

**EVALUACIÓN DE LA AMENAZA GEOLÓGICA POTENCIAL DEL
VOLCANISMO DE LODO EN LA VEREDA DE MEMBRILLAL-DISTRITO
TURÍSTICO Y CULTURAL DE CARTAGENA DE INDIAS**



LEIDY ANA BAUTISTA MANGA

DEIBYS RADA LÓPEZ

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

2015

**EVALUACIÓN DE LA AMENAZA GEOLÓGICA POTENCIAL DEL
VOLCANISMO DE LODO EN LA VEREDA DE MEMBRILLAL-DISTRITO
TURÍSTICO Y CULTURAL DE CARTAGENA DE INDIAS**

LEIDY ANA BAUTISTA MANGA

DEIBYS RADA LÓPEZ

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

Ing. GUILLIAM BARBOZA MIRANDA, MSc

Director del proyecto



Grupo de Investigación:

GEOMAT

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.**

2015



Nota de aceptación:

MONICA ELJAIK
Presidente del comité

RAMÓN TORRES
Evaluador

MODESTO BARRIOS
Evaluador

GUILLIAM BARBOZA
Director

Cartagena de Indias D. T y C., Enero de 2015



DEDICATORIA

Este documento está dedicado a nuestros familiares padres, madres, primos y hermanos que confiaron netamente en nuestras habilidades y que nos apoyaron durante nuestros estudios.

Leidy Ana Bautista Manga

Deibys Rada López



AGRADECIMIENTOS

DOCENTES

Guilliam Barboza Miranda, M. Sc. Docente de Ingeniería Civil. Director de Tesis de Grado

FAMILIARES Y AMIGOS

Todos nuestros familiares y amigos.

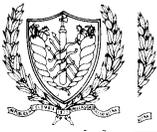


TABLA DE CONTENIDO

<u>ABSTRACT</u>	14
<u>INTRODUCCIÓN</u>	15
<u>1 MARCO DE REFERENCIA</u>	17
1.1 ANTECEDENTES.....	17
1.2 LOCALIZACIÓN	18
1.3 ESTADO DEL ARTE.....	21
1.4 MARCO TEÓRICO.....	27
1.4.1 Marco tectónico	29
1.4.2 Amenaza	32
1.4.3 Membrillal.....	33
1.4.4 Diapirismo de lodo.....	34
1.4.5 Volcán de lodo	35
1.4.6 Volcanismo de lodo en el caribe	37
1.4.7 Localización de volcanes de lodo en la costa caribe.....	40
1.4.8 Características eruptivas	44
1.4.9 Antiguas erupciones de volcanes de lodo	44
1.5 MARCO LEGAL.....	47
<u>2 OBJETIVOS</u>	51
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	51
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	51
<u>3 METODOLOGÍA</u>	52
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	52
3.2 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO.....	53



3.3	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA	53
3.4	ANÁLISIS DE SONDEOS GEO-ELÉCTRICOS	53
3.5	COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES VOLCANES DE LODO EN EL CARIBE COLOMBIANO CON EL VOLCANISMO DE LODO DE MEMBRILLAL.....	54
4	<u>RESULTADOS Y ANÁLISIS</u>	<u>55</u>
4.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	55
4.1.1	Aspectos ambientales.....	55
4.1.2	Geología general	59
4.1.3	Geomorfología general	65
4.1.4	Diagnósticos geológicos del área.....	67
4.2	RECONOCIMIENTO DEL TERRENO.....	68
4.3	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA.....	69
4.4	REGISTRO FOTOGRÁFICO	69
4.4.1	Aspecto social de membrillal.....	73
4.5	ANÁLISIS DE SONDEOS GEO-ELÉCTRICOS.....	89
4.6	COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES VOLCANES DE LODO EN EL CARIBE COLOMBIANO CON EL VOLCANISMO DE LODO DE MEMBRILLAL.....	99
4.7	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ISORESISTIVIDAD.....	100
5	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	<u>107</u>
6	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>111</u>



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Movimiento de Placas Tectónicas.....	28
Tabla 2. Régimen de lluvias.....	56
Tabla 3. Datos y dirección de pobladores de las viviendas encuestadas	74
Tabla 4. Continuación	75
Tabla 5. Estado general de las viviendas	75
Tabla 6. Continuación	76
Tabla 7. Daños de las viviendas	78
Tabla 8. Continuación	79
Tabla 9. Estado general de las viviendas	80
Tabla 10. Cantidad de viviendas en riesgo.....	80
Tabla 11. Datos encuestas Membrillal-CARDIQUE.....	83
Tabla 12. Frecuencia del tipo de predio en Membrillal	84
Tabla 13. Materiales de vivienda en Membrillal	84
Tabla 14. Habitantes lesionados por diapirismo	84
Tabla 15. Lugares de alto riesgo por diapirismo.....	85
Tabla 16. Frecuencia de predios vulnerables	86
Tabla 17. Viviendas con fisuras	86
Tabla 18. Predios con hundimientos por diapirismo.....	87
Tabla 19. Predios con algunos colapsos.....	87



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de Membrillal.....	19
Figura 2 Membrilla y área de estudio.	20
Figura 3 Situación luego de erupción del volcán de bajo grande.	25
Figura 4. La erupción del volcán de lodo Santa Fe de las Palmas.....	26
Figura 5. Primera explosión manadero de lodo de Membrillal.....	27
Figura 6. Marco Tectónico. Acción de las placas Caribe, Nazca y Suramericana	28
Figura 7. Borde divergente.....	30
Figura 8. Borde convergente.....	31
Figura 9. Borde transformante.	32
Figura 10.Membrillal	33
Figura 11. Estructura básica de un volcán de lodo en donde se muestran sus partes principales.	36
Figura 12 Mapa del marco estructural del Cinturón de San Jacinto y Sinú Norte.....	38
Figura 13. Característica Cinturón del Sinú.....	39
Figura 14 Imagen de la costa de Damaquiel en 1992	41
Figura 15 Bocas del Volcán de Pueblo Nuevo.....	42
Figura 16. Volcán El Totumo	43
Figura 17. Precipitación mensual en el área de Cartagena.....	57
Figura 18. Temperatura Mínima en el área de Cartagena.....	58
Figura 19. Temperatura promedio.....	58
Figura 20. Temperatura Máxima.....	59
Figura 21. Geología de Membrillal.....	63
Figura 22. Boca de emanadero de gases en Membrillal	68
Figura 23 Boca del volcán de lodo en el mes de Octubre del 2013.	68
Figura 24. 1° Boca localizada lodo en Septiembre del 2013.	69
Figura 25. Pozo aledaño al manadero de lodo.	70
Figura 26.Manadero lleno de lodo	70



Figura 27. Cantidad de lodo expulsado.....	71
Figura 28. Manadero de gas (Metano)	71
Figura 29. Ubicación de los dos tipos de manaderos.....	71
Figura 30. 2° Lugar de actividad volcánica con manadero de gases.	72
Figura 31. Manadero de gases.....	72
Figura 32. Químicos originados por los gases	72
Figura 33 Grado de Amenaza de Viviendas	76
Figura 34. Tipo de materiales de las viviendas	77
Figura 35 Condiciones generales de viviendas.	77
Figura 36 Estado de viviendas	80
Figura 37. Viviendas en zona de riesgo	81
Figura 38. Estado de algunas viviendas en Membrillal	81
Figura 39. Localización de viviendas encuestadas por CARDIQUE.	82
Figura 40. Materiales de viviendas en Membrillal	84
Figura 41. Esquema de habitantes lesionados.....	85
Figura 42 Vulnerabilidad de viviendas	86
Figura 43. Cantidad de predios con diapirismo	87
Figura 44. Daños en el total de viviendas encuestadas	88
Figura 45. Viviendas en riesgo.....	88
Figura 46. Condición general de viviendas.....	89
Figura 47. Sondeos geo-eléctricos verticales en Membrillal	90
Figura 48. Curva SEV - Sondeo N° 1	92
Figura 49. Curva SEV - Sondeo N° 2	92
Figura 50. Curva SEV - Sondeo N° 3	92
Figura 51. Curva SEV - Sondeo N° 4.....	93
Figura 52. Curva SEV - Sondeo N° 5	93
Figura 53. Curva SEV - Sondeo N° 6.....	93
Figura 54. Curva SEV - Sondeo N° 7	94
Figura 55. Curva SEV - Sondeo N° 8.....	94
Figura 56. Curva SEV - Sondeo N° 9	94



Figura 57. Curva SEV - Sondeo N° 10	95
Figura 58. Curva SEV - Sondeo N° 11	95
Figura 59. Curva SEV - Sondeo N° 12	95
Figura 60. Curva SEV - Sondeo N° 13	96
Figura 61. Curva SEV - Sondeo N° 14	96
Figura 62. Curva SEV - Sondeo N° 15	96
Figura 63. Corte geoelectricos zona 1	98
Figura 64. Corte geoelectricos zona 2	98
Figura 65. Zonas de emanación de lodo y gases detectadas en la vereda de Membrillal. .	100
Figura 66. Plano de isoestividades de Zona de emanación N°1.	102
Figura 67. Plano de isoestividades de Zona de emanación N°2.	104
Figura 68. Plano de Amenaza Potencial de Membrillal.....	106



RESUMEN

Los escenarios de amenaza geológica potencial, se debe concientizar a la comunidad y al gobierno, de la amenaza potencial a la que está expuesta la población de Membrillal. Esta área de estudio tiene sectores marginados y vulnerables, es geográficamente una zona de alto riesgo, ha tenido desplazamiento de terreno, derrumbes y emanaciones de lodo y gases.

Su principal objetivo, evaluar la amenaza geológica potencial del volcanismo de lodo en la vereda de Membrillal-distrito de Cartagena, mediante el análisis de la información recolectada, para 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.

Esta evaluación se desarrolla mediante un tipo de investigación mixta, una combinación entre la investigación exploratoria y la descriptiva; determinado las causas y condiciones naturales que permiten el origen del diapirismo de lodo; donde se analiza las situaciones y características de los volcanes en la costa caribe y la condición real de la comunidad de Membrillal., referenciando la importancia de la participación del gobierno en la problemática de esta comunidad y las leyes que cubren a la población vulnerable y áreas de reserva natural, se recopiló información primaria y secundaria para conocer a fondo el lugar de estudio. Lo referente a los resultados y análisis de la investigación con sondeos geoelectricos y cortes de isoresistividad que nos ayudaron a determinar las profundidades de emanación dada la resistencia de la capa del suelo, y además se estipula las áreas más vulnerables con respecto a la zona involucrada en la evaluación de la amenaza partiendo de las emanaciones y bocas de los volcanes de lodo en el domo del volcán de lodo determinando la zona de mayor amenaza.



Para así determinar que Membrillal está expuesto y altamente susceptible a expulsiones y emanaciones volcánicas violentas que puede afectar la infraestructura y la población, la explosión se tornaría violenta debido a la concentración de gas, debido a la susceptibilidad es alta como consecuencia de tratarse de la zona de diapirismo de lodo.



ABSTRACT

The scenarios of potential geological threat, we need to be conscious to the community and the government, of the potential threat to the population of exposed the Membrillal. This area of study has marginalized and vulnerable populations, is geographically a high-risk area, has been displacement of field, landslides and mud fumes and gases.

Its main objective, to assess the threat of potential geological of mud volcanism on the sidewalk of Membrillal-district of Cartagena, through the analysis of the collected information, to determine the feasible scenarios of potential risk based on comparison of the behavior of the different geological mud volcanoes of the Colombian Caribbean, to draw up plans for disaster prevention and control.

This evaluation is performed by a type of joint research, a combination of exploratory and descriptive research; determined the causes and natural conditions that allow the origin of mud diapirism; where situations and features of the volcanoes on the Caribbean coast and the actual condition of the community is analyzed Membrillal., referencing the importance of government involvement in the problems of this community and laws covering vulnerable populations and areas nature reserve, primary and secondary information was compiled for insight into the study site. Regarding the results and analysis of research surveys and cuts geoelectricos isoresistividad we helped determine the depths of emanation given the resistance of the soil layer, and also the most vulnerable areas stipulated regarding the area involved in the threat assessment based on fumes and mouths of mud volcanoes in the mud volcano dome of determining the area of greatest threat.

To determine what is exposed Membrillal and highly susceptible to expulsions and violent volcanic emanations that can affect the infrastructure and population, the explosion would become violent due to the concentration of gas, due to the susceptibility is high as a result of be treated in the area of mud; mud diapirismo.



INTRODUCCIÓN

El incremento acelerado de la población y el desplazamiento rural han llevado al ser humano a vivir en condiciones inadecuadas, estableciéndose en terrenos no aptos para la urbanización en este caso encontramos a los habitantes de la vereda de Membrillal-Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias, ubicados sobre el domo del volcán de lodo, producto de las fallas de Mamonal y Pasacaballos. La emisión de lodos es lenta por las bocas o ventosas de los volcanes, desde tiempo histórico hasta la actualidad, se han presentado erupciones súbitas y violentas que han causado daños estructurales, en la fauna, la flora y pocas veces a las vidas de los pobladores. Los primeros registros conocidos fueron recopilados por el padre Jesús Emilio Ramírez en 1979 en su obra el volcán submarino de Galerazamba el cual ha tenido registro histórico de varias explosiones. (Carvajal -2000 citado por Universidad Nacional de Colombia 2007). Esta población anteriormente mencionada realizó su asentamiento en la totalidad de la cima de la estructura volcánica, en la zona Sur-Este de Cartagena de Indias. La vereda de Membrillal está localizada con una latitud: 10.3267 y longitud: -75.4693. Con una población aproximada a 4.822 habitantes (EL UNIVERSAL 2010).

Los estudios de esta amenaza y la delimitación de zonas de riesgo relacionadas con el volcanismo de lodo en la vereda de Membrillal presenta numerosas dificultades dadas las características en gran parte subterráneas del fenómeno y la imposibilidad de predecir las erupciones, levantamientos/hundimientos y agrietamientos súbitos asociados. Teniendo en cuenta que el ascenso de lodos a través de fracturas y fallas y el emplazamiento de los diapiros pueden reflejarse en la superficie mediante pequeñas deformaciones; los levantamientos y hundimientos asociados a la actividad diapíricas que por lo general son muy lentos y no perceptibles es de gran prioridad tener claro cuáles son las áreas con más riesgo y constar de una buena instrumentación. Aunque es generalmente aceptado que las zonas de mayor riesgo están asociadas a lineamientos estructurales mayores (Verette, 1985), deben tenerse en cuenta que en la zona no se han realizado anteriormente una evaluación de la amenaza geológica potencial y que no se han encontrado investigaciones geofísicas más detalladas de esta problemática local.



Considerando la problemática existente en Membrillal este proyecto determino la zona de amenaza alta que no debe ser urbanizada y un plan de manejo para la mitigación del riesgo geológico en las hectáreas afectadas por el diapirismo de lodo y las que se verían alteradas en caso de una nueva emanación de este modo evitando futuros desastres en la zona de estudio y en las zonas aledañas.

El desarrollo de la evaluación de la amenaza geológica potencial del volcanismo de lodo en la vereda de Membrillal se fundamenta en el acumulado de información de actividades volcánicas de la zona y de los volcanes de la región Caribe que nos permitan dar solución o minimizar la situación de riesgo vivida por la población y así ampliando la investigación **“Evaluación de Amenaza Geológica Producida por el Fenómeno Diapirismo de Lodo en la Vereda Membrillal – Distrito de Cartagena de Indias y Corregimiento de Flamenco, Municipio de Marialabaja –Jurisdicción de CARDIQUE”**.



1 MARCO DE REFERENCIA

1.1 ANTECEDENTES

La región del Caribe Colombiano está caracterizada por dos grandes zonas geológicamente diferentes: Una región totalmente estable o de plataforma y una región totalmente inestable o geosinclinal (Duque, 2007). La región estable o de plataforma incluye terrenos planos y cenagosos del valle inferior del Río Magdalena, constituida por una corteza continental no plegada, afectada por una tectónica de bloques y la región inestable la cual está constituida por dos elementos estructurales llamados Cinturón de San Jacinto y Cinturón del Sinú.

El elemento estructural donde son de más comunes los volcanes de lodo es el Cinturón del Sinú el cual tiene una parte continental y una parte submarina. El volcanismo de lodo es una manifestación del diapirismo de lodo, este es una característica regional que se presenta en Colombia desde la Ciudad de Barranquilla hasta el golfo de Urabá Duque 1990 (Duque 1. , 2007) La vereda de Membrillal se encuentra ubicada cerca de la Zona Industrial de Mamonal al Sureste (SE) de Cartagena, cuya estructura está asociada al trazo de la falla inversa de Pasacaballos. Esta vereda que se encuentra ubicada sobre algunos volcanes de lodos.

Dadas comunicaciones verbales con habitantes en cercanías de volcanes de lodo, las erupciones han sido precedidas con varios meses de antelación por fracturamiento del terreno y ruidos inusuales en las ventosas o manaderos de lodo (Carvajal, 1.996).

No se conocen datos históricos escritos de la recurrencia de erupciones del volcán en el área de estudio. Se tienen comunicaciones verbales de habitantes de la región que indican



una actividad mayor y derramen de lodos que han ocasionado daños en la flora de la región, y que resaltó el hecho de no haber habido combustión.

La única forma de conocer acerca de la recurrencia del fenómeno es por medio de la datación de los flujos de lodo evidenciados, lo cual debe hacerse con perforaciones, porque el terreno ha sido removido para acondicionar el terreno para actividades agropecuarias.

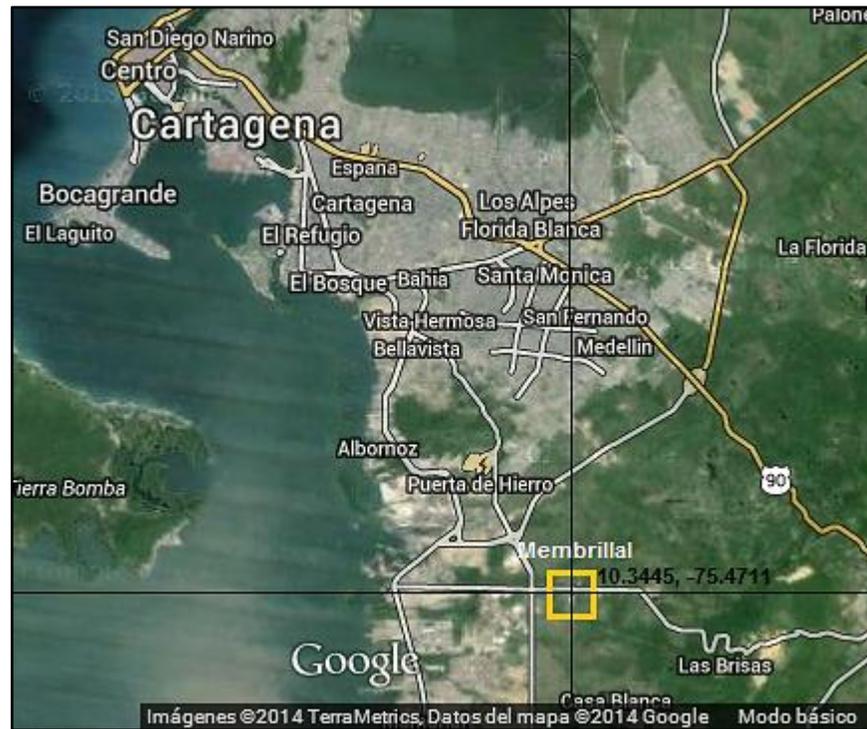
Algunos datos de investigaciones del Servicio geológico colombiano 2010 muestran que el volcán de lodo de Membrillal es una estructura en forma de domo de 800-1000 m de diámetro y de altura de 20 a 25 m, con laderas muy cortas y con una forma convexa. En la parte alta del volcán de lodo se logran identificar 2 lugares donde había antiguas bocas tipo O, que se encuentran actualmente semitapadas por una cancha de futbol. En el patio de varias viviendas se puede observar el lodo acuoso saliendo por varias bocas y por donde igualmente burbujea metano en bajos volúmenes y dióxido de carbono.

1.2 LOCALIZACIÓN

La vereda de Membrillal-Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias se encuentra ubicada cerca de la Zona Industrial de Mamonal al Sureste (SE) de Cartagena. Con una latitud: 10° 20' 45" N y longitud: 75° 28' 11" W. Membrillal pertenece al corregimiento de Pasacaballos que a su vez hace parte del municipio de Cartagena de Indias, Distrito Turístico y Capital; es una vereda que se encuentra ubicada sobre volcanes de lodos (INGEOMINA, 2007) este fenómenos pueden llegar a afectarlas estructuras que están a su alrededor y causar pérdida de vidas debido a sus explosiones de lodo en el área, levantamientos, hundimientos, generación de coladas de lodo y expulsión de gases.



Figura 1. Localización de Membrillal.



Tomado de Google Maps 2014 por autores.

Este fenómeno es una amenaza potencial para la población de Membrillal que a lo largo de los años siguen viviendo con un volcán de lodo debajo de sus casas, colegios, iglesias y calles (Carvajal, 2007). Además el estudio es importante para determinar las características de la zona, y para mitigar en cierta forma las consecuencias de este fenómeno natural en la población de Membrillal, es necesario para la ingenieros civiles y geólogos conocer las características de este volcán de lodo y sus repercusiones en la población, en las estructuras y el medio ambiente de la zona. La amenaza está totalmente relacionada con el peligro o la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural, de origen tecnológico o provocado por el hombre que puede manifestarse en un sitio específico y durante un período de tiempo.



Actualmente por el grado de complejidad de evaluar fenómenos naturales, la ciencia no cuenta con técnicas precisas que permitan modelar exactamente dichos fenómenos. Por esto, la evaluación de la amenaza, en la mayoría de los casos, se realiza combinando el análisis probabilístico con el análisis del comportamiento físico de la fuente generadora, utilizando información de eventos que han ocurrido a lo largo del tiempo o en el pasado. En otras palabras, para poder determinar la probabilidad de que se presente un evento durante un período, es necesario contar con información y datos, acerca del número de eventos que han ocurrido en el pasado y de la intensidad que tuvieron.

Membrillal es una vereda totalmente expuesta, a la cual no se le ha brindado la importancia que merece debido a esta problemática geológica presente, la ausencia de registros parciales o series de datos, archivos y de observaciones guardadas y el poco interés que se le ha dado al tema nos lleva a realizar una de las primera investigaciones para evaluar esta amenaza potencial en la vereda de Membrillal, basándonos en comparaciones de comportamientos de otros fenómenos volcánicos de lodos en el Caribe Colombiano y en estudios que se pueden realizar en la zona permitiendo el análisis de mapas y cortes ge-eléctricos para evaluar la profundidad de las emanaciones locales de lodos y gases.

Figura 2 Membrilla y área de estudio.



Fuente: Tomado de Google Earth 2013 modificada por Autores



Evaluar la amenaza geológica potencial y analizar la morfología de la vereda de Membrillal-Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias, principalmente donde existe la amenaza del volcanismo de lodo que puede colocar en riesgo la vida de las personas asentadas en esta población, se realizara mediante la comparación de comportamiento de diferentes volcanes de lodo en el Caribe colombiano, la recopilación y análisis de información secundaria, mapas, cortes y visitas al lugar, y de esta manera también estimar la cantidad total de personas vulnerables por el del volcán de lodo y determinar los escenarios con mayor riesgo potencial en la vereda de Membrillal.

1.3 ESTADO DEL ARTE

El diapirismo de lodos es un proceso donde se presenta un empuje de materiales finos de características plásticas en la profundidad, que salen desde las zonas de grandes presiones a zonas con una baja presión. El movimiento de los materiales diapíricos es provocado igualmente por el contenido de gases (metano), dándole pasó a estos volcanes de lodo en la superficie.

Hay muchos volcanes de lodos en el mundo, en particular el volcán de lodo de Indonesia que hizo erupción de lodos y líquidos el 26 de mayo del 2006 y a partir de la fecha fue nombrado “LUSP”, las grandes cantidades de lodos cubrieron una área mayor de 6,3km² después de un año de la erupción, debido a esta catástrofe aproximadamente fueron desplazadas 30.000 personas. Para mitigar la amenaza se han construidos diques consecutivamente para contener el lodo.



El volcán LUSI es muy llamativo porque se encuentra activo y, permite estudiar y analizar el nacimiento y evolución de un volcán, la mayoría de los volcanes de lodos duran pocos días activos y los estudios realizados siempre son a volcanes inactivos (A. Mazzini a, 2007).

Además características de los volcanes de lodo como sus domos cónicos construidos por la salida a la superficie de la mezcla de lodo líquido y bloques de roca que se originan en las profundidades, y en muchos cinturones plegable y de empuje, suelen marcar zonas de actividad tectónica por eso se supone que la formación de volcanes y de coladas de lodo ocurre muchas veces después de explosiones repentinas, en algunos casos no anunciadas por la formación de grietas o movimientos del terreno. Esto ocurre especialmente a lo largo de los Alpes - Zona de colisión del Himalaya. Donde se utiliza a los volcanes de lodo como indicadores de estrés regional y de profundidad de capas.

Zerbayán extensivamente ha sido estudiado por geólogos explorando en busca de hidrocarburos y el interés reciente a los volcanes de lodo se ha extendido a estimar que introducen gases invernaderos en la atmósfera.

Las características de los volcanes de lodo pueden ser utilizados para determinar direcciones de los esfuerzos de la misma manera como características magmáticas (como diques y ventilar las alineaciones). Los volcanes de lodo pueden indicar la presencia de fluidos movilizados, que pueden ser útiles para la identificación de la existencia de agua o de otros líquidos (por ejemplo, hidrocarburos) cerca de la superficie de los planetas, otro uso potencial de los conceptos de estrés en indicaciones derivadas de los volcanes de lodo terrestres es la valuación del campo de esfuerzos en la superficie de los planetas, en combinación con la estimación de la profundidad de las principales capas de origen. Más de 400 volcanes de lodo activos se han identificado tanto en tierra y en el mar Azerbaiyán.



Las observaciones realizadas indican que el vulcanismo de lodo en Azerbaiyán ha sido resultado de una combinación de diferentes factores, tales como (1) la rápida sedimentación que tuvo lugar en la zona durante el último 4-5 Ma, (2) la aparición de compresión tectónica, y (3) la presencia de la espesa y sobre presionada Serie Maikop sedimentos ricos en materia orgánica enterrada, que ha sido sometidos la maduración de hidrocarburos y de desgasificación (Marco Bonini, 25 August 2010).

Existen también numerosos registros de explosiones volcánicas violentas Colombianas principalmente en el Cinturón del Sinú zona con alta actividad tectónica, por ejemplo se han presentado varios hundimientos en el área de Bayunca (propiedad del señor Celio Ortega). Dos erupciones volcánicas recientes formaron una acumulación de lodos en forma de círculos con diámetro de 200 m y un volumen aproximado de 100.000 m³ de materiales arrojados en una primera explosión, ocurrida en mayo de 1995 del volcán Don Juan en el área de Arroyo de Piedra (Cadavid y Rico, 2007), estiman un volumen de 29.500 m³.

Las evidencias históricas de explosiones de volcanes en la región de Cartagena son muchas, sobretodo en la zona de la plataforma continental al frente del área de Galerazamba. Para este sector hay referencias sobre explosiones de lodo desde 1974. Ramírez y Goberna (1959) reportan varias explosiones históricas submarinas (1820, 1839, octubre 7 de 1848, agosto 9 y noviembre 9 de 1925, 1958) que ocasionaron cambios importantes en la batimetría de la zona. Para una explosión volcánica del 27 de diciembre de 1991, Cadavid y Rico reportan que las llamas alcanzaron aproximadamente 10 m de altura y se presentaron, con diferente intensidad, durante más de 4 días, al igual que en el evento explosivo de 1958.



En el sector de Punta Canoas, al norte de Cartagena, se presentaron el 12 de diciembre de 1979 agrietamientos repentinos del terreno, coincidiendo con la ocurrencia de un sismo de magnitud 7 en la costa Pacífica (el llamado Terremoto de Tumaco, epicentro mar afuera de esa ciudad). Según comunicación del Padre Giraldo, las grietas se causaron al parecer al mismo tiempo que la erupción de un volcán de lodo submarino y la formación de una “isla volcánica” que duró varios días hasta ser enroscada por el oleaje.

José Henry Carvajal Perico, geólogo del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Míneras (Ingeominas), realizó varios análisis de la erupción en Mayo del 2012 en la región de Bajo Grande en el corregimiento de Bayunca el asegura que ese tipo de fenómenos, conocido como diapirismo, podría simbolizar serios riesgos porque de todas maneras son creídos como una amenaza si estuvieran ubicados en cercanías, o incluso dentro de zonas muy pobladas, característica que se presenta en Membrillal-Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias (Decreto No 0977, 2001).

Además el volcán de lodo que se encuentra en bayunca, llamado Bajogrande luego de su última erupción en el 2013 tiene preocupados a los campesinos y autoridades ya que el volcán se encuentra alrededor de 4 fincas. Roberto bolívar campesino dueño de una de esas finca afectado por la erupción del volcán, relató que la erupción del volcán daño varios cultivos de las fincas. El evento dejó dos hectáreas afectadas con agrietamientos, además de los cultivos que arrasó, hubo pérdidas de ganado y no de personas. Aunque esa no fue la primera vez que el volcán hizo estragos a los campesinos del sector, hace 16 años el volcán hizo erupción ocasionando pérdidas a los agricultores y ganaderos de la región.



Figura 3 Situación luego de erupción del volcán de bajo grande.



Fuente: Prado L, (c. 2012) “Volcán de lodo mantiene en vilo a habitantes de Bayunca.”[Online] El Universal, Cartagena (Colombia).

El volcán de lodo de santa fe de las plantas hizo erupción en el año 2010, corregimiento cerca del municipio de arboletes a 45 minutos de Montería y aledaño al departamento de córdoba, puso en alerta a los habitantes de esta zonas ya que además del lodo de la erupción también hubo explosiones de gas que causaron incendios en el sitio ocasionando aproximadamente 25 personas heridas y cerca de 300 m alrededor del volcán quedo en cenizas debido a las llamas que salían del cráter.



Figura 4. La erupción del volcán de lodo Santa Fe de las Palmas



Fuente: Serrano N. “Estampida por volcán de lodo”. [Online] El Universal, Montería (Colombia).

A unos 200 m de la sede de la Universidad Tecnológica de Bolívar hay otro domo de gran incidencia en Cartagena de Indias, en la vía a Turbaco, precisa Ingeominas 1996, que en el departamento de Bolívar podrían existir más de ocho volcanes. También se han presentado actividades el Rodeo al Sureste de Cartagena donde el volcán de lodo de esa zona hizo erupción, agrietando casas en Febrero del 2013 (Nidia Serrano M, 2010) .

En el resto el país también hay antecedentes que implican pérdidas de vidas humanas y destrucción de viviendas asociados a l explosión de un volcán de lodo como es el caso del municipio de Turbo en el Urabá Antioqueño, en 1992 que destruyó a Murindó y afectó otros municipios del noroccidente de Colombia y la inolvidable tragedia de Armero que fue un desastre natural producto de la erupción del volcán Nevado del Ruiz el 13 de noviembre de 1985 en el departamento de Tolima, Colombia.



Figura 5. Primera explosión manadero de lodo de Membrillal



Fuente: Herrán L, (c. 2013) “Tenemos un volcán”. [Online] Q”hubo Cartagena (Colombia).

El 12 de julio del 2013 hizo erupción una de las bocas de lodo de Membrillal, que permitió detectar esta boca del volcán en el patio de la vivienda del Sr. Oscar Terán cerca de la cancha de futbol de la vereda.

1.4 MARCO TEÓRICO

La Costa Caribe Colombiana se localizan un punto de triple acción interplacal, caracterizado por la subducción de corteza oceánica debajo de corteza continental, donde las placas Caribe y Nazca, se encuentran con la placa Suramericana con diferentes direcciones y velocidades además de estar afectada por las placas Cocos y del Pacifico. (Camilo O. Aristizábal, 2009).



A continuación en la tabla 1 suministrada por el plan de ordenamiento territorial de la ciudad de Cartagena de Indias se muestra la dirección y movimiento por año de las placas que afectan la región de Cartagena.

Tabla 1 Movimiento de Placas Tectónicas

Movimiento de Placas Tectónicas			
Placas	Dirección	Ingeominas	Jordán (1975); Minster Et Jordán (1978); En Vernet (1986)
Sudamericana	E a O	6 cm/año	1 cm/año
Del Caribe	ESE*	1 a 2 cm/año	1.7 cm /año
Nazca	ENE*	6 a 8 cm/año	6.4 cm/ año

*Con relación a la placa Sudamericana.

Figura 6. Marco Tectónico. Acción de las placas Caribe, Nazca y Suramericana



Tomado de Diapirismo y Vulcanismo de Lodo, un recorrido por el Caribe Colombiano. Fabián Hoyos Patiño. Universidad Nacional de Colombia 2008.



Los volcanes de lodo son una manifestación de la actividad de las placas tectónicas, para realizar la evaluación y análisis de la amenaza potencial del volcán de lodo en Membrillal-Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias, se debe conocer las características de esta vereda y de los volcanes de Cartagena y la Costa Caribe, de igual manera se deben conocer los métodos y elementos a utilizar.

1.4.1 Marco tectónico

La teoría de las placas tectónicas dice que la litosfera está conformada por placas rígidas denominadas placas tectónicas o placas litosféricas una especie de mezcla de casquetes esféricos, de naturaleza rocosa y frágil comportamiento. Las cuales tienen un espesor más o menos de 100Km que se desplazan causando grandes e importantes fenómenos geológico en el planeta. Una de las características de las placas es su dinámica o movimiento, permitiendo así que el tamaño de los continentes y océanos cambie constantemente igualmente creando cadenas montañosas y volcanes. Una Gran parte de la superficie del planeta 94% está ocupada por el conjunto que forman siete grandes placas litosféricas: Euroasiática, Pacífica, Norteamericana, Sudamericana, Africana, Indoaustraliana y Antártica, el resto de la superficie está ocupada por placas más pequeñas como: Las de Nazca, Cocos y Filipinas, en el océano pacífico y las placas Caribe, Iraniana, arábiga y solaná (Natalia López Moratalla, 2008).

La litosfera se divide alrededor de 20 placas tectónicas y hay dos tipos:

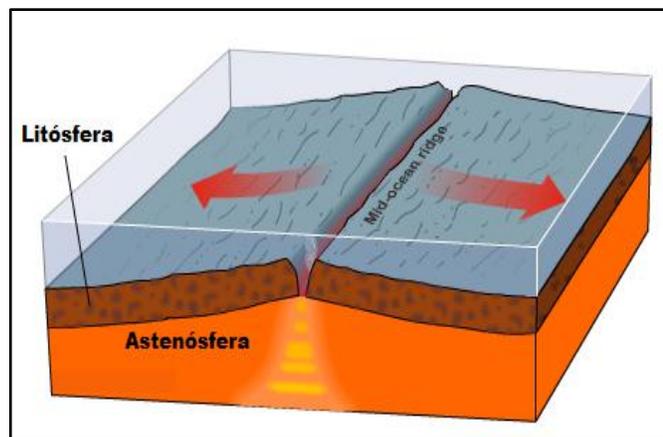
- Placas oceánicas, placas de litosfera oceánica solamente.
- Placas Continentales-Oceánicas; placas de litosfera continental y oceánica.



Una gran parte de los fenómenos y actividades geológicas ocurren en los bordes de las placas, producto de los choques de estas ocasionando sismos o zonas volcánicas. Las placas tectónicas tienen tres tipos de movimientos, el de separación o divergencia, de convergencia o acercamiento, y cizalla (deslizamiento lateral) o tres tipos de límites convergente, divergente y transcurrentes.

El movimiento de separación o de expansión del fondo oceánico que ocurre cuando dos placas se mueven en dirección opuesta formando así nueva litosfera; el límite de las placas que se separa es, un borde constructivo o de acreción de placa, que consiste en la adición de depósitos sedimentarios o irregularidades topográficas que se unen a la placa oceánica o continental. El crecimiento de las placas o de la litosfera se presenta en las dorsales que se extienden en los fondos oceánicos, las dorsales son límites constructivos de las placas por donde el material nuevo, lava o magma asciende y se extiende a los lados de las hendiduras o riffs.

Figura 7. Borde divergente



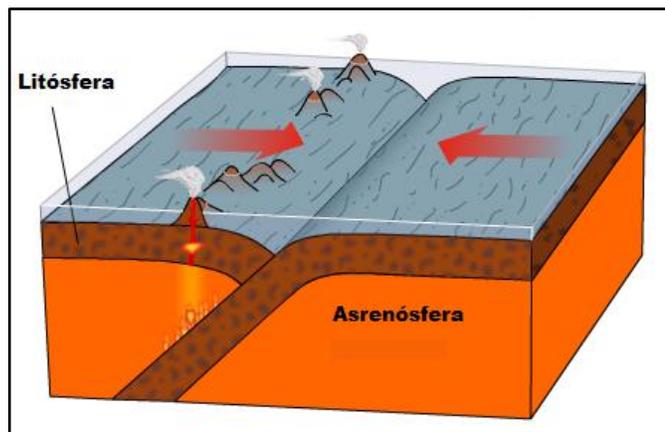
Fuente: www.bioygeo.info/Animaciones/PlateMotion.swf



Los movimientos de convergencia, destrucción o comportamiento de cabalgamiento donde la placa más densa y pesada que se desliza (Subduce) debajo de la más liviana consumiéndose en el manto, y la placa más liviana se coloca sobre la otra (Cabalgamiento). En este movimiento los límites de estas placas son destruidos y se encuentran ligados a una gran actividad sísmica, volcánica y formación de cordilleras. Existen tres tipos de límites convergentes:

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

Figura 8. Borde convergente

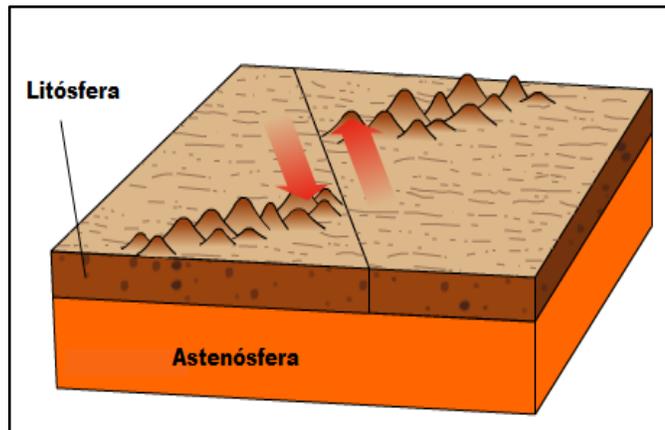


Fuente: www.bioygeo.info/Animaciones/PlateMotion.swf

Movimiento de cizalla o deslizamiento lateral u horizontal de sentido opuesto de placas que no origina nueva litosfera, ni la destruye, estas áreas también se llaman bordes pasivos o transformantes donde se producen sismicidad moderada creando una zona de alta presión formando rajaduras o fracturas de la corteza.



Figura 9. Borde transformante.



Fuente: bioygeo.info/Animaciones/PlateMotion.swf

1.4.1.1 Tectónicas en el caribe

Acorde con el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias (2001), los desplazamientos de las placas tectónicas originan diferentes fenómenos como los de compresión y cizallamiento que dan como resultado en la subducción de las placa Nazca y del Caribe bajo la placa Sudamericana formando la cadena del caribe o cinturones del Caribe. Además este proceso tectónico da origen a las características morfológicas y sedimentológicas del área de Cartagena.

1.4.2 Amenaza

Una amenaza es un evento extraordinario o extremo en el ambiente natural ya sea geológico, hidrológico o atmosférico como terremotos, erupciones volcánica, inundaciones etc. o provocado por el hombre, que afecta desfavorablemente la vida humana, propiedad o



actividades al extremo de causar un daño al funcionamiento de la sociedad, llegando a causar pérdidas humanas.

1.4.3 Membrillal

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias (2001), Membrillal es una zona rural limitada por la variante de Mamonal y el perímetro de la ciudad de Cartagena, donde se busca incentivar un desarrollo agroindustrial. La vereda de Membrillal se encuentra ubicada sobre un volcán de lodo fruto del fenómeno de Diapirismo de lodo que hace parte de una gran parte de la región Caribe Colombiana.

Figura 10.Membrillal



Fuente: Google Maps 2013. Modificado por Autores



1.4.4 Diapirismo de lodo

El diapirismo es comúnmente salino pero también puede haber diapirismo de lodo o arcillas plásticas como en Membrillal. Los diapiros son una masa de limos, de sal o de lodo, y gases que escapan a la superficie a través de las rocas, rompiéndolas o por sistemas de fallas y fracturas preexistentes u originadas por este proceso, migrando desde zonas de grandes presiones a zonas de baja presión, por el resultado de la diferencia de densidades entre estos materiales de baja densidad (lodo) y la superficie de materiales de mayor densidad como limos, arenas y gravas, el diapirismo es causante de alteraciones estructurales como deslizamiento de cuerpos sedimentarios (Instituto geológico y minero de España, Riesgos geológicos).

Cuando los diapiros logran ubicarse en o cerca de la superficie, se forman domos diapíricos, alineándose según la falla por la que ascendieron, es hay en el domo donde se forman los volcanes de lodo lugares donde se expulsa el lodo a la superficie ya sea por grietas del terreno o conductos pocos definidos.

Dice O" Brien (1968) (O" Brien, 2007) que la forma y molde de los diapiros está totalmente relacionada con la acumulación, con el suministro del material diapíricos y del efecto de extensión. Aunque este fenómeno tiene periodos largos de manifestaciones de erupciones violentas aproximadamente cada 20 ó 30 años.

1.4.4.1 Origen del diapirismo de lodo en la región de Cartagena

El diapirismo es una manifestación tectónica y sedimentaria, directamente relacionado con la propiedad de fluir que tienen las mezclas de materiales finos (lodo y arcilla) de baja densidad y alto contenido de gas principalmente metano. Estos lodos diapíricos se originaron en formaciones geológicas localizadas a muchos kilómetros de profundidad y en ambientes con sedimentación abundante y rápida fueron formados. El diapirismo es parte



de la estructura del denominado Cinturón de Sinú dentro del cual se encuentra la región de Cartagena como todas sus áreas emergidas y sumergidas del Distrito. (Plan de ordenamiento territorial, 2001)

1.4.4.2 Amenaza del diapirismo de lodo en la región de Cartagena

La amenaza geológica del diapirismo de lodo en la región de Cartagena se puede originar por el emplazamiento de los domos en o cerca de la superficie, como por explosiones del volcán de lodo y zonas aledañas, estos fenómenos afectan las infraestructuras físicas, y además causan levantamientos y hundimientos del terreno, explosiones violentas y generan coladas de lodo.

1.4.5 Volcán de lodo

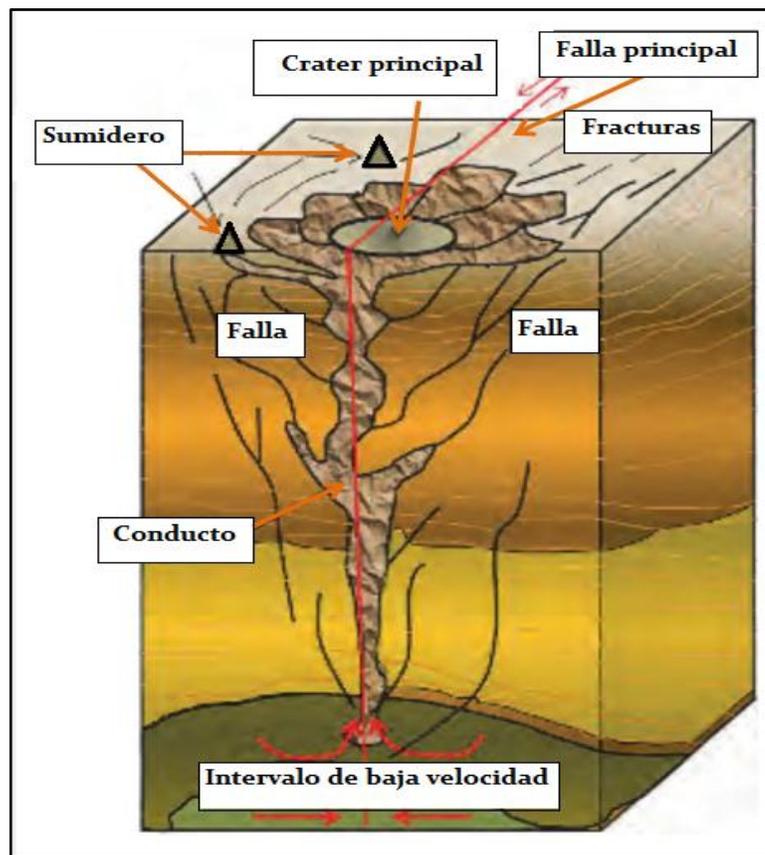
Es una manifestación o expresión externa del fenómeno de Diapirismo de lodo. Son cerros que tiene forma domica que cuentan con una morfología colinada y con laderas convexas y una cima totalmente plana o en forma de artesa, puede ser por la acumulación de lodos por erupciones pasadas o por la deformación del terreno por el empuje vertical de los materiales confinados a grandes profundidades y expulsados por diversos factores como la compresión tectónica, alta concentración de gases o por la diferencia de densidades de materiales confinados.

Este fenómeno de características regionales se presenta en Colombia desde el área de Barranquilla hasta el Golfo de Urabá, involucrando terrenos tanto marinos como continentales, en lo que ha sido llamado Cinturón del Sinú. (DUQUE, 2007). Los volcanes de lodo de la costa Caribe que tiene forma de domo con inclinaciones de 15° 20° se forman sobre lodos consolidados con gravas y bloques de aproximadamente 1m rodeado de un



material arcilloso gris oscuro, estos bloques son de arenisca, cuarzo, feldespato, arcillolitas, limolitas y calizas que se caracteriza por su alto grado de fracturamiento causado por la expansión de los gases mediante su asenso alas superficie. Normalmente sobre la cima se presentan manaderos de lodo con bocas de diferentes tamaños entre 0.1 – 60 cm.

Figura 11. Estructura básica de un volcán de lodo en donde se muestran sus partes principales.



Tomado de Istadi et al., 2012 por Juan David Quintero Ramírez, Interpretación sísmica de volcanes de lodo en la zona occidental del abanico del delta del rio magdalena, Caribe Colombiano y modificado por Autores.



1.4.6 Volcanismo de lodo en el caribe

La región del Caribe Colombiano se caracteriza por dos grandes zonas geológicamente diferentes: Una región estable o de plataforma y una región inestable. La región de plataforma involucra los terrenos planos y cenagosos del valle inferior del Río Magdalena, constituida por una corteza continental no plegada, alterada por una zona tectónica de bloques que definen altos y depresiones en profundidad.

Hacia el occidente y limitada por el lineamiento de la falla de Romeral, se encuentra la región inestable o geosinclinal la cual está constituida por dos elementos estructurales mayores llamados Cinturón fragmentado de San Jacinto y Cinturón del Sinú producto de la convergencia de la placas del Caribe y la margen noroeste de la placa Suramericana. Estos dos elementos estructurales corresponden a dos prismas de acrecimiento producto de la interacción convergente de las placas Caribe y suramericana que empezó en el Eoceno - Oligoceno hace aproximadamente 36 millones de años (PELGRAIN, 2007)

1.4.6.1 Cinturón de san Jacinto

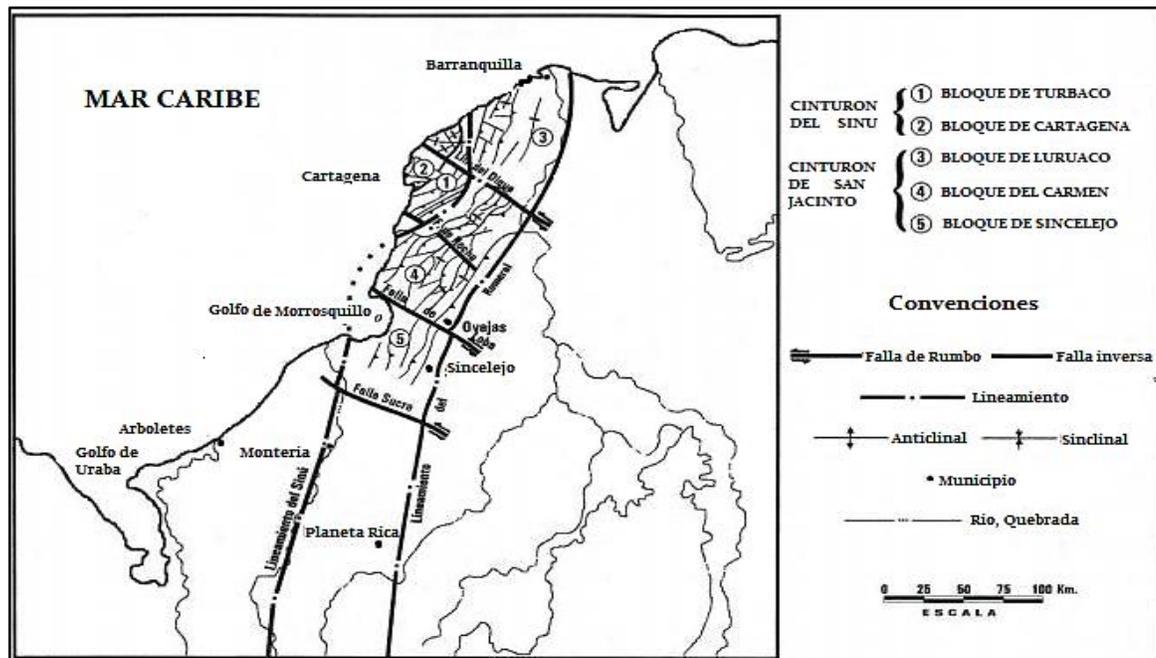
El Cinturón de San Jacinto comprende las franjas montañosas y de colinas de la serranía de San Jacinto y Luruaco.

Su límite W es el Lineamiento del Sinú, y al E el nombrado Lineamiento de Romeral. Desde la estratigrafía, la estructura de Romeral está controlando la sedimentación de las unidades litoestratigráficas del pre-Mioceno medio. (Servicio geológico Colombiano, 2008) Las unidades del post-Mioceno medio afloran al E de este rasgo estructural, pero se describen dentro del Cinturón para darle continuidad estratigráfica. El Cinturón de San Jacinto ha sido separado en dos subregiones definidas por presentar secuencias estratigráficas, especialmente en el intervalo Eoceno medio-Mioceno inferior. Estas subregiones están divididas por dos lineamientos NWW que se han llamado, de S a N, Lineamiento de Loba y Lineamiento del Dique. Una subregión de este cinturón se ha



llamado Anticlinorio de Luruaco, y limita al S por el Lineamiento del Dique y al N por la línea de costa del Caribe. La otra subregión es el Anticlinorio de San Jacinto Norte y está limitada por el Lineamiento de Loba al S y por el Lineamiento del Dique al N Duque 1979 (Duque S. g., 2008).

Figura 12 Mapa del marco estructural del Cinturón de San Jacinto y Sinú Norte



Tomado de Reyes y Otros (2001) citado por Servicio geológico Colombiano. Investigación del diapirismo de lodo y evolución costera del Caribe Colombiano Geomorfología Sector I, 2008.

1.4.6.2 Cinturón del Sinú

El cinturón del Sinú o también llamado Bloque Tectónico de Turbaco en la parte del norte, (Reyes y Clavijo, 2008) es un elemento estructural donde son de común ocurrencia los volcanes de lodo, el cual incluye una parte continental y una parte submarina, esta secuencia sedimentaria tiene aproximadamente 8 Km de espesor. (Duque- Castro, 2008) Se encuentra paralelo al occidente del Cinturón de San Jacinto en su porción sur, pero cambia

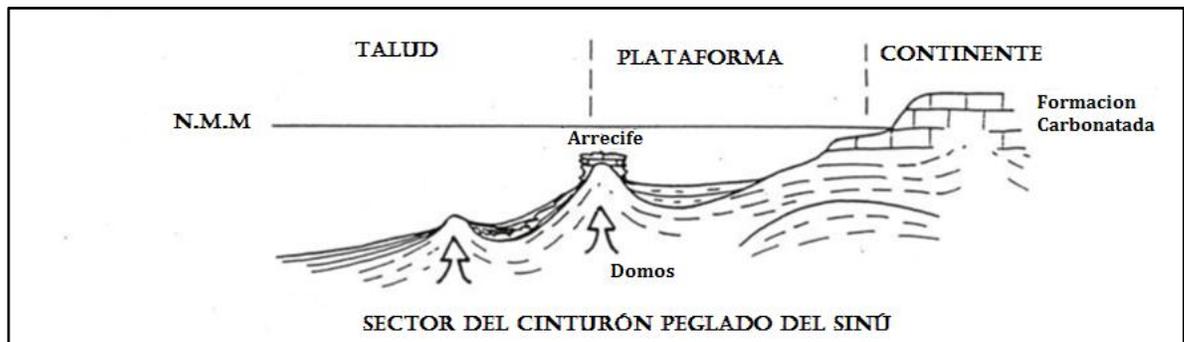


de dirección hacia el noreste en la región de Cartagena, por efecto de probables fallas transcurrentes o de rumbo de dirección NW-SE.

El Cinturón del Sinú o llamado Bloque Tectónico de Turbaco está en el costado oriental de Cartagena. Aparecen, de más antigua a más joven, las formaciones Arjona, Bayunca, Rotinet, Arroyo Grande y La Popa. También está el Anticlinorio de Turbaco, en los alrededores de Cartagena y la zona de Galerazamba-Barranquilla. Su límite W es el Mar Caribe y su límite S a la altura del Canal Correa, en la región de María La Baja, al N de Sucre.

Es propio en las rocas del Cinturón del Sinú, las rocas turbidícas y pelágicas, y la disposición de sinclinales amplios limitados, correspondidos con fallamientos inversos, en esta zona es bastante común las estructuras diapíricas, donde se localizan los volcanes de lodo y los domos producto del Diapirismo de Lodo, o Plutonismo de Lodo, como lo llama Duque. Estos volcanes de lodo se identifican por geoformas de tipo domico achatada de por lo menos 500 m de radio, en la parte más alta de la estructura se encuentran una o varias bocas de lodo, con diferencia de tamaños (20 cm a 80 m de diámetro). Por estas bocas salen burbujas constantemente acompañadas de pequeñas cantidades de lodo causadas por la expulsión de metano.

Figura 13. Característica Cinturón del Sinú



Fuente: Google, Wikipedia 2013



En el área de Bayunca se encuentran una gran variedad de bocas de volcanes de todo tipo hay más 100 bocas, la región de Lomarena - Galerazamba se encuentran 15 manaderos de 0.4-1.6 m de altura de diferentes tipos, igualmente en esta región encontramos el volcán del Totumo de más de 20 m de altura y 35m de base.

El lodo expulsado de los volcanes se caracteriza por mostrar diferente fluidez y densidad aun en bocas cercas, unos solo expulsan lodo otros lodo con gas metano.

1.4.7 Localización de volcanes de lodo en la costa caribe

Según informes de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá 2008 la mayor concentración de volcanes de lodo se encuentra en Córdoba en la ciudad de Montería y al Noroccidente de Antioquia con son 47 sitios identificados hasta la fecha, luego sigue la Ciudad de Cartagena con 20 lugares distribuidos en la región de Bayunca- Arroyo piedra, Galerazamba, en Turbaco, en Santa Catalina, al Noreste de Clemencia, en Cañaveral, en Flamenco y loma Bonita al sur del canal del Dique, y al Suroccidente dela ciudad de Cartagena como los de Membrillal. También se conocen concentraciones de volcanes submarinos frente a la comunidad de Damaquiel en octubre de 1992 y frente a Punta Canoas.



Figura 14 Imagen de la costa de Damaquiel en 1992



Fuente: Diapirismo y vulcanismo de lodo, Un recorrido por el Caribe Colombiano por Fabián Hoyos Patiño- Universidad Nacional de Colombia 2008.

Galerazamba es el lugar donde se encuentran más volcanes de lodo. Este lugar se encuentra aislado sin controles estructurales o relacionados con la falla del totumo, donde hay lomas y colinas. Sobresalen los volcanes de lodo de Las Palomas, Luisa, Galerazamba, Pueblo Nuevo, el Totumo, Lomita Arena y La Bonga. También hay bocas de lodos aisladas como los que están en la ciénaga la Redonda y al Noreste del volcán de lodo de Pueblo Nuevo en el sector las Marías. Las características de estos volcanes son:

1.4.7.1 Volcanes de lodo de pueblo nuevo

Es un volcanes muy conocido, además ha tenido erupciones violentas de lodo y bloques, como la del 27 de abril de 1999, se encuentra al Noreste de la población de Galerazamba, y un domo de 1500 m de diámetro y 50 - 60 m de altura, con un cráter en forma de artesa de 100 m con 15 bocas o manaderos de tipo A y O de 0.4 m hasta 1.6 m de altura, al norte también se encuentran bocas de tipo C hasta de 50 cm, y dentro de la población en el sector los olivos se encuentran bocas de tipo O hasta de 20 cm con baja actividad. La estructura



está formada por arcillas arenosas pardo grisosas con bloques angulares embebidos de 5 - 70 cm de arenisca, cuarzo, limonitas calcáreas y areniscas calcáreas.

Figura 15 Bocas del Volcán de Pueblo Nuevo



Fuente Diapirismo y vulcanismo de lodo, Un recorrido por el Caribe Colombiano por Fabián Hoyos Patiño- Universidad Nacional de Colombia 2008

El lodo expulsado por las bocas de los emanaderos del volcán de Pueblo Nuevo está constituido por una mezcla de caolinita y esmectita, con mucha cantidad de cuarzo y poca lilita. En los gases emanados predomina el metano con niveles bajos de bióxido de carbono.

1.4.7.2 Volcán de lodo el totumo

Es un volcán muy conocido y una atracción turística, además ha tenido erupciones violentas de lodo y bloques, como la del 23 de agosto del 2000, tiene un diámetro de 800 m y una altura de 25 m, en la cima del volcán se encuentra una artesa como cráter de 25 a 30 m de diámetro con 10 bocas de 50 cm de diámetro tipo O.



Figura 16. Volcán El Totumo



Fuente: Google, Wikipedia 2013.

En las laderas se encuentra arcilla arenosa perdisca destacándose la presencia de gravas de chert negro, gris y cuarzo lechoso, con bloques de limolitas ferruginosas y areniscas calcáreas y ferruginosas de grano fino. Al estudiar el lodo en tres zonas del volcán de lodo El Totumo se encontró mucha caolinita y pocos contenidos de esmectita y altos contenidos de cuarzo y bajos en illitas.

1.4.7.3 Volcán de lodo de Galerazamba

Tiene un domo de 1015 m de altura, y un diámetro de 300 m está junto a la población de Galerazamba, con una artesa como cráter de diámetro de 60 m de diámetro, con 7 emanaderos con 10 - 50 cm de diámetros tipo O, de donde brota lodo acompañado por burbujeo constantemente. Este volcán está cubierto por arenas finas como las de playa (Geomorfología Sector I).



1.4.8 Características eruptivas

El flujo de lodo es pasivo, esporádicamente y con una recurrencia aun no establecida se estima que es de más o menos cada 20 a 30 años en promedio, los volcanes muestran erupciones violentas de lodo y bloques de roca fracturada probablemente por efecto del esparramiento de los gases a medida que estos salen a la superficie, estas manifestaciones son una gran amenaza y riesgo para las personas que viven en el lugar. Los volcanes que han tenido explosiones violentas están asociados a las fallas de cabalgamiento, donde nos muestra que estas erupciones están relacionadas con las fallas geológicas de la zona.

1.4.9 Antiguas erupciones de volcanes de lodo

El padre Jesús Emilio en 1979 Ramírez fue uno de los primeros en guardar y almacenar la información sobre volcanes de lodos y lo presentó en su obra denominada “el volcán submarino de Galerazamba” en la que relata varias explosiones. También mencionan las observaciones hechas del fenómeno por los naturalistas Alejandro Von Humboldt, Hermann Karsten y Wilhelm Reiss.

Cuando los volcanes de lodos se localizan en zonas marinas y hacen erupciones aparecen islas momentáneas con todo ese lodo y por generalmente seguido de explosiones de fuego. Como lo ocurrido en el mes de diciembre de 1979 al frente de la población de Punta Canoas, que apareció una isla que duró varios días y desapareció por consecuencia de la erosión marina. Otro caso de aparición de una isla fue frente a la costa de Damaquiel en el año de 1992. Los escapes de gases que salen del volcán de Galerazamba cuando salen a la superficie producen incendios que son vistos por la población. Unas de las últimas manifestaciones sucedieron el 27 de diciembre de 1991 y ocurre aproximadamente cada 18 ó 20 años.



El 27 de abril de 1999 hizo erupción el volcán de lodo de Pueblo Nuevo en la región de Galerazamba. El fenómeno produjo aproximadamente 60.000 m³ de lodo que gran parte de este lodo se canalizaron por drenaje del sector noroccidental del cono volcánico de lodo. Tiempo después, el 23 de agosto del 2000 el volcán de lodo de El Totumo hizo erupción, ocasionado emergencia ya que arrojó aproximadamente 35.000 m³ de lodo, bloqueando la carretera de acceso hacia el mismo volcán ya que es conocido por ser un atractivo turístico (CARVAJAL, 2000).

En zonas muy cerca a Bayunca se han manifestado erupciones de lodos que acaba con la zona de los bosques en el sector suroriental de Arroyo de Piedra. Como en mayo de 1996 hizo erupción el volcán de lodo El Reposo que se encuentra a un 1km al norte de bayunca provocando daños y cubriendo de lodos una zona de 200 m a la redonda y el año siguiente también hizo erupción (CARVAJAL, Investigación del diapirismo de lodo y evolución Costera del Caribe Colombiano- Geomorfología Sector, 1996).

El volcán de lodo de Don Juan se halla a un kilómetro al norte del volcán de lodo El reposo, que hizo erupción el mes de abril de 1990, porque se encuentra en una zona apartada no se tiene registro del impacto que causó la erupción.

En estas erupciones de lodos son una amenaza ya que a veces se presentan con llamas y ocasionando muchos daños, como se presentó en el volcán de la Lorenza que terminó acabando con varias vidas de animales y enterrando un casa en el año de 1976 por las bocas el Cocuyo y San Diego .En el transcurso de los años, en una zona cercana al volcán de la Lorenza, hubo una gran erupción de lodo y gases el 9 de marzo de 1992 que dañó terrenos en un diámetro aproximadamente a los 600 m y causando heridas de quemaduras de segundo grado a un infante (CARVAJAL Y VEGA, 1992). El volcán arrojó aproximadamente 80.000 m³ de lodo que se estuvieron almacenando, hasta formar una



mesa de 200 m de diámetro y 2.5 m de altura. Se provocaron incendios que se extendieron a más de 300 m al sur este de la zona de manifestación (Investigación del diapirismo de lodo y evolución Costera del Caribe Colombiano-).

En el departamento de Antioquia, el volcán de lodo de Cacahual se manifestó con una erupción en el año de 1992 donde INGEOMINAS 1993 reporto incendios ocasionados por estas erupción .En el año de 1987 se también presento una erupción el volcán de lodo en la vereda los Palmares de Turbo, que causo el bloqueo de las carreteras.

Para zonificar la amenaza relacionada con el volcanismo de lodos, se realizó un estudio de las características geofísicas del fenómeno llamado volcán de lodo realizado por INGEOMINAS donde se hizo el análisis al volcán de lodo localizado al sureste de Cartagena. Los primeros acercamientos en zonificar la zona lo realizo la firma Impactos Ambientales (1998) al mismo “volcán de lodo”, referenciando una zona que está directamente relacionada con el volcán con los datos de prospección geoelectricos en el cual se pudo saber la profundidad y la continuidad de los conductos de lodo.

Con todas las manifestaciones y problemas que causan los volcanes se clasificaron en dos tipos (Duque C. y., 1998)

Sector I):

- 1) Los terrenos se encuentra en de carácter regional y se caracteriza por explosiones violentas de lodos (Tipo 1).
- 2) Los terrenos Tipo 2, se caracterizan por ser lomas que son levantadas por el flujo de lodos que pasan por conductos y permanecen aparentemente intactas desde su generación.



1.5 MARCO LEGAL

En Colombia existen leyes y decretos que tratan de solucionar los problemas causados por fenómenos naturales que afectan a la sociedad, existen varios marcos normativos nacional: como políticas, leyes, decretos, resoluciones, reglamentos y ordenes ya sean ministeriales, local, acuerdos municipales. El Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres es un conjunto de entidades públicas, privadas y comunitarias integradas, que tienen por objeto dar soluciones a los problemas de seguridad de las poblaciones que se presenten por la eventual ocurrencia de fenómenos naturales o antrópicos. A continuación se enuncia el marco legal, que rige el funcionamiento del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

- Ley 9 de 1989 Por la cual se dictan normas sobre planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes y se dictan otras disposiciones.
- Ley 02 de 1991 Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989.
- Ley 03 de 1991 Por la cual se crea el Sistema Nacional de Vivienda de Interés Social, se establece el subsidio familiar de vivienda, se reforma el Instituto de Crédito territorial, ICT, y se dictan otras disposiciones.
- Ley 60 de 1993 Por la cual se dictan normas orgánicas sobre la distribución de competencias y se distribuyen recursos según los artículos 356 y 357 de la Constitución Política. Sobre participación de los municipios en los ingresos corrientes de la Nación, en el artículo 21 numeral 12, define la destinación para actividades en prevención y atención de desastres: adecuación de áreas urbanas y rurales en zonas de alto riesgo, reubicación de asentamientos, prevención y atención de desastres.
- Ley 46 de 1988: “Por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, se otorgan facultades extraordinarias al Presidente de la República y se dictan otras disposiciones”.



- Ley 99 de 1993: “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”.
- Ley 136 de 1994: “Por la cual se dictan normas tendientes a modernizar la organización y el funcionamiento de los municipios”. Es función del municipio: Planificar el desarrollo económico, social y ambiental de su territorio, de conformidad con la ley y en coordinación con otras entidades
- Ley 152 de 1994: “Por la cual se establece la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo”.
- Ley 322 de 1996: “Por la cual se crea el Sistema Nacional de Bomberos y se dictan otras disposiciones”
- Ley 388 de 1997: “Por la cual se crea el Plan de Ordenamiento Territorial” Establece que dentro de los planes de ordenamiento territorial, ya sean planes de ordenamiento, planes básicos o esquemas de ordenamiento, deben delimitarse las zonas de riesgo para la vida o la salud humana y establecer mecanismos de solución. Esta ley, en buena forma, hace una integración del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres con el Sistema Nacional Ambiental, no sólo porque involucra el tema relacionado con los riesgos naturales en los procesos de planificación, sino además, porque establece mecanismos para solucionar los problemas actuales y prevenir los futuros, teniendo en cuenta los aspectos medioambientales del ordenamiento.
- Ley 812 de 2003: “Plan Nacional de Desarrollo: Hacia un Estado Comunitario Título II: Plan de Inversiones Públicas, Capítulo II: Descripción de los Principales Programas de Inversión, Literal (C): Construir Equidad Social, Ordinal 8: Prevención y Mitigación de Riesgos Naturales”.
- Decreto 1355 de 1970: “Por el cual se dictan normas sobre policía. Determina medidas en caso de calamidad y amenaza de ruina”.



- Decreto 2341 de 1971: “Por medio del cual se organiza la Defensa Civil Colombiana”.
- Decreto 2811 de 1974: “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”.
- Decreto 1547 de 1984 (Reglamentado por el Decreto 843 de 1987): “Por el cual se crea el Fondo Nacional de Calamidades y se dictan normas para su organización y funcionamiento”.
- Decreto 0004 de 1993: “Por medio del cual se reglamenta parcialmente la Ley 3ª de 1991. Capítulo I Situaciones de Desastres o Calamidad Pública y capítulo II Zonas de Riesgo”. (Subsidio familiar de vivienda a hogares ubicados en zonas declaradas de desastre o calamidad pública y a hogares localizados en zona consideradas como de riesgo).
- Decreto 1743 de 1994: “Por el cual se instituye el Proyecto de Educación Ambiental para todos los niveles de educación formal, se fijan criterios para la promoción de la educación ambiental no formal e informal y se establecen los mecanismos de coordinación entre el Ministerio de Educación Nacional y el Ministerio del Medio Ambiente”.
- Decreto 919 de 1989: “Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones.”
- Directiva Presidencial No.33 de 1991: “Responsabilidades de los organismos y entidades del sector público en el desarrollo y operación del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres”.
- Directiva Ministerial 13 de 1992: “Responsabilidades del Sistema Educativo como integrante del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres “.
- Decreto 969 de 1995: “Por el cual se organiza y reglamenta la Red Nacional de Centros de Reserva para la atención de emergencias”



- Decreto 93 de 1998: “Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres”, que tiene como objeto orientar las acciones del Estado y de la sociedad civil para la prevención y mitigación de riesgos, los preparativos para la atención y recuperación en caso de desastre, contribuyendo a reducir el riesgo y al desarrollo sostenible de las comunidades vulnerables ante los eventos naturales y antrópicos.
- Documento CONPES 3146 de 2001: “Estrategia para consolidar la ejecución del Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres —PNPAD- en el corto y mediano plazo”.
- Directiva Presidencial 005 de 2001: “Actuación de los distintos niveles de Gobierno frente a Desastre Súbito de carácter Nacional”.



2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la amenaza geológica potencial del volcanismo de lodo en la vereda de Membrillal-distrito de Cartagena, mediante análisis de información secundaria temática para determinar los factibles escenarios de riesgo potencial con base en una comparación del comportamiento geológico de los diferentes volcanes de lodo del Caribe Colombiano.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la situación riesgo actual respecto a la población en área de estudio.

- Definir criterios de identificación de riesgos y amenazas, y comparar el comportamiento del volcán con otros volcanes de la Costa Caribe.

- Analizar mapas y cortes geo-eléctricos secundarios para evaluar la profundidad de las emanaciones locales de lodos y gases.

- Analizar, evaluar e integrar toda la información recolectada para identificar la amenaza potencial del volcanismo de lodo en Membrillal, la vulnerabilidad presente y escenarios de riesgo potencial.



3 METODOLOGÍA

El tipo de investigación que se realizó en este proyecto es de tipo mixta, una combinación entre la investigación exploratoria y la descriptiva.

Se llevó a cabo la evaluación del riesgo potencial de los volcanes de lodo en la vereda de Membrilla-(Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias) utilizando una metodología basada en las siguientes etapas:

3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

La recopilación de la información tuvo en cuenta los resultados obtenidos en el proyecto investigativo de la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique – CARDIQUE – y la Fundación para el Desarrollo Sostenible– Despertar Comunitario, en el proyecto **“Evaluación de Amenaza Geológica Producida por el Fenómeno Diapirismo de Lodo en la Vereda Membrillal – Distrito de Cartagena de Indias y Corregimiento de Flamenco, Municipio de Marialabaja –Jurisdicción de CARDIQUE”**.

Además se investigó varios aspectos de la zona de estudio como la topografía, geomorfología, cartografía, fotos aéreas, geología, aspectos hidrológicos y climáticos; y datos de campo como: exploración del subsuelo, sondeos geo-eléctricos y diagnósticos geológicos realizados en el área.



3.2 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

La etapa de reconocimiento de campo se fundamentó en la ejecución de visitas técnicas en la zona de estudio, donde se evaluó el grado de vulnerabilidad estructural de las viviendas localizadas aledañas a las emanaciones o bocas de lodos.

Para esta actividad se llevó un registro fotográfico detallado y la ubicación de las zonas críticas y de mayor susceptibilidad a este fenómeno geológico.

3.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA

Las visitas nos permitió determinar la presencia, ubicación y cantidad de las emanaciones o bocas de lodos y gas, además se realizó una parte social al recopilar información basada experiencias y datos suministrados por la población directamente afectada permitiendo de esta manera establecer las características generales de la problemática.

3.4 ANÁLISIS DE SONDEOS GEO-ELÉCTRICOS

Se analizó los resultados de sondeos geo- eléctricos obtenidos en la Evaluación de Amenaza Geológica Producida por el Fenómeno Diapirismo de Lodo en la Vereda Membrillal – Distrito de Cartagena de Indias y Corregimiento de Flamenco, Municipio de Marialabaja –Jurisdicción de CARDIQUE realizados por la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique – CARDIQUE – y la Fundación para el Desarrollo Sostenible – Despertar Comunitario donde se determinó la resistividad eléctrica del subsuelo y con ello se realizó un informe sobre la profundidad y tipología de las estructuras subterráneas que nos permitió identificar la instrucción de lodos en el subsuelo.



Conocido estos datos se continuó con la realización de cortes electro-estratigráficos que nos permito realizar mapas de susceptibilidad de la zona de estudio.

3.5 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES VOLCANES DE LODO EN EL CARIBE COLOMBIANO CON EL VOLCANISMO DE LODO DE MEMBRILLAL

Comparando el volcán de Membrillal con los comportamientos de los volcanes de lodo en zonas aledañas o la costa caribe, los eventos-efectos de estos volcanes de lodo en sus áreas de influencia.

Al final se buscó evaluar e integrar la información recolectada para definir los criterios que nos permitió identificar la amenaza potencial del volcanismo de lodo, la vulnerabilidad presente y escenarios de riesgo potencial. Se elaboró informes donde se presentó todos los datos y conclusiones obtenidas y recomendación a los habitantes de Membrillal o a las autoridades competentes y posibles soluciones, además se estableció las distancias a las cuales se garantice que no habrá efectos nocivos en los habitantes, teniendo en cuenta las erupciones de volcanes de lodo conocidas.



4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

4.1.1 Aspectos ambientales

4.1.1.1 Clima

Debido a su situación geográfica al Suroeste del Caribe, Cartagena de Indias está bajo la influencia de los desplazamientos Norte - Sur de la Zona de Convergencia Intertropical (Z.C.I.). La Zona de Convergencia Intertropical (Z.C.I.), es un cinturón semicontinuo de bajas presiones localizado entre las regiones Subtropicales de los hemisferios Norte y Sur; este cinturón es conocido igualmente como Cresta Ecuatorial, Frente Intertropical y Frente Ecuatorial. El clima se caracteriza como tropical semiárido. Con un 90% de humedad en sus épocas lluviosas entre Abril- Mayo y Octubre-Noviembre. En el área, se identifican dos períodos climáticos principales, llamados Época Seca (verano) y Época Húmeda (invierno) y una época de Transición (CIOH).

4.1.1.2 Régimen de lluvia en la región de Cartagena

Las lluvias en Cartagena comienzan desde Abril hasta Noviembre, la precipitación total para el área de Cartagena se ubica entre 29 y 244mm/mensual, presentando mayores promedios las zonas rurales, especialmente la parte alta de la cuenca de la Ciénaga de la Virgen. El ciclo de lluvias inicia en Mayo y hasta Noviembre; siendo menor en Junio y Julio, y aumentando Septiembre a Noviembre, donde Octubre es el mes más lluvioso del año con un promedio de precipitación mensual de 244 mm.



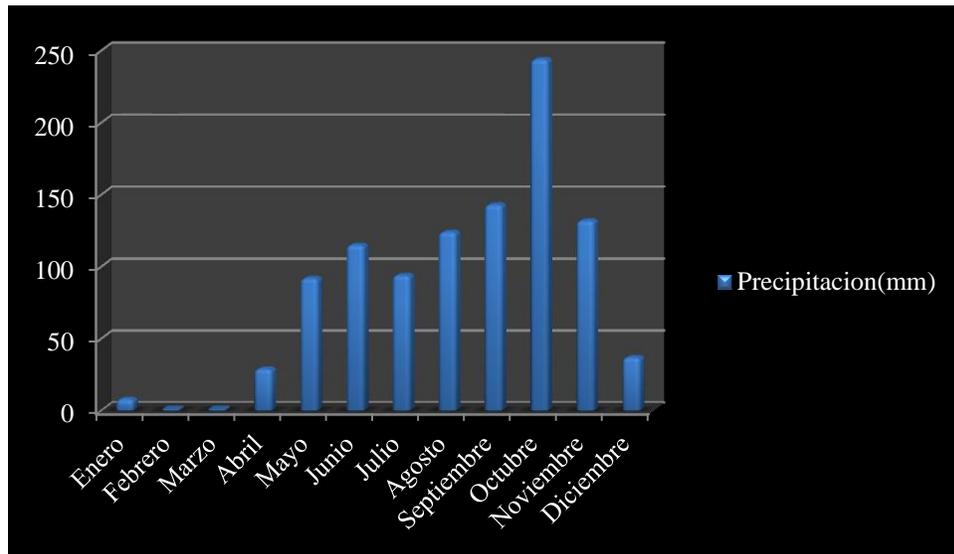
El verano en inicia en diciembre hasta mediados del mes de abril aproximadamente, registrando las precipitaciones más bajas en los meses de enero y febrero como se muestra a continuación en la tabla 2 y en la figura 18. A un que estos períodos de lluvias pueden ser afectados por la presencia de fenómenos climáticos como La Niña y el Niño. Podemos concluir entonces que la ciudad de Cartagena presenta un régimen de lluvia muy variable por las características costeras.

Tabla 2. Régimen de lluvias

Mes	Precipitación(mm)	Días de lluvia
Enero	8	1
Febrero	1	0
Marzo	1	1
Abril	29	3
Mayo	92	10
Junio	115	13
Julio	94	10
Agosto	124	13
Septiembre	143	14
Octubre	244	17
Noviembre	132	12
Diciembre	37	3



Figura 17. Precipitación mensual en el área de Cartagena

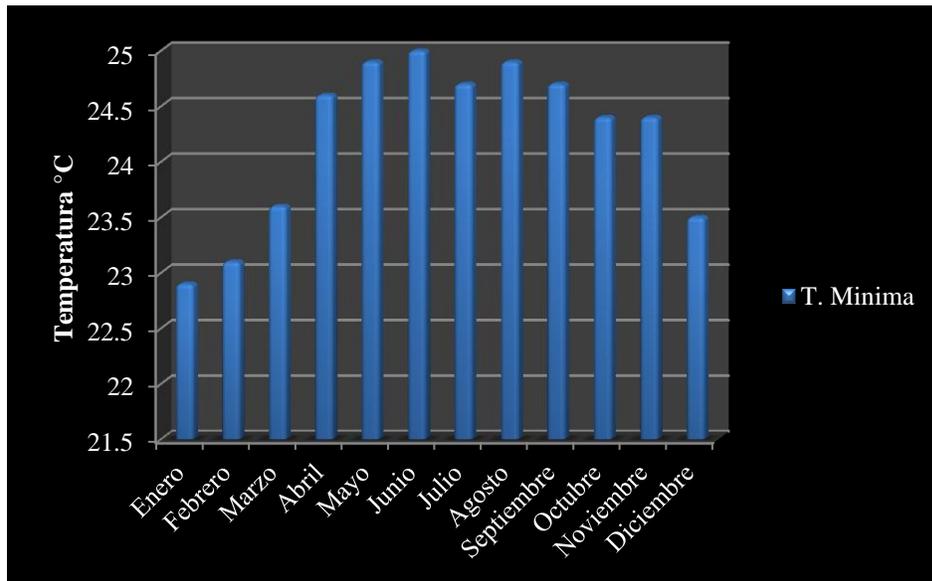


4.1.1.3 Temperatura del aire

Datos del el CIOH registran en Cartagena temperaturas con promedio multianual de 31.5°C, con máximos valores en Junio, Julio y en el mes de Agosto con temperaturas entre 31.9°C Y 32°C, y una temperatura promedio en mayo de 28.3°C y 28.4°C, con valores mínimos de temperaturas en los meses de Enero, Febrero y Marzo de 26.8°C y 27.1°C, como se muestra en la figura 19.

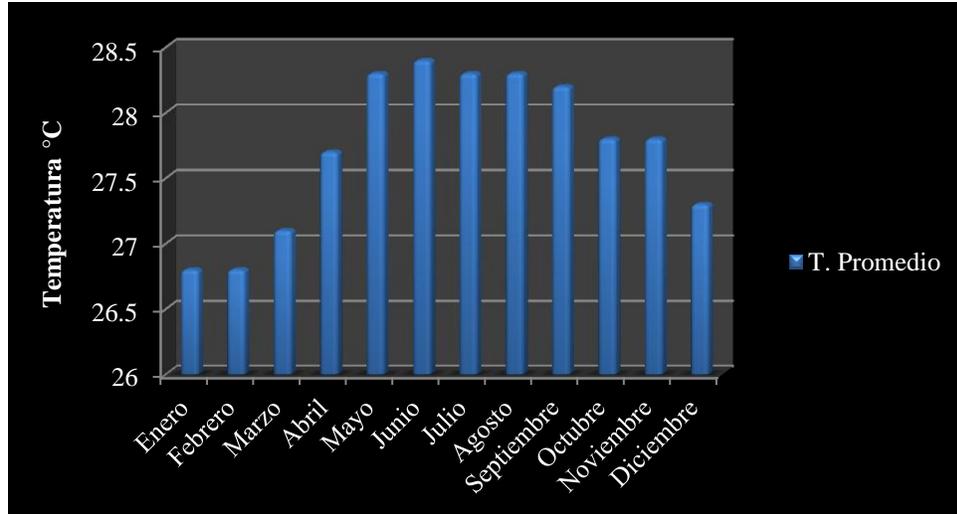


Figura 18. Temperatura Mínima en el área de Cartagena



Fuente: Autores

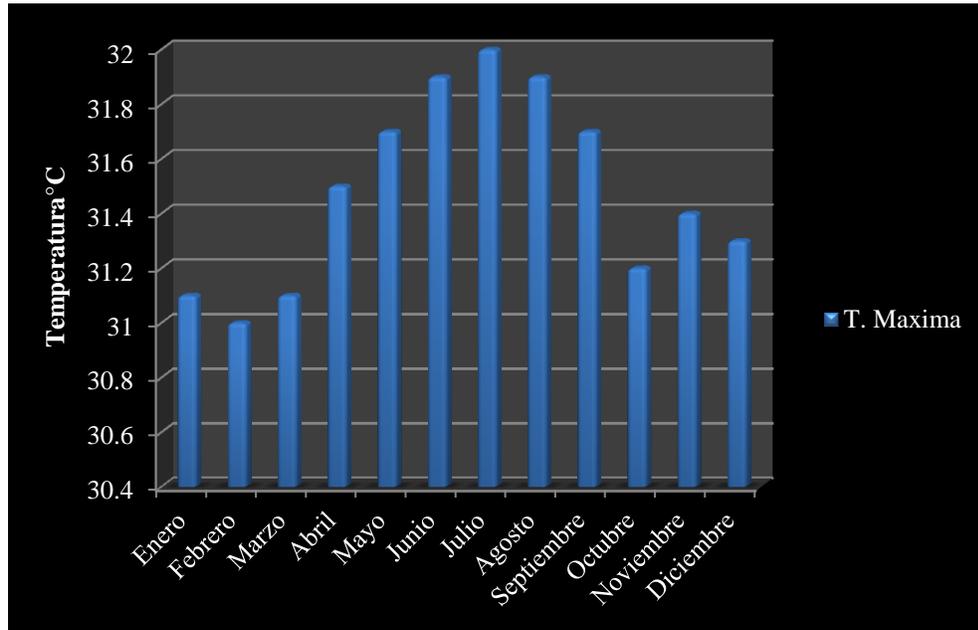
Figura 19. Temperatura promedio



Fuente: Autores



Figura 20. Temperatura Máxima.



Fuente: Autores

4.1.1.4 Humedad relativa

Los mayores niveles de humedad se presenta en el mes de Octubre y Noviembre, los más lluvioso con 82%, le sigue Mayo, Junio, Agosto, Septiembre y Diciembre con 82%. El periodo de menor humedad relativa se ocurre en los meses de Febrero y Marzo con un valor de 78%. La humedad relativa anual es de 80%.

4.1.2 Geología general

El registro geológico más antiguo encontrado en el departamento de Bolívar corresponde al zócalo metamórfico de edad Precámbrico – Paleozoico inferior. Durante el Triásico – Jurásico se desarrolló un vulcanismo ácido continental, efusivo, extrusivo y explosivo que culminó con inyecciones de diques de composición básica. Al finalizar esta fase volcánica



se desarrollan cuerpos intrusivos como el Batolito de Norosí. Para esta época la Serranía de San Lucas era un área emergida sometida a erosión. Posteriormente la Serranía fue sometida al ciclo geológico tectónico andino iniciado en el Cretáceo inferior con la formación de grandes fallas como la Romeral y posiblemente la Palestina, que hacen que la Serranía evolucione a una zona sumergida donde se depositaron las sedimentitas cretáceas. Enseguida un nuevo movimiento de las fallas de Romeral y Palestina se reactivan y se comportan como fallas de rumbo. Luego en el Cretáceo superior se inicia además un periodo de gran actividad ígnea, con intrusión de batolitos y tectónica con la reactivación de las principales fallas preexistentes.

Según Duque-Caro, H. (1.978), al finales del Mesozoico y comienzos del Cenozoico (Cretáceo – Terciario), la falla de Romeral ya delimita dos áreas tecto-sedimentarias, la Serranía de San Lucas, con depósitos de plataforma y al noreste un área con depósitos de ambiente marino profundo. Durante el Paleoceno – Eoceno la Serranía de San Lucas continuó emergida y por acción de la falla de Romeral se presenta un hundimiento que permite depósitos de llanuras abisales y al mismo tiempo se desarrolla un vulcanismo marginal a la plataforma que corresponde a la fase inicial del levantamiento del Cinturón de San Jacinto.

En el Eoceno medio se desarrolló un evento diastrófico denominado Orogenia Pre-andina, que produce el plutonismo tonalítico de Chalán junto con un metamorfismo de bajo grado a lo largo de la margen occidental de la plataforma zona Romeral; un primer levantamiento importante en el Cinturón de San Jacinto y al occidente de origina el surco del Sinú que separa el flanco occidental de San Jacinto y de la llanura abisal. Durante el Eoceno tardío-oligoceno, el mar inició una invasión que conduce a un nuevo ciclo sedimentario sobre la plataforma y al final del Oligoceno, a lo largo del surco del Sinú se desarrolla depósitos de aguas profundas denominados sedimentos pelágicos.



En el Oligoceno – Mioceno hay otro efecto diastrófico denominado fase proto-Andina, que se manifiesta con un basculamiento hacia el occidente de la plataforma, que produce un cambio brusco en la batimetría de la cuenca, a lo largo de Romeral y un nuevo levantamiento del Cinturón de San Jacinto. Durante el Mioceno temprano a medio y como consecuencia del diastrofismo se inicia un nuevo ciclo sedimentario y la invasión del mar se extiende al sur hasta las estribaciones septentrionales de la Cordillera Central. Al occidente del Cinturón de San Jacinto se presentó la emergencia de áreas y en el surco del Sinú continuó el depósito de sedimentos pelágicos.

En el Mioceno tardío – Plioceno se presenta la mayor inestabilidad de la región, se forma la geofractura de Plato y la depresión tectónica de Sucre; el río Magdalena cambia su curso a la posición actual, aprovechando las geofracturas. La sedimentación al occidente del Cinturón de San Jacinto se lleva a cabo en una llanura abisal a la cual llegaban los sedimentos a través de los cañones del Plato y Sinú.

Durante el Plioceno – Pleistoceno ocurrió un importante episodio orogénico en la evolución de los Andes Colombianos, denominada Orogenia Andina. Producto de este son el diapirismo y flujos de lodo, la formación surco de Colombia, el estrechamiento estructural del Cinturón del Sinú, el levantamiento y plegamiento de los cinturones del San Jacinto y Sinú, la emergencia sin plegamiento de la cubierta sedimentaria del área de plataforma.

En Pleistoceno es el tiempo geológico en el cual se define el paisaje actual, se produjeron grandes cambios climáticos producto de la alternancia de periodos de temperaturas frías y cálidas, que constituyeron las glaciaciones en las cuales casquetes de hielo cubrieron gran parte de la superficie terrestre y seguidamente periodos interglaciares.



4.1.2.1 Geología de Membrillal

En el sector de estudio afloran rocas de las formaciones Bayunca, Gravas de Rotinet, y se encuentran distribuidas formaciones recientes relacionados con depósitos de llanura costera, depósitos de playa y de llanura aluvial respectivamente los cuales se describen a continuación;

Formación Bayunca (Ngb): Sobre esta unidad se localiza el Volcán de Lodo de Membrillal. Localizada dentro del denominado Cinturón del Sinú

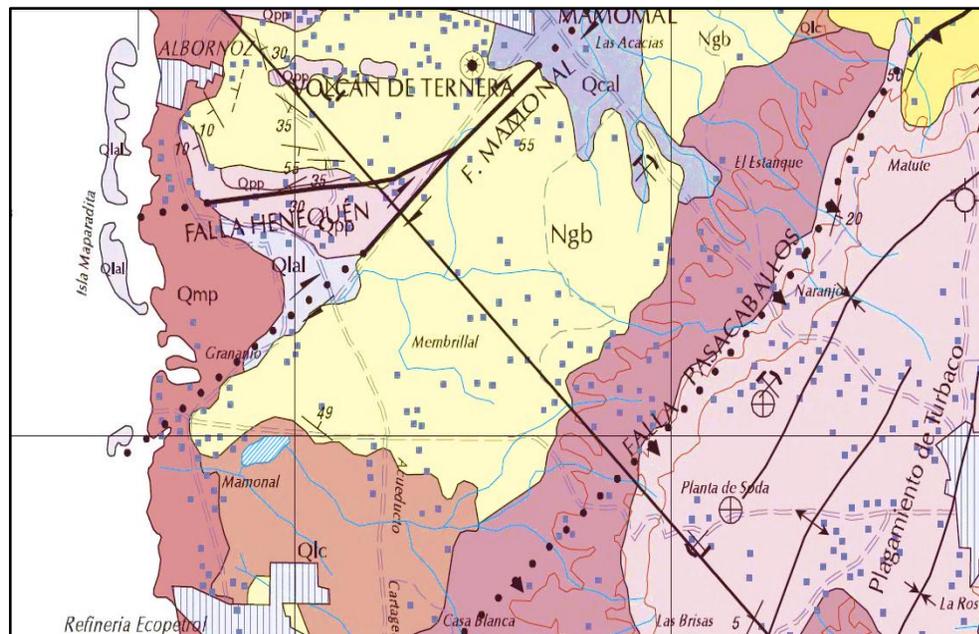
La Formación Bayunca tiene una morfología suave, ondulada a plana y su descripción se hace con base en afloramientos aislados ubicados entre la localidad de Pasacaballos y el caserío de Albornoz. En algunos sitios presenta una secuencia de 100 m, donde hacia la base y con un espesor de 20 m afloran capas de areniscas de grano muy fino, físis, ligeramente feldespáticos (3%) y ligeramente líticas y en capas que varían entre 5 y 25 cm. Estas areniscas se tornan más espesas hacia el techo, presentan estratificación interna plana paralela y están interestratificadas con limolitas, areniscas grises con estratificación ondulosa paralela, en capas que varían de 10 a 80 cm de espesor.

En algunos niveles se observa concentración de bivalvos y turritellas en los planos de estratificación, en otros se encuentran capas nodulares de areniscas calcáreas de grano fino. Le suprayace un grueso paquete de 65 m, donde se observa alternancia de areniscas de grano fino en capas cuyo espesor fluctúa entre 3, 5 y 10 cm, interestratificadas con capas gruesas de limolitas arcillosas con concentración de moluscos y nódulos que sobresalen por ser más resistentes a la erosión que las areniscas calcáreas. En los últimos 15 m superiores de la secuencia aumenta el espesor de las capas de areniscas que alcanzan espesores hasta de 80 cm que muestran estratificación en artesa a gran escala y estructuras de derrumbamiento (slumping structures); en el techo afloran capas de areniscas de grano



grosso a areniscas conglomeráticas de guijos, en capas medias y gruesas. En general, esta unidad se encuentra constituida por una secuencia de lodolitas gris oscuras, claras y negras, con niveles de oxidación de color amarillo, en capas delgadas y medias, laminación interna ondulosa discontinua. Son frecuentes las lodolitas moteadas bioturbadas; la secuencia presenta intercalaciones de limolitas grises pasando a pardas, en capas delgadas; principalmente hacia el techo de la unidad hay intercalaciones de areniscas de cuarzo, gris claro y amarillo claro, de grano fino hasta conglomeráticas; estas últimas son líticas, en capas delgadas y gruesas, estratificación inclinada, flaser, plana paralela y masiva.

Figura 21. Geología de Membrillal.



Fuente: INGEOMINAS 2001

Gravas de Rotinet (Qpr): Con el término Rotinet Gravels se designó un abanico formado por contactos y bloques de rocas ígneas, calizas y chert negro que se extiende en los alrededores de la ciénaga del Guájaro. Caro y se designaron Gravas de Rotinet a sedimentos que afloran en inmediaciones de la población de Rotinet y la Aguada de Pablo.



Las Gravas de Rotinet afloran en el extremo noroeste de la plancha al norte de la población de Piedras; presenta una morfología de mesetas que han sido disecadas.

Está conformada por gravas de cuarzo, chert negro, rocas volcánicas, neises y limolitas, en capas muy gruesas, cuneiformes, con estratificación en artesa y macizas, con intercalaciones de arenitas cuarzosas a sublíticas, de grano fino a medio, frágiles, en capas cuneiformes delgadas y gruesas, con estratificación cruzada.

El espesor de la unidad en el área de trabajo es de alrededor de 70m. La unidad reposa sobre la Formación San Cayetano.

Caro et al. (1985) mencionan la cantera Barrera como localidad fosilífera donde se han reportado vertebrados fósiles a los cuales el paleontólogo Carlos Villarroel asignó al Pleistoceno un *Haplomastodon waringi*, especie de mastodonte suramericano. Estas dataciones permitieron asignar la unidad al Pleistoceno medio.

Depósitos de Llanura Costera (Qlc): Como se discutió en el capítulo de geomorfología, la Costa Caribe en el área de la Plancha 29-30 presenta un régimen de depósito progradante y origina la formación de depósitos orgánicos y clásticos en la llanura costera. Los depósitos orgánicos son de dos tipos, los llamados de manglares y los depósitos asociados con el crecimiento de corales. Como depósitos clásticos se consideran las arenas depositadas y retrabajadas en la zona intermareal; las islas barreras son debidas a la acción de las corrientes marinas y los deltas formados en la desembocadura de las corrientes de agua en el mar.



Depósitos de Playa (Qmp): Los depósitos de playa están localizados a lo largo de la línea de costa y constan de arenas de grano fino a grueso, ocasionalmente con gravas; la mayoría son de color amarillo ocre a grises; en las playas de Barú son blancas.

Depósitos de Llanura Aluvial (Qlal): Los depósitos de llanura aluvial son aquellos depósitos recientes localizados en el área de influencia del Canal del Dique. Se trata de depósitos de poco espesor formados por el fenómeno de arroyadas y compuestos, generalmente, por material fino de arcillas y arenas finas. La morfología de estos depósitos es de planicies ligeramente inclinadas, que siguen la dirección de escorrentía. Asociados con los drenajes mayores se presentan terrazas de extensión limitada y alturas no superiores a los 10 m, compuestos por gravas y esporádicamente bloques.

4.1.3 Geomorfología general

Dentro del sector de estudio se localizan las siguientes unidades geomorfológicas cuya caracterización se basa en la nomenclatura establecida por el ITC de Holanda, la cual fue hecha con énfasis en países tropicales y en la que se determinaron unidades de origen estructural, denudacional estructural y depositacional; cada una de ellas se ha dividido en subunidades que se analizan y clasifican de acuerdo a la escala de trabajo requerida. Es de resaltar que la nomenclatura es específica y su nominación está de acuerdo a la persona que la determina.

En el área de influencia del Volcán de lodo de Membrillal se determinaron las siguientes unidades geomorfológicas.



- Unidades de origen estructural (E)

Volcán de lodo activo (Evl o Sv1): Geoforma generada por la emanación de gases y líquidos que provienen del interior de la de la tierra se forman por una mezcla de agua caliente y sedimentos finos que exhalan lentamente de un hoyo profundo en el terreno. Las erupciones tienen temperaturas aproximadas de 2 a 3 °C sobre la temperatura ambiental, no obstante se pueden presentar algunas explosiones y arrojar lodo y llamas hasta una altura de aproximadamente de 15 m. Es la geomorfología del área de Membrillal.

Ladera de Cuestas (Elc): Corresponde con una ladera estructural cuya geoforma está determinada por el tipo de material que la contiene. Se caracteriza por la coincidencia entre la pendiente del terreo y el ángulo de inclinación de la estratificación rocosa que la contiene. La inclinación de esta unidad en el sector corresponde con 5 a 15 grados.

Contrapendientes estructurales (Ece): Formas del terreno cuya pendiente es perpendicular a la pendiente de la estratificación de las rocas que la contienen. La ondulación del terreno corresponde con el grado de erosión diferencial que se presenta en este tipo de taludes. En las partes altas de esta unidad generalmente se localizan escarpes acantilados. En el sector esta geoforma tiene una longitud corta.

Lomas estructurales (Ele): Corresponden con geoformas de forma redondeada a ovalada de baja altura entre 10 y 40 mt, alargadas con pendientes en forma convexa, las cuales se han ido formando por procesos de meteorización y erosión diferencial.

- Unidades origen depositacional (D)

Llanura costera (Dl1c): Se determina como planicie de baja altitud localizada al lado de una superficie marina la cual se extiende hacia el mar, formando la plataforma continental.



Geológicamente, se trata de un alargamiento del continente y con frecuencia resulta de aluviones amontonados o del accionar del hombre. Las geoformas son planas a onduladas correspondientes con una sucesión de depósitos de origen marino. Terrazas bajas y llanuras de inundación (Dtblli): Geoformas cuyo origen es la depositación de los sedimentos traídos por los diferentes cauces; su constitución es arenosa a arcillosa, generalmente son inundables de acuerdo con su morfología baja.

- Geoformas de origen natural y antrópico (A)

Jagüeyes y depósitos de aguas (Embalses) (Aje): En el sector existen muchos cauces secos, que llevan agua cuando se producen lluvias intensas. Durante la época seca, que puede durar entre nueve meses y varios años, en estos cauces secos o quebradas quedan ciertos sitios con charcos de agua, que se conocen como jagüeyes.

Por lo general, un jagüey se forma donde estratos de rocas afloran a la superficie y el agua subterránea es obligada a salir en forma de un manantial. En algunos sectores los pobladores realizan embalses que semejan Jagüeyes.

4.1.4 Diagnósticos geológicos del área

Desde la primera explosión del volcán de Membrillal, se estipuló que lo mejor era reubicar a la población por la colisión de las viviendas. “Fenómeno natural denominado diapirismo que son unos volcanes que arrojan lodo de azufre, este fenómeno es impredecible y hay que actuar lo más pronto posible” dice Iván Medrano Piñeres - Coordinador la Oficina Distrital de Gestión del Riesgo de Desastre –ODGRD Ricardo Virguez Malaver, jefe técnico del riesgo de la -ODGRD- indicó diapirismo de lodo consiste en unos pequeños volcanes que si bien a simple vista parecen inofensivos, tienen un grado de peligrosidad ya que pueden ocasionar



una erupción a gran escala, afectando los inmuebles alrededor, por la cual recomienda, que las personas que vivan en este predio deban ser reubicadas (UNIVERSAL, 2013).

Figura 22. Boca de emanadero de gases en Membrillal



Fuente: El universal 2013

4.2 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

En primera instancia se realizó la visita de reconocimiento del terreno donde se identificaron las ubicaciones de la manifestación de lodo.

Figura 23 Boca del volcán de lodo en el mes de Octubre del 2013.



Fuente: Autores



4.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA

Se realizan visitas al área de estudio donde se identificaron 2 áreas de volcanes, un primer lugar donde se realizan emanaciones de lodo y gas con 2 bocas, y un segundo lugar donde se realizan emanaciones de gases. La primera visita se realizó a finales del mes de septiembre donde no se encontró ninguna actividad volcánica en el volcán de lodo. Vale la pena resaltar que el dueño del lugar donde se encuentra la 1° boca identifica realizo una excavación aledaña al volcán para uso turístico.

4.4 REGISTRO FOTOGRÁFICO

Figura 24. 1° Boca localizada lodo en Septiembre del 2013.



Fuente: Autores



Figura 25. Pozo aledaño al manadero de lodo.



Fuente: Autores

Luego de esto se realizó una segunda visita en el mes de Noviembre donde se encontró con que el volcán había hecho erupción el día 18 de Octubre del 2013.

Figura 26. Manadero lleno de lodo



Fuente: Autores



Figura 27. Cantidad de lodo expulsado



Fuente: Autores

Figura 28. Manadero de gas (Metano)



Fuente: Autores

Figura 29. Ubicación de los dos tipos de manaderos.



Fuente: Autores



Figura 30. 2° Lugar de actividad volcánica con manadero de gases.



Fuente. Autores

Figura 31. Manadero de gases



Fuente: Autores

Figura 32. Químicos originados por los gases



Fuente: Autores



4.4.1 Aspecto social de membrillal

En primera instancia se realizó un inventario de los tipos de viviendas que se encontraban en Membrillal asumiendo una muestra representativa del 30% de la población, en donde se encontró que el 68% de los predios son casas. Nos basamos en la aplicación de una encuesta dirigida a las familias que habitan las viviendas de esta comunidad, como muestra representativa de la población residente en el área de estudio; las cuales fueron tomadas mediante un muestreo aleatorio simple, que se caracteriza porque otorga la misma probabilidad de ser elegidos a todos los elementos de la población. Cabe señalar que un porcentaje importante de éstas se seleccionaron considerando adicionalmente el deterioro evidenciado en su estructura, por los movimientos del terreno. A continuación se muestra la información obtenida la realizar una encuesta por los autores alrededor del área de estudio en las tablas # y otra realizada por CARDIQUE en el 30% de la población de Membrillal



Tabla 3. Datos y dirección de pobladores de las viviendas encuestadas

Numero de vivienda	Dirección - Lote Membrillal	Propietario	Datos del Encuestado		Tiempo (Años)
			Nombre y Apellidos	No. Cédula	
1	CALLE LOS LAURELES MZ G L 8	MILADIS GOMES	MILADIS GOMES	30,878,408	20
2	NS	DELFIN CASTRO	YURANIS TORRES	1,004,278,922	18
3	MZ G L 10	EDITH RUIZ	EDITH RUIZ	42,652,849	9
4	MZ G L 11	YESENIA AVIDES N.	YESENIA AVIDES NUÑEZ	64,398,765	1
5	MZ G L 5	ETILBA CAICEDO	ETILBA CAICEDO	45,538,426	25
6	CALLE LOS LAURELES MZ G L 2	YADIRA OROZCO	YADIRA OROZCO	45,436,577	29
7	CALLE LOS LAURELES MZ L 3	MARTIRIS FLOREZ	MARTIRIS FLOREZ	45,567,675	18
8	CALLE LOS LAURELES	EUGENIO CAICEDO	GUSTAVO BLANCO	45,678,546	2
9	CALLE LOS LAURELES	FANIS PARRA	FANIS PARRA P.	33,254,393	0.58
10	CALLE LOS LAURELES MZ H L2	LIBARDO CONTRERA	YOHANA CONTRERA	45,532,250	25
11	CALLE LOS LAURELES MZ H L 4	WILLIAM A. MARTINEZ	WILLIAM A. MARTINEZ	9,141,061	7
12	CALLE LOS JARDINES MZ F L 16	CARMEN VIDEZ	RICHARD CONDE	9,113,508	28
13	CALLE LOS LAURELES MZ F L 8	EDIZON OROZCO	ENEYDIS OROZCO DIAS	1,143,372,393	25
14	CALLE LOS LAURELES MZ F L 1	LORENZO BLANCO	LORENZO BLANCO	36,777,836	7
15	MZ F L 14	MARELIS CAMPILLO	MARELIS CAMPILLO	45,460,530	25
16	MZ F L 10	DILIS CUETO	DILIS CUETO	30,897,646	24
17	MZ F L11	ENA MARTINEZ	ENA MARTINEZ	45,498,449	14
18	CALLE LOS LAURELES MZ F	CLAUDIA MELENDEZ	CLAUDIA MELENDEZ	32,905,831	1
19	CALLE LAS FLORES LOTE 7-1A	JAVIER TRUJILLO	JAVIER TRUJILLO	73,228,380	14
20	CALLE LAS FLORES LOTE 6	CAMILO MARQUEZ	CAMILO MARQUEZ	9,056,615	21
21	MZ F L 3	MARI CRUZ CABELLO	MARI CRUZ CABELLO	45,371,045	12
22	CALLE LAS ROSAS MZ F L 6	ISABEL SUAREZ	PEDRO PACHECO	37,090,426	32
23	CALLE LAS ROSAS MZ F L4	CAMILO NAVOS	CAMILO NAVOS	75,121,046	14
24	CALLE LAS ROSAS MZ F L12	ALBERTO BENA	LUZ E. SERPA	22,177,015	10
25	CALLES LA BRISA MZW L 8	YADIRA CASTILLO	YADIRA CASTILLO	6,491,723	3
26	MZ W L 8	CARLOS MARIO	YULIET BLANCO	1,063,135,823	0.25
27	CALLE PRINCIPAL	MANUELA CORREA	ANDRE BORJA	42,656,884	1.17
28	CALLE PRINCIPAL	VIVIANA ORTEISON	VIVIANA ORTEISON	1,152,191,357	0.08
29	CALLE TRUJILLO	JAVIER TRUJILLO	YORLEDIS ANAYA	1,131,191,357	1
30	CALLE PRINCIPAL LOTE 19	MARIA GUZMAN	MARIA GUZMAN	33,143,120	50
31	CALLES LA BRISA MZ W L10	CASINDRA SUAREZ	CASINDRA SUAREZ	23,216,589	14
32	CALLES LA BRISA MZ W L 8	ANA ZANDOVAL	ANA ZANDOVAL	26,127,046	3
33	CALLES LA BRISA MZ W L 40	ALEXANDRE GUZMAN	SOJEIDA MARTINEZ	45,556,715	4
34	CALLE TRUJILLO	LILIANA MIEL	LILIANA MIEL	1,082,570,912	9
35	CALLE TRUJILLO MZ W L 16-C	MILENIS OYOGA	MILENIS OYOGA	30,798,485	0.50
36	CALLE PRINCIPAL MZ W L 18	MARTHA VIDAL	MARTHA VIDAL	1,043,301,608	48



Tabla 4. Continuación

Numero de vivienda	Dirección - Lote Membrillal	Propietario	Datos del Encuestado		Tiempo (Años)
			Nombre y Apellidos	No. Cédula	
37	CALLE LA BRISA MZ A W L 11	YUDIS SUAREZ	YUDIS SUAREZ	1,034,678	14
38	CALLE LA BRISA MZ W L 6	ALCIDES SUAREZ	MARIA SUAREZ	50,880,404	13
39	CALLE REFUGIO MZ W L 1	MAGALI DIVAS	ENELSI OLIVERO	32,946,182	5

Tabla 5. Estado general de las viviendas

Numero de vivienda	Estado de vivienda	Condición General	Material	Grado de Amenaza
1	En Construcción	Regular	Madera	Bajo
2	Terminada	Regular	Madera	medio
3	Terminada	Regular	Madera	alto
4	En Construcción	Regular	Ladrillo	alto
5	Terminada	Regular	Ladrillo	alto
6	Terminada	Regular	Ladrillo	medio
7	En Construcción	Regular	Ladrillo	alto
8	En Construcción	Regular	Madera	alto
9	En Construcción	Mala	Madera	bajo
10	En Construcción	Buena	Ladrillo	alto
11	Terminada	Buena	Ladrillo	Bajo
12	Terminada	Mala	Ladrillo	alto
13	En Construcción	Buena	Ladrillo	Bajo
14	En Construcción	regular	Ladrillo	Bajo
15	Terminada	Regular	bloque	alto
16	Terminada	Regular	bloque	Bajo
17	Terminada	Regular	Madera	Bajo
18	Terminada	Regular	Madera	Bajo
19	Terminada	Regular	Ladrillo	Bajo
20	Terminada	Regular	Ladrillo	Bajo
21	Terminada	Regular	Ladrillo	Bajo
22	En Construcción	Mala	bloque	alto
23	En Construcción	Regular	Ladrillo	Bajo
24	En Construcción	Buena	Ladrillo	Bajo
25	En Construcción	Buena	Madera	Bajo
26	En Construcción	Regular	Madera	Bajo
27	En Construcción	Regular	Madera	Bajo
28	En Construcción	Buena	Ladrillo	Bajo
29	En Construcción	regular	Ladrillo	Bajo



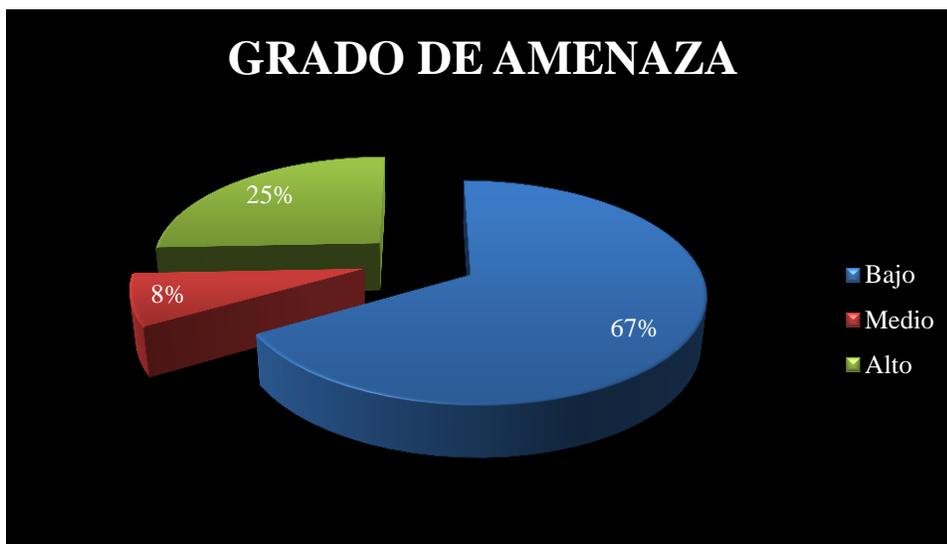
Tabla 6. Continuación

Numero de vivienda	Estado de vivienda	Condición General	Material	Grado de Amenaza
30	En Construcción	Buena	Ladrillo	Bajo
31	En Construcción	Regular	Madera	Bajo
32	Terminada	Regular	Madera	medio
33	En Construcción	Regular	Ladrillo	Bajo
34	Terminada	Buena	Madera	Bajo
35	En Construcción	Regular	Bloque	alto
36	Terminada	Buena	Ladrillo	Bajo
37	En Construcción	Regular	Madera	Bajo
38	En Construcción	Buena	Madera	Bajo
39	Terminada	Buena	Ladrillo	Bajo

Fuente: Autores

A continuación se grafica la información anterior, donde se puede observar que el grado de amenaza de la mayoría de viviendas encuestadas es bajo, y sus viviendas son de material estable ladrillo y su condición es regular, no se encuentran tan afectada estructuralmente por el diapiroismo de lodo.

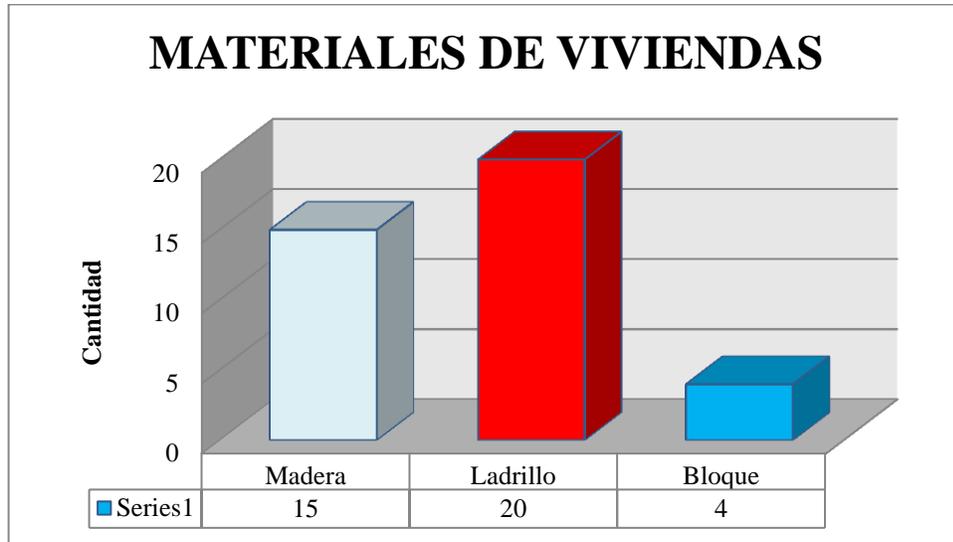
Figura 33 Grado de Amenaza de Viviendas



Fuente: Autores

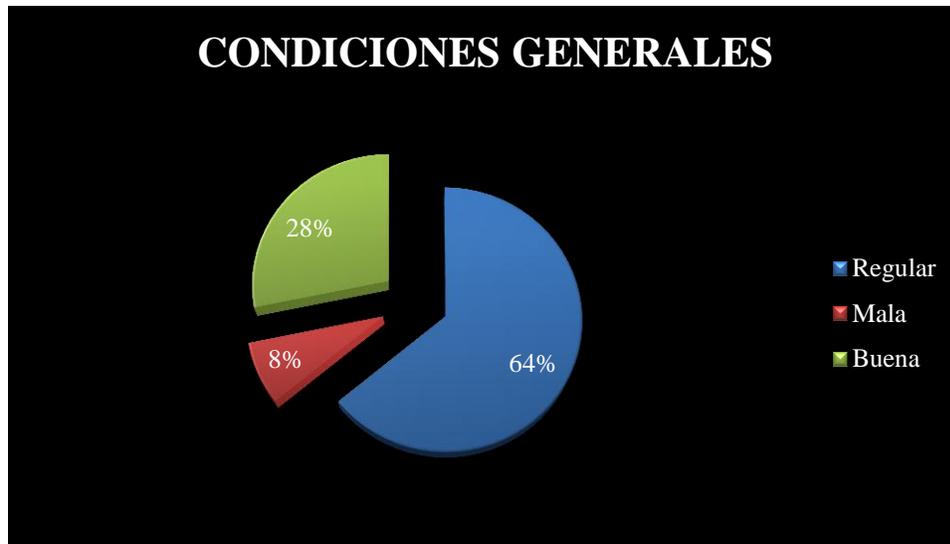


Figura 34. Tipo de materiales de las viviendas



Fuente: Autores

Figura 35 Condiciones generales de viviendas.



Fuente: Autores



Tabla 7. Daños de las viviendas

Numero de vivienda	Concepto				Vive en sitio de Alto riesgo?	Dispuesto a Trasladarse
	Fisuras	Grietas	Colapso Parcial	Hundimiento		
1	No	No	No	No	No	NS/NR
2	Si	Si	No	No	No	NS/NR
3	Si	Si	Si	No	Si	No
4	Si	Si	Si	No	Si	No
5	Si	Si	Si	Si	Si	Si
6	Si	Si	No	No	Si	No
7	Si	Si	Si	Si	Si	NS/NR
8	Si	Si	no	Si	Si	Si
9	No	No	No	No	Si	Si
10	Si	Si	No	Si	Si	No
11	No	No	No	No	Si	No
12	Si	Si	Si	Si	Si	Si
13	Si	No	No	No	No	Si
14	Si	No	No	No	Si	Si
15	Si	Si	Si	Si	Si	No
16	No	No	No	No	Si	Si
17	No	No	No	No	Si	Si
18	No	No	No	No	Si	Si
19	No	No	No	No	No	No



Tabla 8. Continuación

Numero de vivienda	Concepto				Vive en sitio de Alto riesgo?	Dispuesto a Trasladarse?
	Fisuras	Grietas	Colapso Parcial	Hundimiento		
20	No	No	No	No	Si	Si
21	No	No	No	No	Si	Si
22	Si	Si	Si	Si	Si	Si
23	Si	No	No	No	Si	Si
24	No	No	No	No	Si	Si
25	No	No	No	No	Si	Si
26	No	No	No	No	Si	Si
27	No	No	No	No	No	No
28	No	No	No	No	No	No
29	No	No	No	No	No	No
30	No	No	No	No	Si	Si
31	No	No	No	No	Si	Si
32	Si	Si	No	No	Si	No
33	Si	No	No	No	Si	Si
34	No	No	No	No	No	No
35	Si	Si	No	Si	No	No
36	No	No	No	No	Si	Si
37	No	No	No	No	Si	Si
38	No	No	No	No	Si	Si
39	Si	No	Si	No	Si	Si

En la grafica siguiente se identifica la cantidad de daños que poseen las viviendas encuestadas y su estado en general, afectadas o no por el fenomeno del diapirismo de lodo.



Tabla 9. Estado general de las viviendas

ESTADO DE VIVIENDA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Buen estado	21	54%
Fisura, grieta, colapso y hundimiento	5	13%
Fisura, grieta y colapso	2	5%
Fisuras y grietas	3	8%
Fisura	4	10%
Grietas y colapso parcial	1	3%
Fisura, grieta y hundimiento	3	8%

Fuente: Autores

Figura 36 Estado de viviendas



Fuente: Autores

Tabla 10. Cantidad de viviendas en riesgo

SITIO DE ALTO RIESGO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Con riesgo	30	77%
Sin riesgo	9	23%
TOTAL	39	100%

Fuente: Autores



Figura 37. Viviendas en zona de riesgo



Fuente: Autores

Figura 38. Estado de algunas viviendas en Membrillal



Viviendas en mal estado.



Fisuras en las paredes.



Grietas en las fachadas.



Daños estructurales de viviendas.

Fuente: Autores



Figura 39. Localización de viviendas encuestadas por CARDIQUE.



Fuente: Evaluación de Amenaza Geológica Producida por el Fenómeno Diapirismo de Lodo en la Vereda Membrillal – Distrito de Cartagena de Indias y Corregimiento de Flamenco, Municipio de Marialabaja –Jurisdicción de CARDIQUE



Evaluación de la amenaza geológica potencial del volcanismo de lodo en la vereda de Membrillal-Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias

Tabla 11. Datos encuestas Membrillal-CARDIQUE

Numero de vivienda	Dirección - Lote Membrillal	1.4. Propietario	1.6. Datos del Encuestado	
			Nombre y Apellidos	No. Cédula
1	CALLE SANTA CLARA MZNA I LOTE 16	NS / NR	LUCY MERCADO SUAREZ	NR
2	CALLE SANTA CLARA MZNA I LOTE 16	NS / NR	INDIRA OLIVEROS	45,760,452
3	MZNA I LOTE 17	MARIA DALEINA	ILIANA DEL VALLE	1,047,445,000
4	NS	PATRICIA MORA	NOREYDI LARIOS SALCEDO	1,052,736,976
5	MZNA I LOTE 17	JORGE YEPEZ	JORGUE E YEPEZ THERAN	73,073,853
6	MZNA I LOTE 17 APT 1	NS / NR	MIGUEL PEREZ	23,241,254
7	CALLE CAMPO MZNA I LOTE 20	LUZ MIRELLA DE AVILA	LUZ MIRELLA DE AVILA	64,558,571
8	MZNA I LOTE 19	ZUNILDA VENERA	ZUNILDA VENERA	33,135,972
9	MZNA I LOTE 19 CALLE EL CAMPO	ZUNILDA VENERA	ANGELICA PADILLA	45,542,497
10	MZNA I LOTE 21	MONICA TAPIAS MEZA	OSCAR TEHERAN VILLERO	9,173,494
11	CALLE LAS FLOREZ MZNA I LOTE 1	NORIS PELUFFO	CARMEN MADERA CAMARGO	1,057,286,426
12	CALLE LA FLOR MZNA I LOTE 2	ANZELMO DE AVILA VAZQUEZ	DAMARYS BELTRAN	45,527,831
13	CALLE DE LAS FLOREZ MZNA I LOTE 2	BELIA JOSEFINA ARRIETA	FREDYS CONDE	7,919,275
14	MZNA I LOTE 2	NS / NR	MIRTHA DIAZ	1,047,382,978
15	CALLE 5 LAS FLOREZ MZNA I LOTE 2	ELUDIS CONDE A	NEVARDO TEHERAN BENAR	91,285,463
16	CALLE DE LAS FLOREZ MZNA I LOTE 3	PAULA OSORIO PALOMINO	PAULA OSORIO PALOMINO	26,027,464
17	CALLE DE LAS FLOREZ MZNA I LOTE 4	MARIA OSORIO	NEBIS GUARDO	45,549,797
18	CALLE DE LAS FLOREZ MZNA I LOTE 5	PAULA OSORIO PALOMINO	KAREM BRITO MARTINEZ	NR
19	CALLE DE LAS FLOREZ MZNA I LOTE 4	JOSE MIGUEL BLANCO HERNANDEZ	MAGOLA MENCO	45488583
20	MZNA I LOTE 5	YADIRA RICO	JURKIN JIMENEZ	1,047,418,786
21	NS	GUMERCINDO RICARDO	DEIVIS DIAZ BELTRAN	1,047,377,501
22	CALLE DE LAS FLORES MZNA I LOTE 7 A	JAIRO GOMEZ ANAYA	YERLIN CUADRADO OROZCO	45,558,672
23	CALLE DE LAS FLORES MZNA I LOTE 7	ANGELA AYALA	YARLIDIS CASTELLAR	NS/NR
24	CALLE DE LAS FLORES MZNA I LOTE 7	ANGELA AYALA	SILFREDO GOMEZ	9,059,405
25	MZNA M LOTE 5	MAURICIA MARTINEZ	25	45,474,718
26	MZNA I LOTE 8 A	ANA AVILA	JAIRO LUIS BUELVAS	7,931,815
27	MZNA M LOTE 3	YESENIA ALMANZA	LUZ MARINA PAEZ LEAL	63,326,854
28	MZNA M LOTE 3	YESENIA ALMANZA	SANDY CAMPILLO	1,047,412,328
29	MZNA M LOTE 3	YESENIA ALMANZA	ESTEFANY MARTINEZ	1,047,402,496
30	CALLE DE LAS FLORES MZNA I LOTE 8	JOSE MARTINEZ	BETTY MARTINEZ	45,546,910
31	MZNA I LOTE 9	JORGE GOMEZ	MARIA ALFARO	45,504,145
32	MZNA I LOTE 10	DORIS MARIN	EDITH SANABRIA	63,553,855
33	MZNA M LOTE 1	JUAN A. YEPES	JUAN A. YEPES	73,143,322
34	CALLE SANTA CLARA MZNA I LOTE 12	ELENA LOBO	ELENA LOBO	45,653,142
35	CALLE SANTA CLARA MZNA I LOTE 13	RAFAEL CONDE	MIGUEL VILLALBA	105,181,485
36	CALLE SANTA CLARA MZNA I LOTE 3	OTONIEL MARIN	ESNEDA MELLIZO	45,482,598
37	MZNA M LOTE 1	LUZ YEPES	ARLETH CORTINA	1,081,914,704
38	MZNA M LOTE 6	ANGELA MARIA HEREDIA NAVAS	ANGELA MARIA HEREDIA NAVAS	22,759,633
39	MZNA M LOTE 9	SOL MARIA CASTELAR	SOL MARIA CASTELAR	45450664
40	NS/NR	NS / NR	LESLY DAZA	52,874,095
41	NS/NR	ELIAS GARCIA	MARLIS ELLES	32,939,415
42	CALLE PRINCIPAL MZ N LOTE 2	SOCIACION DE PADRES H.I.C LA ABEJIT	LIDIS ROCHA RODRIGUEZ	45,505,352
43	MZNA M LOTE 5	JANINS CASTILLO	ELVIRA CASTILLO	45,516,664
44	CALLE PRINCIPAL COLEGIO SAN FRANCISCO	YADIRA HERNANDEZ	LUIS EDUARDO LOPEZ	73,204,970
45	CALLE DEL SILENCIO	JUANA ISABEL MARTINEZ	JUANA ISABEL MARTINEZ	32,570,829
46	MZNA O LOTE 1 A	JULIO C CABRAL	JULIO C CABRAL	73,206,896
47	SECTOR EL CAMPO MZ M LOTE 11	SAMIR SARMIENTO	MARIA GUZMAN	NS/NR
48	CALLE EL SILENCIO MZ O LOTE 1A	PAOLA DIAZ MARTINEZ	PAOLA DIAZ MARTINEZ	45,539,487
49	MZNA N LOTE 1	HUGO CASTELLAR	HUGO CASTELAR CAMARGO	73,167,236
50	MZNA O LOTE 1	MARTINA MARTINEZ JIMENEZ	MARTINA MARTINEZ JIMENEZ	22,801,977
51	MZNA M LOTE 14	NS / NR	MERLIS GALVIS	1,083,461,183
52	MZNA K LOTE 6	ARGELIA SIMANCAS	ARGELIA SIMANCAS	45,482,727
53	NS/NR	MARIA DIAZ	MARIA DIAZ	26,378,938
54	MZNA K LOTE 3	DANIEL ACUÑA	YORLEIDA LORA	1,007,183,185
55	MZNA K LOTE 3	ARCENIS GARCIA	CARMELO VERGARA	73,090,671
56	MZNA K LOTE 4	ENILDA GOMEZ	ENZO COGOLLO	78,065,008
57	MZNA I LOTE 23	RAFAEL MARTINEZ	SIXTA RODRIGUEZ ESCUDERO	45,456,816



Tabla 12. Frecuencia del tipo de predio en Membrillal

TIPO DE PREDIO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Casa	39	68%
Apartamento	14	25%
Accesoria	3	5%
No aplica	1	2%
TOTAL	57	100%

Fuente: Autores

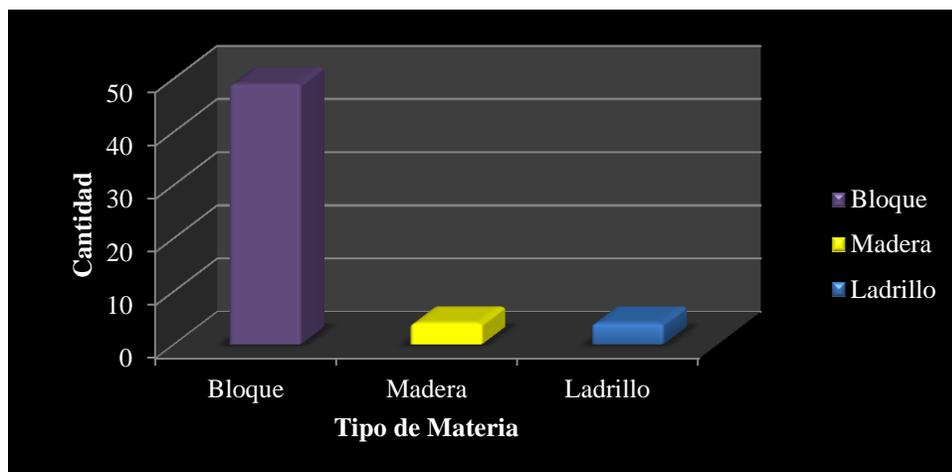
Además se estudió el material de construcción de los predios en donde la mayoría estar realizadas en bloque.

Tabla 13. Materiales de vivienda en Membrillal

PAREDES	CANTIDAD	PORCENTAJE
Bloque	49	86%
Madera	4	7%
Ladrillo	4	7%
TOTAL	57	100%

Fuente: Autores

Figura 40. Materiales de viviendas en Membrillal



Fuente: Autores

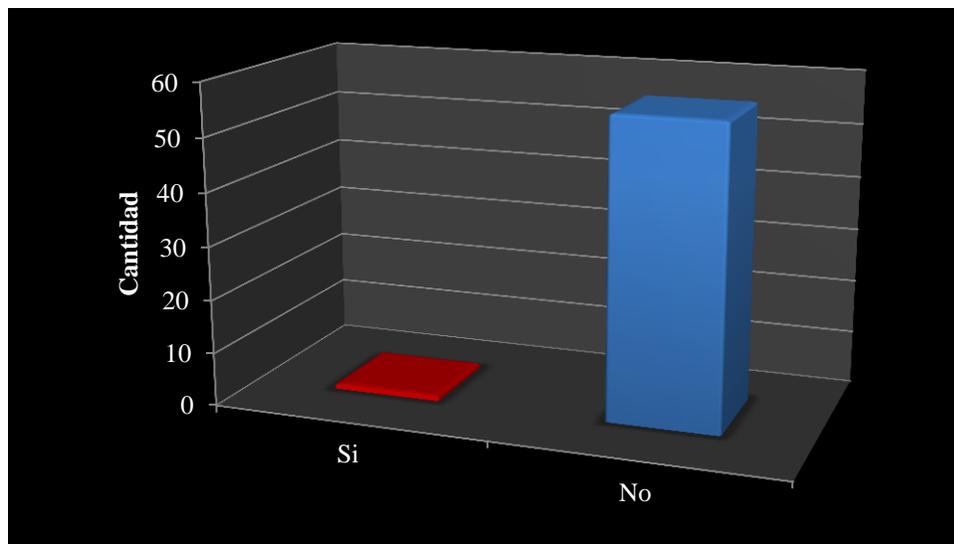


Tabla 14. Habitantes lesionados por diapirosmo

HABITANTES LESIONADOS	CANTIDAD	PORCENTAJE
Si	1	2%
No	56	98%
TOTAL	57	100%

Fuente: Autores

Figura 41. Esquema de habitantes lesionados.



Fuente: Autores

Tabla 15. Lugares de alto riesgo por diapirosmo

SITIO DE ALTO RIESGO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Con riesgo	12	28%
Sin riesgo	45	72%
TOTAL	57	100%

Fuente: Autores

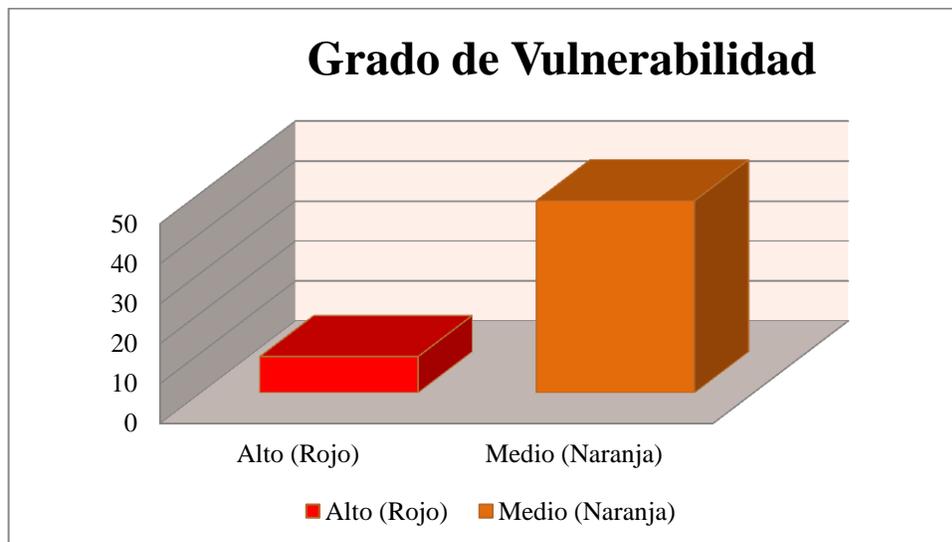


Tabla 16. Frecuencia de predios vulnerables

GRADO DE AMENAZA	CANTIDAD	PORCENTAJE
Alto (Rojo)	9	16%
Medio (Naranja)	48	84%
TOTAL	57	100%

Fuente: Autores

Figura 42 Vulnerabilidad de viviendas



Fuente: Autores

Tabla 17. Viviendas con fisuras

FISURAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Si	22	39%
No	35	61%
TOTAL	57	100%

Fuente: Autores



Tabla 18. Predios con hundimientos por diapirismo

HUNDIMIENTOS	CANTIDAD	PORCENTAJE
Si	5	9%
No	52	91%
TOTAL	57	100%

Fuente: Autores

Figura 43. Cantidad de predios con diapirismo



Fuente: Autores

Tabla 19. Predios con algunos colapsos

COLAPSO PARCIAL	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Si	3	9%
No	54	91%
TOTAL	79	100%

Fuente: Autores

A continuación se muestra un consulado de las encuestas realizadas por CARDIQUE y por los ejecutantes de este trabajo de grado para una mayor identificación del área de riesgo.

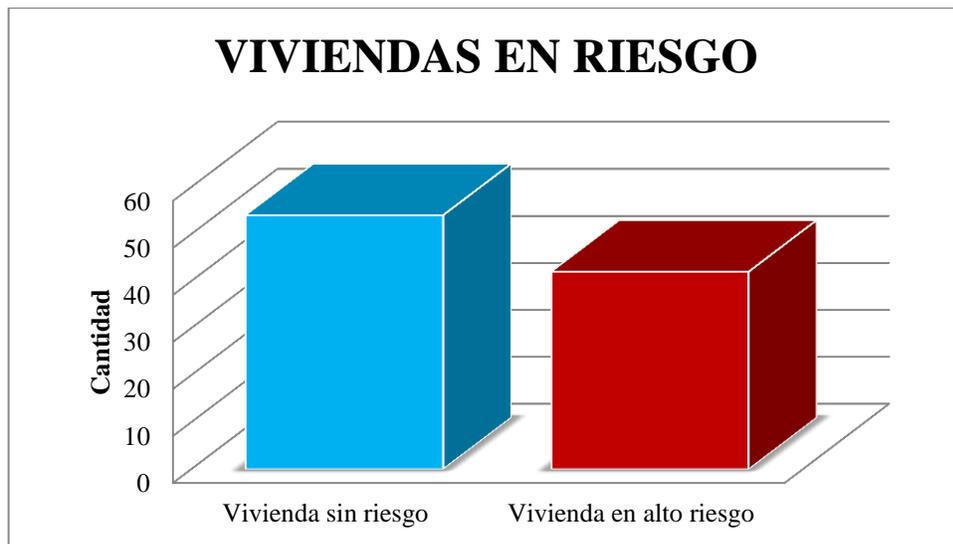


Figura 44. Daños en el total de viviendas encuestadas



Fuente: Autores

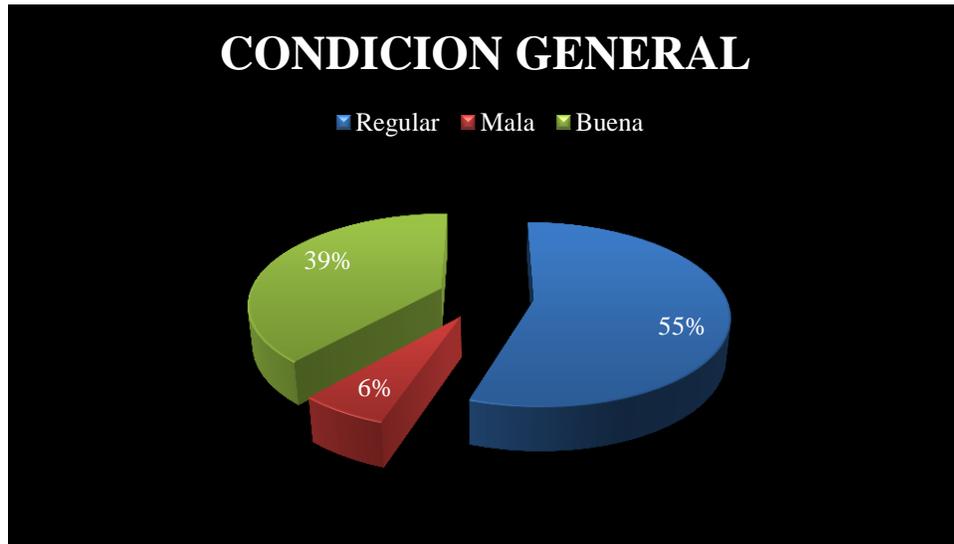
Figura 45. Viviendas en riesgo



Fuente: Autores



Figura 46. Condición general de viviendas



Fuente: Autores

Además se debe analizar la susceptibilidad de la población y toda la infraestructura de Membrillal ante una erupción del volcán de lodo, esta población también es afectada en cierta forma en su economía, por las condiciones del terreno que no favorece la siembra, y afecta el pastoreo.

4.5 ANÁLISIS DE SONDEOS GEO-ELÉCTRICOS

Para la evaluación del área de estudio se realizaron quince (15) sondeos Geo-eléctricos Verticales SEV los cuales fueron realizados y suministrados al autor del trabajo de grado por la investigación Evaluación de Amenaza Geológica Producida por el Fenómeno Diapirismo de Lodo en la Vereda Membrillal – Distrito de Cartagena de Indias y Corregimiento de Flamenco, Municipio de Marialabaja –Jurisdicción de CARDIQUE. Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique – CARDIQUE – y la Fundación para el Desarrollo Sostenible – Despertar Comunitario, los cuales se localizaron en los sitios más afectados por el diapirismo, se puede observar su ubicación en la siguiente imagen:



Figura 47. Sondeos geo-eléctricos verticales en Membrillal



Fuente: Evaluación de Amenaza Geológica Producida por el Fenómeno Diapirismo de Lodo en la Vereda Membrillal – Distrito de Cartagena de Indias y Corregimiento de Flamenco, Municipio de Marialabaja – Jurisdicción de CARDIQUE. Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique – CARDIQUE – y la Fundación para el Desarrollo Sostenible – Despertar Comunitario

Sondeo No. 1: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en el patio de la casa de la familia Terán Daza (Lugar de emanación de lodo).

Sondeo No. 2: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en el patio de la casa de la familia Díaz Martínez.

Sondeo No. 3: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en el patio de la casa de la familia Díaz Martínez, junto al arroyito.

Sondeo No. 4: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en el costado oriental de la cancha de fútbol.

Sondeo No. 5: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en la cancha de fútbol, frente a la casa de la familia Terán.



Sondeo No. 6: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en la cancha de futbol, cerca al cráter.

Sondeo No. 7: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en la cancha de futbol.

Sondeo No. 8: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en la cancha de futbol.

Sondeo No. 9: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en la cancha de futbol.

Sondeo No. 10: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en la cancha de futbol.

Sondeo No. 11: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en la cancha de futbol.

Sondeo No. 12: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en la cancha de futbol.

Sondeo No. 13: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en el patio de la casa de la familia Díaz Martínez, junto al arroyito.

Sondeo No. 14: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en el patio de la casa de la familia Díaz Martínez, junto al arroyito.

Sondeo No. 15: Realizado en la vereda Membrillal (Cartagena), en el patio de la casa de la familia Pérez



Figura 48. Curva SEV - Sondeo N° 1

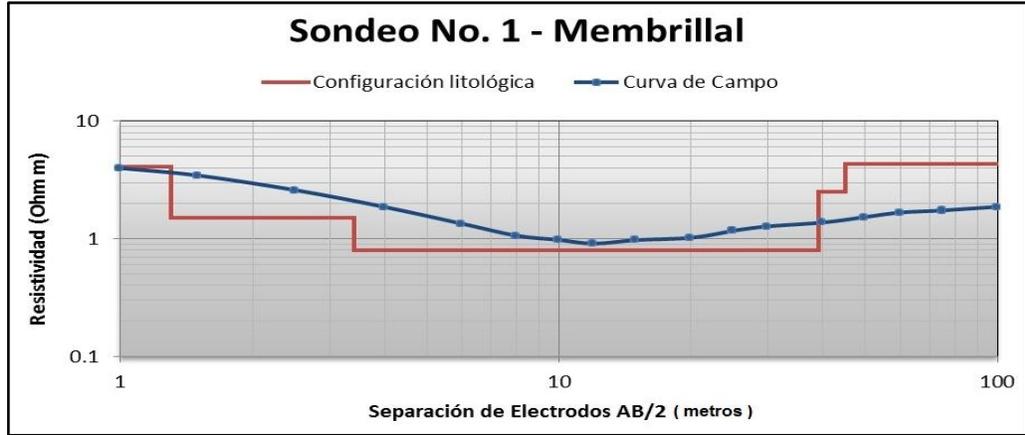


Figura 49. Curva SEV - Sondeo N° 2

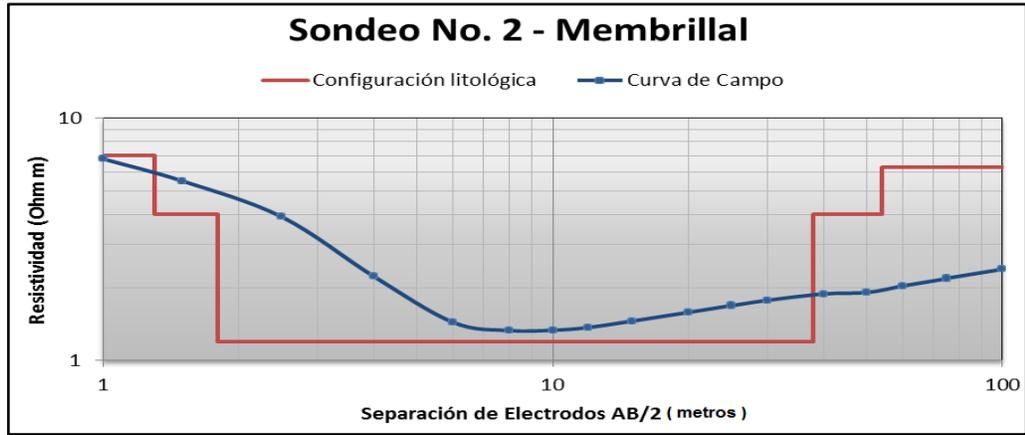


Figura 50. Curva SEV - Sondeo N° 3

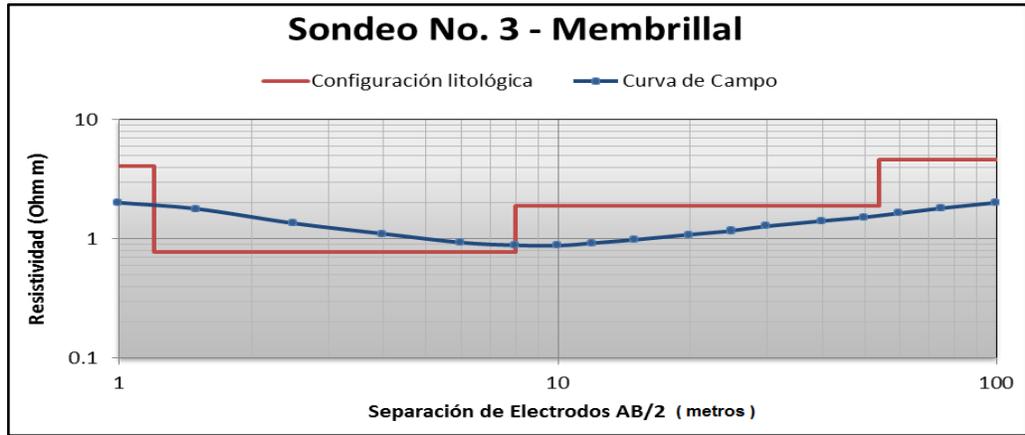




Figura 51. Curva SEV - Sondeo N° 4

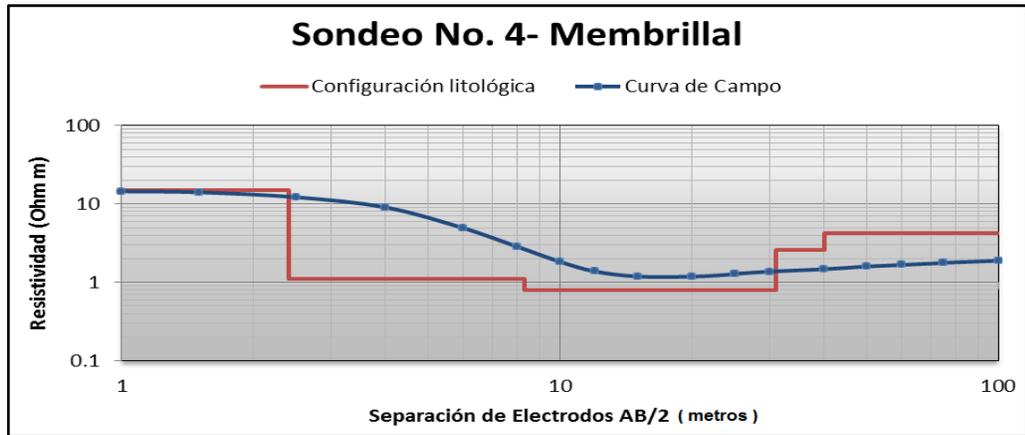


Figura 52. Curva SEV - Sondeo N° 5

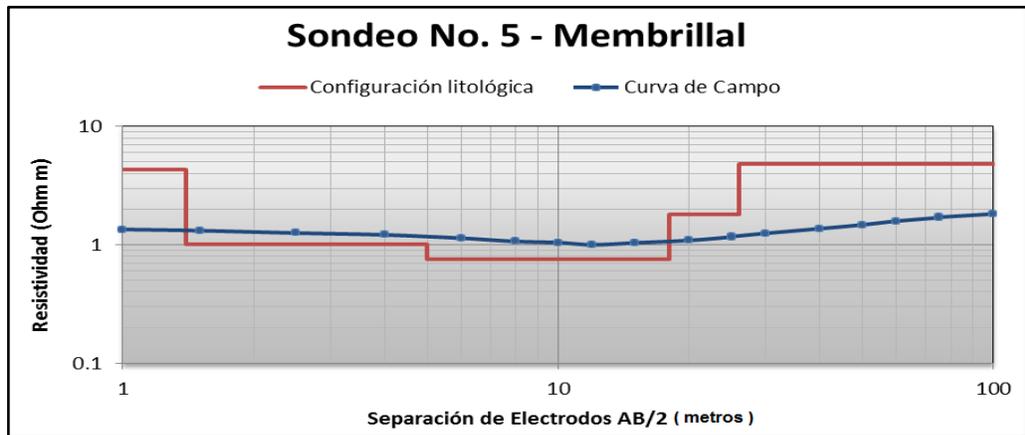


Figura 53. Curva SEV - Sondeo N° 6

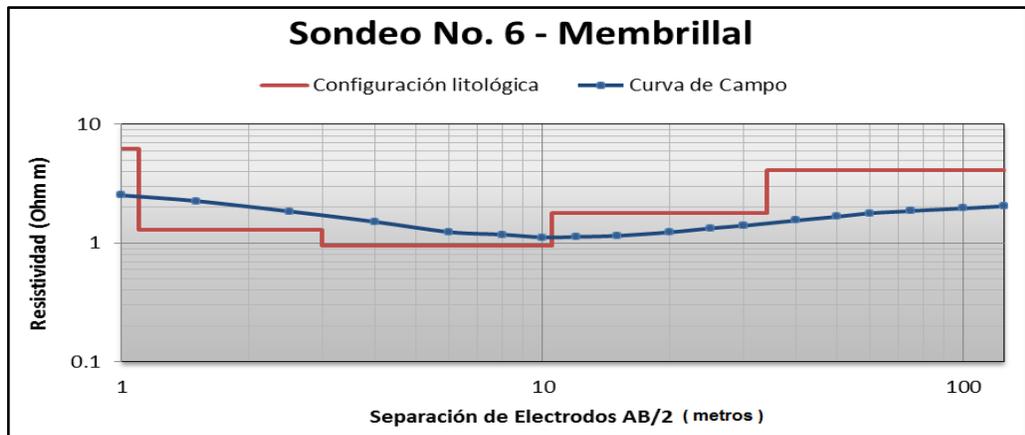




Figura 54. Curva SEV - Sondeo N° 7

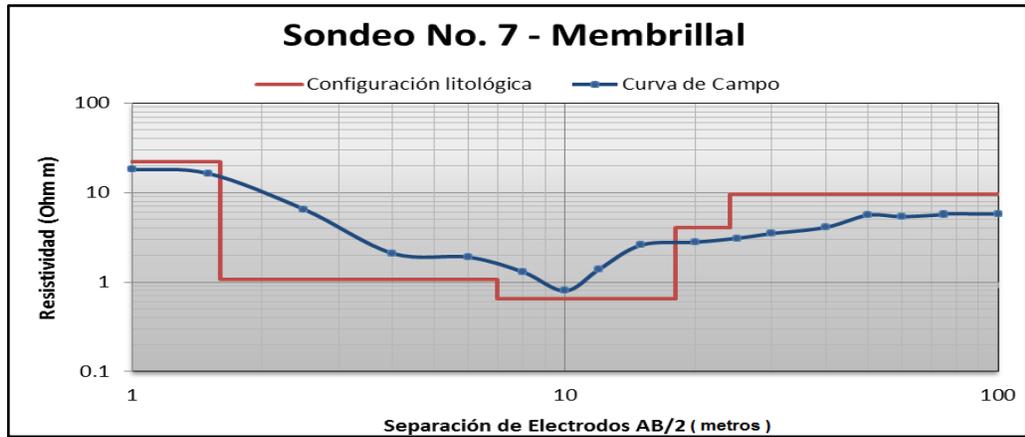


Figura 55. Curva SEV - Sondeo N° 8

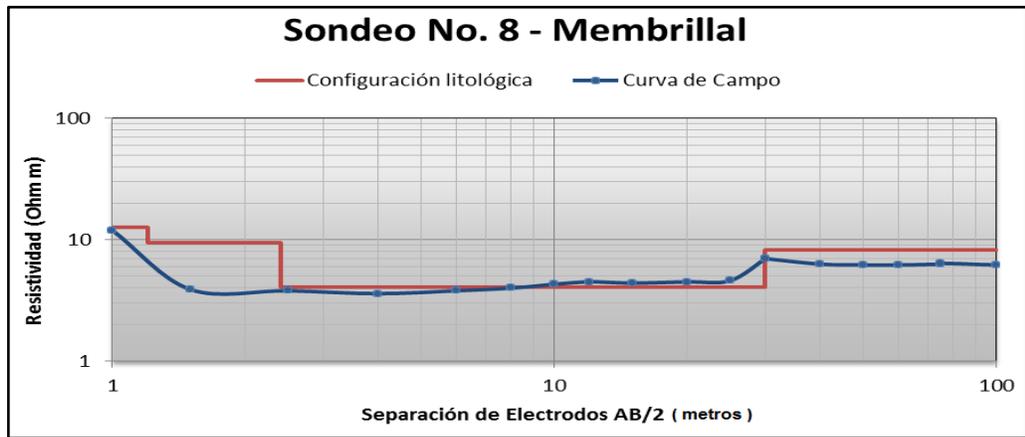


Figura 56. Curva SEV - Sondeo N° 9

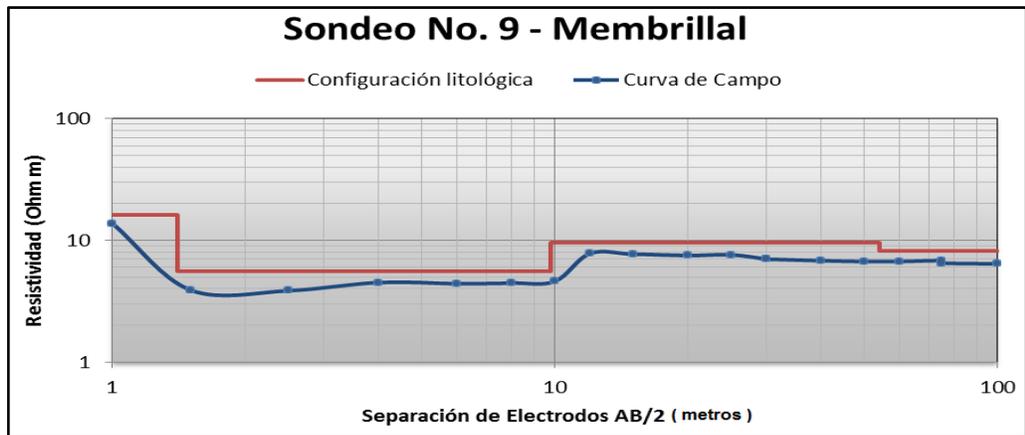




Figura 57. Curva SEV - Sondeo N° 10

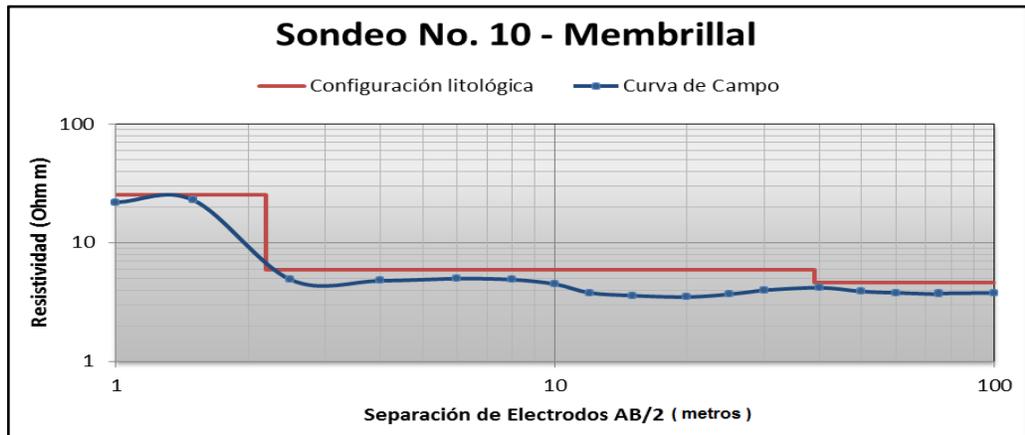


Figura 58. Curva SEV - Sondeo N° 11

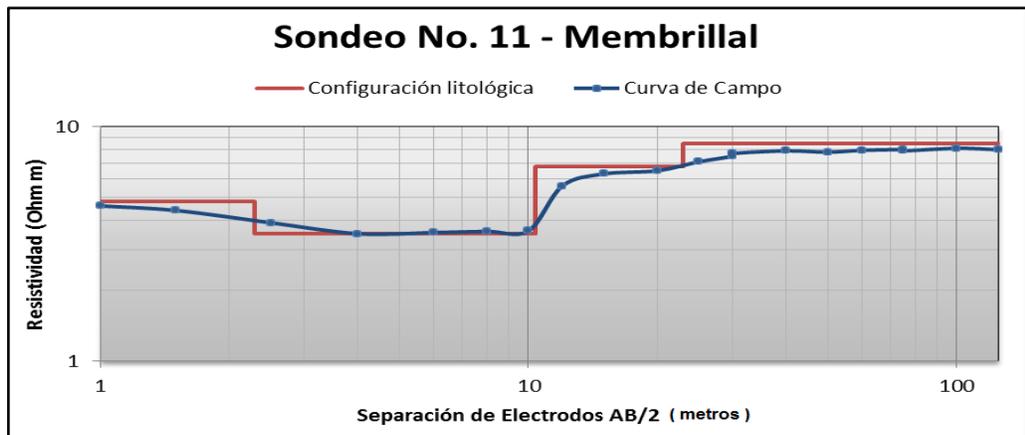


Figura 59. Curva SEV - Sondeo N° 12

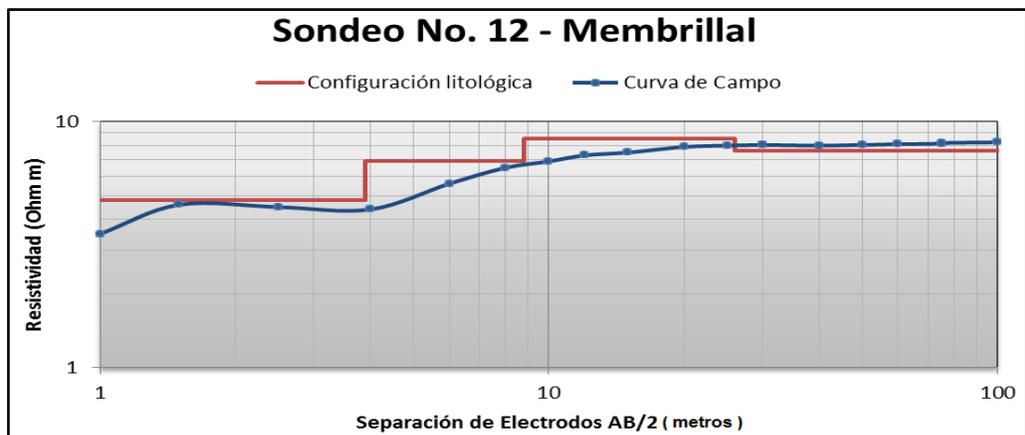




Figura 60. Curva SEV - Sondeo N° 13

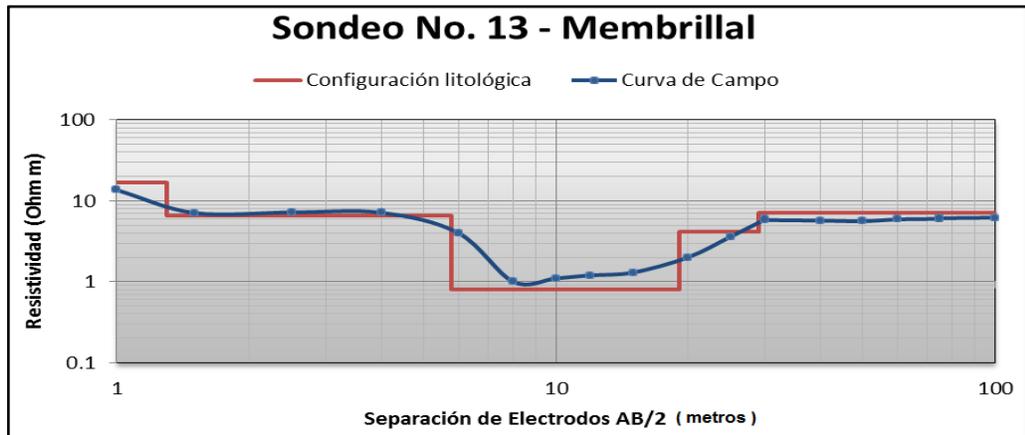


Figura 61. Curva SEV - Sondeo N° 14

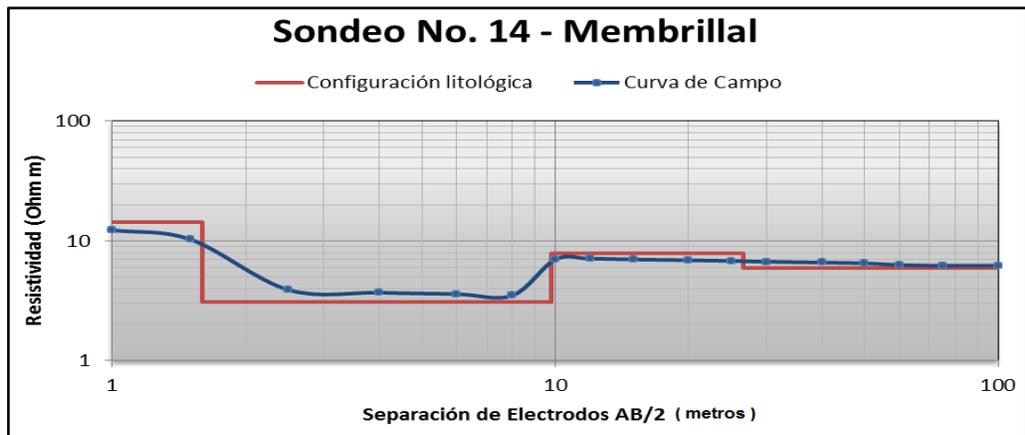
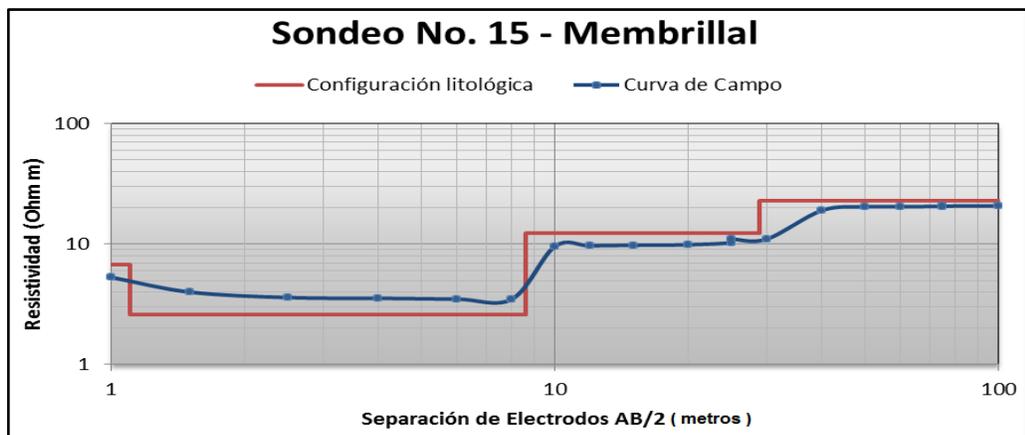


Figura 62. Curva SEV - Sondeo N° 15





Las siguientes figuras presentan diferentes cortes geoelectricos elaborados, con base a los SEV realizados en cada zona de emanaciones (Evaluación de Amenaza Geológica Producida por el Fenómeno Diapirismo de Lodo en la Vereda Membrillal – Distrito de Cartagena de Indias y Corregimiento de Flamenco, Municipio de Marialabaja –Jurisdicción de CARDIQUE)

Los cortes geoelectricos nos muestran la disposición de las capas con valores de resistividad medios y bajos a muy bajos, compatibles con la litología de la zona. En la parte superior se interpretan arcillolitas de la Formación Bayunca con resistividades mayores de 5.0 Ohm-m entremezcladas con zonas arcillosas de resistividades más bajas, menores de los 3 Ohm-m, las cuales conformarían la unidad de Arcillolitas, contaminados con los lodos y aguas saladas del fenómeno diapíricos.

También entre estas capas se observan franjas de muy bajas resistividades (menores de 4.0 Oh-m) que aparecen desde la zona central del corte geoelectricos y que se asocian aquí con los lodos derramados o inyectados entre las capas superiores y que también han sido expulsados por las diferentes bocas ubicadas en superficie. Estas franjas de muy bajas resistividades (lodos) se originan a profundidad, inyectándose en esta zona por superficies con profundidades que oscilan entre los 50 y 20 m, siendo más superficiales hacia el Noreste.



Figura 63. Corte geoelectricos zona 1

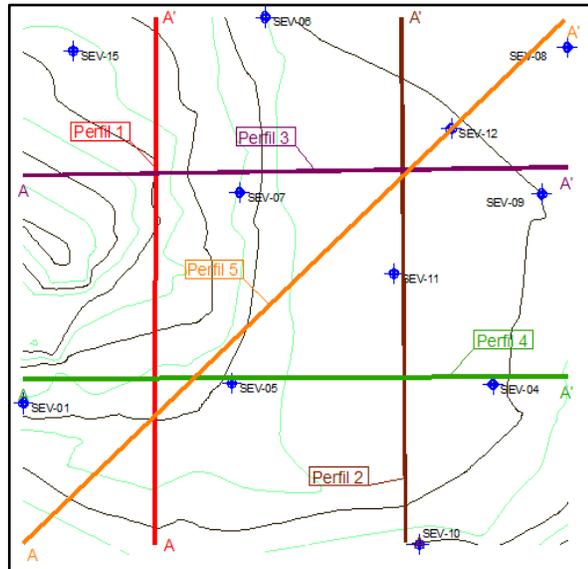
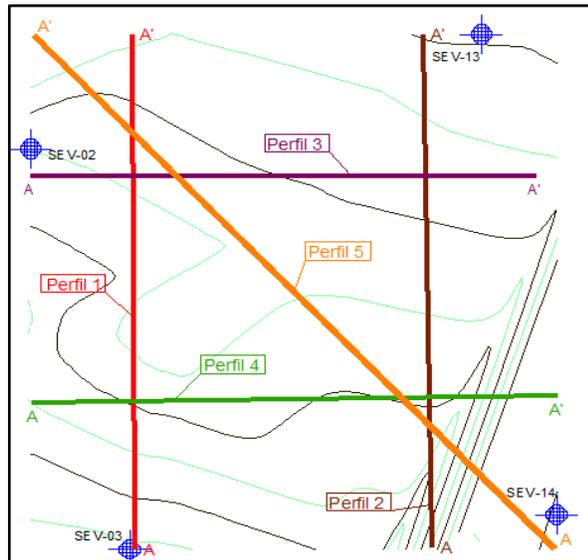


Figura 64. Corte geoelectricos zona 2





4.6 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES VOLCANES DE LODO EN EL CARIBE COLOMBIANO CON EL VOLCANISMO DE LODO DE MEMBRILLAL

El diapirismo de lodo es una formación que caracteriza la costa Atlántica de Colombia, en áreas aledañas a Cartagena se han identificado varias formaciones en Bayunca, Galerazamba, Turbaco y al suroccidente de la ciudad. Estos volcanes son tipo domo con cima totalmente achatada con varios manaderos distribuidos en todo el área del domo con explosión de lodo acompañado con gas metano la regularidad de la emanación en los volcanes de lodo no está aún establecida, el volcán de Galerazamba tiene una regularidad de 8 o 20 años. En general tienen un diámetro entre 0.8-1 Km con alturas de 40 a 200m, con unas pendientes de 15°-20°.

Por ejemplo en los volcanes de Galerazamba como los volcanes de lodo de Pueblo Nuevo y El Totumo los cuales han tenido erupciones el 27 de abril 1999 y el 23 de agosto de 2000 consecutivamente con una regularidad de 1 año,

Los volcanes ubicados en la falla de Pasaballos, se caracterizan por tener un cerro elongado y con apariencia de colina, que tiene calizas en su tope, que son de origen tectónico, con formación de arrecife de la popa. Este lodo es expulsado por el empuje vertical de los materiales confinados, los factores que causan la movilización de estos en su mayor parte por compresión de las placas tectónicas, por la diferencia de densidad de los materiales que forman el lodo o los gases confinados.

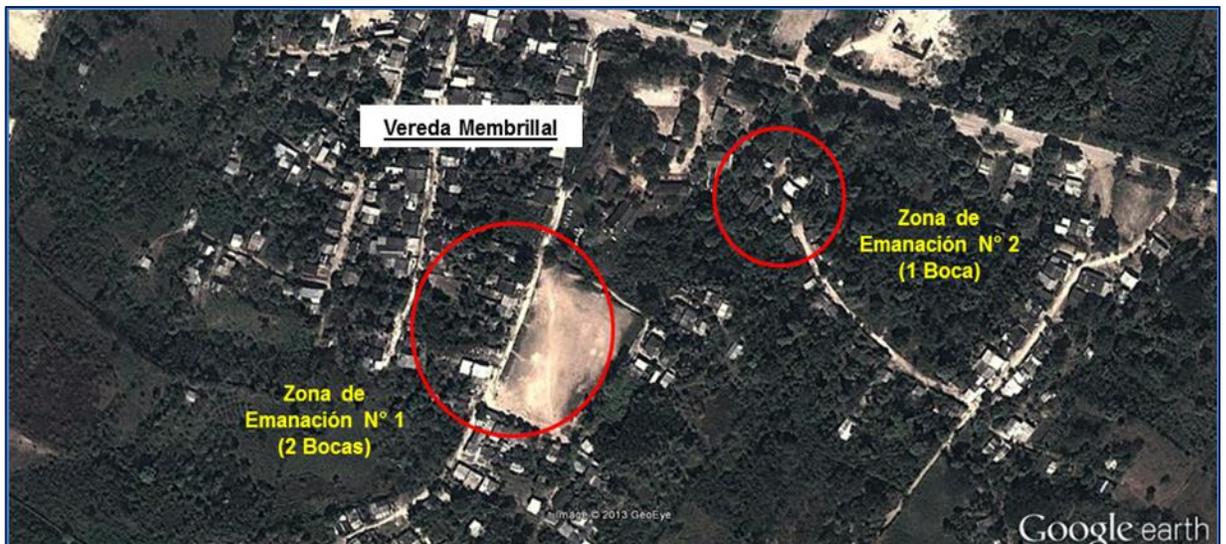
La mayoría de los volcanes de lodo de la Región Caribe son explotados turísticamente de diversas formas, que están ente, aunque presentan diversas formas debido a la relación que se tiene con la emanación lenta o rápida del lodo que forma la estructura geológica del domo.



4.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ISORESISTIVIDAD

Los estudio lo realizo “la corporación autónoma regional del canal del dique – CARDIQUE – y la fundación para el desarrollo sostenible – despertar comunitario” en el proyecto denominado “evaluación de la amenaza geológica producida por el fenómeno diapirismo de lodo en la vereda membrillal – distrito de Cartagena de indias y corregimiento de flamenco, municipio de Marialabaja – jurisdicción de CARDIQUE.” En la figura se muestra las dos zonas de emanaciones donde se hicieron los planos de isoestividades.

Figura 65. Zonas de emanación de lodo y gases detectadas en la vereda de Membrillal.



Fuente: Evaluación de Amenaza Geológica Producida por el Fenómeno Diapirismo de Lodo en la Vereda Membrillal – Distrito de Cartagena de Indias y Corregimiento de Flamenco, Municipio de Marialabaja – Jurisdicción de CARDIQUE. Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique – CARDIQUE – y la Fundación para el Desarrollo Sostenible – Despertar Comunitario

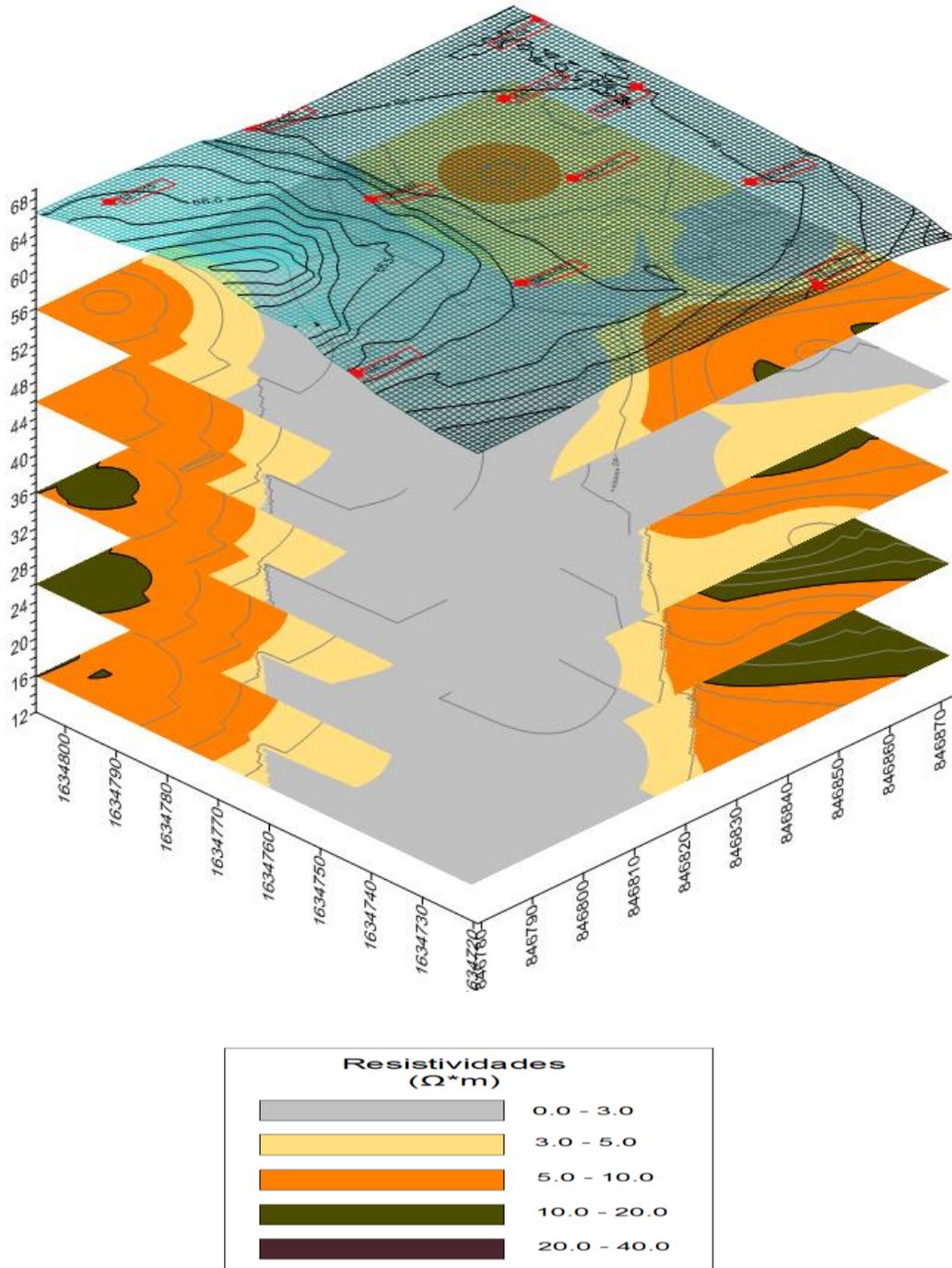
En la zona de emanación de lodos y gases N°1 para la elaboración de los planos de isoestividad se hicieron sondeos eléctricos verticales que corresponde a los sondeos enumerados 1, 4, 5, 6, 7, 8 ,9, 10, 11 ,12 y 15. Se hicieron planos cada 10 m como lo muestra la figura hasta una profundidad máxima de 50 m se realizó la exploración



geofísica, en profundidades muy superficiales alrededor de 1.5 a 2 metros se encontró capas de suelo de poca humedad de tipo limos arcilloso también se encontró lodos de antiguas erupciones. En plano de 10 metros de profundidad desde la superficie se encontraron resistividades correspondientes a caliza, arenisca y pizarra, un poco de rocas metamórficas y gravas, lodolitas arcillosas, debido a las grandes resistividades baja por la presencia de los lodos que predomina en la zona como se puede ver en todos los planos de profundidad de 20, 30,40 y 50 lo que más prevalece es el lodo en esta zona, la población está expuesta a una amenaza potencial ya que si ese todo ese lodo y gases lograra salir a la superficie por los conductos que los llevan a la superficie sería una gran riesgo para los habitantes y las viviendas ah los alrededores.



Figura 66. Plano de isoestividades de Zona de emanación N°1.



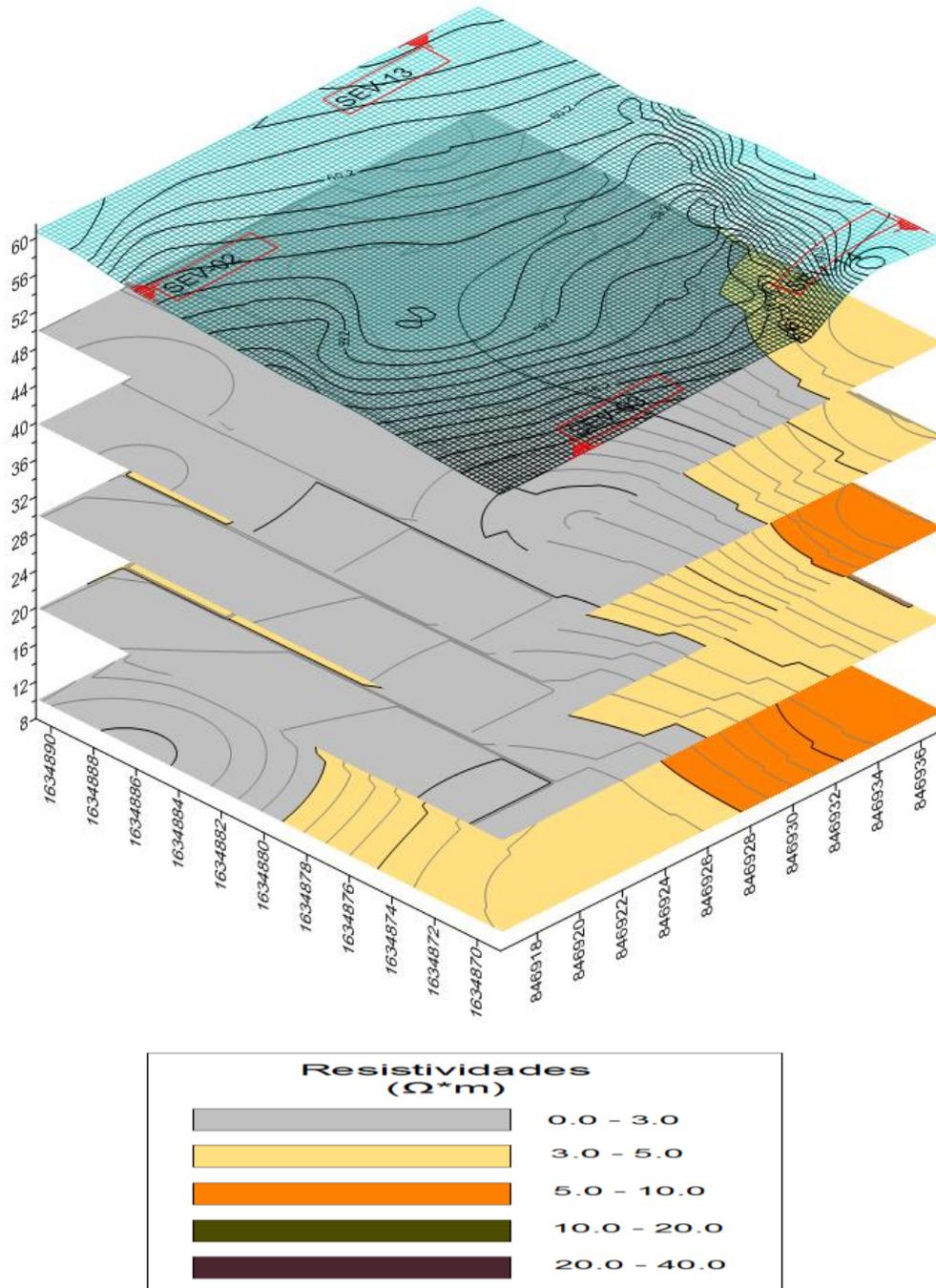
Fuente: Evaluación de Amenaza Geológica Producida por el Fenómeno Diapirismo de Lodo en la Vereda Membrillal – Distrito de Cartagena de Indias y Corregimiento de Flamenco, Municipio de Marialabaja –Jurisdicción de CARDIQUE. Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique – CARDIQUE – y la Fundación para el Desarrollo Sostenible – Despertar Comunitario.



En la zona de emanación de lodos y gases N°2 para la elaboración de estos planos de isoestividad se hicieron varios sondeos eléctricos verticales que son los sondeos enumerados 2, 3, 13 y 14 a pocas profundidades aproximadamente a 2 metros se encontraron suelo de baja humedad tipo de limos arcillosos, la exploración geofísica se hizo hasta una profundidad de 50 metros con cortes a cada 10 metros como se muestra en la figura, se detectaron litológicamente con lodolitas arcillosas, calizas, arenisca y pizarra, también se encontró al basamento sedimentario de la Formación Bayunca como nos muestra la figura, lo más resaltantes que nos muestran los cortes en la cantidad de lodos que se encuentra en las profundidades que tratan de ascender por conductos a las superficie y poner en riesgo a los habitantes y construcciones a los alrededores.



Figura 67. Plano de isoestividades de Zona de emanación N°2.



Fuente: Evaluación de Amenaza Geológica Producida por el Fenómeno Diapirismo de Lodo en la Vereda Membrillal – Distrito de Cartagena de Indias y Corregimiento de Flamenco, Municipio de Marialabaja –Jurisdicción de CARDIQUE. Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique – CARDIQUE – y la Fundación para el Desarrollo Sostenible – Despertar Comunitario.



Con los planos de isorestividades y los cortes eléctricos se hacen el plano de amenaza potencial de membrilla que muestran las zonas más críticas si las bocas de lodos hicieran grandes explosiones de lodos y gases.

Se caracterizaron en el subsuelo cuatro rangos de resistividades, correlacionados de la siguiente manera:

- El primer rango es el compuesto por intercalaciones de limolitas y arcillolitas de la Formación Bayunca, con valores de resistividad mayores de 5.0 Ohm-m, como es el caso del sondeo donde se tiene una resistividad de mayores 8.3 Ohm-m.
- El segundo rango considerado, correlacionable también con la Formación Bayunca, muestra una zona con baja resistividad, arriba de los 2.0 S•m, correlacionado con los estratos de arcillolitas, ubicados principalmente abajo de los 50 m y algunos más superficialmente.
- El tercer rango de resistividades entre 1.0 y 2.0 S•m se estima que es una mezcla de capas de la Formación Bayunca, postulados aquí como Arcillolitas afectadas por inyecciones de aguas y lodos salinos. Se presentan arriba de los 50 m de profundidad.
- El último rango, con valores de resistividad menores de 1.0 S•m, se asocian a lodos salinos y aguas saladas.

Como se puede ver en la figura hay tres zonas de amenaza para del área de estudio, siendo Alta el círculo rojo donde se encuentra las bocas de lodos, la zona más crítica y de



influencia pueden ocurrir grandes explosiones de lodos y de gases, formando flujos de lodo, aumento significativo en la actividad sísmica local, en caso de evacuación por los menos 2 km a la redonda de las bocas. El área entre el círculo naranjado y el rojo, puede haber deformaciones de las superficie debido al lodo, considerado hasta el límite de derrames y deformaciones concéntricas asociadas a los levantamientos diapíricos. El área comprendida entre el círculo naranjado y el círculo amarillo se puede manifestar fisuramiento y agrietamientos leves en la superficie.

Figura 68. Plano de Amenaza Potencial de Membrillal



Fuentes: Autores.



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El volcanismo de lodo es una manifestación del fenómeno llamado diapirismo de lodo, el cual se origina por el movimiento de las placas tectónicas y por la presencia de materiales de características plásticas en las profundidades del suelo acompañado de gases con alta presión, los cuales se movilizan hacia la superficie de la tierra por medio de fracturas y expulsados por bocas o emanaderos.

En el Caribe Colombiano se han identificado 52 manifestaciones de volcanismo de lodo donde 35 están distribuidos en las regiones de: Galerazamba, Bayunca – Arroyo de Piedra, Cartagena, y Flamenco, y de manera aislada al NW Santa Catalina, NE de Clemencia, NEE de Turbaco, W de Cañaveral. Igualmente al SE de Puerto Colombia y SE de Barranquilla.

La población de Membrillal a estudio, ubicada al sur de Cartagena, es altamente vulnerable debido a su localización sobre el domo de un volcán de lodo, de diámetro aproximado de orden 800 a 1000 m y altura de 20 a 25 m, al cual se le realizaron análisis de iso-resistividades en niveles de cada 10 metros de profundidad para evaluar la incidencia del lodo diapíricos sobre los estratos. Al observar cada uno de los niveles, vimos 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.

En la zona de emanación No.1 y No.2 los cuales se muestran en el proyecto en el análisis de ISORESISTIVIDAD, se detecta la concentración de estos materiales lodosos en el central y nororiental del área evaluada y su incidencia y cubrimiento es hasta nivel superficial desde los 50 metros que fue la máxima profundidad de exploración. Subyaciendo y hasta profundidades variables entre 20 y 50 metros se detectaron resistividades menores de 4 Ohm-m, correlacionando litológicamente con lodolitas arcillosas y donde las resistividades son menores de 2 Ohm-m corresponde al material lodoso producto de los fenómenos diapíricos que afectan la zona.



Membrillal está expuesto y altamente susceptible a expulsiones y emanaciones volcánicas violentas que puede afectar la infraestructura y la población, la explosión se tornaría violenta debido a la concentración de gas y el tipo de este, el metano es el gas predominante en este tipo de volcanes igualmente se presentan en este tipo de “volcanes”, trazas de etano, propano, butano y CO₂, los cuales en altas concentraciones pueden causar nauseas, diarrea, pérdida del apetito, desorientación, dolor de cabeza, excitación, respiración rápida, amnesia y otros efectos sobre el sistema nervioso central.

El riesgo de la zona de estudio es debido a la interacción entre la susceptibilidad de la población y la amenaza, pero en la susceptibilidad aparte de considerar las características intrínsecas del área de estudio, como son la geología, geomorfología, hidrología, topografía, entre otros, depende adicionalmente del factor humano (La exposición a la pérdida de vidas humana) y al encontrarse la zona habitada en su totalidad, el riesgo para las vidas humanas es alta, zona de susceptibilidad donde se presentan las mayores manifestaciones de ventosas con expulsión de lodo y gases y donde por igual se evidenciaron flujos de lodo asociados a erupciones pasadas, los cuales de acuerdo con su localización pueden ser encauzados por los drenajes de la región donde los terrenos pueden ser afectados por expulsión violenta de bloques y el fracturamiento asociado a la erupción.

Realizada la evaluación de la amenaza potencial del volcanismo de lodo en la vereda de Membrillal en Cartagena de Indias, se pudo identificar la necesidad que se vive desde hace mucho tiempo en el país y el departamento de Bolívar, la cual a llevando a la sociedad a convivir con los fenómenos naturales en este caso el diapirismo de lodo, la cercanía y la ocupación de los terrenos influenciados por “volcanismo de lodo”. Llama la atención en este aspecto en particular, a los habitantes cuyas viviendas se encuentran en cercanías de los “volcanes de lodo” de Membrillal, donde se deben tomar las medidas preventivas puesto que el origen del diapirismo de lodos en la región del Caribe Colombiano, es natural debido a la conformación geomorfológica de la región.



Este estudio puede servir de base para elaborar estrategias de prevención, control y atención de desastres en el área de estudio dado que existe el temor permanente en los pobladores de posibles macro erupciones.

A parte de las conclusiones obtenidas se realizan las siguientes recomendaciones para el manejo de la zona.

- Recomendamos monitores permanentes del área de estudio por medios topográficos convencionales como métodos preventivos para estar atentos a tomar las medidas de emergencia necesarias para atender la situación, también se debe localizar un acelerógrafo que determine las variaciones en la actividad del fenómeno ya que las expulsiones violentas de lodo están directamente asociadas a movimientos sísmicos locales.
- Reubicación si es posible de las viviendas, declaración de zona ambiental protegida para evitar nuevas construcciones, es recomendable revisar la estabilidad de viviendas y acumulaciones de agua localizadas en la cima y los flancos del volcán de lodo.
- Es importante que el Distrito y las autoridades competentes tengan previstas estrategias, y planes de emergencia que ayuden a controlar las situaciones de emergencia que se puedan seguir presentando, así como ir planificando estrategias y planes para afrontar esta situación a corto, mediano y largo plazo.
- Es importante actualizar los mapas de susceptibilidad a los fenómenos de diapirismo de lodo en la ciudad de Cartagena, dentro de este aspecto es urgente



elaborar planes de prevención y programas de educación ambiental con el fin de evitar catástrofes.

- Es netamente necesaria la reorganización del diseño de algunas obras civiles de tal manera que no sean afectadas por un evento explosivo de lodo o de gases, ya que se han ubicado en primera instancia unos sitios o zonas de amenaza identificadas en el proyecto.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

- A. Mazzini a, H. S. (2007). Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia. *sciencedirect*, 14.
- Cadavid y Rico, 1. (2007). *Universidad Nacional de Colombia* .
- Camilo O. Aristizábal, A. L. (2009). *Control neotectónico del diapirismo de lodo en la región de Cartagena, Colombia*.
- CARVAJAL. (1996). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución Costera del Caribe Colombiano- Geomorfología Sector*.
- CARVAJAL. (2000). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución Costera del Caribe Colombiano- Geomorfología Sector I*.
- CARVAJAL. (1996). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución Costera del Caribe Colombiano- Geomorfología Sector*.
- CARVAJAL Y VEGA. (1992).
- Carvajal, 2. (2007). *Universidad Nacional de Colombia*.
- CIOH. (s.f.). *Centro de Investigación Oceánicas e Hidrográficas*.
- Decreto No 0977. (2001). *Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias*.
- Duque- Castro, 1. c. (2008). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución costera del Caribe Colombiano Geomorfología Sector I*.,
- DUQUE, 1. 1. (2007). *Universidad Nacional de Colombia*. Bogotá,.
- Duque, 1. (2007). *Estudio e investigación de las obras de restauración ambiental y de navegación del canal del dique recopilación y síntesis de la información geológica*



y geomorfológica de la ecorregion del canal de dique. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia. informe CM-DC-5.

Duque, I. (2007). *Estudio e investigación de las obras de restauración ambiental y de navegación del canal del dique recopilación y síntesis de la información geológica y geomorfológica de la ecorregion del canal de dique*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia informe CM-DC-5 p. 44.

Duque, C. y. (1998). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución Costera del Caribe Colombiano- Geomorfología*.

Duque, S. g. (2008). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución costera del Caribe Colombiano Geomorfología Sector I.*

Geomorfología Sector I. (s.f.). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución Costera del Caribe Colombiano*.

INGEOMINA, I. (2007). *Universidad Nacional de Colombia*.

Instituto geológico y minero de España. (s.f.). *Riesgos geológicos*.

Instituto geológico y minero de España. (s.f.). *Riesgos geológicos*.

Investigación del diapirismo de lodo y evolución Costera del Caribe Colombiano-. (s.f.). *Geomorfología Sector*.

Marco Bonini, F. M. (25 August 2010). Mud volcanoes as potential indicators of regional stress and pressurized layer depth. *Tectonophysics*, 47.

Natalia López Moratalla. (2008). *Biología y geología 1° de Bachillerato*.

Nidia Serrano M. (20 de Octubre de 2010). Estampida por volcán de lodo. *El Universal*.

O'Brien, J. (2007). *Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Informe Geomorfológico*.



P., C. E. (2007). *Estudios e investigaciones de las obras de restauracion ambiental y de navegacion de calnal del dique*. Bogota .

PELGRAIN, 1. –B. (2007). *Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. Informe Geomorfológico*.

Plan de ordenamiento territorial. (2001). Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias.

Reyes y Clavijo, 1. c. (2008). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución costera del Caribe Colombiano Geomorfología Sector I*.

Servicio geológico Colombiano. (2008). *Investigación del diapirismo de lodo y evolución costera del Caribe Colombiano Geomorfología Sector I*.

UNIVERSAL, E. (16 de Julio de 2013). Inspección por diapirismo de lodo en Membrillal. *EL UNIVERSAL*.

DOCUMENTOS DISPONIBLES EN INTERNET:

Prado L, (c. 2012) “Volcán de lodo mantiene en vilo a habitantes de Bayunca”. [Online] El Universal, Cartagena (Colombia). URL. Obtenido de <http://m.eluniversal.com.co/cartagena/local/volcan-de-lodo-mantiene-en-vilo-habitantes-de-bayunca-76203#sthash.IWYsKrtj.dpuf>.

http://www.aguabuena.com.ar/html/estudio_nothardt_-_principal.html

(Consultado el 15 de Mayo del 2013)

<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/membrillal-entre-la-penumbra-y-el-olvido>

(Consultado el 10 de Mayo del 2013)



<http://www.eluniversal.com.co/monteria-y-sincelejo/local/estampida-por-volcan-de-lodo>.

<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/en-el-rodeo-volcan-de-lodo-hizo-erupcion-agrieto-casas-y-preocupa-habitantes-109143> (Consultado el 24 de Agosto del 2013)

<http://m.eluniversal.com.co/cartagena/bolivar/en-galerazamba-temen-que-exploracion-de-gas-reactive-volcanes-de-lodo-79567> (Consultado el 24 de Agosto del 2013)

<http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/inspeccion-por-diapirismo-de-lodo-en-membrillal-126948>