fin de explorar este para descubrir la existencia de yacimientos de gas. (Durham, 2007).

Ya que es un riesgo inminente la exploración del subsuelo en busca de gas y petróleo donde este tiene características no aptas y está expuesto a filtraciones de lodo y agua, estas perforaciones del terreno las reforzaron con acero, según los estudios, con el fin de hacerlas seguras, para garantizar así la conservación de estas ante las presiones de agua, gas o petróleo.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

En el volcán LUSI, se perforó una roca caliza presionada por el agua contenida dejando expuesta la parte del pozo que debió ser protegida, entonces al fragmentarse esta roca causó que una mezcla de agua y lodo surgiera hasta la superficie. Por esto Richard Davies profesor de la Universidad de Durham concluyó que la exploración de gas por medio de la industria fue lo que generó la activación de este fenómeno.

La mayoría de los volcanes no duran activos muchos días, pero el volcán LUSI en particular aún está activo y esto permite analizar la evolución de este, siendo esta una ventaja para el estudio de este fenómeno, debido a que en los estudios que se hacen por lo general, los volcanes no están activos o tienen un promedio de actividad de muchos años.

Colombia es un país que se caracteriza por ser geológicamente activo, donde la dinámica tectónica generada por la interacción de la placa del Caribe son el resultado de los rasgos geológicos y el relieve del país, más específicamente la región Caribe, hace más de 150 millones de años, cuenta con alrededor de 300 volcanes de lodos cerca a este y en este. Unos más activos que otros, con fines diferentes, como por ejemplo el volcán del Totumo que se encuentra entre Cartagena y Barranquilla, y el volcán de Arboletes en Antioquia, son volcanes que los han tomado como atractivos turísticos, este último se está viendo expuesto a desaparecer debido a su cercanía con el mar (30m aproximadamente), como es de suponer el mar irá tomando su lugar con el pasar de los años y esta “atracción turística” se verá expuesta ante este suceso.

En cuanto al volcán del Totumo, este en el transcurrir del tiempo se ha vuelto una pieza clave para el estudio de este fenómeno, por los intereses que generó el origen, composición estructural y la dinámica de este, porque al ser turístico crea la percepción en las personas de que los volcanes de lodo se manifiestan de manera tranquila. La causa de esta percepción podría ser por la ubicación de los volcanes de lodo, debido a que la mayoría se encuentran en áreas deshabitadas, en donde los daños provocados por sucesos impetuosos han sido mínimos. (Carvajal, 2013)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

En los estudios que hizo CARVAJAL HENRY en representación del Servicio Geológico Colombiano en 2001, nos muestran que el Volcán del Totumo ha presentado erupciones cada 15-20 años y que la última erupción que se presentó fue en el año 2000, analizando el ámbito en el que se podrían presentar los daños y el riesgo a los que se verías expuestos los turistas que visiten esta “atracción natural”, también para las personas que transiten las vías cercanas.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

2.3. MARCO TEORICO

Existe un punto de triple acción interplacal, localizado en la costa Caribe colombiana, distinguido por el hecho de que la corteza oceánica se subduce en la parte inferior de la corteza continental, lugar en el que las placas “Caribe” y “Nazca”, se topan con la placa “Suramericana” en varias direcciones y a distintas velocidades, además de estar afectada por las placas “Cocos” y “Pacífico”. (Aristizábal, 2009).

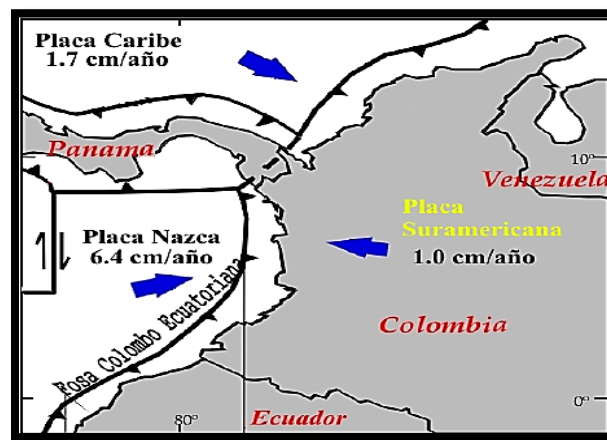


Ilustración 1. Fabian Hoyos. Direcciones de movimientos de placas tectónicas cerca del territorio colombiano. (Carvajal & Mendivelso, 2017)

Siendo los volcanes de lodo una exteriorización de las acciones de las placas tectónicas, lo cual nos lleva a evaluar y analizar la amenaza potencial de los volcanes de lodo en Turbaco, El Rodeo, Membrillal y Bayunca, conociendo la particularidad de cada vereda y de los volcanes de Cartagena y la Costa Caribe, como también los métodos y elementos a utilizar en futuros estudios experimentales. (Bautista & Rada, 2015a).

2.3.1. Marco tectónico

La hipótesis que nos plantean de las placas tectónicas menciona que la litosfera se encuentra constituida por placas rígidas llamadas placas litosféricas o placas tectónicas, que son una



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

especie de composición de casquetes esféricos, de condición fraccionada y rocosa. Tienen un grosor de 100 kms aproximadamente, desplazándose y causando enormes fenómenos geológicos en el mundo. Una característica importante de las placas es su movimiento o dinámica, lo cual permite que la forma de los continentes y océanos cambie usualmente al tiempo, formando volcanes y cadenas montañosas. Una importante porción de área en el planeta (94%) corresponde a un cumulo que constituye siete considerables placas litosféricas: “Euroasiática”, “Pacífica”, “Norteamericana”, “Sudamericana”, “Africana”, “Indoaustraliana” y “Antártica”; la otra parte de la superficie se encuentra establecida por placas más pequeñas como lo son: Las de “Nazca”, “Cocos” y “Filipinas”, ubicadas en el océano pacífico y las placas “Caribe”, “Iraniana, arábica” y “Solani”. (López, 2008).

En las placas litosféricas se presentan desplazamientos convergentes, destructivos o de un comportamiento de cabalgamiento, estos desplazamientos permiten que la placa más densa y pesada que subduce debajo de la más ligera, se consuma en el manto, donde esta última se sitúa sobre la más pesada, llamándosele a esto cabalgamiento. Destruyéndose los límites de las placas por este movimiento, lo cual conllevaría a relacionarse a mayores actividades volcánicas, sísmicas y a formaciones de cordilleras. Los tipos de límites convergentes son 3:

- Convergencia de dos placas de litósfera oceánica
- Convergencia entre una placa de litosfera oceánica y litosfera continental.
- Convergencia de dos placas de litósfera continental.

Al presentarse deslizamiento horizontal del lado opuesto de las placas, no se producirá una nueva litosfera y tampoco se romperá, las zonas donde se presenta lo anterior se llaman bordes pasivos o transformantes, las cuales ocasionan una sismicidad moderada que crea un área de mayor presión, formando rendijas o fracturas de la corteza.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

2.3.1.1. Tectónicas en el Caribe

De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias en el 2001, estos desplazamientos de placas ocasionan distintos fenómenos como la comprensión y cizallamiento, siendo estos producto de la subducción de las placa “Nazca” y del “Caribe” bajo la placa “Sudamericana”, creando la cadena del Caribe o cinturones del Caribe. Así, comprendiendo las causas de la procedencia de las características sedimentológicas y morfológicas de la ciudad de Cartagena. (Bautista & Rada, 2015a)

2.3.1.2. Amenaza

Las amenazas son eventos colosales o intensos en el ambiente natural, puede que este sea geológico, hidrológico o atmosférico, así como las erupciones volcánicas, las inundaciones, los terremotos, entre otros. Las amenazas también pueden ser provocadas por el hombre, afectando desfavorablemente la vida humana, estructuras o actividades al nivel de producir daños a la humanidad, llegando a causar pérdidas humanas. (Bautista & Rada, 2015a)

2.3.1.2.1. Turbaco (Cañaveral)

Ubicado a 1 km al noroeste del área urbana del municipio de Cañaveral, es una colina en forma de cúpula de 60 m de altura y 1600 m de diámetro que limita externamente con una artesa sinclinal bordante. Tiene un cráter de canal pronunciado de 500 m de diámetro, dentro del cual hay cuatro tanques de lodo en forma de cono tipo A y B de 2-6 m de diámetro y 2-3 m de altura y con 40 bocas de 60 cm donde el lodo es gris, viscoso a acuoso y flujos de gas, Con un tipo de arcilla que posee caolinita entre 20 y 40%, ilita y una mínima cantidad de clorito entre 3-10% y emana 3 tipos de gas como aire, metano (CH₄) y dióxido de carbono con en cantidades de 97,96%, 1,94% y 0,10% respectivamente. (Carvajal & Mendivelso, 2017).



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.



Ilustración 2. Ubicación del volcán “El Cañaveral” con respecto a la zona urbanística de la vereda Cañaveral. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).



Ilustración 3. Panorámica hacia el SW del volcán de lodo del Cañaveral. (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.



Ilustración 4. Boca tipo A volcán "El Cañaveral". (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Ilustración 5. Boca tipo B volcán "El Cañaveral". (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.



Ilustración 6. Flujo de lodo en boca tipo B del volcán "El Cañaveral". (Carvajal & Mendivelso, 2017)

2.3.1.2.2. El Rodeo

Este volcán se encuentra al sureste de Cartagena de Indias. Consta de dos zonas dómicas, alargadas en Dirección NE, con un diámetro promedio de 1200 m y altura de 60 m. En la parte superior de la estructura principal se encuentra un cráter de 300 m de diámetro, donde se ubican aproximadamente 60 bocas tipos C y O, de 20-60cm de diámetro, donde fluyen los lodos grises de arcilla gris. Se informan dos eventos eruptivos: uno a finales de 2012 y otro el 17 de febrero de 2013, con una extrusión global de 15,560 m³ de lodo, constituido por 3 tipos de arcillas como son la caolinita, esmectita e illita; emitiendo aire en un 64,74%, metano en un 32,82% y dióxido de carbono en un 0,43%. (Carvajal & Mendivelso, 2017).



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

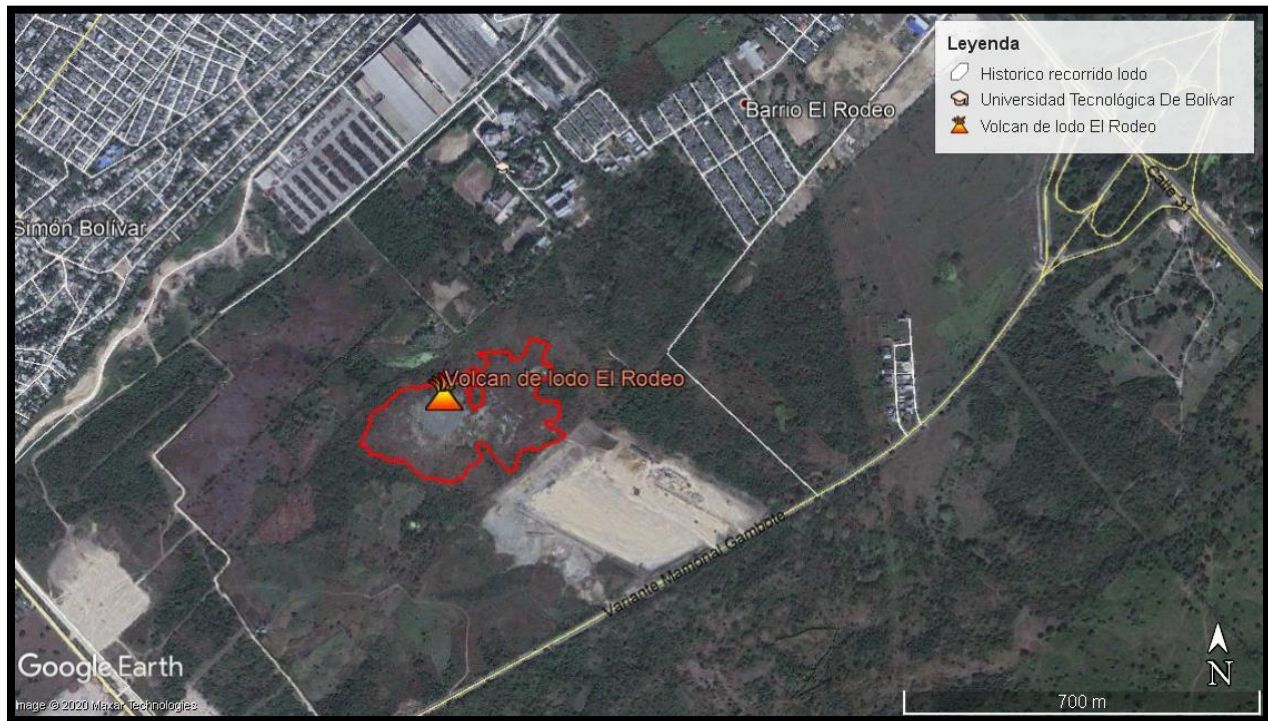


Ilustración 7. Ubicación del volcán "El Rodeo" respecto a la zona urbanística del barrio El Rodeo. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Ilustración 8. Panorámica hacia el SW del volcán de lodo de El rodeo. (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.



Ilustración 9. Boca tipo C del volcán "El Rodeo". (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Ilustración 10. Boca tipo O del volcán "El Rodeo". (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

2.3.1.2.3. Membrillal

Con base al Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias en 2001, Membrillal está catalogado como un área rural que limita con la variante de Mamonal y la periferia de la ciudad de Cartagena de Indias, en la cual se pretende impulsar el crecimiento agro-industrial. (Bautista & Rada, 2015b). Esta vereda está localizada justamente encima de un volcán de lodo producto del fenómeno “diapirismo de lodo” el cual forma parte de la región Caribe Colombiana. Por esto, este suelo es no apto para el uso urbano. (Puertas, 2001)

El volcán de lodo “Membrillal” posee una estructura domica de un diámetro que está entre 800 y 100m, y una altura que está entre 20 y 25m. Conformado por bocas tipo O de 10-30cm. Las cuales se encuentra en una cancha perteneciente a esta zona, en donde los habitantes conviven con el fenómeno comúnmente. (Carvajal & Mendivelso, 2017).



Ilustración 11. Panorámica hacia el NEE del volcán de lodo de Membrillal. (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.



Ilustración 12. Boca tipo O del volcán “Membrillal”. (Romero, 2019)



Ilustración 13. Emanación de gas volcán “Membrillal”. (Romero, 2019)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

2.3.1.2.4. Bayunca (El Reposo)

Bayunca, provincia de Cartagena – Bolívar que se encuentra a unos 20km de distancia de esta, es una zona que posee hasta 3 volcanes de lodo identificados por el Servicio Geológico Colombiano, los volcanes “Ierbabuena”, “Don Juan” y “El Reposo”; este último siendo uno de los volcanes a estudiar en esta monografía, el cual se encuentra en una zona colinada de ondas delicadas a menos de 100m sobre el nivel del mar.(Carvajal, 1996).

El volcán de lodo “El Reposo” tiene un diámetro de 2100m y una altura entre 40 y 60m, con bocas identificadas por el Servicio Geológico Colombiano de tipo A, B y O. Compuesto por 3 tipos de arcilla como lo son la caolinita, esmectita e illita; donde se emiten gases como el metano en un 47,28% y dióxido de carbono en 0,56%. (Carvajal & Mendivelso, 2017).



Ilustración 14. Volcán de lodo El Reposo, Bayunca. (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.



Ilustración 15. Ubicación volcán “El Reposo” con respecto a la zona urbanística de Bayunca. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Ilustración 16. Boca tipo B volcán de lodo "El Reposo". (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.



Ilustración 17. Boca tipo B volcán "El Reposo". (Carvajal & Mendivelso, 2017)

2.3.1.3. Diapirismo de lodo

El diapirismo de lodo es un fenómeno natural que se basa más que todo en una sucesión de empujes de materiales arcillosos de propiedad plástica, en los que se genera una presión a profundidad. (Kopf, 2002). Comúnmente el diapirismo es salino, pero también puede haber diapirismo de lodo o arcillas plásticas como en Turbaco, El Rodeo, Bayunca y Membrillal. Siendo los diapiros una masa de limos, de lodo o sal, y gases que salen a la superficie a través de las rocas, quebrándolas o por un proceso de fallas y fracturas que nace por causa de este suceso, trasladándose desde una zona de alta presión a una zona de baja presión, por efecto de la diferencia de densidades entre estos materiales de baja densidad como es el lodo y la superficie de materiales de una gran densidad como los limos, las arenas y las gravas, el diapirismo es aquel que produce las alteraciones estructurales como deslizamiento de cuerpos sedimentarios. (Roqué i Pau & Brusi, 1998).



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

En el momento que el material diapirico emanado del suelo, logra encontrarse cerca de la superficie, se conformarán domos diapiricos, que se alinearan dependiendo de las falla por donde ascendieron. Es de esa manera como se origina el volcán de lodo, que es un lugar donde se expulsa el lodo a la superficie ya sea por grietas del suelo o conductos pocos definidos. (Bautista & Rada, 2015b).

Las características de los diapiros están muy vinculadas con la acumulación, con el suministro del material diapiricos y del efecto de extensión. (O” Brien, 2007). A pesar de que este fenómeno tiene lapsos largos en cuanto a manifestaciones eruptivas violentas, dadas cada 20 o 30 años aproximadamente.

2.3.1.4. Diapirismo de lodo en la región de Cartagena

Al ser el diapirismo un fenómeno donde se presentan interacciones tectónicas y sedimentarias, este se vincula con la capacidad que tiene la combinación de materiales finos como lo son la arcilla y el lodo de menor densidad, pero con un mayor contenido de gases. Lodos diapiricos producidos por una formación geológica, la cual fue identificada a mitad del siglo XX, donde designaron al lineamiento de Bolívar como una manifestación estructural importante. (Temporal, 2006). Estos diapiros de la región de Cartagena forman parte de la estructura geológica llamada Cinturón del Sinú, al igual que sus zonas más cercanas, una de ellas es el municipio de Turbaco, Bolívar. (Puertas, 2001).

2.3.1.6. Volcán de lodo

Los volcanes de lodo son manifestaciones externas que se presentan como consecuencia del fenómeno diapirismo de lodo, estando estos vinculados con la destrucción progresiva de acumulaciones de hidrocarburos en profundidad. (Hernandez & Pinzon, 2015). Los volcanes de lodo siendo cerros que poseen una forma cómica, adquieren una morfología colinada de laderas



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

convexas y cima relativamente plana o con forma de artesa, a causa de la deformación del terreno a medida que se va presentando el empuje vertical de materiales expulsados por grandes presiones de gases y confinados a mucha profundidad, o también debido a la acumulación de lodos por pasadas erupciones. (Carvajal & Mendivelso, 2017)

Esta manifestación geológica surge en Colombia desde la zona de Barranquilla hasta el Golfo de Urabá, relacionándose tanto como con áreas marinas como con áreas continentales, denominándolo Cinturón del Sinú. (Cubillos, 2007). Hay volcanes de lodo en la costa Caribe Colombiana que se forman encima del lodo consolidado con bloques y gravas de 1m aproximadamente y que poseen una forma de domo con inclinaciones de 15° a 20°, estos volcanes de lodo están rodeados de material arcilloso gris oscuro, con bloques de arenisca, cuarzo, feldespatos, arcillolitas, limolitas y calizas, los cuales se caracterizan por ser susceptibles al de fracturamiento que genera la expansión de los gases mediante su subida a la superficie. (Bautista & Rada, 2015)

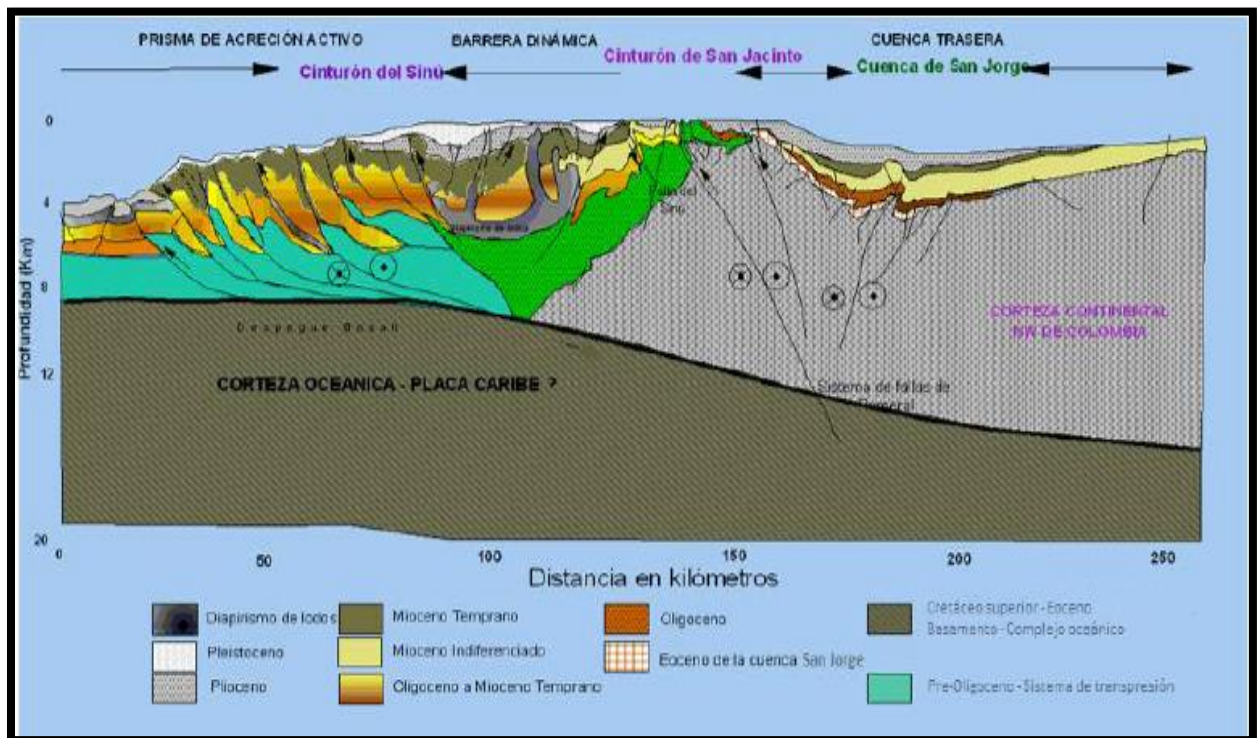


Ilustración 18. Modelo general del crecimiento de los prismas sedimentarios de los cinturones Sinú y San Jacinto en el Caribe colombiano. (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

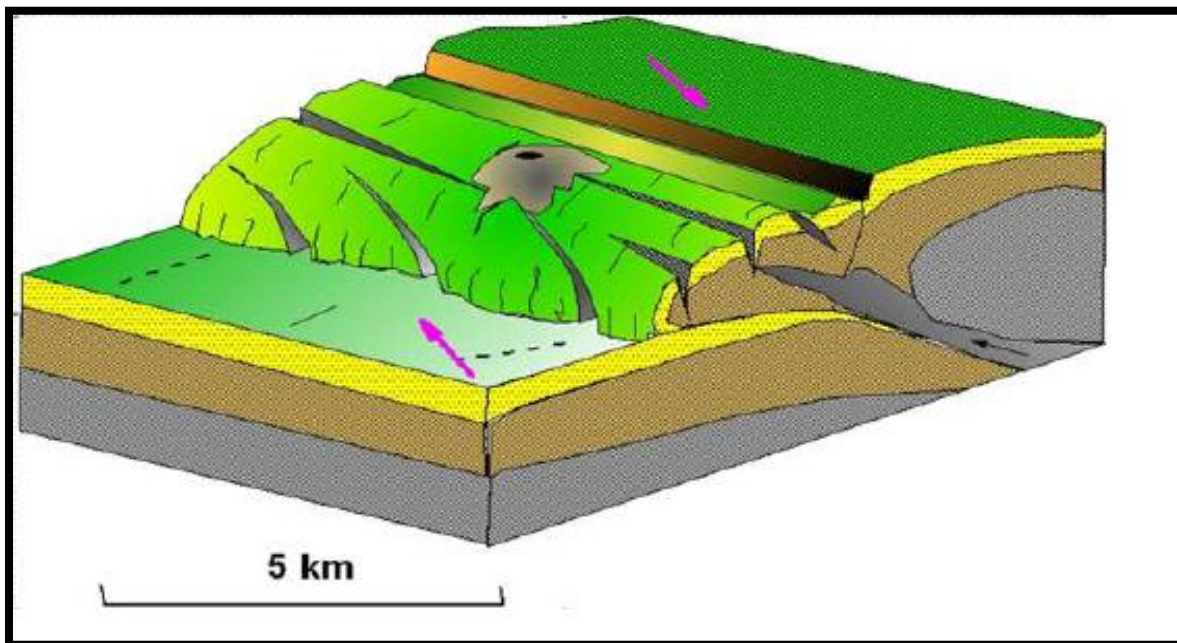


Ilustración 19. Modelo esquemático de emplazamiento de los volcanes de lodo en sierras y lomos de presión generados por transpresión en el Caribe central colombiano. (Carvajal & Mendivelso, 2017)

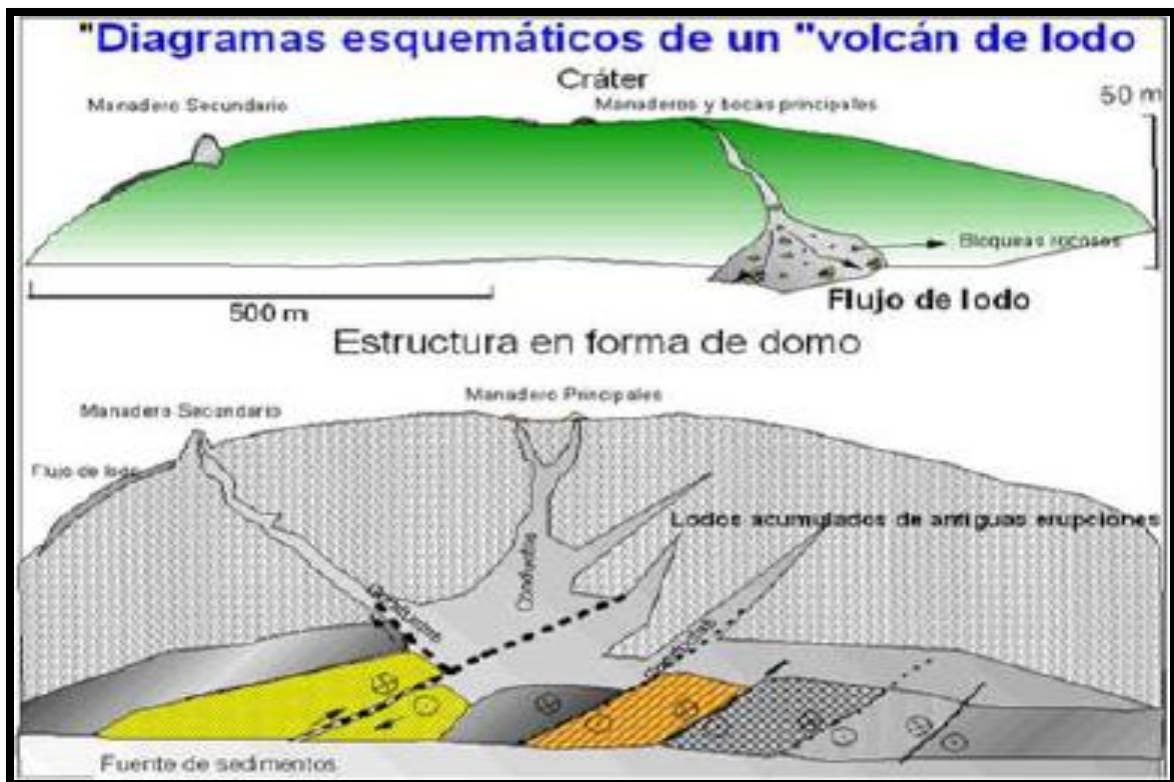


Ilustración 20. Diagramas esquemáticos de un volcán de lodo. (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

2.3.1.7. Volcanismo de lodo en el Caribe

La distribución de áreas de la región del Caribe Colombiano se ha dado debido a sus características estructurales, litológicas y geológicas; donde estas áreas le atribuyen a la línea costera una forma de ondas entrantes y salientes. La distribución estructural, litológica y geológica de la región del Caribe Colombiano comprende dos grandes zonas geológicamente diferentes: Una zona estable o de plataforma y una zona inestable. La zona estable comprende cenagosos y áreas planas del valle inferior del Río Magdalena, conformada por una corteza continental no plegada, la cual siempre está siendo movida por una zona tectónica de bloques. (Carvajal et al., 2010).

La zona inestable o geosinclinal está ubicada al occidente y esta limita con el lineamiento de la falla de Romeral, que está formada por un par de elementos estructurales superiores denominados Cinturón fragmentado de San Jacinto y Cinturón del Sinú que son causados por la convergencia de las placas del Caribe y la margen noroccidental de la placa suramericana. Correspondiendo a dos prismas de acrecimiento como consecuencia de la interacción convergente de hace aproximadamente 36 millones de años que presentaron las placas Caribe y suramericana dadas en el Eoceno – Oligoceno. (Pelgrain, 2007).

A continuación, un mapa geomorfológico de la ubicación de los volcanes de lodo que se encuentran identificados hasta el momento en la región del Caribe Colombiano, realizado y modificado por el geólogo Carvajal Henry.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

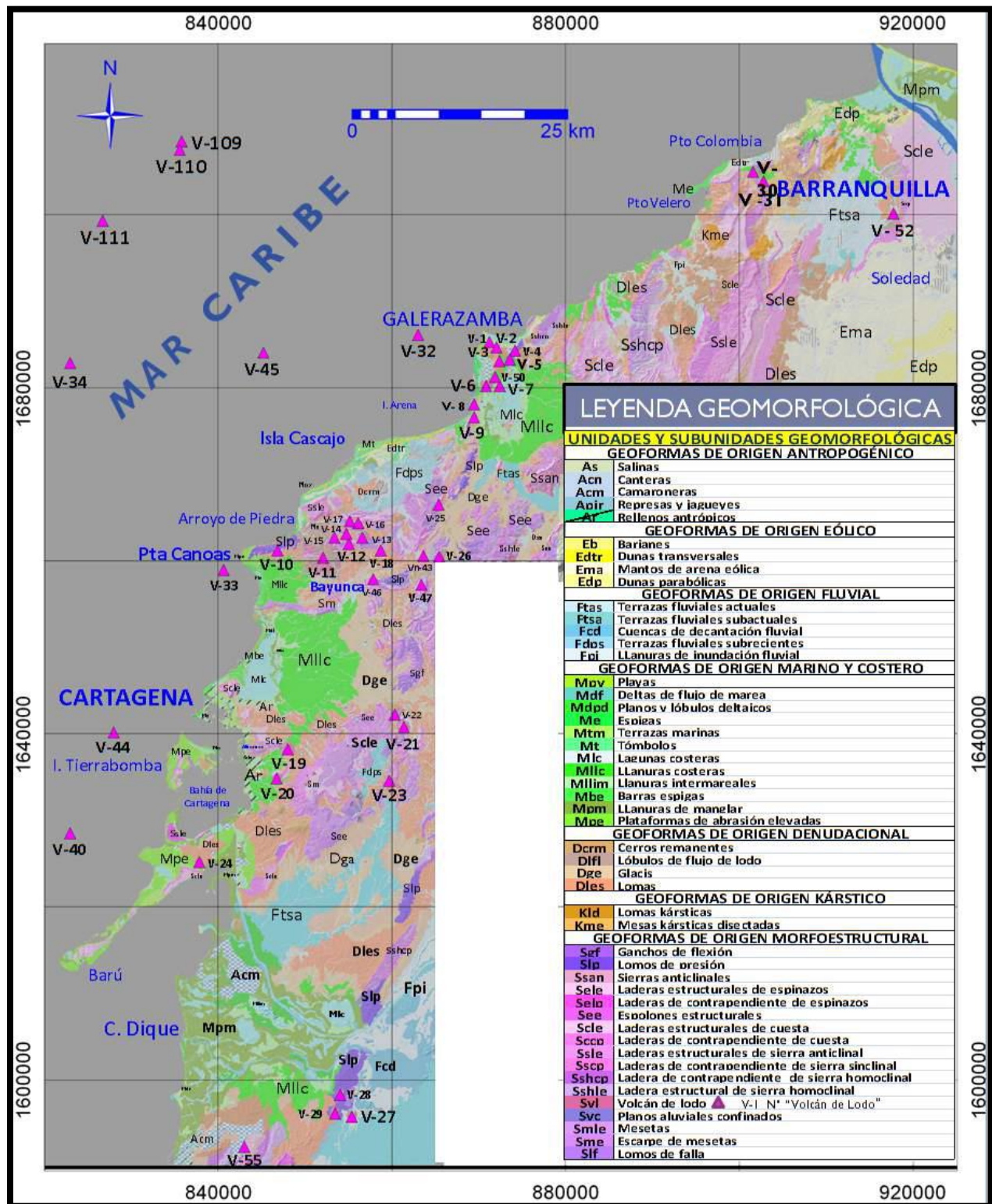


Ilustración 21. Mapa geomorfológico de la ubicación de los volcanes de lodo del Caribe central colombiano. (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

2.3.1.8. Cinturón de San Jacinto

También llamado “Cinturón Fragmentado de San Jacinto”, está ubicado cerca de la plataforma y contiene tres unidades estructurales que no son muy preponderantes topográficamente, llamadas de norte a sur como los anticlinorios de San Jerónimo, San Jacinto y Luruaco. (Duque, 1980). Limita al oeste con el Lineamiento del Sinú, y al este con el denominado Lineamiento de Romeral. Esta formación estructural ha sido separada en dos subregiones determinada por mostrar sucesiones estratigráficas, especialmente en el intervalo Eoceno medio-Mioceno inferior. (Duque, 2008).

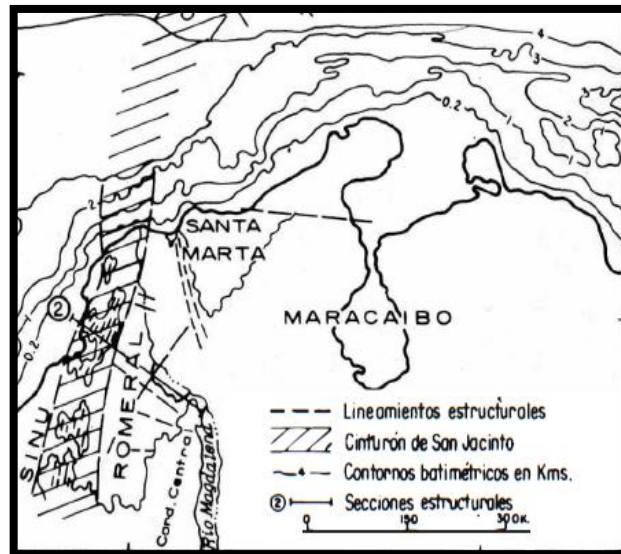


Ilustración 22. Lineamiento estructural del cinturón de San Jacinto. (Duque, 1980)

2.3.1.9. Cinturón del Sinú

Llamado también Bloque Tectónico de Turbaco en la parte del norte, (Reyes y Clavijo, 2008) es una formación estructural que va desde el golfo de Urabá hasta Barranquilla, comprendiendo áreas continentales y submarinas. Donde en el área costera se divide en dos sectores por el mar; uno de estos sectores es llamado Sinclinorio de Abibe y se encuentra al sur, el otro es llamado Anticlinorio de Turbaco y se encuentra al norte. En el Cinturón del Sinú son muy habituales los volcanes de lodo, el cual tiene una secuencia sedimentaria de aproximadamente 8 Km de espesor. (Duque & Castro, 2008). Está ubicado paralelamente al occidente del Cinturón de San



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

Jacinto de su lado sur, pero rota su ubicación hacia el noreste de la región de Cartagena, por motivo de fallas transcurrentes o de rumbo de dirección noreste-sureste. (Bautista & Rada, 2015a).

En el Cinturón del Sinú ubicado al costado oriental de Cartagena, se encuentran rocas pertenecientes a las formaciones de Arjona, Bayunca, Rotinet, Arroyo Grande y La Popa. Al igual que el Anticlinorio de Turbaco, que se encuentra a los alrededores de Cartagena y en un área comprendida entre Galerazamba y Barranquilla. (Carvajal, 2010).

En las rocas del Cinturón del Sinú es muy común que se encuentren rocas de tipo turbidícas y pelágicas, aquí se localizan los volcanes de lodo y los domos causa del fenómeno Diapirismo de Lodo. Los volcanes de lodo de esta zona se reconocen por geofomas de Índole cónico-achatada, las cuales poseen un radio de 500m aproximadamente, con diferentes bocas en la parte más alta de la estructura, con variedad de tamaños que van desde los 20 cm a los 80 m de diámetro. De las que usualmente surgen burbujas acompañadas de pequeñas cantidades de lodo causadas por la expulsión de gas metano. (Bautista & Rada, 2015b).

2.3.1.10. Localización de volcanes de lodo en la costa Caribe

Con base a informes de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá en 2008 en el primer lugar se encuentra Córdoba con el mayor conjunto de volcanes de lodo ubicados específicamente en la ciudad de Montería y al Noroccidente de Antioquia el cual cuenta con 47 sitios identificados hasta la momento, en segundo lugar está la Ciudad de Cartagena con 20 lugares repartidos en la región de Bayunca- Arroyo piedra, Galerazamba, en Turbaco - Cañaveral, en Santa Catalina, al Noreste de Clemencia, en Flamenco y loma Bonita al sur del canal del Dique, y al Suroccidente dela ciudad de Cartagena como los volcanes de Membrillal. (Bautista & Rada, 2015b).



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

2.3.1.11. Características eruptivas

La explosividad de los volcanes de lodo va a depender en gran parte de la concentración y el tipo de gas que emitan, al hacer contacto con el aire. (Carvajal & Mendivelso, 2017). Los volcanes de lodo tienen un flujo de lodo pasivo, eventual y con una recurrencia que aún no está establecida y que se estima que es de más o menos cada 20 a 30 años en promedio según estudios anteriores, los volcanes de lodo presentan erupciones violentas de lodo y bloques de roca fracturada probablemente por causa del esparcimiento de los gases a medida que estos llegan a la superficie, siendo estas erupciones son una gran amenaza y riesgo para las personas que habiten en el lugar (Bautista & Rada, 2015a), como en el caso de los terrenos estudiados en esta monografía (Turbaco, El Rodeo, Membrillal y Bayunca), donde las zonas urbanísticas de “El Rodeo” y “Membrillal” son las más afectadas, debido a su mayor aproximación a la zona de influencia de los volcanes de lodo en el área.

Los volcanes que han presentado erupciones violentas están ligadas a las fallas de cabalgamiento, en donde se ve que estas manifestaciones están relacionadas con las fallas geológicas del terreno. (Bautista & Rada, 2015b).

2.3.2. Seguimiento de los volcanes de lodo estudiados

En cuanto a los volcanes que estamos estudiando en esta monografía, la recopilación de información secundaria también nos lleva a conocer sus erupciones pasadas y a ver como el volcanismo de lodo se ha manifestado, expandiéndose en estas zonas; para plantear recomendaciones del manejo de la metodología para estudios experimentales futuros y para prevenir a los habitantes de terrenos aledaños de posibles desastres causados por este fenómeno. La mayoría de información recopilada han sido informes hechos por el Servicio Geológico Colombiano, que ha estado monitoreando estos volcanes de lodo en el transcurrir del tiempo, para realizar informes detallados sobre estos volcanes.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

2.3.2.1. El Cañaveral

El volcán de lodo “El Cañaveral”, se encuentra en una zona de alta actividad diapírica según los planos de amenazas y riesgos del municipio de Turbaco.



Ilustración 23. Distancia que hay entre el volcán de lodo “El Cañaveral” y la población del Cañaveral. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)

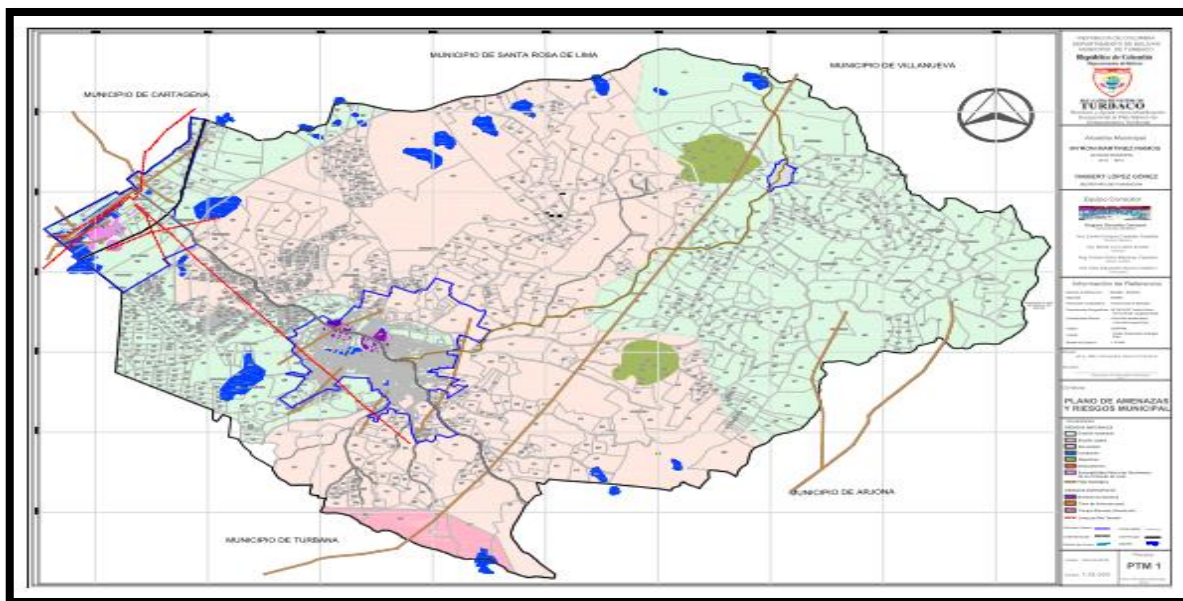
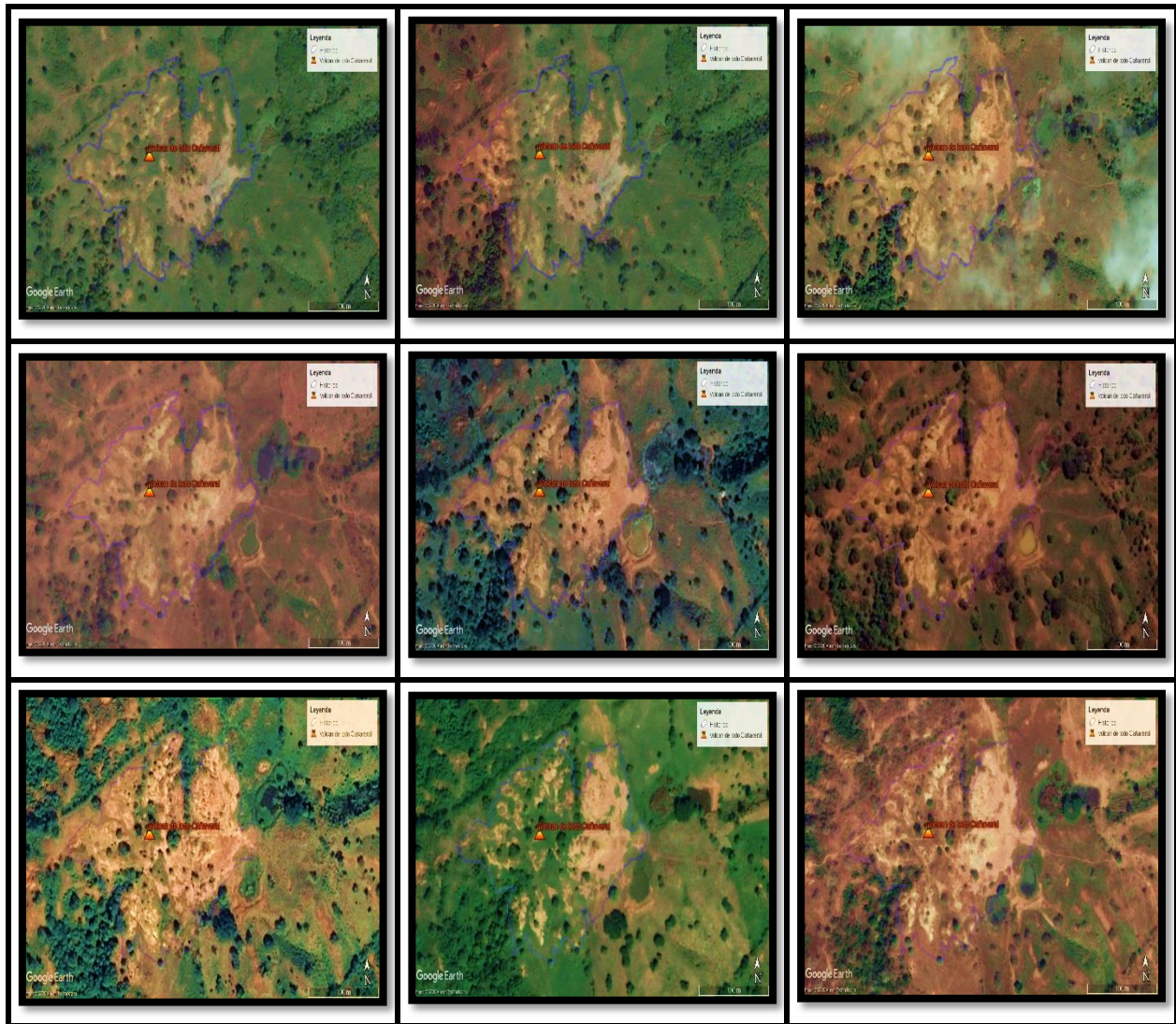


Ilustración 24. Plano de amenazas y riesgos municipales. (Martínez R., 2015)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

Se observa que el volcán de lodo ubicado en la plataforma de Google Earth, coincide con la zona afectada por diapirismo en el plano del PBOT de Turbaco; por eso se puede utilizar la herramienta de Google Earth para observar imágenes históricas de la zona, con las cuales se pueden identificar cambios en la superficie, asociadas a posibles eventos eruptivos de este volcán.





Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.



Ilustración 25. Vista aérea del volcán de lodo “El Cañaveral” desde el año 2004 hasta la actualidad. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)

El perímetro de color violeta que se observa en todas las imágenes, es lo máximo que se ha expandido la capa de lodo expulsado por el volcán, en esa zona a través de los años pasados; por lo que es posible deducir que en un futuro, dentro de esa área se puede encontrar material diapirico en los momentos que se presenten erupciones. Además, se pudo realizar un levantamiento topográfico de manera digital, gracias a herramientas de Google Earth, con los cuales se alcanza a comprender el comportamiento del material expulsado, por las dos bocas principales identificadas del volcán.

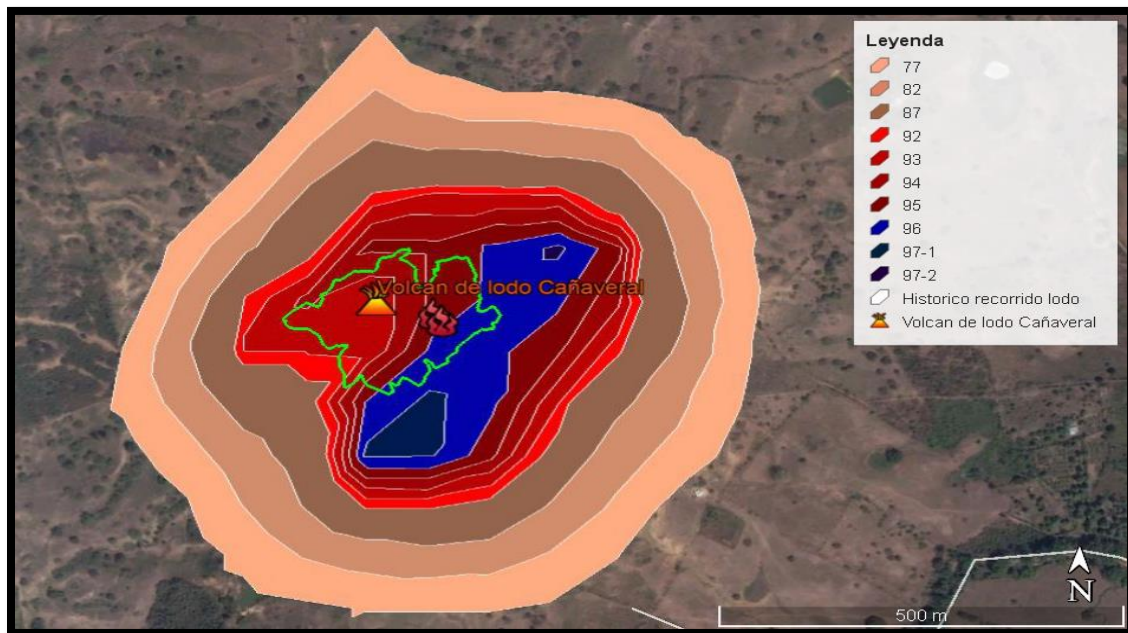


Ilustración 26. Curvas de nivel de la zona del volcán de lodo “El Cañaveral”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

De la vista anterior, es posible comprender que el lodo que emana del volcán será dirigido en el sentido Oeste por el terreno y su topografía. También, al calcular un radio máximo aproximado desde el centro de las bocas, se obtiene que este dato es de 184 mts. Aproximadamente, se analiza que es muy inferior a la distancia que hay hasta la población más cerca (Cañaveral a 1 km. de distancia). Lo anterior, se observa en la siguiente imagen.



Ilustración 27. Área y radio máximo del recorrido histórico alzado por los lodos del volcán de lodo "El Cañaveral". (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).

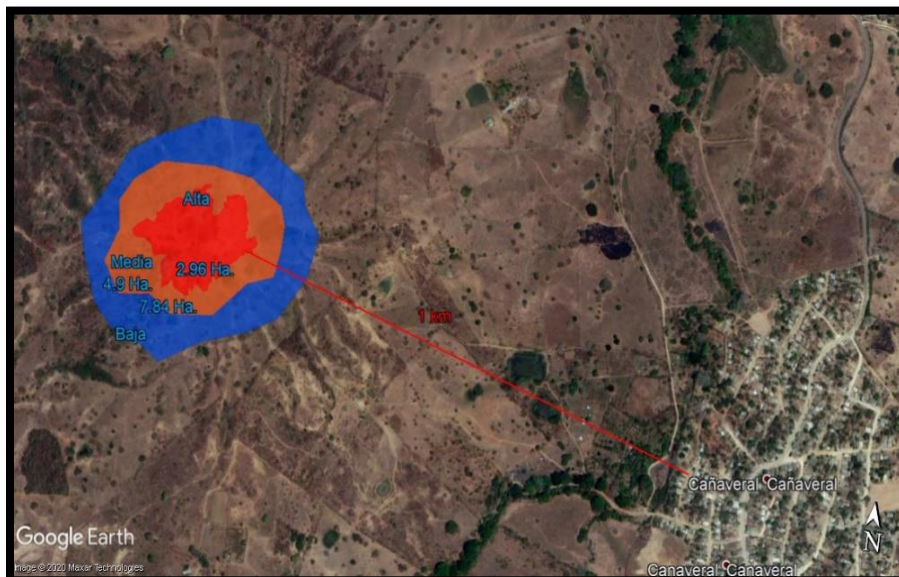


Ilustración 28. Áreas de niveles de amenaza del volcán de lodo "El Cañaveral". (Tomado y modificado de Google Earth, 2020).



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

2.3.2.2. El Rodeo

El caso de diapirosmo de lodo en la zona de El Rodeo, es el que más se involucra con el casco urbano de la ciudad de Cartagena, estando ubicado el volcán de lodo en la parte sureste de la ciudad. Dicho volcán, ha sido motivo de alerta constante por habitantes del barrio El Rodeo, aunque no han sido afectadas ni alcanzadas aun, por lodo emanado desde las bocas principales del volcán, si han presenciado los movimientos del suelo, que son repercusión de los eventos eruptivos del volcán. Así, como sienten esta actividad, la misma también deja rasgos evidentes de la afectación secundaria, como lo son agrietamientos en paredes y suelos de viviendas del barrio.



Ilustración 29. Agrietamiento estructural del suelo en la parte exterior de una vivienda en el barrio El Rodeo. (Carvajal & Calderon, 2013)



Ilustración 30. Hundimiento del suelo de vivienda, reflejado en la base de la pared de esta. (Carvajal & Calderón, 2013)

Al ubicar el cráter principal del volcán de lodo, se pudo observar el comportamiento de las capas de lodo dejadas por los eventos eruptivos cada año. De esa manera, se logró dibujar un perímetro alcanzado por esta capa de lodo a través de los años y con el cual se puede inferir el peligro que generaría de manera directa a las construcciones cercanas, una erupción de lodo.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.



Ilustración 31. Áreas de niveles de amenaza del volcán de lodo de El Rodeo. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Ilustración 32. Radio máximo (239 mts.) alcanzado por los derrames de lodo en todas las imágenes captadas de años anteriores. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.



Ilustración 33. Distancias desde las bocas del volcán de lodo de El Rodeo hasta las construcciones cercanas. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)

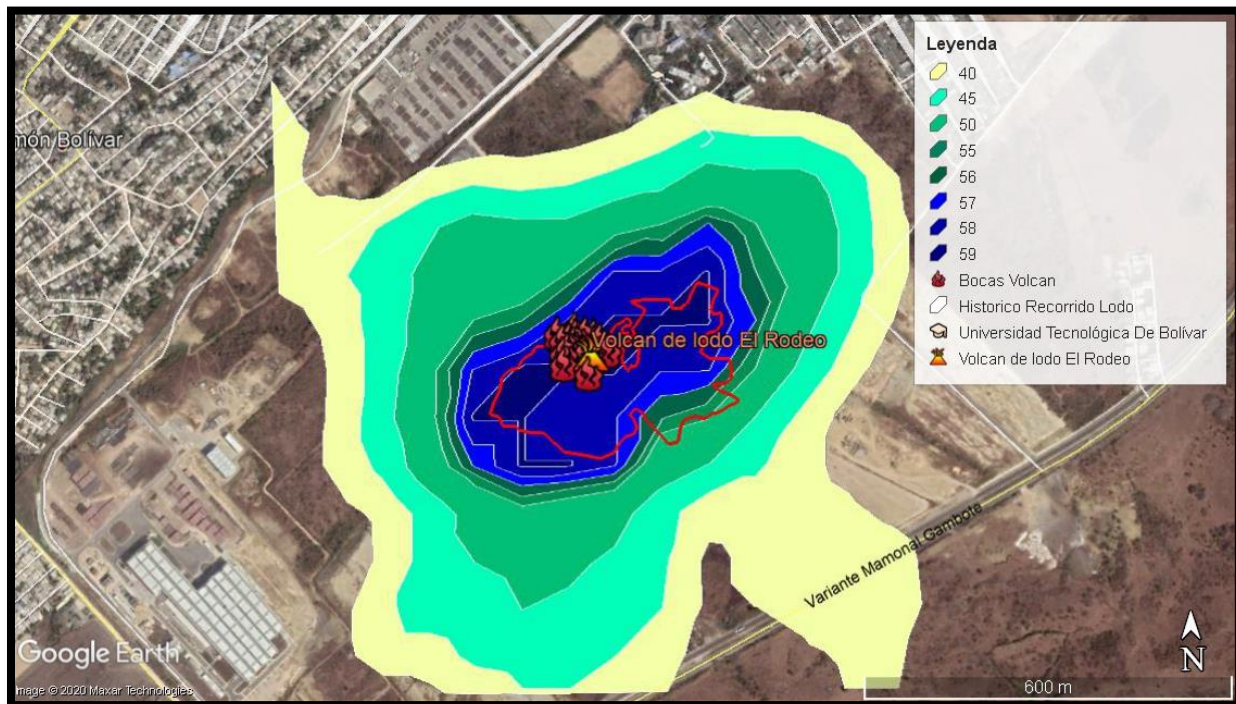


Ilustración 34. Curvas de nivel del terreno dómico donde se encuentra el volcán de lodo de El Rodeo. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

Con las anteriores imágenes se desea mostrar que, en futuros eventos de erupción de lodo, debido a las cuestas del terreno, el material expulsado por el volcán pretenderá en su mayoría, realizar su recorrido hacia la vía Variante Mamonal Gambote. Por otra parte, también se puede identificar la distancia que hay entre las bocas del volcán de lodo y las construcciones cercas, distancia que es superior al radio máximo alcanzado de manera histórica por los derrames de lodo de este volcán.

Del volcán, se pudo realizar especial observación en figuras formadas en el cráter principal, las cuales se relacionan con bocas que emanan lodo de manera frecuente y que, en el caso de este volcán, reemplazaría una boca principal por el cual se hace la erupción del material diapirico.



Ilustración 35. Bocas identificadas (17), mediante imágenes digitales, del volcán de lodo de El Rodeo. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)

A través de CARDIQUE, se obtuvieron informaciones más puntuales como lo son los modelos de variación vertical de resistividad que nos brinda una mayor resolución de las áreas más críticas frente al fenómeno diapirico en esta zona. A continuación, por medio de cortes geoelectrónicos se pueden determinar estas áreas críticas.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

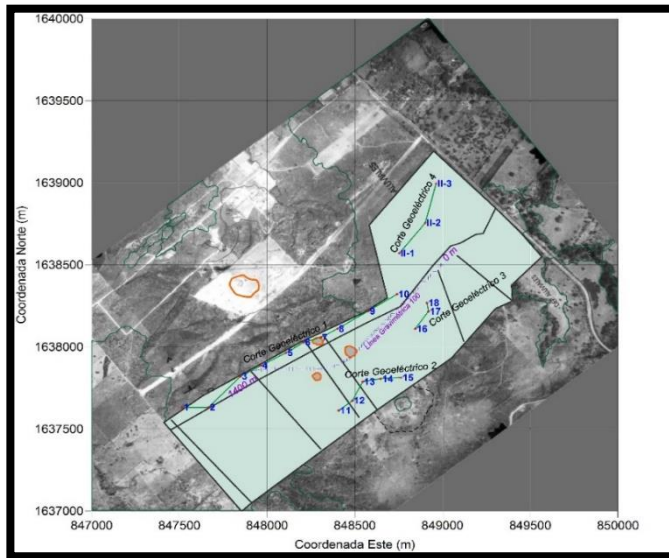


Ilustración 36. Ubicación de cortes y sondeos eléctricos Verticales en la zona de influencia del volcán "El Rodeo". (Universidad Tecnológica de Bolívar, 2010).

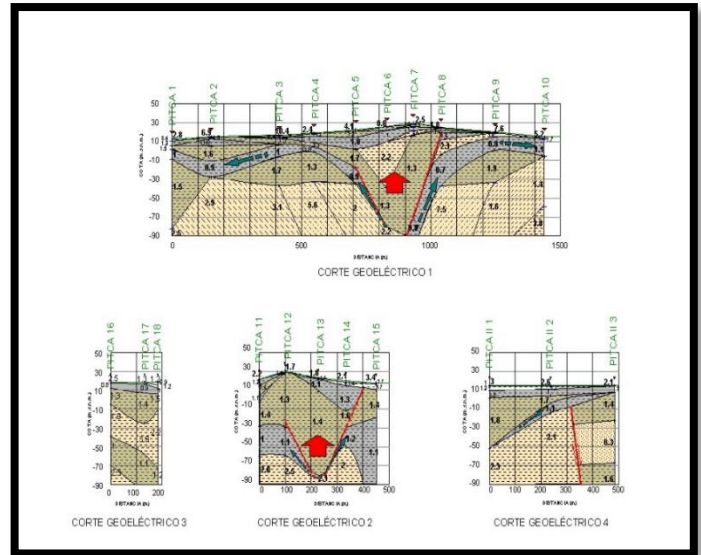


Ilustración 37. Corte geoelectrónico en la zona de influencia del volcán "El Rodeo". (CARDIQUE, 2010)

Por esto, los estudios realizados por CARDIQUE en 2010 de los mapas y cortes de resistividades del terreno objeto de estudio, permiten señalar que estos conductos y ramificaciones se presentan en el costado izquierdo prácticamente limitando con el mismo en el extremo noroccidental y suroccidental. Aisladamente se presenta un parche aislado en el extremo nororiental del terreno. Lo cual concordaba con la no evidencia sobre el predio de ventosas o bocas que se encuentran emanando lodos y gases en ese año.

2.3.2.3. Membrillar

Para el volcán “Membrillar”, por informes pasados podemos deducir que es un volcán de lodo que se mantiene activo, es decir, constantemente está expulsando lodo y emitiendo gases de manera pasiva; pero que a mediados del 2013 se registraron emisiones de lodos más puntuales (Salazar, 2018). Por esto a continuación mostraremos evidencias históricas de la expansión de este fenómeno a través de los años, para saber la manera en que se va a seguir manifestando a futuro.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

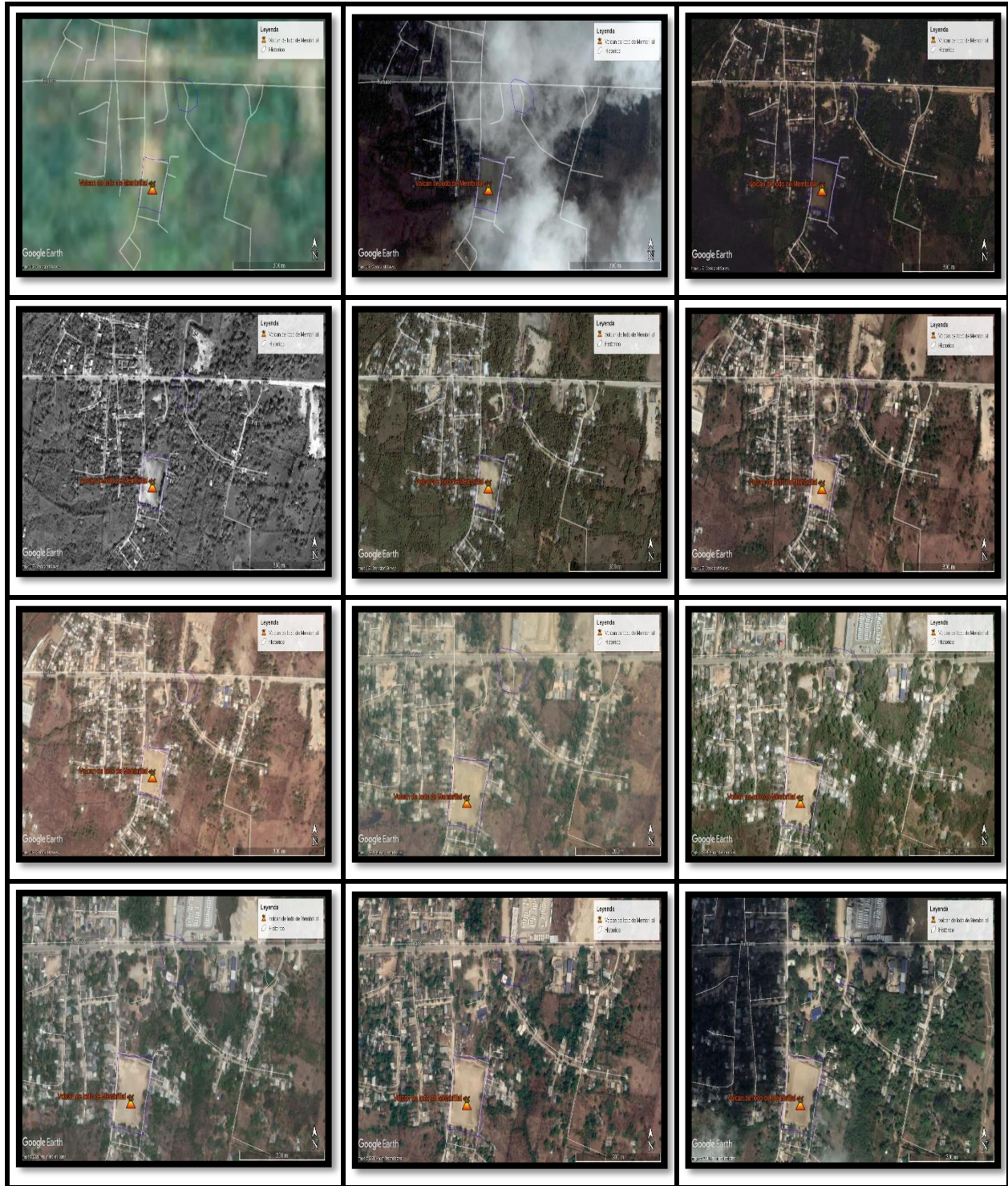


Ilustración 38. Vista aérea del volcán de lodo “Membrillal” desde el año 1969 hasta la actualidad. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

De las evidencias anteriores podemos notar que el volcán de lodo “Membrillal” se va expandiendo notablemente y que su zona urbanística es la más expuesta en cuanto a las demás zonas de estudio, debido a su gran cercanía con la zona de influencia del volcán y por la actividad de este. A continuación, se muestran las curvas de nivel dibujadas con la ayuda de la herramienta Google Earth y también las zonas con niveles de amenaza alta, media y baja, ante una erupción de lodo.

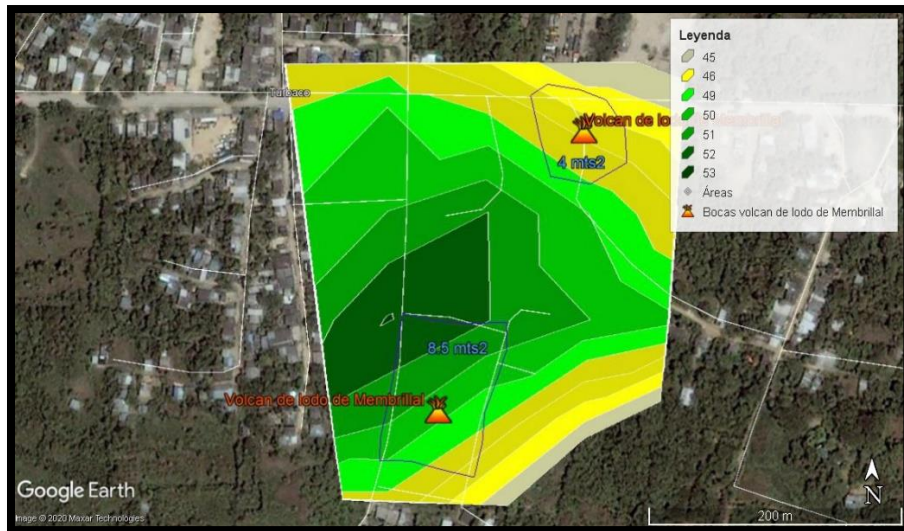


Ilustración 39. Curvas de nivel volcán de lodo “Membrillal”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Ilustración 40. Áreas de niveles de amenaza del volcán de lodo “Membrillal”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

De la evidencia anterior, se deduce que, en caso de presentarse posibles erupciones grandes, habrán flujos de lodo con dirección al sureste desde la zona más grande donde se encuentran bocas del volcán, y desde la zona más pequeña, que se encuentra más al norte, se puede inferir que por las pendientes del terreno, el flujo de lodo se dirigirá hacia el noreste.

En 2013 CARDIQUE realizó análisis de iso-resistividad en niveles de cada 10 metros de profundidad para evaluar la incidencia del lodo diápiricos sobre los estratos circundantes y tratar de modelar los conductos por donde se produce el ascenso de este material lodoso.

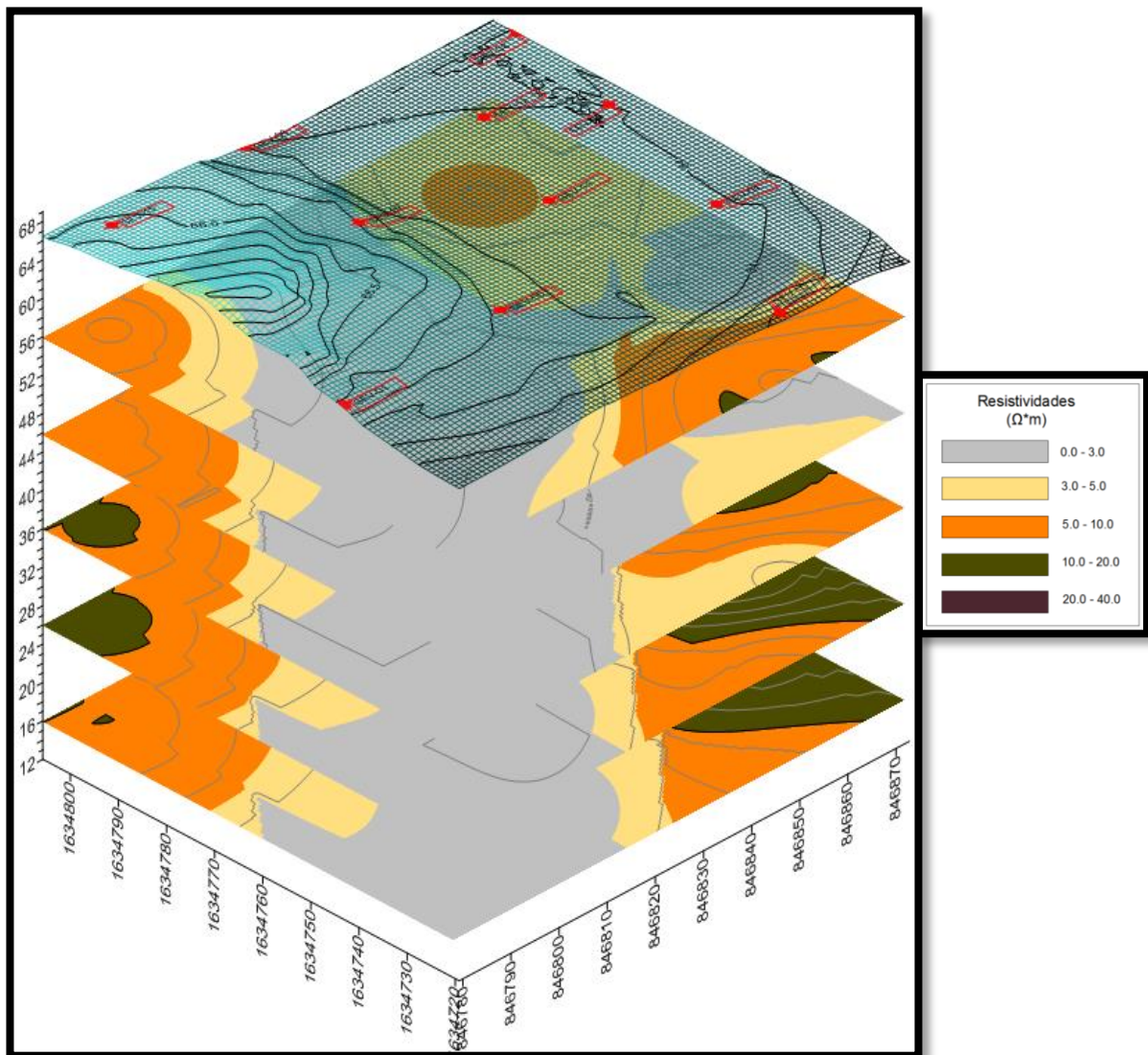


Ilustración 41. Plano de iso-resistividad de zona de emanación de lodo en el volcán "Membrillar". (CARDIQUE, 2013)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

Este plano presenta las concentraciones de bajos valores de resistividad, asociados a los lodos que emergen en superficie, los cuales son salados, siendo su conductividad alta, por lo tanto sus valores de resistividad bajos. Al observar cada uno de los niveles, vemos que pueden correlacionarse las concentraciones de niveles sucesivos, a manera de canales o conductos por los cuales emergen los gases y lodos desde la profundidad.

2.3.2.4. El Reposo

Para el volcán “El Reposo” en Bayunca la primera erupción registrada por el Servicio Geológico Colombiano fue el 8 de mayo de 1996, con una duración de 15 minutos, donde los materiales rocosos y el humo negro expulsado llegaron a superar los 25m de altura, presentándose aglomeraciones de material arcilloso con bloques de 5 a 20 cm de limolitas calcáreas y arcillolitas grises; logrando una altura promedio de 2,5m, en un radio de 100m a la redonda. (Carvajal, 1996).



Ilustración 42. Erupción del año 1996 volcán “El Reposo”. (Carvajal & Mendivelso, 2017)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

Luego de la primera erupción en 1996, el volcán “El Reposo” volvió a hacer erupción en 2012, de lo cual no tenemos una caracterización eruptiva, pero contamos con evidencias fotográficas suministradas por el Servicio Geológico Colombiano por medio del Geólogo Carvajal Henry, como autor de estas fotografías, donde nos muestra el flujo de lodo y el fracturamiento en el terreno durante la erupción del 2012.



Ilustración 43. *Flujo de lodo y fracturamiento generado por la erupción del 2012 del volcán de lodo "El Reposo". (Carvajal & Mendivelso, 2017)*

A través de una secuencia de capturas fotográficas en Google Earth desde 2002 hasta 2019, mostraremos como el volcanismo de lodo se ha ido expandiendo en el terreno y como ha causado levantamientos en este luego de sus erupciones en 1996 y 2012.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.



Ilustración 44. Vista aérea del volcán de lodo “Membrillar” desde el año 1969 hasta la actualidad. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)

A continuación, observaremos las curvas de nivel de la zona donde se encuentra el volcán de lodo “El Reposo”.

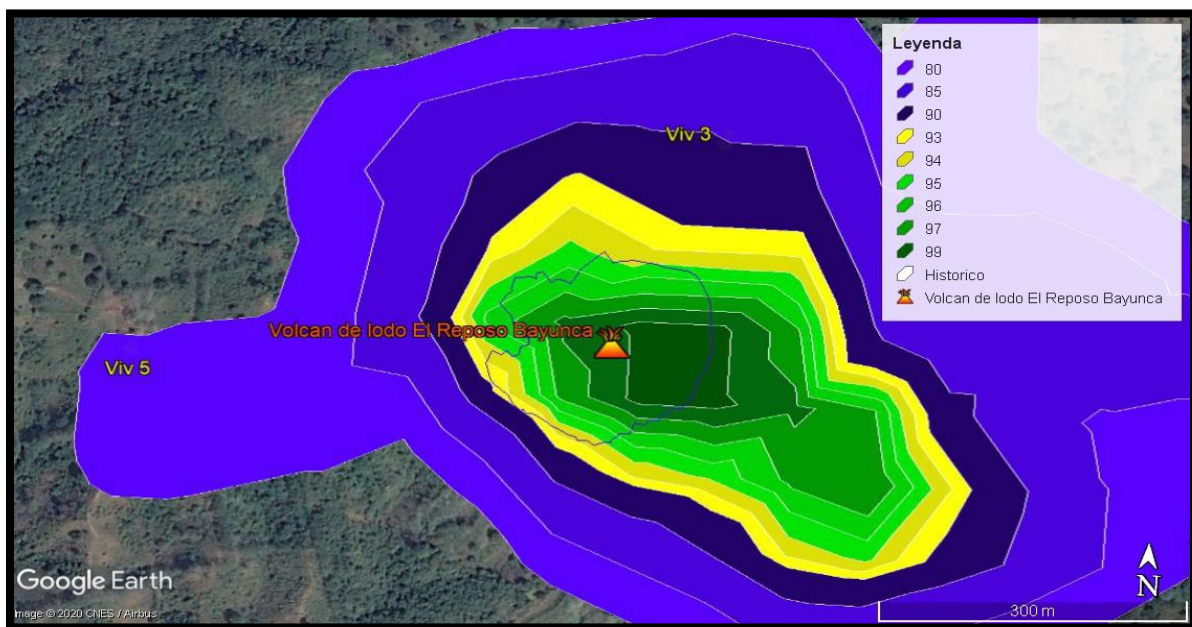


Ilustración 45. Curvas de nivel de la zona del volcán de lodo “El Reposo”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

En las ilustraciones de abajo se observan el área máxima alcanzada por el lodo históricamente (ilustración 50) y las áreas con los distintos niveles de amenaza del volcán.



Ilustración 46. Área histórica recorrida por el lodo del volcán de lodo “El Reposo”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Ilustración 47. Áreas de niveles de amenaza del volcán de lodo “El Reposo”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillar” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

Las viviendas cercanas relativamente, no se encuentran bajo amenaza relevantes, en caso de presentarse eventos de volcanismo de lodo en esta estructura de Bayunca. La vivienda mas cercana se encuentra a 0.21 km de distancia de la boca principal de este volcán, y el radio máximo alcanzado por el lodo a través de los años, ha sido de 0.11 km, es decir aproximadamente la mitad de la distancia.



Ilustración 48. *Distancia entre las viviendas cercanas y el volcán de lodo “El Reposo”. (Tomado y modificado de Google Earth, 2020)*



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

3. CONCLUSIONES

- Se logra evidenciar a groso modo, el peligro evidente al que se encuentran expuestas las personas asentadas sobre la zona de actividad diapírica del volcán de lodo de la vereda de Membrillal, ya que se sabe que en cualquier momento puede hacer una erupción de mayor magnitud a las que evidencian normalmente; hasta el momento se identifican dos zonas con constante actividad diapírica, una mayor que tiene un área de 8.5 mts² y otra más pequeña de 4 mts². Con datos más precisos que se obtengan de un seguimiento constante de este volcán de lodo, seguramente inducirán a que las entidades competentes tomen las mejores decisiones para prevenir la afectación de la población de Membrillal.
- Sobre el volcán de lodo “El Rodeo”, se requiere una atención especial debido a que con el seguimiento de imágenes espaciales no se notan construcciones afectadas directamente en caso de eventos eruptivos, pero indirectamente se afectan varios terrenos aledaños, gracias al movimiento que tiene el subsuelo en momentos de actividad volcánica relevante y además a la distancia entre el volcán y estos lotes, la cual se observa la menor entre ellos que es de 380 mts (Hacia los terrenos de la Universidad Tecnológica de Bolívar). Por lo anterior, este volcán debe ser vigilado por entes competentes, ya que representa afectación constante a las personas del barrio El Rodeo y deben tomarse medidas al respecto lo más pronto posible, para evitar mayores afectaciones en el futuro, cuando el área de recorrido de lodo histórico de 59.8 mts² aumente y alcance a afectar de manera directa a las construcciones cercanas.
- En el caso de los volcanes de lodo de “El Reposo” y de “El Cañaveral”, a pesar de no tener mayores informaciones sobre estos para tener referencias de cómo son su actuar, se pueden referir como no tan peligrosos para las poblaciones cercanas, tan solo observando las curvas de nivel obtenidas de la zona de influencia de los volcanes, con las que se comprende el recorrido que tendrían los derrames de lodo. Aun conociendo de que han presentado actividad eruptiva en las últimas décadas, éstas no han sido tan agresivas y sus



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

alcances se han limitado a cortas distancias entre sus puntos de emanación y las poblaciones, como también se observa que las áreas de recorridos históricos de lodos de los volcanes, 30.7 mts² con un alcance máximo de 0.11 kms para el volcán de “El Reposo” no está aún al alcance de viviendas cercanas y con el volcán de “El Cañaveral” de igual manera no se encuentran construcciones cercanas aun al alcance del lodo emanado en registros anteriores.

- La población del Cañaveral y pequeñas viviendas que están más cerca al volcán “El Cañaveral, no están en zona de alto riesgo de manera directa, en caso de actividad eruptiva, debido a que se encuentran considerablemente distantes de las bocas del volcán y además, del área recorrida por el lodo anteriormente que es de 2.96 Ha; la distancia máxima alcanzada por estos lodos desde las 2 bocas identificadas ha sido de 184 mts., algo menos de cinco veces la distancia (1 km.) a la que se encuentra la población.
- Para ampliar el conocimiento sobre el fenómeno del diapirismo de lodo en la región Caribe, se debe pretender realizar trabajo de campo y estudiar muestras de gases y lodo en la zona de influencia de los volcanes de “El Cañaveral” y de “El Reposo”. Lo anterior debido a que en la actualidad no es mucha la información generada sobre estas estructuras y al ser un tema que no es muy estudiado, son muchas las incógnitas que se presentan en cada uno de los casos específicos de diapirismo de lodo.
- En estudios respectivos a estos volcanes de lodo, es necesario tener en cuenta toda información de eventos eruptivos de manera histórica, sea de fuente científica, periodística y hasta fuentes verbales, ya que así se podrá comprender el comportamiento de los volcanes, desde distintas perspectivas. Además, es recomendable tener contacto con personas que han intervenido anteriormente este tema, porque de esa manera se logrará tener una mayor comprensión y familiarización con el mismo, para luego abarcar el tema con algo más de propiedad investigativa.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

4. BIBLIOGRAFIA

- Atencio, C. H. (2018). *Evaluación geologica, geotecnica y ambiental de los fenomenos de volcanismos de lodo en la Costa Caribe Colombiana*. Pereira: Scientia Et Technica.
- Bautista L. A., R. D. (2015). *Evaluación de la amenaza geologica potencial del volcanismo de lodo en la vereda de Membrilla-Distrito Turistico y Cultural de Cartagena de Indias*. Cartagena.
- Carvajal. (1996). Geomorfologia Sector. En *Investigación del diapirismo de lodo y evolución Costera del Caribe Colombiano*.
- Carvajal. (2000). Geomorfologia Sector I. En *Investigación del diapirismo de lodo y evolución Costera del Caribe Colombiano*.
- Carvajal, & Vega. (1992).
- Carvajal, J. H. (2010). *Investigación del Diapirismo de Lodo y Evolución Costera del Caribe Colombiano*. Bogota.
- Carvajal, J. H., & Mendivelso, D. (2017). *Volcanismo de lodo del Caribe central colombiano*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Chavez, A. (Agosto de 2017). *ACADEMIA*. Obtenido de https://www.academia.edu/16807613/Alcalinidad_y_Acidez_en_Fluidos_de_Perforaci%C3%B3n
- Gonzalez, M. (2 de Enero de 2012). *La guia*. Obtenido de <https://fisica.laguia2000.com/dinamica-clasica/mecanica-de-suelos-resistencia-al-corte-de-los-suelos>
- Marsh, H. N. (Diciembre de 1931). *Oilfieldglossary*. Obtenido de https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/v/viscosity_and_gel-strength_test.aspx
- Ochoa, L. S. (2012). *Evaluación De amenaza Geologica Diapirica Sector Membrillal Municipio Cartagena - Bolivar*. Cartagena.
- LÓPEZ M., N. (2008). *Biología y Geología 1° de Bachillerato*. Madrid: Editex.



Evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo, que incide en la parte urbanística de las zonas de “Turbaco”, “El Rodeo”, “Membrillal” y “Bayunca” del departamento de Bolívar.

- Mi Blog de Biología y Geología. (2015). *Límites entre placas*. Obtenido de <http://miblogdebyg.blogspot.com/2015/11/limites-entre-palcas.html>.
- Pelgrain, B. (2007). *Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Informe Geomorfológico*. Bogotá.
- Duque, S. G. (2008). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución costera del Caribe Colombiano Geomorfología Sector I*. Bogotá.
- Tomado y modificado de Google Earth. (6 de Febrero de 2020). *Google earth*. Obtenido de <http://maps.google.com/?ll=10.46114,-75.42617&z=11&t=h>
- Reyes y Clavijo. (2008). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución costera del Caribe Colombiano Geomorfología Sector I*. Bogotá.
- Aristizábal, C. O. (2009). *Control neotectónico del diapirismo de lodo en la región de Cartagena, Colombia*. Cartagena.
- Romero, J. (2019). *Evidencias fotográficas de diapirismo de lodo en Membrillal por CARDIQUE*. Cartagena.
- Duque & Castro. (2008). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución costera del Caribe Colombiano Geomorfología Sector I*. Bogotá.
- Martínez R., M. (2015). *Modificación excepcional y compilación del plan básico de ordenamiento territorial y las normas municipales vigentes*. Turbaco.
- Puertas, E. (2001). *Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias*. Cartagena.
- Kopf, A. (2002). *Significance of mud volcanism achim*. California.
- Durham, U., 2007. *El Volcán Lusi De Indonesia Se Hunde Más De Tres Metros Al Día Creando Una Posible Caldera Volcánica*. [online] Agencia SINC. Available at: <<https://www.agenciasinc.es/Noticias/El-volcan-Lusi-de-Indonesia-se-hunde-mas-de-tres-metros-al-dia-creando-una-posible-caldera-volcanica>> [Accessed 13 October 2020].