

**SUSCEPTIBILIDAD Y FACTORES DE AMENAZA Y RIESGOS  
GEOLOGICOS RELATIVOS, ASOCIADOS AL "VOLCANISMO DE  
LODO" EN LA REGIÓN DEL TOTUMO  
MUNICIPIO DE SANTA CATALINA - BOLÍVAR**

Bogotá, noviembre de 2013





**INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS BÁSICAS**  
**GEOLOGÍA BÁSICA**

***SUSCEPTIBILIDAD Y FACTORES DE AMENAZA Y RIESGOS  
GEOLÓGICOS RELATIVOS, ASOCIADOS AL "VOLCANISMO DE  
LODO" EN LA REGIÓN DEL TOTUMO  
MUNICIPIO DE SANTA CATALINA - BOLÍVAR***

**Por**

**José Henry Carvajal  
Geólogo**

**Bogotá, noviembre de 2013**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 GENERALIDADES .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 LOCALIZACION DEL “VOLCÁN DE LODO” EL TOTUMO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 ANTECEDENTES .....</b>	<b>14</b>
<b>2. CARACTERISTICAS DE LAS VARIABLES FISICAS DEL TERRENO....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 CARACTERISTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS GENERALES .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1 Características litológicas (Tipos de material) .....</b>	<b>16</b>
2.2.1.1 Formación Arjona.....	17
2.2.1.2 Formación Bayunca .....	18
2.2.1.3 Formación la Popa .....	18
2.2.1.4 Depósitos Cuaternarios Recientes.....	19
<b>2.2.2 Marco geológico general y disposición estructural de las rocas ....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 CARACTERISTICAS DE LA SISMICIDAD DEL CARIBE NOROCCIDENTAL COLOMBIANO .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4 CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS GENERALES DEL AREA.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.1 Geomorfología del sector de Galerazamba - Lomita Arena.....</b>	<b>23</b>
2.4.1.1 Características geomorfológicas de los “volcanes de lodo” de sector El Totumo - Pueblo Nuevo.....	25
2.4.1.2 Características del Cono "volcánico de lodo" turístico del Totumo .....	30

---

<b>3.</b>	<b>MORFODINÁMICA Y ANALISIS PRELIMINAR DE AMENAZAS Y RIESGOS GEOLÓGICOS relativos, ASOCIADOS AL "VOLCANISMO DE LODO" EN EL SECTOR .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>CARACTERISTICAS MORFODINÁMICAS Y ACTIVIDAD ACTUAL DE LOS "VOLCANES DE LODO" .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.1</b>	<b>SUSCEPTIBILIDAD A FLUJOS DE LODO Y EXPULSIÓN VIOLENTA DE BLOQUES.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1.2</b>	<b>SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A GENERACIÓN DE INCENDIOS .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.3</b>	<b>SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A FRACTURAMIENTO Y DESLIZAMIENTO .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.4</b>	<b>SUSCEPTIBILIDAD DEL ÁREA A ONDAS DE CHOQUE.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2</b>	<b>RIESGOS GEOLÓGICOS RELATIVOS ASOCIADOS CON LA ERUPCIÓN DE LOS "VOLCANES DE LODO" .....</b>	<b>43</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>47</b>
<b>5.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>5.1</b>	<b>RECOMENDACIONES A CORTO y mediano PLAZO .....</b>	<b>50</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES A LARGO PLAZO.....</b>	<b>52</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Diagramas y cortes esquemáticos de un "volcán de lodo": Nótese la forma de emplazamiento de los lodos.....	12
<b>Figura 2.</b> Mapa de localización de los "volcanes de lodo" de El Totumo y Pueblo Nuevo al Noreste de Cartagena de Indias. Nótese la localización de otros "volcanes de lodo" en la región. X: 1680211 Y: 870861.....	13
<b>Figura 3.</b> Mapa geológico de la región de Cartagena de Indias Galerazamba. Pgsc = F. San Cayetano, Pgsj = F. San Jacinto, PgNgc = F. Carmen, PgNgp = F. Perdices, Ngh = F. Hibácharo, Ngd = F. Tubará, PgNga = F. Arjona, Ngb = F. Bayunca, Qpp = F. Popa, Qpr = F. Rotinet, Qpag = F. A. Grande, Qe = D. Eólicos, Qfl = D. Fluviales, Qmp = D. litorales, Qcal = D. Coluvioaluviales, Qlc = D. Costeros, Qlal = D. Aluviales Subactuales. Fuentes: Reyes y Otros (2001), Barrera (2001), Guzmán y Otros (1998), Obando y Vásquez (2010),. Nótese la ubicación de los "volcanes de lodo" en triángulos negros.....	17
<b>Figura 4.</b> Columnas estratigráficas generalizadas de las rocas aflorantes en el llamado Cinturón del Sinú tanto en la región de Córdoba – Antioquia (Sinclinorio de Abibe – Las Palomas) como en Cartagena. Tomado de Carvajal (2011 – 2001).....	18
<b>Figura 5.</b> Mapa de epicentros sísmicos en la región Caribe Colombiana, Nótese la ocurrencia de epicentros de en el talud continental. (RSNC, 2012)..	22
<b>Figura 6.</b> Mapa geomorfológico de la región de Galerazamba – Isla Cascajo y la localización de los "volcanes de lodo de El Totumo y Pueblo Nuevo. Svl= "volcanes de lodo", Slp= Lomos de presión, Mlc = Lagunas costeras, Mllc = llanuras costeras, Me = Espigas, Mpm =Llanuras y planos con manglar, Mbe= Barras espigas, Dles= Lomas estructurales, Fdps= Planos fluviales subactuales, Fpi= Planos de inundación fluvial, Acn= camaroneras. Nótese en magenta la localización de los "volcanes de lodo" y la antigua espiga en verde sustentada por el "volcán de lodo" submarino de Galerazamba .	24
<b>Figura 7.</b> Vista en planta y en perfil de los "volcanes de lodo" de Pueblo Nuevo y El Totumo con la localización de los diferentes tipos e bocas u oídos y los	

lineamientos definidos con investigación geofísica y señalados con flechas y líneas negras respectivamente. Nótese en tonos grises los flujos de lodo durante las erupciones y en trazos punteados verdes la vía propuesta de acceso al “volcán El Totumo (Fuentes: Imagen Google 2009 - Obando y Vásquez 2010). ..... 26

**Figura 8.** Vista hacia el Oriente de las bocas u oídos del “volcán de lodo” El Totumo. En primer plano las bocas tipo O y C de la zona del cráter, y al fondo la boca tipo A en forma de cono conocida la boca turística del Totumo. Nótese en la cima, a la izquierda la hondonada o artesa asociada con el cráter de 16 burbujas/minuto, evidenciándose igualmente, el crecimiento de un cono secundario de 50 cm de altura en la parte del mismo (Figura 9). ..... 27

**Figura 9.** Aspecto de las bocas u oídos tipo O y A del “volcán de lodo” El Totumo, localizadas en el flanco Sur de la Estructura ..... 27

**Figura 10.** Aspectos de los procesos de sofusión y generación de cárcavas en el sector Sur del “volcán de lodo El Totumo”. ..... 29

**Figura 11.** Aspecto de los movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional presentes en el costado Sureste del "volcán de lodo" Pueblo Nuevo. Nótese la corona y escarpes de deslizamiento en la parte superior y la formación de surcos en la parte media y baja de la misma. .... 30

**Figura 12.** Vista hacia el Occidente de la zona de la parte alta de la boca u oído turístico tipo A en forma de cono del Totumo. Nótese las empalizadas elaboradas para estabilizar la boca internamente y las escaleras para acceder al cono. Al fondo cima principal del “volcán de lodo” El Totumo y la vía construida para tener acceso al cono turístico. .... 31

**Figura 13.** Vistas de los flancos de la boca turística del Totumo. Nótese la estabilidad aparente del cono “volcánico” y los flujos de lodo y desprendimientos superficiales del terreno recientes con flechas negras y las empalizadas y bolsas rellenas de material utilizadas para estabilizar el terreno con flechas azules. .... 32

**Figura 14.** Aspecto de la boca el Totumo en a) el 2010 y b) el estado actual de la misma. Foto a obtenida descargada de Google. .... 35

**Figura 15.** Vista hacia el oriente de las bocas u oídos del “Volcán de lodo” de El Totumo, desde las bocas principales localizadas en la parte alta de la estructura “volcánica” a) Foto tomada en el 2008, b) foto tomada en octubre de 2013. Nótese al fondo en el extremo superior derecho, la boca en forma de cono del Totumo. .... 36

- Figura 16.** Vista hacia el SE de las bocas u oídos principales del “Volcán de lodo” de Pueblo Nuevo, a) Foto tomada en el 2008, b foto tomada en octubre de 2013. Nótese en la foto b, la escasez de flujo de lodo por los flancos de los conos. .... 37
- Figura 17.** Vista hacia el Oeste desde la boca turística del Totumo, de la meseta formada durante la erupción de lodo del 23 de agosto del 2000. Nótese la obstrucción de la vía de acceso. .... 39
- Figura 18.** Vista panorámica hacia el W del “volcán de lodo” El Totumo. Nótese la ubicación de los centros de emisión de lodo y el cambio en la vía propuesto en amarillo. Imagen Google 2009. .... 40
- Figura 19.** Panorámica hacia el SE del “volcán de lodo” de Pueblo Nuevo. Nótese el flujo de lodo generado durante la erupción de 1999 y la ubicación de las viviendas del barrio Los Olivos y de Pueblo Nuevo en los flancos del “volcán”. Imagen Google 2009..... 41
- Figura 20.** Vista hacia el Norte de la boca turística del "volcán de lodo" El Totumo. Nótese la congregación alta de turistas en la parte alta de la estructura. .... 45
- Figura 21.** Detalles de la salida de la boca turística del "volcán de lodo" El Totumo. Nótese la gran afluencia de turistas y el peligro en la salida..... 46

## RESUMEN

En atención de una solicitud de visita técnica de evaluación por posibles problema de inestabilidad en la boca o manadero de lodo conocida como "volcán de lodo" El Totumo (Oficio del señor alcalde de Santa Catalina - Bolívar (Oficio SN del 22 de septiembre de 2013), se llevó a cabo un reconocimiento al lugar. Durante la visita técnica, realizada con el acompañamiento de funcionarios de la Alcaldía de Santa catalina, se evidenció una baja de 3.5 m en el nivel de lodo.

Tal situación ameritó un reconocimiento de las demás bocas existentes en esa estructura "volcánica de lodo", determinándose igualmente, la disminución en la actividad de burbujeo y el secado de algunas de las bocas u oídos en particular en el centro principal de emisión de lodo localizado en la parte alta de la estructura, 244 m antes de llegar a la boca turística. La visita a las bocas principales localizadas en el centro de emisión principal del "volcán de lodo" de Pueblo Nuevo, permitió evidenciar conductas similares a la encontrada en las bocas del Totumo.

Ante la situación encontrada y en consideración de la posibilidad de futuras erupciones de lodo, se determinó hacer un análisis generalizado de las amenazas y riesgos relativos asociados a "volcanismo de lodo" en el sector, con base en la información geológica, geomorfológica, geofísica y de GPS, obtenida en los últimos años por el Servicio Geológico Colombiano, antes Ingeominas. El "volcanismo de lodo" es una de las manifestaciones de diapirismo de lodo en el sector centro y Sur occidental de la costa Caribe Colombiana y dadas sus características de actividad local y temporalmente violenta, puede constituirse en una amenaza y un riesgo para los habitantes, que se localizan en cercanías de estas estructuras.

El Servicio Geológico Colombiano en su misión Institucional de investigar los fenómenos geológicos, que puedan afectar a la población y con el fin de proporcionar información técnica básica para la toma de decisiones, consigna en este documento, los resultados del análisis de estabilidad de la boca turística del Totumo. Igualmente, se analizan los procesos geomorfodinámicos y de actividad "volcánica de lodo" y se dan las recomendaciones pertinentes a corto mediano y largo plazo ante la eventualidad de un evento eruptivo violento. La



---

información aquí consignada debe ser considerada como una guía a tener en cuenta para dimensionar la morfodinámica de las estructuras “volcánicas de lodo” de la región, y base para emprender estudios geológicos, geomorfológicos y principalmente geotécnicos detallados; tendientes a evaluar la susceptibilidad, la amenaza y el riesgo real al fenómeno.

## ABSTRACT

In response to a request for technical evaluation for potential instability problem in the mouth or spring of mud known as " mud volcano " El Totumo ( Communication of the Mayor of Santa Catalina - Bolivar - SN letter, September 22, 2013 ) was conducted a reconnaissance visit to the place . During the field trip, performed with the accompaniment of officials members of the Municipality of Santa Catalina, was evident in the touristic mouth, the mud level sludge to 3.5 m in depth.

Such situation, deserved the recognition of other existing mouths of the Totumo mud volcano, where also were determined, decreased bubbling activity and drying in some mouths or ears, particularly in the principal mud emission center, over the upper part of " mud volcanic structure" , located 244 m before reaching the tourist mouth . On the other hand, the visit to the mouths located on the mud emission center of the " mud volcano" Pueblo Nuevo , allowed to see similar behavior to that found in the mouths of Totumo.

Given the situation encountered and in consideration of the possibility of future mud eruption, it was determined to carry out, a general analysis of the related threats and risks associated with " mud volcanism " in the sector, based on the geological, geomorphological , geophysical and GPS information , obtained in recent years by the Colombian Geological Service , before Ingeominas. The " mud volcanism " is one of the manifestations of mud diapirism in the central and western South Colombian Caribbean coast, and given its features locally and temporarily violent activity , can become a threat and risk to the inhabitants , which are located in the vicinity of these structures.

The Colombian Geological Service, in its Institutional mission, investigate geological phenomena that can affect the population and to provide basic technical information for –making decision. In this paper are found the results of stability analysis of tourist mouth Totumo. Similarly, are discussed the geomorphological processes and activity of the El Totumo and Pueblo Nuevo "mud volcanoes" and are given appropriate recommendations in short medium and long term, in the event of a violent eruption The information reported herein, should be considered as a guide to keep in mind to know the morphodynamic activity of the "mud volcano structures" in the region, and undertake detailed geological, geomorphological and geotechnical investigations, , in order to evaluate the susceptibility, real hazards and risk associated to the phenomenon.

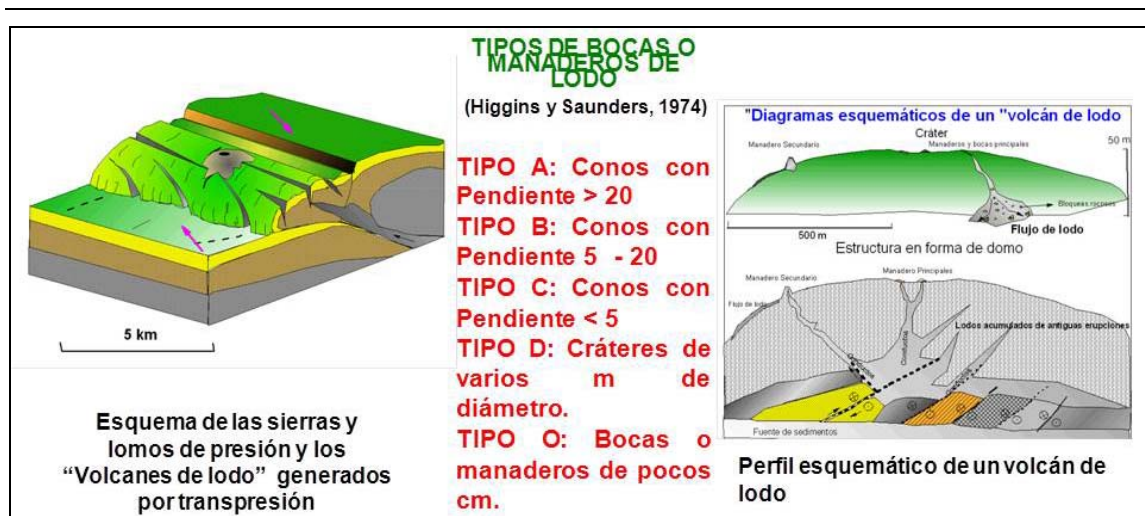
## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. GENERALIDADES

El diapirismo de lodo es un fenómeno originado por la presencia en profundidad de material arcilloso (de características plásticas) y gases en condiciones de alta presión, que se moviliza hacia la superficie a través de fracturas o zonas de debilidad, generando tanto levantamientos y fracturamiento del terreno, como expulsión de lodos y gases por bocas de variadas formas y tamaños (Carvajal, 2011). Los “volcanes de lodo”, según este autor, se constituyen entonces en la manifestación superficial de este fenómeno geológico y tienen su mayor expresión en el margen costero del Caribe Colombiano entre el golfo de Urabá y el Norte de Barranquilla.

Las geoformas tales como domos, colinas e islas, localizadas en el borde occidental del Caribe Colombiano deben su origen, al levantamiento diferencial del terreno generados por el efecto convergente continental de las placas Caribe y suramericana, favorecido por fenómeno del diapirismo de lodo, Acorde con Carvajal y Otros (2010), Carvajal y Mendivelso (2011) y Carvajal (2011), los “volcanes de lodo” son cerros en forma de domo de morfología colinada con laderas convexas y cima plana o en artesa, formados, tanto por la acumulación de lodos producto de erupciones anteriores, como por la deformación del terreno, generada por el empuje vertical de los materiales confinados en profundidad, y disparados, ya sea por uno o varios de los siguientes factores: compresión tectónica, alto contenido de gases o por la diferencia de densidades entre los materiales confinados en profundidad y la cobertera sedimentaria superior más densa”.

Hacia la cima de los edificios “volcánicos de lodo”, se presenta una depresión a manera de cráter, en forma de artesa de 100 a 500 m de diámetro, dentro de la cual en general, se presentan manaderos de lodo por bocas de diferentes formas y tamaños entre 0.1 – 4 m en promedio. Estas bocas o también llamadas en la región oídos del “volcán”, igualmente se pueden encontrar aunque con menor frecuencia en los flancos de las estructuras



**Figura 1.** Diagramas y cortes esquemáticos de un "volcán de lodo": Nótese la forma de emplazamiento de los lodos.

"volcánicas de lodo" y dadas las diferencias de densidad, viscosidad y grado de fluidez de los materiales, que emergen constantemente y a diferentes intervalos de tiempo, se pueden formar simples orificios de variados tamaños entre 0,5 – 60 m o conos entre 0.6 – 20 m de altura y 1 – 30 m de diámetro de base.

Según Higgins y Saunders 1974, en Carvajal (2001 - 2012), las bocas, oídos o manaderos de lodo de este tipo de "volcán", se clasifican de acuerdo, tanto a la forma y tamaño de los mismos, como a la pendiente de los flancos de los conos formados, ver figura 1. En profundidad y basados tanto en la información geofísica (gravimetría, magnetometría sísmica y sondeos geoeléctricos superficiales (tomografías), obtenida del sector de Pueblo Nuevo – El Totumo (Bolívar), como en información sísmica publicada, (Franco 1996 - Obando Y Vázquez, 2010), se ha podido establecer, que la conducción de lodos hacia la superficie, se lleva a cabo a través de fracturas y fallas de rumbo y normales, lo cual genera la verticalización de las secuencias sedimentarias, facilitando el tránsito de los lodos a través de las mismas fracturas e igualmente entre capas o estratos areníticos de características friables y porosas (Carvajal y otros, 2010 – Carvajal y Mendivelso 2011, Carvajal, 2011).

Los "volcanes de lodo" presentes en el Caribe central Colombiano, se encuentran en gran número, particularmente en los sectores de Galerazamba y Bayunca, aunque igualmente se encuentran entre Cartagena de Indias y Turbaco (Carvajal y otros, 2010 – Carvajal y Mendivelso 2011, Carvajal, 2011 - Carvajal, 2012 -Carvajal y Calderón, 2013), ver figura 2. Acorde con estos autores, la actividad eruptiva histórica de los "volcanes de lodo" de la región de Galerazamba, se encuentra restringida a los eventos eruptivos de los "volcanes

de lodo” de Pueblo Nuevo y El Totumo, el 27 de abril de 1999 y el 23 de agosto de 2000, respectivamente, aunque también se han reportado erupciones de “volcán de lodo”, en los “volcanes” Lacaré, Luisa, localizados más al Norte.



**Figura 2.** Mapa de localización de los “volcanes de lodo” de El Totumo y Pueblo Nuevo al Noreste de Cartagena de Indias. Nótese la localización de otros “volcanes de lodo” en la región.

En zonas marinas cercanas a la costa, se tiene referencia de actividad “volcánica de lodo”, tanto en el sector occidental de Galerazamba como al occidente de Punta Canoas. Estas manifestaciones se han encontrado asociadas con la aparición de islas localmente acompañadas con manifestaciones de fuego. Se destacan por su actividad, el “volcán de lodo” submarino de Galerazamba, el cual ha presentado erupciones en 1839, 1820?, octubre 7 de 1948, noviembre 9 de 1958 y diciembre 27 de 1991 (Ramírez, 1959 – Carvajal, 2001 en Carvajal, 2011)). En el caso de Punta Canoas, se tiene documentada la formación de una isla transitoria, durante la erupción del mes de diciembre de 1979, (Correa, 1998 – Carvajal, 2001, Carvajal, 2012).

## 1.2 LOCALIZACIÓN DEL “VOLCÁN DE LODO” EL TOTUMO

El “volcán de lodo” El Totumo objeto principal de la visita técnica, se encuentra localizado 45 km al noreste de Cartagena de Indias, en la localidad de Pueblo Nuevo municipio de Santa Catalina. Para llegar a la población se puede utilizar la vía del mar que conduce de Cartagena a Barranquilla o también utilizando la



vía de la Cordialidad, desviando luego hacia el NW por la vía que conduce a la poblaciones de Lomita arena y Galerazamba (Figura 2).

"El volcán de lodo" El Totumo se ubica en el cruce de las coordenadas geográficas  $10^{\circ} 44' 50,3''$  de latitud Norte y  $75^{\circ} 14' 49,6''$  de longitud Oeste que corresponden a las coordenadas Gauss con origen en Bogotá:

X : 1680218

Y: 872434

Particularmente la boca turística en forma de cono conocida como El Totumo, se encuentra en el flanco oriental, a 244 m del centro de la estructura "volcánica de lodo", en las coordenadas geográficas  $10^{\circ} 44' 50,3''$  N y  $75^{\circ} 14' 40,7''$  W, correspondientes a las coordenadas planas con origen Bogotá X: 1.680.216 y Y: 872.704. Durante la visita técnica, igualmente se visitó el "volcán de lodo" de Pueblo Nuevo, el cual se encuentra al occidente y contiguo al Totumo, en el cruce de las coordenadas geográficas  $10^{\circ} 44' 49,9''$  de latitud Norte y  $75^{\circ} 15' 41,4''$ , correspondiente a las coordenada con origen en Bogotá:

**X : 1680211      Y : 870861.**

### 1.3 ANTECEDENTES

Este documento es el producto de la revisión de información de la región, obtenida en la última década por El Servicio Geológico Colombiano, antes INGEOMINAS, en el marco del proyecto de investigación geológica marina y costera colombianas en la región Noroccidental del Caribe Colombiano. Igualmente obedece a las actividades de reconocimiento de campo obtenidas en atención de una solicitud de visita técnica por la posibilidad de problema de inestabilidad en la boca o manadero de lodo conocida como "volcán de lodo" El Totumo (Oficio del señor alcalde de Santa Catalina - Bolívar - SN del 22 de septiembre de 2013).

En este documento se analiza los procesos geomorfodinámicos y de actividad "volcánica de lodo" en los "volcanes de lodo" del Totumo y Pueblo Nuevo y se dan las recomendaciones pertinentes a corto mediano y largo plazo. La información aquí consignada debe ser considerada como una guía a tener en cuenta para dimensionar la actividad de las estructuras "volcánicas de lodo" de la región y emprender estudios geológicos, geomorfológicos y principalmente geotécnicos detallados; tendientes a evaluar la susceptibilidad, la amenaza y el riesgo al fenómeno.

## 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIABLES FÍSICAS DEL TERRENO

El comportamiento de los terrenos depende fundamentalmente del tipo y disposición estructural de los materiales lo cual se asocia con su génesis geológica. Igualmente está influenciado por la acción de los agentes morfodinámica definidos por las características del clima (Precipitación, temperatura, vientos, evapotranspiración) y el tiempo que tenga su influencia en el terreno.

### 2.1 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS GENERALES

El clima de la región de Cartagena de Indias en general, se considera como tropical semiseco, con temperaturas máximas de 28,4°C en el mes de junio, que va disminuyendo paulatinamente a 26,8°C en los meses de enero y febrero por incidencia de los vientos alisios que soplan con mayor intensidad en dirección NE – SW durante estos meses (Carvajal, 2012). La pluviosidad por su parte, presenta 3 periodos bien definidos, un periodo entre diciembre y abril con precipitación media anual de 7,8%, un segundo periodo de transición seco – lluvioso, entre mayo y agosto de 31,9% de precipitación media y finalmente un tercer periodo muy lluvioso entre septiembre y noviembre con un 48,4% de precipitación media mensual, siendo el mes de octubre el mes más lluvioso de la región con una pluviosidad media mensual de 23,6% (Ingeominas, 2000).

### 2.2 CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS GENERALES

El área en estudio hace parte de la llamada región inestable conformada por dos elementos estructurales mayores llamados Cinturón de San Jacinto y Cinturón del Sinú. Estos dos elementos estructurales corresponden a dos cuñas de acrecimiento sedimentario adosadas al continente debido a la interacción convergente de las placas Caribe y Suramérica, favorecida por procesos de diapirismo de lodo.

En la región de Pueblo Nuevo - Lomarena y Galerazamba afloran rocas, que hacen parte de la provincia geológica llamada Cinturón del Sinú, Duque (1980)-

Duque (1984) y Barrera (2001), las cuales corresponden en general, a una secuencia de 5000 m de sedimentitas de mar profundo (pelagitas hemipelagitas, turbiditas) de edad Mioceno Superior – Plioceno, correspondientes a la formación Arjona en la región de Galerazamba. Este conjunto rocoso se encuentra cubierto localmente por calizas arrecifales, arcillolitas areniscas y conglomerados de origen marino somero transicional marino costero, que en conjunto pueden alcanzar hasta 1000 m de espesor y que corresponden a las Llamadas formaciones, La Popa y Bayunca (Duque 1980), ver figuras 3 y 4. Localmente entre estas secuencias rocosas sedimentarias se encuentran depósitos de origen marino, eólico, coluviones, “lodos volcánicos” y depósitos aluviales recientes (Figura 3 y 4).

La región de Cartagena – Galerazamba, se caracteriza, por la conformación de sinclinales (artesas) amplios y curvos en uno de sus extremos, y acuñados y limitados por anticlinales estrechos asociados localmente con fallamientos inversos con componente de rumbo, en cuyos trazos son de común ocurrencia los “volcanes de lodo” (Figura 1 y 3). La disposición estructural general de estos pliegues en dirección NNE-SSW y NEE - SWW, formados por transpresión - Transtensión (movimiento horizontal de bloques), esta interrumpida y afectado localmente por fallas de rumbo sinestrales (desplazamiento horizontal izquierdo) de dirección predominante Noroeste -Sureste, tales como Hibácharo, El Dique y falla de Rocha, las cuales definen localmente bloques hundidos y la conformación de cuencas de distensión aisladas.

### **2.2.1 Características litológicas (Tipos de material)**

En la región de Cartagena – Galerazamba, afloran rocas de las Formaciones Arjona, Bayunca, Rotinet, Arroyo Grande y localmente la Popa, cubiertas parcialmente por sedimentos de origen marino, denudacional, fluvial y eólico, ver Figuras 3 y 4. Particularmente en la región de Pueblo Nuevo - Galerazamba, afloran rocas de la llamada Formación Arjona, cubiertas local y discordantemente en la región de Galerazamba por calizas de la formación Popa de edad Plioceno - Holoceno.

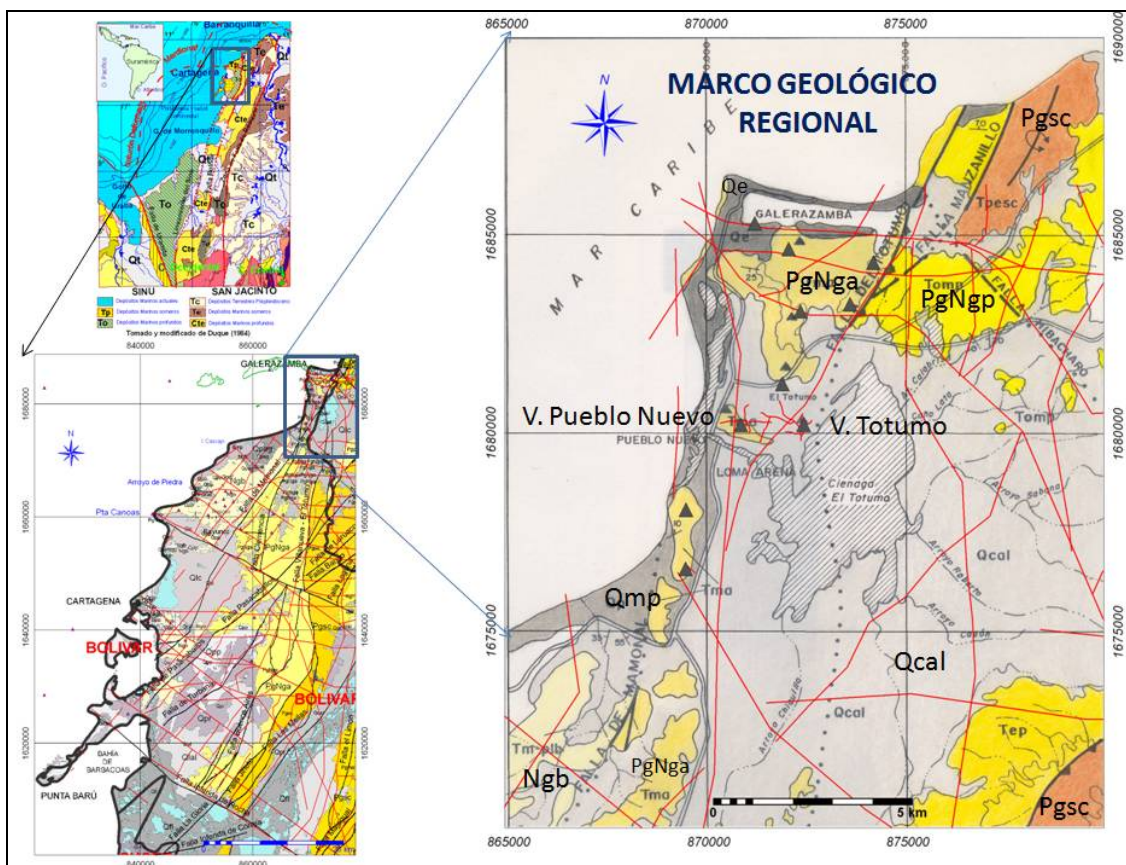
Estas rocas que hacen parte de la provincia geológica llamada Cinturón del Sinú, Duque (1980)- Duque (1984) y Barrera (2001). Hacia la parte Nororiental y separada por una fractura llamada Falla del Totumo, se presentan rocas del llamado Cinturón de San Jacinto. Pertenecen a esta provincia las formaciones San Cayetano, Pendales y Perdices (Figura 3). Sobre estas rocas se encuentran depósitos Cuaternarios recientes de origen eólico, marino costero y coluvio aluvial (Figura 3).



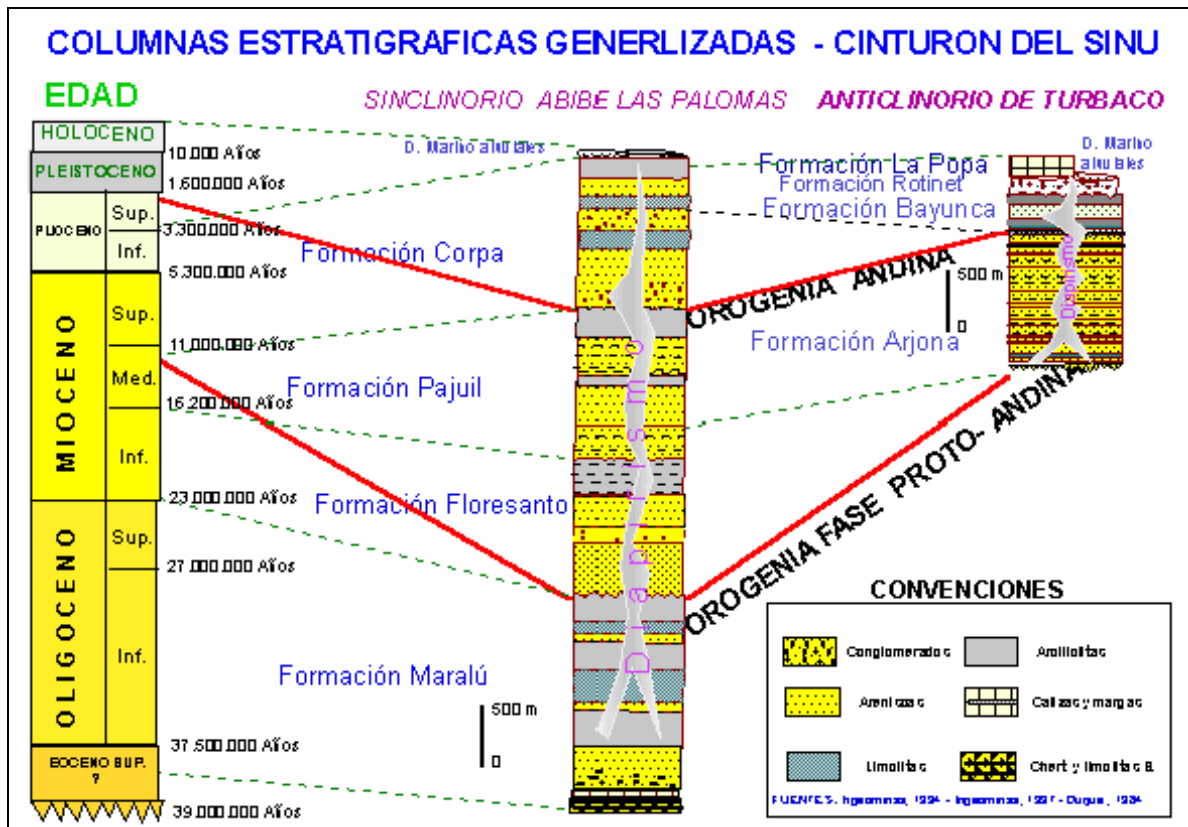
Las características litológicas de las rocas aflorantes en y en cercanías de los "volcanes de lodo" de Pueblo Nuevo y El Totumo son:

### 2.2.1.1. Formación Arjona:

Corresponde a una secuencia de arcillolitas arenosas con intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino y chert. Localmente se encuentran lodolitas dispuestas en capas de 01 - 3 m de espesor. Estas rocas se presentan en Galerazamba, Pueblo Nuevo y Lomarena y conforman una franja de lomas en forma de "domo" y plataformas de abrasión levantadas. Igualmente constituyen localmente el almacén de las estructuras "volcánicas de lodo" (Figura 3).



**Figura 3.** Mapa geológico de la región de Cartagena de Indias Galerazamba. Pgsc = F. San Cayetano, Pgsj = F. San Jacinto, PgNgc = F. Carmen, PgNgp = F. Perdices, Ngh = F. Hibácharo, Ngt = F. Tubará, PgNga = F. Arjona, Ngb = F. Bayunca, Qpp = F. Popa, Qpr = F. Rotinet, Qpag = F. A. Grande, Qe = D. Eólicos, Qfl = D. Fluviales, Qmp = D. litorales, Qcal = D. Coluvioaluviales, Qlc = D. Costeros, Qlal = D. Aluviales Subactuales. Fuentes: Reyes y Otros (2001), Barrera (2001), Guzmán y Otros (1998), Obando y Vásquez (2010). Nótese la ubicación de los "volcanes de lodo" en triángulos negros.



**Figura 4.** Columnas estratigráficas generalizadas de las rocas aflorantes en el llamado Cinturón del Sinú tanto en la región de Córdoba – Antioquia (Sinclinario de Abibe – Las Palomas) como en Cartagena. Tomado de Carvajal (2011 – 2001).

#### 2.2.1.2 Formación Bayunca

Es una secuencia de arcillolitas grises y limolitas ocre con intercalaciones de areniscas cuarzofeldespáticas, deleznales de color amarillo pardusco que se disponen en capas de 0.1 - 2 m de espesor. Afloran hacia el sur en la región de de Bayunca y Cartagena.

#### 2.2.1.3 Formación la Popa

Discordantes sobre las rocas de origen turbidítico de la formación Arjona se encuentran bancos de caliza arrecifal de 2 – 3 m de espesor, dispuestas a manera de parches al oriente de la población de Galerazamba. Debido a su corta extensión no son cartografiables en escala regional.

#### 2.2.1.4 Depósitos Cuaternarios Recientes

Corresponde a los depósitos de material inconsolidado de diferentes orígenes. Se presentan depósitos de origen eólico, depósitos marinos costeros y depósitos coluvioaluviales y los productos de erupciones volcánicas de lodo.

**Depósitos aluviales:** en el área de estudio corresponde a materiales arenos arcillosos de color pardo amarillentos, acumulados por corrientes fluviales antiguas y asociados a cursos antiguos del río Magdalena. Se presentan al norte y sur oeste del volcán de lodo de El Totumo, conformando llanuras fluviales subactuales costeras (Figuras 3 y 4).

**Depósitos marinos costeros:** Son acumulaciones de arenas de playa cuarzo-feldespática grano fino medio con gravas (chinas) de cuarzo lechoso y chert. Es común la abundancia de minerales pesados tipo magnetita, diseminada en las arenas. Constituye las playas, espigas y barras presentes en el sector occidental de Pueblo Nuevo.

**Depósitos Eólicos:** Son depósitos de arena acumulada por acción del viento, particularmente en la localidad de Galerazamba (Figura 3). Se constituyen de arenas cuarzo-feldespáticas sueltas de grano fino, de color gris pardusco, donde al igual que las playas se presenta magnetita diseminada en los materiales.

**Depósitos de lodo "volcánico":** Son acumulaciones de arcillas predominantemente caoliníticas con abundancia de bloques angulares de 0.03 - 0.8 m, presentes en los flujos de lodo, producto de erupciones "volcánicas" actuales a subactuales y que forman la estructura de los "volcanes de lodo".

#### 2.2.2 Marco geológico general y disposición estructural de las rocas

La característica principal de la provincia del Cinturón del Sinú en el Caribe central de Colombiano en donde se encuentra la región de Galerazamba - Lomita Arena, es la ocurrencia de fallamiento de rumbo transpresivo dextral en dirección NNE – SSW correspondiente a las fallas Villanueva – El Totumo, que marcan el límite del cinturón del Sinú al occidente y el Cinturón de San Jacinto al Este (Figura 3). Tal situación se evidencia claramente con las investigaciones de aeromagnetometría y gravimetría, donde se definen lineamientos NW – SE y W – E respectivamente, para los cinturones de rocas mencionados (Obando y Vásquez 2010 – Carvajal 2011, Carvajal 2012).

El fallamiento NNE relacionado con la falla Villanueva – Totumo, se encuentra asociado con fallas y lineamientos de dirección NE e igualmente de rumbo

transpresivo dextral y localmente sinistral, las cuales convergen hacia el NE formando una especie de cola de caballo, localmente distensivo, lo cual es el origen de la cuenca subsidente o depocentro donde se encuentra el paleodelta del río Magdalena por el sector mar adentro de Galerazamba.

La Falla del Totumo es considerada de tipo inverso con buzamientos hacia el oriente y la cual se bifurca al oriente de Galerazamba en una fractura menor llamada Falla de Manzanillo. Paralela y al occidente de la Falla del Totumo, se infiere la presencia de otra falla inversa que corresponde a una prolongación de la Falla de Mamonal en zona marina frente a Lomarena, Pueblo Nuevo y Galerazamba (Figura 3). Ocho kilómetros al noreste de Pueblo Nuevo se presenta en dirección noroeste - sureste la falla de rumbo de Hibácharo, probablemente con desplazamiento sinestrolateral, es decir el bloque norte se ha movido hacia el oeste con relación al bloque sur, ver figura 3.

Igualmente es evidente la conformación de bloques en dirección N – S, limitados por fallamiento de rumbo sinistral de dirección NW – SE, que se considera conjugadas antitéticas del sistema NNE, ver figura 3. Estas fallas de Norte a Sur corresponden a las fallas de Hibácharo al Norte de Galerazamba, Falla Pueblo Nuevo – Pendales, falla del Dique y la falla inferida de Rocha, estas últimas localizadas a la altura de Punta Canoas y el sector Norte del delta del canal del Dique respectivamente. Particularmente en la zona Sur del bloque de Galerazamba limitado al Norte por la falla de Hibácharo y por el Sur por una falla inferida sinistral de dirección NE - SE, de alto ángulo con componente normal, asociada con la zona de fractura de Pendales ((ANH -Unión Temporal B&G, 2006), corresponden con las antiguas llanuras de inundación fluvial del río Magdalena que desembocaba como se indicó previamente, por la región de Galerazamba en el pasado reciente.

Aunque el sector de Galerazamba - Lomita Arena estructuralmente es complejo, en general las fallas definen sinclinales W – E que cambian su rumbo a dirección NE a medida que se acercan al considerado límite Sinú - San Jacinto. Igualmente determina pliegues anticlinales y lomos de presión de direcciones variables W – E y SW. NE, limitados en sus flancos por el fallamiento dextral NE, con una importancia muy significativa porque es allí donde se encuentran emplazados los “volcanes de lodo” presentes en la región. En particular los “volcanes” de Pueblo Nuevo y El Totumo, se encuentran emplazados posiblemente sobre lomos de presión muy denudados, limitados y paralelos a la falla del Totumo de dirección SW - NE, los cuales se encuentran cubiertos parcialmente por los materiales lodosos con abundancia de bloques, generados por la extrusión violenta de lodos durante las erupciones.

Las rocas de la formación Arjona y localmente la formación Bayunca se presentan en general replegados e inclinadas hacia el NW y SE con



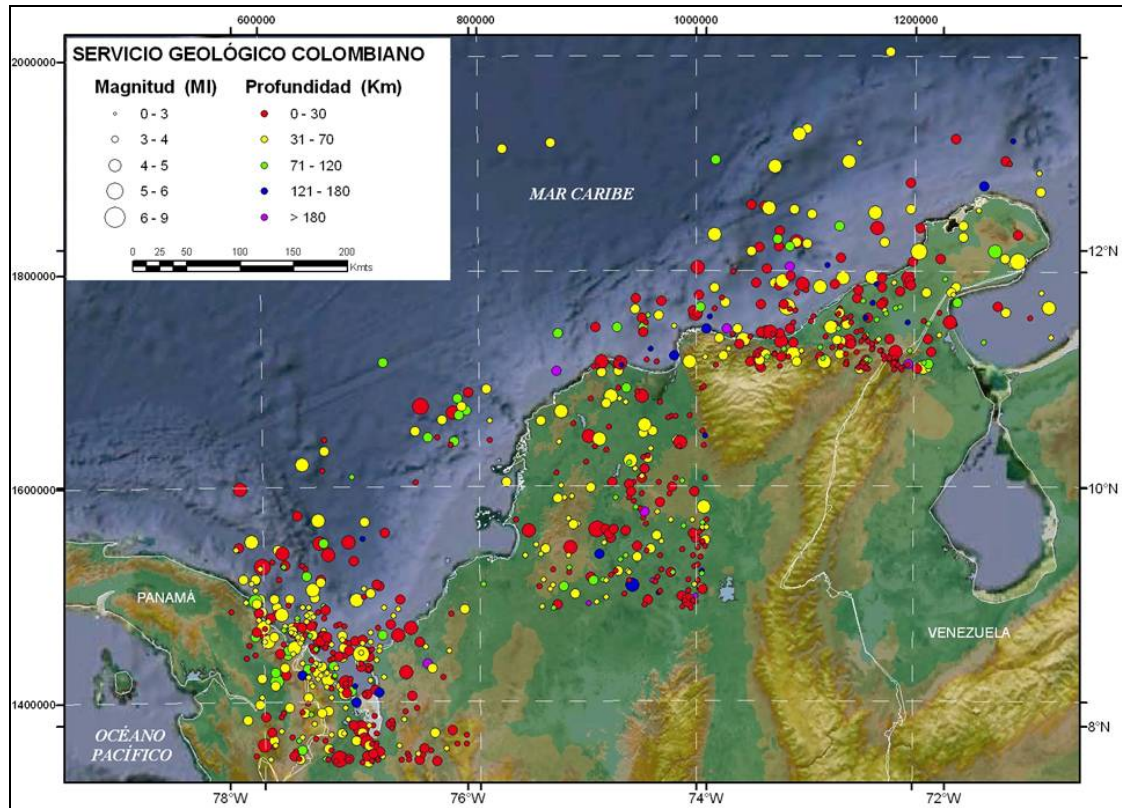
buzamientos del orden entre 35° y 85°, conformando sierras homoclinales y lomos de presión apretados con verticalización e inversión local de secuencias sedimentarias y limitados localmente por fallas inversas con componente de rumbo dextral.

### **2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA SISMICIDAD DEL CARIBE NOROCCIDENTAL COLOMBIANO**

La región centro occidental del Caribe Colombiano, ha sido considerada de sismicidad baja de acuerdo a la Norma SSR -10 de 2010, recientemente actualizada por la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes CAPRCSR (2010). No obstante lo anterior, las investigaciones de la última década y particularmente la cartografía geomorfológica de la región de Cartagena, evidencia la presencia de geformas diagnósticas e indicativas de actividad sísmica reciente (neotectónica), entre ellos la ocurrencia de “volcanismo de lodo”. Chicangana y otros (2007), en Carvajal y Otros (2010), fundamentados en el análisis de la sismicidad y el modelo geotectónico del Caribe Meridional, han recomendado, que la sismicidad de la región de Cartagena, sea catalogada en un nivel más alto del establecido por el código de construcciones sismo resistentes.

Los resultados preliminares de movimientos, establecidos con estaciones GPS de campo, muestran tendencias de hundimientos y levantamientos diferenciales del terreno ((Carvajal, 2011), lo cual comprueba que la actividad tectónica en la región está asociada predominantemente a deformación del terreno, facilitada por las características plásticas y localmente friables de las rocas aflorantes en la región. El análisis de la sismicidad reciente no permite establecer una relación directa entre la actividad eruptiva de lodo y la actividad sísmica de la región, sin embargo es evidente, la ocurrencia de sismos superficiales y de magnitudes de 3 - 5 en las zonas limítrofes del Cinturón del Sinú, tanto en el talud continental (cinturón deformado meridional de la placa Caribe), frente a Galerazamba y Cartagena, como al SE de Galerazamba, oriente de Punta Canoas y Sur de isla Barú, asociados probablemente con actividad tectónica en las fallas de Villanueva -Totumo, ver Figura 5.

El análisis de la actividad sísmica en la región cercana a los "volcanes de lodo" del Totumo y Pueblo Nuevo, muestra la ocurrencia común de sismos de profundidades superficiales a intermedias (0 – 70 km) y de magnitudes entre 1.7 y 3.1 en la escala de Richter en las localidades de Santa Catalina, María La Baja, Villanueva y Arjona. (Obando y Vásquez 2010 -Carvajal y Calderón 2013). Estos autores establecen la correlación entre los epicentros de sismos de baja magnitud sucedidos recientemente y el trazo de los lineamientos y fallas evidenciados en la región con procesamiento de información de magnetometría y gravimetría aéreas.



**Figura 5.** Mapa de epicentros sísmicos en la región Caribe Colombiana, Nótese la ocurrencia de epicentros de en el talud continental. (RSNC, 2012).

La ocurrencia de sismos en el talud continental, localmente de magnitud y profundidades mayores, definen la actividad tectónica en el cinturón de deformación meridional, limite del cinturón del Sinú en zonas marinas.

Estos datos no son suficientes para establecer una relación directa espacial y temporal entre la actividad sísmica y la ocurrencia de las erupciones del “volcán de lodo”, sin embargo, en otras regiones, históricamente, se ha evidenciado, una relación sincrónica, entre la sismicidad de magnitud alta a moderada y la ocurrencia de erupciones “volcánicas de lodo”, asociadas con la formación de islas en la región de Punta Canoas en 1979 y Damaquiel en 1992, este último como consecuencia indirecta del sismo de Murindó (Correa, 1998 – Carvajal, 2001, Carvajal 2012).

## 2.4 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLOGICAS GENERALES DEL ÁREA

La región costera del Caribe central Colombiano, ha sido objeto recientemente de investigación y cartografía geomorfológica siguiendo los planteamientos de la jerarquización geomorfológica propuesta por Carvajal (2008 y 2012a). Este

proceso, ha permitido conocer la arquitectura estructural de la región y su relación con la presencia de “volcanes de lodo” (Carvajal y Mendivelso 2011, Carvajal, 2011, Carvajal y otros 2010, Carvajal 2012 y Carvajal y Calderón 2013).

La región investigada, geomorfológicamente se encuentra incluida en la geomorfoestructura correspondiente al Sistema orogénico costero, que involucra las provincias geomorfológicas de los Cinturones formados por las serranías y sierras de San Jacinto y el Sinú. Acorde con los lineamientos de Cediel y otros (2003), esta geomorfoestructura hace parte del dominio tectónico occidental en el llamado terreno Caribe, el cual se limita al oriente por la el sistema fallado transpresivo destro lateral de Romeral – San Jacinto y por el occidente con el frente de deformación del Caribe meridional (Flinch 2003, Cediel y Otros 2003, Mantilla y Otros 2009).

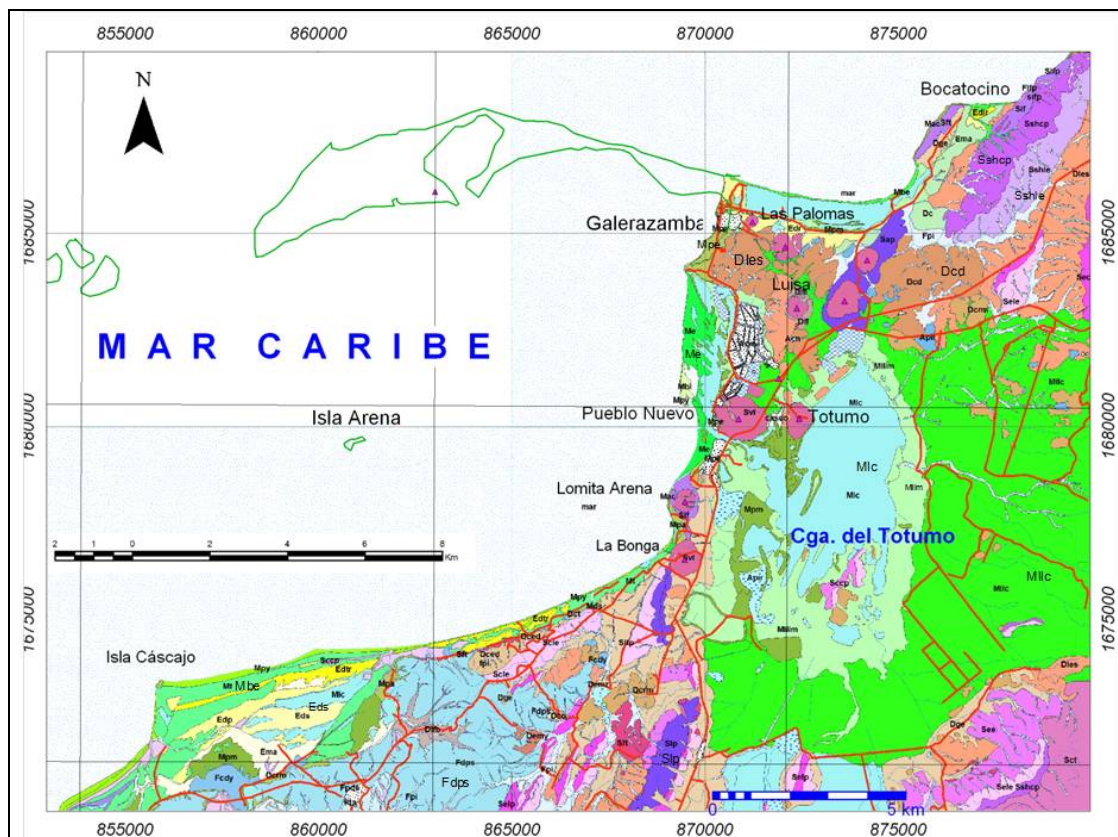
La provincia geomorfológica correspondiente al llamado cinturón del Sinú, donde se encuentran los volcanes de lodo en este análisis, hace parte del margen continental Caribe Colombiano, el cual se compone de regiones morfoestructurales correspondientes a la plataforma, el talud y el rise continentales en zonas submarinas. Igualmente, esta zona ha sido modelada posteriormente por procesos exogenéticos de denudación y acumulación, que se subdividen en planicies y lomeríos de origen denudacional, marino, eólico y fluvial principalmente.

#### **2.4.1 Geomorfología del sector de Galerazamba - Lomita Arena**

La arquitectura de la región analizada, está definida por un armazón de unidades de origen morfoestructural denudacional, originadas por la dinámica asociada con la convergencia de las placas Nazca, Caribe y Suramericana, facilitada por la ocurrencia del diapirismo de lodo. Entre estas geoformas se han diferenciado en el sector, sierras homoclinales como en la región de Bocatocino, y lomos de falla y de presión en el sector Norte del Totumo y SW de santa Catalina, los cuales se disponen en dirección NE, siguiendo el tren estructural del Cinturón del Sinú, y que tienen gran importancia en la región porque en sus cimas localmente se encuentran los “volcanes de lodo”, ver Figuras 6.

En las zonas costeras se presentan geoformas de origen marino costero como las plataformas de abrasión elevadas de Galerazamba ( 2 niveles de 4 y 2 m respectivamente). Igualmente son de común ocurrencia de espigas y barras espigas y tómbolos, que definen la morfología al sur de la Punta Juan Moreno e isla cascajo, además de lagunas y llanuras costeras e intermareales y planos de manglar, en inmediaciones de las lagunas del Totumo y Redonda.





**Figura 1.** Mapa geomorfológico de la región de Galerazamba – Isla Cascajo y la localización de los “volcanes de lodo de El Totumo y Pueblo Nuevo. Svl= “volcanes de lodo”, Slp= Lomos de presión, Mlc = Lagunas costeras, Mlic = llanuras costeras, Me = Espigas, Mpm =Llanuras y planos con manglar, Mbe= Barras espigas, Dles= Lomas estructurales, Fdps= Planos fluviales subactuales, Fpi= Planos de inundación fluvial, Acm= camaroneras. Nótese en magenta la localización de los “volcanes de lodo” y la antigua espiga en verde sustentada por el "volcán de lodo" submarino de Galerazamba.

Localmente se presentan playas amplias constituidas de arenas cuarzo feldespáticas de grano fino a medio, en algunos lugares con gravas finas de chert negro y marrón y cuarzo lechoso. La distribución de las geoformas costeras y la dinámica de la línea de costa, se consideran en parte originadas por la actividad diapírica de la región (Carvajal 2011, 2012). En ese sentido la presencia de una espiga perpendicular a la costa del NW de Galerazamba en el siglo XVI, debió su conformación a manifestaciones "volcánicas de lodo" submarina, que le sirvieron de amarre y sustento, ver Figura 6.

Entre las geoformas de origen denudacional se destacan en la región, la presencia de lomas estructurales, colinas y cerros remanentes. Asociadas con



estas geoformas prominentes, y en particular con los “volcanes de lodo”, se pueden identificar deslizamientos menores y lóbulos y lenguas de flujo de lodo, producto de erupciones pasadas, los cuales al llegar a zonas planas forman conos, particularmente al NE del “volcán de lodo” de Pueblo Nuevo.

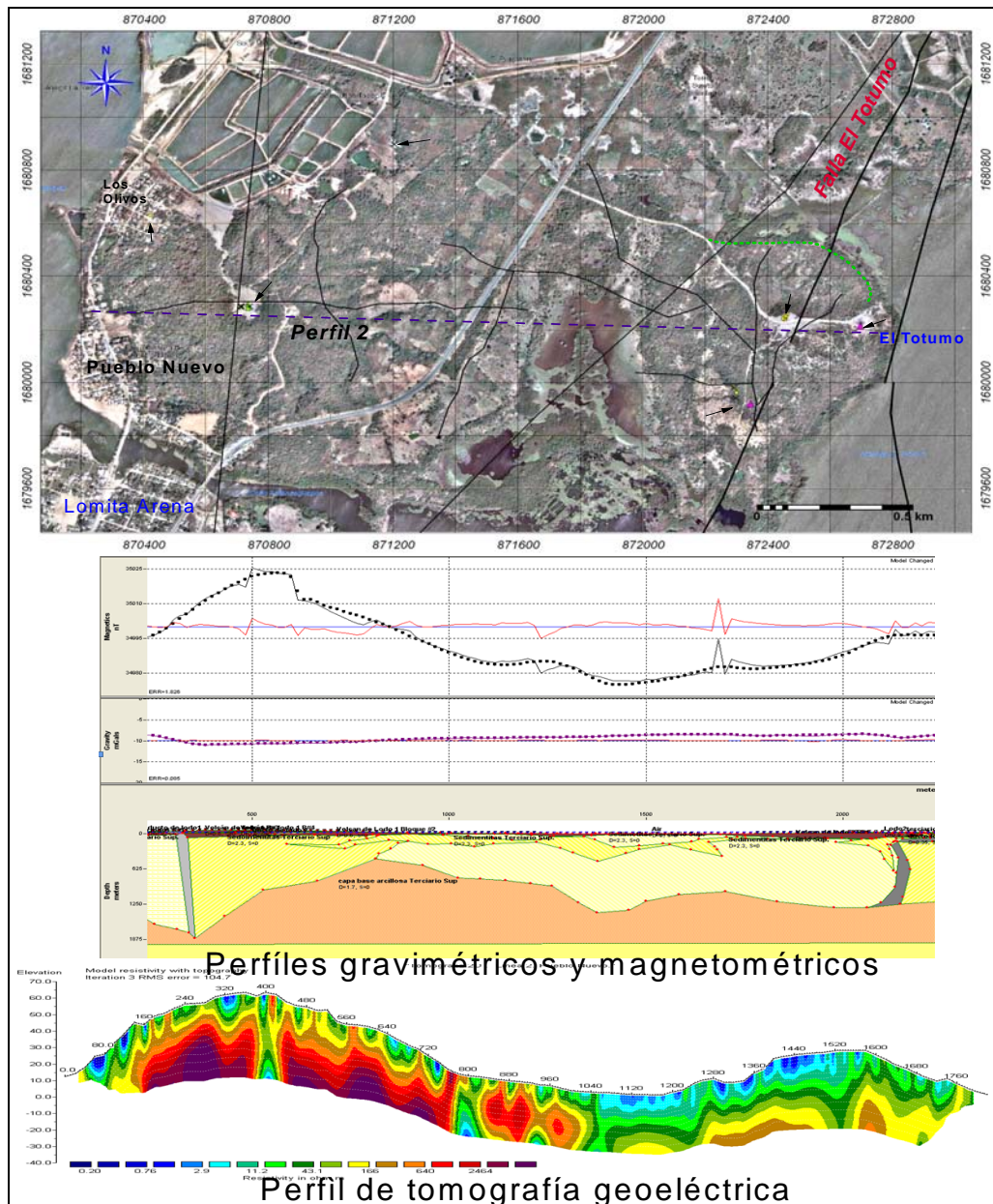
En las partes bajas asociadas con cursos de agua mayores se identifican en el sector investigado planos y llanuras de inundación fluvial. Estas geoformas generan disección de las geoformas prominentes y cruzan localmente las llanuras costeras hacia zonas marinas o hacia la ciénaga del Totumo. Igualmente se destacan al SW las planicies aluviales subactuales del antiguo río Magdalena, las cuales en la actualidad se encuentran elevadas y disectadas, formando lomas bajas.

Igualmente y muy localmente en las zonas costeras al Norte de Galerazamba y en el tómbolo de isla cascajo, se encuentran geoformas de origen eólico como dunas tipo barján, transversales y de sombra y mantos de arena en la parte trasera de las playas. Se destacan por su tamaño, las dunas tipo barján y transversal del Norte de Galerazamba, que se encuentran cubriendo parcialmente las plataformas de abrasión elevadas y los “volcanes de lodo”, con espesores del orden de los 3 – 10 m.

#### 2.4.1.1 Características geomorfológicas de los “volcanes de lodo” de sector El Totumo - Pueblo Nuevo

Los “volcanes de lodo” del Totumo y Pueblo Nuevo, se encuentran uno al lado del otro y se presentan como colinas bajas en forma de domo con diámetros de 0.6 y 1 km y alturas promedio de 25 y 40 m, respectivamente (Figuras 6 y 7). Hacia la cima de los edificios “volcánicos de lodo”, se presenta una depresión a manera de cráter y en forma de artesa, la cual en el “volcán de lodo El Totumo es de 10 - 15 m de diámetro en promedio, y en él se encuentran 10 bocas, algunas actualmente secas y en forma de conos bajos Tipo C y O con diámetros de 10 60 cm en promedio, por donde se evidenció emanación lenta de gas a un promedio de 5 - 10 burbujas/ minuto (Figura 8).

Localmente hacia los flancos Oriental y Sur del “volcán”, se presentan bocas, tanto tipo A en forma de cono de 4 - 16 m de altura, siendo la boca turística del Totumo, la más notoria y emblemática en la región, ver figuras 7 y 8. Igualmente, las bocas se encuentran como simples huecos de 10 - 60 cm, diseminadas particularmente por el sector Sur de la estructura “volcánica” del Totumo. En este sector se encuentran 4-5 bocas tipo O de 10 – 20 cm con burbujeo igualmente bajo de 8 burbujas / minuto, lo mismo que un cono tipo A de 4 m de altura, el cual muestra emanación de lodos intermitente y un burbujeo de 16 burbujas/minuto, evidenciándose igualmente, el crecimiento de un cono secundario de 50 cm de altura en la parte alta del mismo (Figura 9).



**Figura 7.** Vista en planta y en perfil de los "volcanes de lodo" de Pueblo Nuevo y El Totumo con la localización de los diferentes tipos e bocas u oídos y los lineamientos definidos con investigación geofísica y señalados con flechas y líneas negras respectivamente. Nótese en tonos grises los flujos de lodo durante las erupciones y en trazos punteados verdes la vía propuesta de acceso al "volcán El Totumo" (Fuentes: Imagen Google 2009 - Obando y Vásquez 2010).





**Figura 8.** Vista hacia el Oriente de las bocas u oídos del “volcán de lodo” El Totumo. En primer plano las bocas tipo O y C de la zona del cráter, y al fondo la boca tipo A en forma de cono conocida la boca turística del Totumo. Nótese en la cima, a la izquierda la hondonada o artesa asociada con el cráter.



**Figura 9.** Aspecto de las bocas u oídos tipo O y A del “volcán de lodo” El Totumo, localizadas en el flanco Sur de la Estructura.

En profundidad los "volcanes de lodo" presentan conductos ramificados algunos no aflorantes y que se han podido evidenciar con el análisis de la información geofísica de gravimetría y magnetometría terrestre elaborada por el Servicio Geológico Colombiano antes Ingeominas (Obando y Vásquez, 2010). Estos autores acorde con el procesamiento de la información geofísica obtenida (Gravimetría y magnetometría terrestre), determinan el origen de los lodos a una profundidad de 1950 m y 1250 m, en los “volcanes de lodo” de Pueblo Nuevo y El Totumo respectivamente, ver perfiles gravimétricos y magnetométricos, figura 7.

Mediante el procesamiento de la información gravimétrica y magnetométrica terrestres, se han identificado, tanto lineamientos y el patrón de fracturamiento de direcciones E - W, NW - SE y NNE (Obando y Vásquez, 2010), lo cual se complementa con tomografías geoeléctricas, que han permitido identificar los ductos de lodo en las zonas más superficiales de los "volcanes de lodo", ver figura 7.

Es común por las bocas u oídos del "volcán", la emanación de lodos viscosos o simplemente agua de colores grises, de apariencia untuosa, acompañados de un burbujeo intermitente asociado con emanaciones de gas con predominio de metano y aire y bajas proporciones de CO<sub>2</sub> (Carvajal y Mendivelso 2010, Carvajal 2011). Los lodos en el sector se constituyen predominantemente de caolinita, esmectita y menores cantidades de illita con abundantes contenidos de cuarzo y trazas de piritita (Carvajal y Otros, 2011 - Carvajal, 2011).

Los procesos químicos generados por el intercambio catiónico de materiales y de fluidos durante el ascenso, ocasionan el enriquecimiento mineralógico de los lodos, principalmente de Na, K, Mg, Ca y Mn, lo cual le confiere localmente a los mismos propiedades medicinales y terapéuticas (Carvajal, 2011). Investigaciones puntuales adelantadas con ese propósito entre otros en los "volcanes" de Pueblo Nuevo y El Totumo, indican propiedades de conductividad mayores de 20.000 uS/cm, salinidades entre 12 y 25‰, PH mayores de 8 y temperaturas del orden de los 31°C (Bernal y Otros,- 2000. Carvajal, 2011)).

Los materiales producto de las erupciones antiguas, se constituyen de arcillas limosas grises parduzcas, de características expansivas y con abundancia de grava y bloques livianos y muy fragmentados de limolitas silíceas y calcáreas y arcillolitas de 3 – 70 cm de arista. Las gravas son subredondeadas de 1- 2 cm constituidas de chert negro, chert marrón, cuarzo lechoso y fragmentos de roca volcánica, materiales, que en general al erosionarse la fracción fina, quedan expuestos en abundancia en superficie, ver figuras 8 y 10.

Los flancos del "volcán de lodo" El Totumo son convexos con pendientes entre 15 y 25 grados, donde es característico los procesos de sofusión y formación de entubamientos, el colapso de las mismos y la formación y generación de cárcavas y hondonadas profundas de 2- 4 m de amplitud (Figura 10). Tal situación se encuentra favorecida, tanto por el carácter friable o suelto de los materiales, como del alto contenido de gases, que facilita la percolación de aguas superficiales y su movimiento subterráneo.





**Figura 10.** Aspectos de los procesos de sofusión y generación de cárcavas en el sector Sur del “volcán de lodo El Totumo”.

En general en los "volcanes de lodo" se desarrolla, un drenaje radial de canales de cañadas profundas de 2 - 4 m y en forma de “V”, generadas por el proceso indicado previamente. Es importante indicar que dadas las condiciones semiáridas del territorio y el carácter friable o suelto de los materiales, y ante la intervención antrópica de deforestación y cortes de vías, estos procesos se acentúan, hasta ocasionar colapsos del terreno.

En el "volcán de lodo", de Pueblo Nuevo o Los Olivos, los procesos de sofusión y carcavamiento se encuentran particularmente desarrollados por el sector NW por donde descendieron los flujos de lodo, producto de la erupción de 1999. Acorde con Carvajal y Otros (2010), la tasa de profundización de las cárcavas es aproximadamente de 0.3 - 0.4 m por año.

Igualmente se ha evidenciado la generación de deslizamientos tipo rotacional por el sector Suroriental de la estructura "volcánica", favorecido por el corte de la carretera que va hacia Barranquilla (Figura 11). De hecho los movimientos en masa son comunes en los flancos de los "volcanes de lodo", dada la actividad deformativa asociada con el diapirismo de lodo (Carvajal y Calderón, 2013).



**Figura 11.** Aspecto de los movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional presentes en el costado Suroriental del "volcán de lodo" Pueblo Nuevo. Nótese la corona y escarpes de deslizamiento en la parte superior y la formación de surcos en la parte media y baja de la misma.

La actividad y dinámica de los "volcanes de lodo", se ha evidenciado con primeros resultados del monitoreo adelantado con estaciones GPS de campo localizadas en la cimas de los "volcanes de lodo" de Pueblo Nuevo y El Totumo. Estos resultados indican o muestran una tendencia al hundimiento del orden de los 17 y 34 mm/ año respectivamente para estos "volcanes" (Mora 1913, comunicación escrita). Tal situación en parte se atribuye a las características expansivas de los materiales que constituyen la estructura "volcánica" de lodo, y son resultados coherentes con la baja actividad evidenciada en la bocas u oídos.

#### 2.4.1.2 Características del Cono "volcánico de lodo" turístico del Totumo

La boca u oído en forma de cono del "volcán de lodo" El Totumo, presenta una altura de 16 m y un diámetro de base de 40 m. Hacia la parte alta se presenta un cráter de 3 - 3.5 m de diámetro en promedio el cual has sido acondicionado con una estructura en madera en cuadro y una escalera para estabilizar la boca y facilitar el acceso de los bañistas de lodo, respectivamente. En la parte alta igualmente se ha acondicionado un pasillo de 0.8 m alrededor de la boca para facilitar el desplazamiento de los turistas en la parte alta de la estructura (Figura 12).

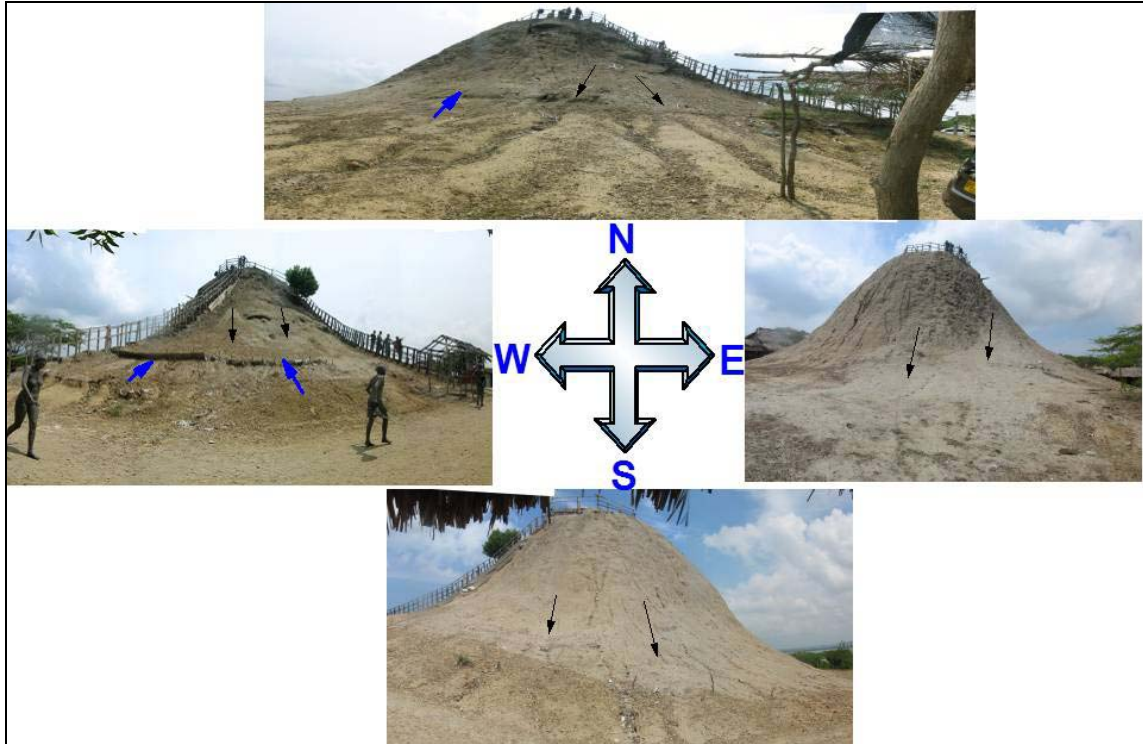




**Figura 12.** Vista hacia el Occidente de la zona de la parte alta de la boca u oído turístico tipo A en forma de cono del Totumo. Nótese las empalizadas elaboradas para estabilizar la boca internamente y las escaleras para acceder al cono. Al fondo cima principal del “volcán de lodo” El Totumo y la vía construida para tener acceso al cono turístico.

Este cono "volcánico de lodo", objeto principal de la visita técnica, presenta flancos muy empinados hacia la cima con inclinaciones de 45 a 55 grados, los cuales se suavizan paulatinamente hacia la base a 40 y 18 grados respectivamente (Figura 13). Aunque el cono se presenta estable actualmente, se pueden evidenciar en los flancos procesos de flujos de lodo y caídas de material menores, los cuales han sido mitigados con la colocación de empalizadas y bolsas plásticas rellenas de material gravoso, particularmente hacia los sectores Norte y Occidental del cono turístico, ver figura 13. Igualmente es característica la formación de surcos de 3 – 5 cm de amplitud formados por la escorrentía superficial en tiempo lluvioso.

El cono volcánico está constituido de materiales predominantemente, arcillosos con gravas diseminadas (Chert marrón, negro y bandeado y cuarzo lechoso), posiblemente traídas de otros lugares para ayudar a estabilizar los flancos del cono. El lodo emanado por esta boca es de aspecto viscoso y untuoso de color gris claro y como se puede apreciar en la figura 12, el nivel ha descendido aproximadamente de 3 – 3,5 m.



**Figura 13.** Vistas de los flancos de la boca turística del Totumo. Nótese la estabilidad aparente del cono “volcánico” y los flujos de lodo y desprendimientos superficiales del terreno recientes con flechas negras y las empalizadas y bolsas rellenas de material utilizadas para estabilizar el terreno con flechas azules.



### **3. MORFODINÁMICA Y ANÁLISIS PRELIMINAR DE AMENAZAS Y RIESGOS GEOLÓGICOS RELATIVOS, ASOCIADOS AL "VOLCANISMO DE LODO" EN EL SECTOR**

El “volcán de lodo” El Totumo, por su tradición turística, ha sido objeto de estudios tanto de su composición como estructura con el fin de conocer su génesis y dinámica y así poder establecer los georecursos y las geoamenazas asociadas con este fenómeno (Cadavid y Rico, 1992 - Vernet, 1985- Ingeominas, 2000 - Carvajal y otros, 2010 – Carvajal, 2011). La concepción general prevaleciente en el imaginario colectivo de la población, es la de que los “volcanes de lodo” y sus manifestaciones son fenómenos inofensivos.

Esta percepción se da, tanto por la ubicación de los edificios “volcánicos” en zonas despobladas donde los daños ocasionados por eventos violentos han sido mínimos, como por la conducta cotidiana de emisión lenta y constante de lodos y gases por bocas u oídos, las cuales son consideradas por la mayoría de los habitantes como los “volcanes” (Carvajal y otros, 2010, Carvajal y Mendivelso, 2010 – Carvajal y Mendivelso 2010a, Carvajal, 2011, Carvajal, 2012, Carvajal y Calderón 2013).

No obstante lo anterior, la ocurrencia ocasional de erupciones violentas de lodo de este tipo de “volcanes”, ha ocasionado la obstrucción de vías, pérdida de cultivos, daño de viviendas cercanas a los centros de emisión y la pérdida directa e indirecta de vidas humanas, tanto en la región de Cartagena Galerazamba, como en el Noroccidente Colombiano (Carvajal 1999, Carvajal 2000, Carvajal y Mendivelso 2010 - Carvajal, 2012). Tal situación amerita, por parte de los entes gubernamentales locales y nacionales, la toma de medidas preventivas y de mitigación contra estas manifestaciones.

Según Carvajal (2001), la rápida expansión de los centros urbanos y suburbanos y la necesidad de adecuar terrenos para la vivienda, han acercado peligrosamente a los pobladores a los lugares donde se encuentran los “volcanes de lodo”. Tal situación como se indicó previamente determina un aumento el riesgo por lo cual, se hace un llamado de atención a los entes de Planeación Departamental y municipal, para que se tomen las medidas de precaución tendientes a disminuir el riesgo, teniendo en cuenta tanto los estudios adelantados por el Servicio geológico Colombiano, como mediante la

la elaboración de estudios detallados de las zonas de “volcanismo de lodo” identificadas, siendo por ahora la prevención, la manera más económica y segura para lograr este objetivo.

Para mostrar los alcances de este documento es importante definir los términos Amenazas y Riesgos. Según Varnes (1984), técnicamente la amenaza está definida como la ocurrencia de un fenómeno natural o antrópico, que puede causar daño en un lugar dado y en un tiempo específico. Tal definición implica para su aplicación, la determinación de una recurrencia del daño o impacto negativo, lo cual no es fácil de definir o establecer.

De manera práctica y para aplicación de la Ley 1523 del 24 de abril de 2012, por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de desastres en Colombia, se define amenaza como el “peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como daños y pérdidas en los bienes la infraestructura, los medios del sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales” (Congreso de Colombia, 2012). Esta definición se acerca más al término susceptibilidad, definida como la predisposición mayor o menor a que en un territorio, dadas sus condiciones físicas intrínsecas, suceda un evento natural o antrópico que cause daños a las personas y sus construcciones.

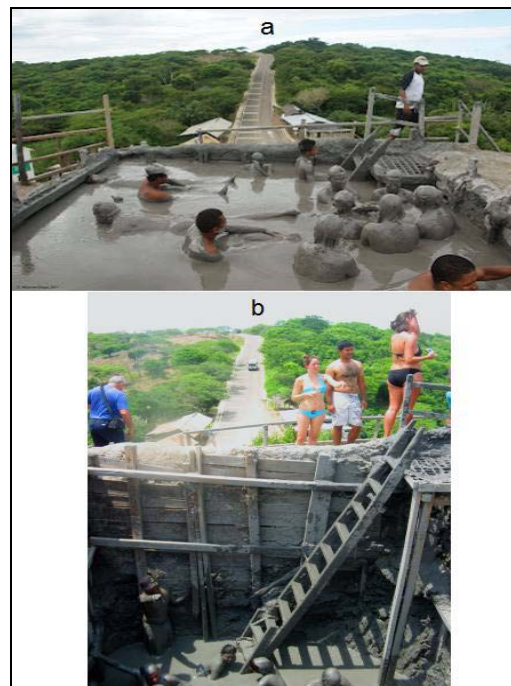
Varnes (1984) define igualmente el riesgo, como la cuantificación de daños y pérdidas en vidas humanas, propiedades e interrupción de actividades económicas como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno natural, es decir como lo indica la ley 1523, los riesgos de desastres corresponden a las pérdidas potenciales, que se presentan debido a la ocurrencia de un evento natural o antrópico, en este caso “volcanismo de lodo”, en un determinado periodo específico. Así mismo, se indica que el riesgo depende tanto del tipo y severidad de la amenaza, como de la vulnerabilidad, o fragilidad física, económica, social o ambiental de los elementos expuestos (seres humanos, propiedades, actividades económicas).

La evaluación de riesgo acorde con la ley 1523 de 2012, implica considerar tanto la amenaza como la vulnerabilidad de los elementos expuestos a los efectos de los eventos naturales o antrópicos, con el objeto de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y la probabilidad de ocurrencia. Tal situación demanda la urgente necesidad de relacionar las escalas de investigación apropiadas de acuerdo al tipo de evaluación, ya sea de susceptibilidad, amenazas o riesgos.

Según Calderón y otros (2010), las responsabilidades sociales y el uso de las evaluaciones de susceptibilidad, amenaza o riesgo, por parte de los entes gubernamentales tomadores de decisión, plantea la necesidad de asociar y elaborar estos productos con base, tanto en la investigación multidisciplinaria según sea el caso, como en el detalle de los datos obtenidos y por ende en la calidad y las escalas cartográficas de trabajo. En ese sentido, siguiendo la taxonomía de categorías geomorfológicas planteadas por Carvajal (2012a), los mapas de susceptibilidad relativa o real se deben representar a nivel Nacional y regional en escalas oscilantes 1:1.500.000 – 1:250.000; los mapas de amenaza relativa o real a niveles subregionales y municipales, en escalas semidetalladas variables entre 1:100.000 – 10.000; mientras a nivel local y puntual, deben ser planteados los mapas de riesgo relativo o real, a escalas más grandes > 1:5.000.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS MORFODINÁMICAS Y ACTIVIDAD ACTUAL DE LOS “VOLCANES DE LODO”

En desarrollo de la visita técnica al “volcán de lodo” El Totumo, el 10 de octubre de 2013, se pudo evidenciar una disminución significativa de la cantidad de lodo dentro del cono turístico (figuras 12 y 14). De hecho el nivel del lodo se encontró aproximadamente 3.5 m por debajo del nivel habitual y el burbujeo de lodo bajo, sin las habituales burbujas de gran tamaño.

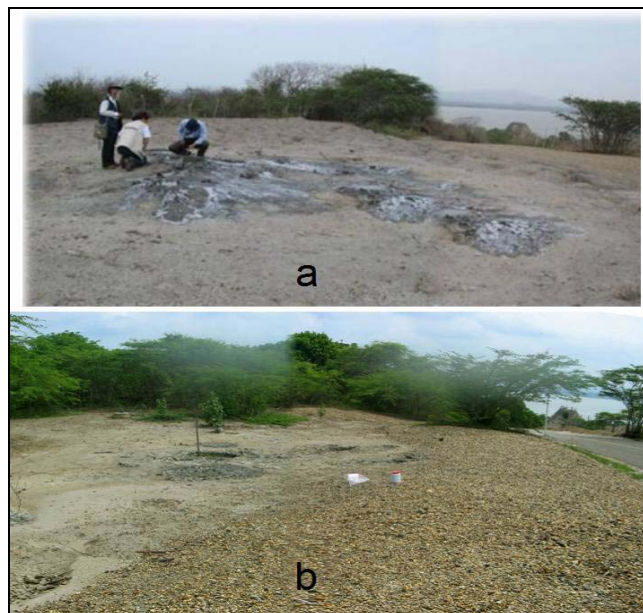


**Figura 14.** Aspecto de la boca el Totumo en a) el 2010 y b) el estado actual de la misma. Foto a obtenida descargada de Google.

Así mismo, en la inspección visual adelantada en la parte alta y los alrededores de la boca turística del Totumo, no se evidenciaron signos de inestabilidad en la estructura en madera hecha para posibilitar el acceso de turistas a la boca, aún con gran afluencia de público. No obstante lo anterior, la salida turistas del lugar una vez se han untado de lodo es riesgosa, por la posibilidad de resbalarse, aunque es importante indicarlo, los lugareños prestan asistencia constante a los bañistas.

Durante la visita técnica igualmente se constató en las bocas del centro de emisión principal de la estructura “volcánica de lodo”, tanto la disminución en el burbujeo habitual, como la presencia de algunas bocas secas (Figura 15). Una situación similar, se evidenció en las bocas del “volcán de lodo” de Pueblo Nuevo o Los Olivos, localizado al Oeste del Totumo (Figura 16).

Tal situación muestra un comportamiento anómalo y generalizado en los “volcanes de lodo” de la región, lo cual puede atribuirse en parte a la actividad climática reciente, particularmente seca de los últimos meses. No obstante lo anterior, y de acuerdo con la experiencia de los habitantes de otras regiones donde se encuentran este tipo de estructuras, los cambios en el comportamiento habitual de las bocas u oídos y el agrietamiento del terreno de los alrededores, han sido manifestaciones, que se han dado meses antes de la erupción violenta de lodo.



**Figura 15.** Vista hacia el oriente de las bocas u oídos del “Volcán de lodo” de El Totumo, desde las bocas principales localizadas en la parte alta de la estructura “volcánica” a) Foto tomada en el 2008, b) foto tomada en octubre de 2013.



Nótese al fondo en el extremo superior derecho, la boca en forma de cono del Totumo.



**Figura 16.** Vista hacia el SE de las bocas u oídos principales del “Volcán de lodo” de Pueblo Nuevo, a) Foto tomada en el 2008, b) foto tomada en octubre de 2013. Nótese en la foto b, la escasez de flujo de lodo por los flancos de los conos.

Las actividades de monitoreo geodinámico adelantado con las estaciones GPS de campo localizadas en la cima de los “volcanes de lodo” de El Totumo y Pueblo Nuevo, han indicado preliminarmente procesos de subsidencia del terreno, lo cual coincide con el comportamiento evidenciado en las bocas u oídos. Ante la incertidumbre y el desconocimiento del comportamiento de los “volcanes de lodo” previo a una erupción “volcánica”, se considera fundamental, tomar las medidas de precaución necesaria, ante la posibilidad de ocurrencia de un nuevo evento de alta energía.

Durante la experiencia de la erupción del 23 de agosto del 2000 del “volcán de lodo” del Totumo, se expelieron 35.000 m<sup>3</sup> de lodo, que formaron una meseta de 0.5 – 2m de altura y 150 m de diámetro (Carvajal, 2000). Igualmente, 100 m

alrededor del centro de emisión principal, el terreno se fracturó, localmente con desplazamientos horizontales distensivos de 10 – 20 cm. Tal situación generó la obstrucción de la vía de acceso a la boca turística (Figura 17), la cual no presentó variaciones en la emisión de lodo durante el evento eruptivo.

Casi un año antes, el 27 de abril de 1999, hizo erupción el “volcán de lodo” de Pueblo Nuevo y durante este evento, se expelieron violentamente, aproximadamente 60.000 m<sup>3</sup> de lodo, que parcialmente se canalizaron por un drenaje por el costado Noroccidental de la estructura (Carvajal, 1999). Igualmente el terreno se fracturó formando grietas hasta de 80 cm de amplitud y 1 – 2 m de desplazamiento vertical, particularmente hacia el costado occidental de la estructura y afectando algunas viviendas.

Los eventos reseñados previamente, han mostrado, tanto de la dinámica cotidianamente lenta y pausada de emisión de lodo por las bocas u oídos de los “volcanes”, como de las eventuales erupciones violentas de lodo capaces de generar daños tanto a las personas como a la infraestructura construida en sus laderas. La experiencia recopilada por El Servicio geológico Colombiano, antes Ingeominas, en las últimas décadas, permite estimar para las erupciones “volcánicas” de lodo, una recurrencia de 15 – 20 años.

La ocurrencia reciente de la erupción de los “volcanes de lodo” de El Reposo o Bajo Grande en mayo de 2012 y El Rodeo en febrero de 2013 (Carvajal, 2012 – Carvajal y Calderón, 2013), amerita tomar las medidas preventivas necesarias, ante la posibilidad de próximas erupciones en los “volcanes de lodo” de El Totumo y Pueblo Nuevo. De hecho estos “volcanes” tuvieron su última erupción hace 13 y 14 años, respectivamente.



**Figura 17.** Vista hacia el Oeste desde la boca turística del Totumo, de la meseta formada durante la erupción de lodo del 23 de agosto del 2000. Nótese la obstrucción de la vía de acceso.

Los peligros relacionados con la erupción de los "volcanes de lodos" están asociados a una o varias de las siguientes manifestaciones: Expulsión violenta de lodos y generación de flujos, expulsión violenta de bloques, fracturamiento del terreno circundante, emisión de gases y generación de incendios y aunque no se tiene evidencias las ondas de choques generadas durante la explosión (Ingeominas,2000 - Carvajal, 2001- Carvajal, 2012). Además se pueden incluir la sismicidad local generada durante el evento, que localmente puede generar deslizamientos, e indirectamente el impacto o shock nervioso producido en las personas que viven en zonas cercanas o próximas a estas manifestaciones.

### **3.1.1 SUSCEPTIBILIDAD A FLUJOS DE LODO Y EXPULSIÓN VIOLENTA DE BLOQUES**

La carencia de cartografía base actualizada y detallada (>1:2000), y la carencia de registros históricos de erupciones anteriores a las ya mencionadas, en los "volcanes" de El Totumo y Pueblo Nuevo, no permiten cuantificar la verdadera



amenaza geológica relacionada con los mismos. Particularmente el “volcán de lodo” de El Totumo se caracteriza por ser morfológicamente muy plano y amplio en la cima donde se encuentra el centro principal de emisión de lodo (Figura 18), lo cual ante la eventualidad de una nueva erupción, el lodo tenderá a acumularse en forma de meseta y probablemente canalizarse por el costado Sur de la estructura, tal como sucedió en el año 2000, ver figuras 17 y 18. Tales sectores deben considerarse preliminarmente como de alta amenaza relativa en los términos de la Ley 1523 de 2012.



**Figura 18.** Vista panorámica hacia el W del “volcán de lodo” El Totumo. Nótese la ubicación de los centros de emisión de lodo y el cambio en la vía propuesto en amarillo. Imagen Google 2009.

Dadas las manifestaciones de bocas u oídos por la parte Sur de la estructura “volcánica”, existe la posibilidad de la generación de eventos de alta energía por este sector. Igualmente y aunque no existen registros históricos de eventos violentos en el costado oriental donde se encuentra la boca turística de El Totumo, no se puede descartar totalmente esta posibilidad por este sector; aún así, que durante la erupción del 2000, esta boca en forma de cono no haya presentado cambios o evidencias de actividad violenta.

Las características topográficas del “volcán de lodo” de Pueblo Nuevo, permiten indicar la posibilidad ante nuevos eventos eruptivos de lodo, de la generación de lóbulos de flujo de lodo por el mismo sector donde bajaron los lodos en 1999 (figura 19), los cuales formaron un abanico en la parte distal, que llegó a 40 m de las viviendas del barrio Los Olivos. De manera similar al “volcán de lodo” El



Totumo, estos sectores deben ser considerados de alta amenaza relativa por flujo de lodo.



**Figura 19.** Panorámica hacia el SE del “volcán de lodo” de Pueblo Nuevo. Nótese el flujo de lodo generado durante la erupción de 1999 y la ubicación de las viviendas del barrio Los Olivos y de Pueblo Nuevo en los flancos del “volcán”. Imagen Google 2009.

La evaluación de la amenaza real requiere tener conocimiento sobre los eventos eruptivos anteriores, para lo cual es necesario tener, tanto una cartografía geológica y geomorfológica actualizada más detallada (a escalas 1:2.000 o mayores), como la datación de la mayor cantidad de eventos para obtener información suficiente, que permita determinar estadísticamente la recurrencia real del fenómeno con una mayor exactitud. Como se indicó previamente, este tipo de eventos de alta energía, suelen presentarse cada 15 – 20 años, aunque en el “volcán de lodo” El Reposo, se presentó una erupción un año después de la primera documentada en 1996 y en el “Volcán de lodo El Rodeo en particular, se presentaron dos erupciones seguidas en un lapso de tiempo de unos pocos meses a finales del 2012 y febrero de 2013 ( Carvajal, 2012 - Carvajal y Calderón, 2013).

Referente a la expulsión dirigida de bloques durante las erupciones documentadas, se reportan evidencias de manifestaciones de expulsión de lodos y bloques a pocos metros de las mesetas de lodo formadas durante la

erupción. Tal comportamiento permite indicar, que estas manifestaciones se restringen a los sectores principales de emisión de lodo y aproximadamente a 150 m a la redonda.

### **3.1.2 SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A GENERACIÓN DE INCENDIOS**

Los registros de incendios durante la erupción de “volcanes de lodo”, como lo indican Carvajal y Mendivelso (2010) y Carvajal, (2011), está restringida en el Caribe Central Colombiano, a las manifestaciones eruptivas del “volcán submarino de Galerazamba). No obstante no se descarta la posibilidad de alta compresión de gases y la ignición de los mismos al contacto violento con la atmósfera, en ese sentido, si se presentan, podrían generarse quemaduras que se extenderían acorde con la dirección de los vientos en el momento y que son particularmente fuertes en dirección Noreste – Suroeste.

### **3.1.3 SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO A FRACTURAMIENTO Y DESLIZAMIENTO**

La ocurrencia de los eventos eruptivos de lodo, como se ha descrito en capítulos anteriores, esta siempre asociado a la generación de fracturamiento y plegamiento del terreno en particular en los alrededores de los centros de emisión principales. En el "volcán de lodo" El Totumo, el terreno se fracturó 100 m a la redonda del centro de emisión principal, mientras en Pueblo Nuevo, la zona afectada fue más amplia con 600 m a la redonda del centro principal de emisión de lodos (Carvajal, 1999 - Carvajal, 2000).

Tal situación ha sido atribuida al hinchamiento y deformación de la estructura “volcánica de lodo” por efecto de la presión y liberación de los lodos durante el ascenso a superficie. Igualmente esta dinámica está asociada con los procesos de transpresión - transtensión prevaleciente en la región, lo cual ha generado un fracturamiento de dirección NNE y E - W que ha sido evidenciado en los registros geofísicos, ver figura 7.

En ese sentido las zonas más susceptibles a fracturamiento indudablemente se encuentran alrededor de los cráteres donde se encuentran los centros de emisión principales. Hacia los flancos la susceptibilidad relativamente es menor, sin embargo existe la posibilidad con el tiempo de que las zonas de emisión migren siguiendo la dirección del fracturamiento regional.

Durante los eventos eruptivos violentos de lodo son comunes los levantamientos y hundimientos diferenciales del terreno asociados con la estructura "volcánica", en particular hacia los flancos, facilitando la generación de movimientos en masa. Tal situación se favorece por el carácter inconsolidado y localmente plástico de los materiales emitidos, el alto contenido

de gases y la formación común de entubamientos y cárcavas profundas en los flancos.

Estas características asociadas localmente con procesos de deforestación y cortes viales sin medidas de mitigación o control, favorecen los procesos erosivos y movimientos en masa como se muestra en la figuras 10 y 11. Estos factores deben ser tenidos en cuenta cuando se pretenda construir infraestructura en terrenos "volcánicos de lodo".

Según la información obtenida en campo y la consulta con los habitantes de las regiones, "volcánicas de lodo", previo a un evento eruptivo de lodo, localmente se empiezan a presentar agrietamientos del terreno (Carvajal y Calderón, 2013). Igualmente, según los habitantes de estas zonas, días antes de las erupciones, se nota el sellamiento total o parcial de las bocas o manaderos, acompañados de ruidos internos posiblemente de fracturamiento leve ocasionado por los gases al buscar salida. Estos eventos han sido considerados premonitorios de futuras erupciones del volcán de lodo y deben ser monitoreados y tenerse en cuenta en los procesos de análisis de amenaza y riesgo futuros.

### **3.1.4 SUSCEPTIBILIDAD DEL ÁREA A ONDAS DE CHOQUE**

En el momento de las explosiones generadas por la extrusión violenta de lodos, se presentan sonidos de altos decibeles que pueden causar daños en la infraestructura construida cerca a los centros de emisión (Carvajal, 2000). No se tienen registros de estos procesos y solo durante las erupciones sucedidas en el "volcán" El Rodeo, se reseñó localmente la vibración de los vidrios de los ventanales durante las erupciones (Carvajal y Calderón, 2013).

Relacionado con estos efectos, se indica indirectamente el miedo generado entre los habitantes al escuchar la explosión del "volcán". Durante los eventos eruptivos, se presenta la estampida súbita de algunas personas, la caída de las personas al querer huir rápidamente de las zonas de peligro y como sucedió en en Pueblo Nuevo, una persona murió por problemas cardiacos desatados por la explosión (Carvajal, 1999).

### **3.2 RIESGOS GEOLÓGICOS RELATIVOS ASOCIADOS CON LA ERUPCIÓN DE LOS "VOLCANES DE LODO"**

La evaluación del riesgo está fuera de los alcances de este documento, porque además del conocimiento detallado de la amenaza o peligro, es necesario saber en detalle el tipo y calidad de las viviendas y el grado de pérdida o daño que puede sufrir, tanto las personas como la infraestructura existente en la estructura "volcánica de lodo". En otras palabras no solo es necesario evaluar

en detalle la susceptibilidad y las amenazas reales (Calderón y Carvajal, 2010 - Ley 1523 de 2012), sino cuantificar igualmente en detalle la vulnerabilidad física y socioeconómica tanto de las personas como de la infraestructura existente en zonas cercanas al “volcán de lodo”(Carvajal y Mendivelso, 2011 – Carvajal 2012).

Localmente en la boca turística del Totumo y acorde con lo establecido durante la visita técnica del mes de octubre de 2013, no se evidenciaron en los flancos del cono "volcánico" signos de posible colapso de la estructura de madera hecha para fortificar la parte alta del mismo. Sin embargo el riesgo es relativamente alto dada la eventual cantidad de personas que acceden a la parte alta de boca durante la época vacacional. (Figura 20). de hecho durante la visita técnica, por ser época vacacional por el receso estudiantil de fin de año, se pudo constatar en horas de la mañana la llegada de por lo menos 10 busetas con turistas.

Igualmente, en la parte interna de la boca en forma de cono, existe la posibilidad de la caída de los turistas cuando salen después del baño de lodo. Tal situación, se puede presentar por el estado resbaladizo de la escalera construida para tal fin, ver figuras ver figuras 12, 14, 20 y 21.

Ante la eventualidad de una erupción "volcánica" de lodo, se considera que el riesgo relativo es muy alto para las personas que estén transitando por la zona de emisión de lodos principal durante una erupción; de hecho la última erupción, se dio por este sector, ver figuras 17 y 18. Igualmente, se puede volver a presentar la obstrucción de la vía de acceso a la boca turística del Totumo, ver figura 17, tanto por la generación de flujos de lodo, que se pueden desplazan lateralmente a velocidades extremadamente rápidas del orden de los 5 -10m/seg, como por el fracturamiento del terreno ocasionado durante las erupciones de lodo.

Tal escenario demanda urgentemente el cambio en el trazo de la vía de acceso a la boca turística del Totumo, lo cual de acuerdo con lo conocido hasta ahora, se sugiere sea por el sector Norte de la estructura "volcánica", dadas las condiciones del terreno, aunque igualmente son necesarios los estudios geotécnicos de rigor, ver figuras 7, 18 y 19.





**Figura 20.** Vista hacia el Norte de la boca turística del "volcán de lodo" El Totumo. Nótese la congregación alta de turistas en la parte alta de la estructura.

El riesgo relativo es muy alto en el "volcán de Pueblo Nuevo" y está asociado con la posibilidad de que los lodos alcancen las viviendas, aunque el terreno se encuentre con fuerte cárcavamiento y la cobertura vegetal arbustiva pueda amortiguar el tránsito del lodo. Igualmente el fracturamiento generado en este escenario puede ser intenso dadas las condiciones presentadas en 1999, y puede afectar los barrios y las vías localizadas en los flancos de la estructura "volcánica" de lodo y eventualmente desestabilizar las torres de telefonía celular localizadas en la cima (Carvajal, 1999).



**Figura 21.** Detalles de la salida de la boca turística del "volcán de lodo" El Totumo. Nótese la gran afluencia de turistas y el peligro en la salida.

Aunque en el "volcán de lodo" El Totumo durante la erupción de lodo del 2000, las viviendas localizadas hacia la boca turística no presentaron daños, es factible que puedan ser afectadas por el fracturamiento del terreno. Tal situación demanda acciones tendientes a disminuir las condiciones de riesgo ante la posibilidad de una erupción futura.

Una condición similar se puede presentar en el "volcán de lodo" de Pueblo Nuevo ante la eventualidad de una nueva erupción. Durante la erupción de 1999, los lodos se canalizaron por un drenaje hacia el NW, llegando a las camaroneras del sector y a 40 m de las viviendas del barrio Los Olivos (Figura 19).

## 4. CONCLUSIONES

El estado actual del conocimiento acerca de los "volcanes de lodo" de la región del Caribe central Colombiano, ha aumentado en los últimos años a raíz de los estudios adelantados por el Servicio Geológico colombiano en la región, en particular entre Pueblo Nuevo y El Totumo. Se cuenta con cartografía geomorfológica escala 1:25.000, con la localización de las estructuras volcánicas de lodo" de la región del Caribe central Colombiano siendo ésta información fundamental para los procesos de planificación territorial, ambiental y toma de decisiones. Sin embargo, para adelantar, la evaluación de amenazas y de riesgos esta información no es suficiente ante la carencia de información cartográfica geológica y geomorfológica detallada y actualizada y es necesario datar, si es posible los eventos eruptivos antiguos, con el objeto de establecer el registro histórico de las erupciones en el sector.

Este documento pretende dar a conocer la información temática geológica y geomorfológica y en general temática existente de la región de Galerazamba – Lomita Arena, con el fin de dar herramientas de juicio para toma de decisiones acerca de las condiciones de riesgo relativo, que presenta la región en particular de Pueblo Nuevo – El Totumo. Esta información se considera base y soporte de nuevas investigaciones tendientes a mitigar el riesgo .

En ese mismo sentido, se ha hecho una revisión de los conceptos de susceptibilidad, amenaza y riesgo, con el fin de dimensionar los estudios, análisis e investigaciones necesarias para definir y evaluar las amenazas, y por ende los riesgos relativos potenciales, asociados a la ocurrencia de erupciones de "volcanes de lodo" en el Caribe central Colombiano.

Geomorfológicamente la región, se caracteriza por la ocurrencia de diversas geoformas origen morfoestructural denudacional, originadas por la dinámica asociada con la convergencia de las placas Nazca, Caribe y Suramericana y, facilitada por la ocurrencia del diapirismo de lodo. Entre estas geoformas se encuentran sierras homoclinales y lomos de falla y de presión, estos últimos de origen tectónico que cobran gran importancia en la región porque

---

genéticamente se asocian con la presencia local de “volcanes de lodo” en su cima,

Los “volcanes de lodo” de El Totumo y Pueblo Nuevo, se caracterizan por su morfología en forma de domo colinado de laderas convexas y cima plana o en artesa, formados por la acumulación de lodo producto de erupciones pasadas sobre lomos de presión espinazos estructurales. La zona “volcánica de lodo”. Son comunes los procesos de sufusión o entubamiento y carcavamiento lo cual hace susceptible estos terrenos a los proceso de erosión acentuada, lo cual favorece localmente la remoción en masa, en particular cuando estos terrenos, se afectan por la intervención antrópica asociada con el corte de vías y deforestación.

Los resultados de laboratorio obtenidos de la región, durante investigaciones previas adelantadas por el Servicio Geológico Colombiano, indican una composición predominantemente de silicio (sílice) y alúmina, óxidos de hierro, magnesio, calcio, potasio y sodio.. Las arcillas constituyentes de los lodos en su orden son predominantemente, caolinita y Esmectita (montmorillonita?) y bajos contenidos de illita y clorita, lo cual le confiere al terreno características expansivas. Los gases emitidos emanados por las bocas o manaderos son predominantemente metano y CO<sub>2</sub>. Los cuales son susceptibles de ignición al contacto violento con el aire o a quemarse por incendios generados de manera antrópica o natural.

Durante la visita técnica llevada a cabo por El Servicio Geológico Colombiano, a la boca turística del Totumo, se pudo evidenciar una disminución considerable de la emisión de lodos, lo cual ha ocasionado, que el nivel se encuentre a 3.5 m de profundidad, lo cual dificulta el acceso de turistas a la misma. Igualmente, se adelantó una inspección visual de los flancos de la boca en forma de cono, los cuales no muestran signos de inestabilidad aparente, lo cual se favorece por la estructura de madera hecha para estabilizar el terreno de la cima del cono,

Así mismo, se procedió con una revisión de las bocas de los centros principales de emisión de lodos, tanto de los “volcanes de lodo” de El Totumo como de Pueblo Nuevo comprobándose igualmente una disminución en emisión de lodos, encontrándose algunas totalmente secas. Tal situación evidencia una disminución regional significativa de la actividad “volcánica de lodo”, lo cual está de acuerdo con los hundimientos del terreno establecidos con las estaciones GPS de campo localizadas en la cima de estas estructuras.

La información obtenida durante la visita técnica en la boca turística de El Totumo, permiten estimar un riesgo relativo bajo a moderado de colapso del cono, Sin embargo la afluencia masiva de personas en él puede revertir esta apreciación. Igualmente se evidenciaron peligros potenciales para las personas



cuando una vez cubiertos de lodo salen de la estructura por una escalera diseñada para tal efecto y pueden resbalar.

La disminución significativa de la actividad en la bocas de los “volcanes de lodo” de El Totumo y Pueblo Nuevo y la información temática existente hasta el momento, permiten evidenciar la posibilidad de erupción en un futuro cercano, por lo cual con base en esta información temática (geología, geomorfología, geofísica y GPS), se analizan los posibles escenarios, que permiten establecer, así sea preliminarmente las amenazas y los riesgos geológicos relativos del sector. La susceptibilidad del terreno a los daños causados por la erupción violenta de lodos y sus eventos asociados (flujos de lodo y expulsión violenta de bloques) , es muy alta tanto, aproximadamente 200 m alrededor de los centros de emisión principales de los “volcanes de lodo” del Totumo y Pueblo Nuevo, como en los drenajes principales. Los datos de erupciones documentadas en la región tienen una tendencia a presentarse cada 15 – 20 años, haciéndose notar que las últimas erupciones del Totumo y Pueblo Nuevo sucedieron hace 13 y 14 años, respectivamente.

La susceptibilidad al fracturamiento del terreno es alta en toda la estructura del edificio “volcánico de lodo”, particularmente muy alta en los alrededores del cráter principal en un radio aproximado de 100 - 600 m Esta situación se puede extender por las fracturas y fallas de carácter regional existentes en el área de influencia de los “volcanes” y localmente pueden generar movimientos en masa que pueden afectar la infraestructura construida en sus flancos.

La susceptibilidad por daños en la infraestructura por las ondas de choque durante las erupciones no se descarta en la región. Indirectamente el susto generado entre las personas lugareñas, causa la mayor parte de las personas lesionadas, debido a las caídas sufridas durante la huida hacia zonas de menor peligro.

El riesgo relativo por la eventualidad de una futura erupción del volcán de lodo es alto, tanto para la infraestructura como las personas que vivan o transiten en cercanías de los centros de emisión de lodos y gases. Igualmente el riesgo relativo es muy alto tanto por la obstrucción del camino de acceso a la boca turística del Totumo como para las viviendas localizadas en los flancos de los “volcanes y en las cercanías de los drenajes que provienen de la parta alta de los mismos.

## 5. RECOMENDACIONES

Las características geomorfológicas, morfodinámicas y de estabilidad encontradas durante la visita técnica a la boca turística del "volcán de lodo" de El Totumo, permitieron hacer un análisis preliminar de las amenazas y riesgos relativos ante la eventualidad de una erupción violenta de lodos. Tal análisis, se hizo extensivo al "volcán de lodo" de Pueblo Nuevo que se encuentra al Occidente, colindando con el Totumo.

Este análisis permite formular las siguientes recomendaciones a corto, mediano y largo plazo:

### 5.1. RECOMENDACIONES A CORTO Y MEDIANO PLAZO

- Se recomienda a los entes gubernamentales, municipales y locales de El Totumo y Pueblo Nuevo, planificar y aplicar medidas preventivas tendientes a desestimular o restringir la presencia de personas de manera permanente o temporal en un radio de 200 m alrededor de los centros principales de emisión de lodos, tanto activos como inactivos.
- Se recomienda llevar a cabo un monitoreo visual diario de las bocas u oídos activos y no activos de los "volcanes de lodo", en particular de los centros de emisión de lodo principales, localizados en la cima de las estructuras "volcánicas". Debe prestarse una especial atención a la aparición y formación de agrietamientos, formación de nuevas bocas, la disminución súbita del burbujeo (burbujas/ minuto) o la expulsión violenta de gases y reportes de ruidos al interior de los "volcanes". En esta actividad, que se puede hacer extensiva a otros "volcanes de lodo" colonizados o con infraestructura vial o habitacional importante, es fundamental la colaboración de los habitantes del lugar quienes conocen en detalle el comportamiento del "volcán de lodo".
- En el "volcán de lodo" del Totumo, en particular la boca turística, se recomienda urgentemente restringir el acceso masivo de personas a la boca del cono, en su defecto es fundamental planificar el acceso por turnos el baño con lodo, siempre y cuando las condiciones de actividad de burbujeo del lodo, sea considerada normal. Igualmente, se plantea la

realización planificada de una cuarentena de quietud y de no explotación turística con el fin de buscar la recuperación natural de los niveles de lodo. Tal situación implica lógicamente el análisis y evaluación de una ayuda económica para las familias que derivan su sustento de la actividad turística.

- Igualmente es importante y vital quitar y cambiar el trazo de la vía de acceso a la boca turística del Totumo. En ese sentido es recomendable preliminarmente la construcción de la vía de acceso por el sector Norte de la estructura "volcánica de lodo", ver figuras 7,18 y 19. Este cambio implica el inicio de los estudios geotécnicos pertinentes de estabilidad, teniendo en cuenta los procesos de inestabilidad, tubificación y carcavamiento típicos del sector. Este proceso de planificación y construcción se hace extensivo a la vía del mar, donde es recomendable adelantar las obras de mitigación y de estabilización de los taludes.
- Es fundamental iniciar el análisis estructural individual de las viviendas localizadas en zonas "volcánicas de lodo" definir su estado actual de estabilidad. Esta investigación incluye el análisis de las características constructivas, agrietamientos, distribución, longitudes, amplitudes y estado de estabilidad de las viviendas. Este trabajo debe ser llevado a cabo por ingenieros especialistas en el tema.
- Simultáneo al análisis de viviendas se debe adelantar un plan de muestreo del terreno para conocer el tipo de material, grado de expansibilidad. Igualmente se debe cartografiar y analizar geotécnicamente los movimientos en masa evidenciados durante la visita técnica.
- Es prioritario adelantar planes de vuelo tendientes a obtener un registro de fotografías aéreas actuales en escalas regionales y de detalle de toda la zona donde el fenómeno se presenta. Igualmente se plantea con el tiempo, la posibilidad de incrementar la red sismológica y de estaciones GPS con propósitos geodinámicos, para conocer el grado de deformación de los "volcanes de lodo".
- Es recomendable emprender campañas educativas entre la población, tendientes a hacerle conocer a la misma, las causas, dinámica y consecuencias de los fenómenos geológicos que se pueden presentar en la región, tales como "volcanismo de lodos", sismicidad y remoción en masa, donde ésta pueda presentarse.

## 5.2. RECOMENDACIONES A LARGO PLAZO

- Es recomendable llevar a cabo los estudios geológicos y geomorfológicos regionales y de detalle, tendientes a identificar modelar y evaluar el fenómeno del "volcanismo de lodo" de El Totumo y Pueblo Nuevo, y las amenazas y riesgos reales asociados. Esta investigación implica el inventario y espacialización de las bocas u oídos de los "volcanes", teniendo en cuenta su localización y, características morfológicas, erupciones documentadas, mediante consultas de periódicos, revistas, noticieros, registros de planeación municipal). Estos estudios son la base para establecer las georestricciones y georecursos asociados al fenómeno, con fines de Ordenamiento Territorial, no solo de la región de Pueblo Nuevo - El Totumo, sino de todos los municipios donde se han encontrado "volcanes de lodo" y se haya desarrollado actividad antrópica. Para tal efecto es fundamental el concurso mancomunado tanto de las Gobernaciones de Bolívar y Atlántico, los municipios donde el fenómeno se presenta, las Corporaciones autónomas como CARDIQUE y la comunidad misma.
- Es recomendable llevar a cabo los estudios geológicos geomorfológicos, geofísicos geoquímicos y geotécnicos detallados en el edificio "volcánico de lodo" del Totumo y Pueblo Nuevo, con el fin de evaluar el grado amenazas y riesgos geológicos reales asociados, tanto a posibles erupciones futuras como a movimientos en masa. Estos estudios deben ser fundamentados en la realización de una topografía de detalle en escalas 1:2.000 o 1:1.000.
- Adicionalmente es fundamental llevar a cabo apiques para obtener muestras con el fin de datar los materiales emitidos en erupciones pasadas y poder definir la recurrencia del fenómeno con la ayuda de mayor información geológica.
- Para efectos de Planes de Ordenamiento Territorial los terrenos con manifestaciones de "volcanismo de lodos" deben ser terrenos de uso restringido para la colonización, y construcción de viviendas e infraestructuras rígidas. El análisis de amenazas y riesgos reales de los "volcanes de lodo", debe servir para definir la forma de uso más adecuado de estos terrenos.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS ANH Y UNIÓN TEMPORAL B&G., 2006. Cartografía geológica en los cinturones plegados Sinú - San Jacinto. Informe final Integrado. 155p. Bogotá
- BARRERA, RODOLFO., 2001. Geología de las planchas 16 – 17 Galerazamba y Barranquilla. Plancha escala 1: 100.000 con Memoria explicativa INGEOMINAS. 54 p. Bogotá.
- BERNAL NELSON, CARVAJAL JOSÉ H, PELAEZ ROBERTO Y REYES GERMÁN., 2000. Informe preliminar del reconocimiento de los "volcanes de lodo de la costa Atlántica Colombiana y de aguas minerales del Municipio de Usiacurí, departamento del Atlántico (preliminar). Informe INGEOMINAS Inédito, I - 2690. 17 p. Bogotá.
- CADAVID TERESA Y RICO ADRIÁN., 1992. Amenazas geológicas por volcanismo de lodos para las áreas de Arroyo de Piedra y Galerazamba Departamento de Bolívar. Tesis de Grado Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 132p. Mapas escala 1: 25000. Medellín. Colombia.
- CALDERÓN Y, CARVAJAL JH Y SANDOVAL J., 2010. Un análisis crítico a las metodologías de zonificación por movimientos en masa y zonificación de comportamientos especiales aplicados al Ordenamiento del Territorio. Memorias del XIII Congreso Colombiano de Geotecnia – VII Seminario Colombiano de Geotecnia. Sección 5 – Remoción en masa. PP 5-10-1 – 5-10-21. ISBN 978-958-98770-2-9. Manizales.
- CARVAJAL JOSÉ HENRY., 1996. Amenazas geológicas relacionadas con la erupción del volcán de lodo El Reposo - Bayunca Departamento de Bolívar. Informe de Atención de Emergencias. Inédito. INGEOMINAS 12 p. Cartagena de Indias.
- CARVAJAL JOSÉ HENRY., 1999. Características de la erupción del volcán de lodo Los Olivos en Pueblo Nuevo – Santa Catalina, departamento de Bolívar. Informe de atención de emergencia. Ingeominas, inédito. 20 p. Cartagena Colombia.

- 
- CARVAJAL JOSÉ HENRY,. 2000. Características de la erupción del volcán de lodo El Totumo. Informe de atención de emergencia. Ingeominas, inédito. 20 p. Cartagena Colombia.
- CARVAJAL, JOSÉ HENRY., 2001. Amenazas geológicas asociadas al volcanismo de lodos. Memorias del VIII Congreso Colombiano de Geología. CD. Sección de Volcanes. 15 páginas. Manizales.
- CARVAJAL, JOSE HENRY., 2008. Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia. Informe INGEOMINAS, inédito.
- CARVAJAL J H, MENDIVELSO D, FORERO H, CASTIBLANCO C, PINZÓN L Y PRADA M., 2010. Investigación del diapirismo de lodos y evolución costera del Caribe Colombiano. Geomorfología Sector 1. 207 p. Informe INGEOMINAS inédito. Bogotá.
- CARVAJAL J H, Y MENDIVELSO D., 2010a. Catálogo de “Volcanes de lodo”. Caribe Central Colombiano. Informe en proceso de oficialización en INGEOMINAS de Atención de emergencias. 54p INGEOMINAS, inédito. Bogotá.
- CARVAJAL J H, Y MENDIVELSO D., 2010. Características de las erupciones “volcánicas de lodo” – “volcán de lodo” de Santafé de Las Platas. Municipio de Arboletes, departamento de Antioquia. Informe de Atención de emergencias. 44p INGEOMINAS, inédito. Bogotá.
- CARVAJAL, JOSE HENRY., 2011. Características del "volcanismo de lodo" del Caribe central Colombiano. Informe Servicio geológico colombiano en proceso de publicación. 82 p. Bogotá.
- CARVAJAL, JOSE HENRY., 2012. Características de la actividad eruptiva del 11 de mayo de 2012 en el “volcán de lodo” El Reposo o Bajogrande. Bayunca – Municipio de Cartagena de Indias. Servicio Geológico Colombiano. Informe de atención de emergencia. 54 p. Bogotá.
- CARVAJAL, JOSE HENRY., 2012a. Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Servicio Geológico Colombiano. Colección guías y manuales. 56 p. Anexos de ejemplos de nomenclatura geomorfológica. Bogotá.
- CARVAJAL, JOSE HENRY Y CALDERÓN YOLANDA., 2013. La actividad eruptiva del "volcán de lodo" El Rodeo al Sureste del casco urbano de Cartagena de Indias. Informe de atención técnica inédito. Servicio Geológico Colombiano. 60 p Bogotá.

- CAPRCRSR., 2010. Norma Sismo Resistente N SR – 10. Reglamento de construcciones sismo resistentes. Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes. Minambiente. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Bogotá.
- CEDIEL, F, SHAW R, AND CACERES C., 2003. Tectonic assembly of the northern Andean block. In C. Bartolini, R. TBuffer, and J, Blickwede, eds. The circum – Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics. AAPG Memoir, vol. 79. P 815 – 848.I
- CHICANGANA G Y VARGAS C. A., FERRARI A. L, ARISTIZABAL C 2007. Amenaza sísmica de la plataforma occidental del Caribe Colombiano: revaloración con base en aspectos geotectónicos, neotectónicos y sismológicos. Congreso Colombiano de Geología IX. Memorias en CD Room. Bucaramanga.
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA., 2012. Texto de la Ley 1523 del 24 de abril de 2012, por la cual se adopta la Política nacional del riesgo de desastre y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. 30 p. Bogotá.
- DUQUE HERMMAN., 1980. Geotectónica y evolución de la región noroccidental Colombiana. INGEOMINAS. Boletín Geológico (S. L). Vol 23, Nº 3. P 1 – 80. Bogotá.
- DUQUE HERMAN., 1984. Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú San Jacinto en el noroccidente de Colombia. Boletín Geológico INGEOMINAS Vol. 27 No.2, pp. 1-29 Bogotá.
- FLINCH, J. F., 2003. Structural evolution of the Sinú lower Magdalena area (Northern Colombia). In Bartolini, C, R and Blickwede j, eds, the Gulf of Mexico and Caribbean region: Hydrocarbon habitats, Basin formation and plate tectonics. AAPG, memoir in press, chapter 35. 22 p and 20 figures.
- FRANCO, JOSÉ VICENTE 1996. Aproximación geológica - geofísica al fenómeno diapírico en el sureste de la ciudad de Cartagena de Indias. Informe inédito INGEOMINAS 83 p. Cartagena de Indias. Colombia.
- GOOGLE EARTH., 2009 - 2012: Imágenes. Google Earth del sector Totumo – Pueblo Nuevo
- GUZMAN G, GOMEZ L, SERRANO S., 2004. Geología de los Cinturones Sinú San Jacinto y borde occidental del valle inferior del Magdalena. Un mapa escala 1: 300.000. INGEOMINAS – Université de Liegé. Belgique.

- 
- MANTILLA A. M, JENTZSCH G, KLEY J Y PAVA C., 2009. Configuration of the Caribbean margin: Constraints from 2D seismic reflection data and potencial fields interpretation. S. lallemand and F Funicielo (eds). Subduction zones geodinamics. P. 247 – 271. Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
- MORA , HECTOR., 2013. Resultados recientes obtenidos en la Red de estaciones GPS Satelitales con propósitos geodinámicos. Comunicación verbal y escrita. INGEOMINAS, Bogotá.
- OBANDO GLORIA Y VASQUEZ LUIS., 2010. Cartografía y modelamiento geofísico de los “volcanes de lodo” Los Olivos y El Totumo. Informe inédito INGEOMINAS. 75 p. Bogotá
- RAMIREZ, JESUS E., 1959. El volcán submarino de Galerazamba. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales. Vol X, N° 41. Bogotá. Colombia.
- REYES, GERMÁN., 2000. Marco geológico regional del Caribe Colombiano. Informe preliminar. Ingeominas, 28p. Santa fe de Bogotá.
- REYES, G. A., GUZMÁN, G., BARBOSA, G. & ZAPATA, G. 2001. Geología de las Planchas 23 Cartagena y 29-30 Arjona, Escala 1:100000. Memoria Explicativa INGEOMINAS: 1-69.
- RSNC., 2012. Reporte de la base de datos de la Red Sismológica Nacional de Colombia. Informe Interno SAGEA-425. Ingeominas. Bogotá.
- VARNES, D.J., 1984. Landslide hazard zonation: A review of principles and practice. 63 p. UNESCO. París.