

AUTORES

Ramón O. Pérez Aragón

Ramón Rivada Suárez

Francisco Viera Cepero

Reinier Rodríguez Cantillo

Instituto de Geología y Paleontología
 Vía Blanca 1002, San Miguel del
 Padrón, CP 11 000, La Habana, Cuba.
igp@igp.minem.cu

RECIBIDO: FEBRERO, 2018

ACEPTADO: MARZO, 2018

MOVIMIENTOS DE LADERAS EN LA COSTA NORTE DE MAYABEQUE, CUBA, CLASIFICAN COMO FLUJOS DE ESCOMBROS

SLOPE MOVEMENTS ON NORTH MAYABEQUE COAST, CUBA, CLASSIFY AS DEBRIS FLOWS

La evaluación de varios movimientos de ladera ocurridos en un tramo de la costa norte de la provincia de Mayabeque, entre Playa Jibacoa y Boca de Canasí, a raíz de lluvias intensas y prolongadas, como parte de un estudio de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo (PVR) por deslizamientos en esa región de Cuba Occidental, llevada a cabo por un colectivo de investigadores del Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC), permitió clasificar los mismos como flujos o corrientes de escombros (debris flows según la nomenclatura utilizada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos). El trabajo incluyó el reconocimiento geólogo-geomorfológico de campo, el análisis de los registros pluviométricos y el procesamiento digital de los datos de seis eventos ocurridos entre 2008 y 2015.

Como resultado del estudio realizado, se obtuvo el mapa de peligro, a partir del cual se determinaron las zonas de mayor vulnerabilidad y se calcularon los riesgos de pérdidas materiales y humanas en varias de las instalaciones turísticas construidas en la faja costera situada en el piedemonte de las elevaciones conocidas como Loma de Perle y Loma del Puerto. Se estableció que toda la ladera norte de estas, con pendientes por encima de 32 grados y conformadas por material eluvio-coluvial poco compactado sobre calizas y calizas margosas de la Formación Güines, son susceptibles a la ocurrencia de movimientos de ladera del tipo flujo de escombros, estableciéndose como factor disparador, las lluvias intensas (más de 100 mm) y prolongadas (más de dos días), y acumulados por encima de los 150 mm.

Palabras clave: movimiento de ladera, flujo de escombros, mapa de peligro, Mayabeque, Cuba.

The evaluation of several hillside movements occurred in a section of the northern coast of the province of Mayabeque, between Playa Jibacoa and Boca de Canasí, as a result of intense and prolonged rains, as part of a study of Hazard, Vulnerability and Risk (PVR) by landslides in that region of Western Cuba, carried out by a group of researchers from the Institute of Geology and Paleontology - Geological Service of Cuba (IGP-SGC), allowed to classify them as flows or debris flows (debris flows according to the nomenclature used by the Geological Service of the United States). This work is about geological-geomorphological field recognition, the analysis of rainfall records and digital data processing of six events between 2008 and 2015.

As a result of study, was carry out a request of the Popular Provincial Camping Company, a hazard map was obtained, from which the areas of greatest vulnerability were determined and risks of material and human losses were calculated in several tourist facilities, built on the coastal belt located in the piedmont of the elevations known as Loma de Perle and Loma del Puerto. It was established that all the northern slope of these, with slopes above 32 degrees and conformed by little compacted eluvio-coluvial material on limestones and marly limestones of the Güines-Formation, are susceptible to the occurrence of slope movements of type debris flows, with intense precipitation (more than 100 mm) and prolonged (more than two days), accumulating above 150 mm as the activating factor.

Keywords: slope movement, debris flow, hazard map

RESUMEN

ABSTRACT

El 3 de febrero de 2015, el Grupo de Expertos en Deslizamientos del Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC), integrado por Francisco Viera, Ramón Rivada y Ramón O. Pérez realizó una visita de reconocimiento a una serie de movimientos de laderas ocurridos en la parte norte de las elevaciones ubicadas entre Playa Jibacoa y Boca de Canasí, Provincia de Mayabeque, conocidas con los nombre de Loma de Perle y Loma del Puerto, a cuyo piedemonte, entre estas y la línea de costa se encuentran ubicadas las bases de campismo Los Cocos, Las Caletas, El Abra, La Laguna, Playa Amarilla y Peña Blanca.

INTRODUCCIÓN

El primer evento reportado (D-1) ocurrió en el año 2008 y arrasó la vegetación del talud, abriendo una trocha de unos 200 metros de largo por unos 8 a 10 metros de ancho (Figura 1) y destruyó parcialmente el edificio de unos almacenes pertenecientes a la empresa de Campismo Popular (Figura 2) que fuera construido en el mismo piedemonte de Loma de Perle (88.9-92.4 msnm), al sur de la carretera que separa dicha elevación de la franja litoral donde se construyeron las instalaciones turísticas.

Otros cuatro derrumbes (D-2, D-3, D-4 y D-5), situados también en la ladera septentrional de las lomas antes mencionadas y de características muy similares al anterior

ocurrieron en la noche del 21 de noviembre de 2014 durante un evento de intensas y prolongadas lluvias. De estos cuatro eventos, los tres primeros solo causaron daños a la vegetación y a la capa vegetal que fueron literalmente arrasadas, el último (Figura 3) estuvo a punto de destruir las instalaciones de una pista de baile, construida en la base de la ladera afectada, hasta donde llegaron algunas rocas y algo de lodo del flujo de escombros.

Para la evaluación de los fenómenos de movimientos de laderas ocurridos en el área de estudio se utilizaron los siguientes materiales:

- Mapa topográfico.
- Mapa geológico.
- Imágenes de satélite.
- Modelo de elevación digital del terreno.
- Registros de cuatro pluviómetros ubicados en las inmediaciones del área.
- Reportes verbales de testigos y trabajadores del lugar.
- Fotografías existentes y tomadas especialmente en las áreas afectadas.

La metodología utilizada consistió en el reconocimiento ocular de campo, el estudio de las condiciones geólogo-geomorfológicas de la zona afectada, el procesamiento

INTRODUCCIÓN

MATERIALES Y MÉTODOS

FIGURA 01.

Imagen satelital tomada de Google Earth que muestra el referido deslizamiento de 2008. Obsérvese lo largo y estrecho de su trayectoria.





02. FIGURA

Fotomontaje que muestra el deslizamiento reportado en 2008 (D1) y que destruyera parcialmente un almacén perteneciente a la empresa de Campismo Popular.

digital combinado de imágenes y el Modelo de Elevación Digital del terreno, el estudio de los records históricos de pluviosidad durante la ocurrencia de los fenómenos con el objetivo de determinar los factores disparadores y los posibles umbrales de lluvia a los que pueden ocurrir los movimientos de ladera.

EVALUACIÓN DE CAMPO

La comisión de especialistas del Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC), integrada por los ingenieros geólogos Ramón O. Pérez Aragón, Ramón Rivada Suárez y Reinier Rodríguez Cantillo, realizó varios recorridos de campo por la zona de interés para el estudio detallado de los deslizamientos ocurridos en el área, donde se realizaron las siguientes observaciones:

- mediciones de las pendientes,
- mediciones de espesor de la capa de suelo y material eluvial (susceptibles de ser arrastrados)
- medición con GPS de las coordenadas de la cabecera y el pie de los deslizamientos para su posterior ubicación en el mapa,
- medición del ancho, profundidad y longitud del flujo,
- estudio de la composición litológica del material del flujo

- observaciones del comportamiento de la vegetación de la zona ante la ocurrencia de los fenómenos de ladera.

Durante los trabajos se determinó que la zona en estudio, por sus características geológicas y geomorfológicas, es susceptible a la ocurrencia de movimientos de ladera del tipo flujo de escombros, teniendo como factor detonante la ocurrencia de lluvias intensas y/o prolongadas. Además de los eventos ya descritos, ocurridos entre 2008 y 2014, se observaron huellas de antiguos eventos, actualmente cubiertos por el rebrote de la vegetación, los cuales se manifiestan por la presencia de viejos árboles tumbados o inclinados, acumulaciones de bloques de rocas sueltas en las laderas e incluso la presencia de depósitos fósiles de material caótico a lo largo del piedemonte de las elevaciones y hasta en la costa actual en el caso de Peña Blanca. Todo lo observado atestigua que los fenómenos de ladera han ocurrido a intervalos durante mucho tiempo.

Además, durante el recorrido efectuado en la mañana del 28 de mayo de 2015 entre el Hotel Memories Jibacoa y la base de campismo Los Cocos, desde un punto en la carretera frente a las instalaciones donde se encuentra una lavandería del centro turístico Camaleón Villa Jibacoa, se pudo observar en lo alto de la elevación al sur de la carretera, casi en el mismo tope, la corona de un deslizamiento muy reciente (Figura 4) que no fue observado en el

recorrido efectuado el 3 de febrero. Visitado el lugar, se observa además del escarpe de la corona, los restos de rocas suelo y vegetación arrasada pendiente abajo. El fenómeno no se observa en la parte baja de la pendiente, por lo que parece que el mismo no llegó al piedemonte o no se desarrolló completamente.

ESTUDIO DE PELIGRO, VULNERABILIDAD Y RIESGO

El Grupo de Expertos del IGP-SGC especializado en estudios de (PVR) de desastres por deslizamiento, acometió la evaluación de las áreas afectadas de la zona litoral norte de la Provincia Mayabeque entre Playa Jibacoa y Boca de Canasí, con vistas a determinar el Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo de una serie de instalaciones turísticas, entre las que se encuentran los campismos Los Cocos, Las Caletas, El Abra, La Laguna, Playa Amarilla y Peña Blanca y otras como Villa Cameleon Jibacoa y el Hotel Memories Jibacoa.

PELIGRO

Para la identificación de las posibles áreas de peligro se tuvieron en cuenta las observaciones realizadas durante los recorridos de campo, donde fueron estudiados 6 deslizamientos: el primero ocurrido en el 2008, cuatro que

tuvieron lugar en el mes de noviembre del 2014 y un último que al parecer ocurrió en los primeros meses, presumiblemente en abril del 2015 y que no había sido reportado. En todos los casos se determinó que los eventos estaban relacionados con la ocurrencia de lluvias intensas y/o prolongadas que provocaron la saturación del suelo y la capa superficial de material meteorizado (eluvio). Por otra parte se observaron también antiguos deslizamientos que en estos momentos se encuentran cubiertos totalmente por la vegetación pero que, no obstante, aportaron algunos elementos adicionales.

Del análisis de estos se pudo concluir que, en todos los casos, la corona del deslizamiento se encuentra en pendientes por encima de los 30 grados, con un ancho promedio de 10 metros y la mayoría de las veces en el punto de contacto entre el material suelto o meteorizado (eluvio) y las calizas y margas calcáreas de la Formación Güines que componen el sustrato geológico de las elevaciones del lugar. La corriente o flujo de escombros se produce por pendientes que fluctúan entre 30 y 8 grados, formando un surco poco profundo, estrecho y alargado que puede alcanzar los 100 metros de longitud. (Figura 3).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



03 FIGURA

Corona de uno de los movimientos de ladera recientes estudiados en el área. Se puede observar el ancho del deslizamiento y como el material que se desliza se corresponde con el suelo y la roca meteorizada.



04. FIGURA

Los almácigos rojos en el camino del flujo, se comportan como obstáculos que desaceleran el movimiento de ladera. Un fragmento de roca incrustado en el árbol atestigua acerca de la velocidad y la fuerza de este evento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante destacar que el presente análisis se realiza en la vertiente abrupta o talud de una elevación baja (unos 120 msnm) y la llanura a ella contigua y que, por lo tanto, esta zona constituye el espacio natural de redeposición del material erosionado, proceso que ha venido ocurriendo durante el ascenso de esta zona costera, de lo cual existen numerosas evidencias a lo largo de todo el piedemonte y parte de la llanura, inclusive hasta el propio borde litoral. A pesar de lo expresado anteriormente, las áreas de mayor interés en el presente estudio, son aquellas, donde el fenómeno de deslizamiento, por el volumen y velocidad que alcance, pudiera provocar daños materiales y/o humanos.

Otro elemento que se debe acotar es, que en los estudios de deslizamientos se debe analizar un grupo de variables que incluye las características geológicas, la orientación de las pendientes, el uso del terreno, la profundidad y tipo de suelo y otros aspectos que en el caso que nos ocupa son prácticamente indiferenciables y que por lo tanto no fueron usados en el análisis.

Teniendo en cuenta lo mencionado con anterioridad, consideramos que las carac-

terísticas geológicas del material superficial, las pendientes y la cobertura vegetal serían los tres elementos más importantes a considerar. Como se pudo observar en los trabajos de campos y en la bibliografía revisada los flujos de escombros se caracterizan por generarse en las laderas empinadas y detenerse en la base de éstas, el cambio de pendiente constituye el principal elemento en la retención de este tipo de movimiento de ladera, su avance sobre la zona relativamente llana es de apenas unos metros dependiendo de los obstáculos encontrados al llegar a ésta.

Partiendo del hecho de que las características geológicas del área estudiada son prácticamente homogéneas para toda la zona, para determinar los sectores de mayor peligro se procedió, en primer lugar, a hacer un análisis de las pendientes. Una mirada al corte transversal de la estructura principal nos permite comprender el comportamiento general de éstas. Si observamos varios perfiles de la superficie del terreno, con orientación de sur a norte, se pueden identificar cuatro segmentos que caracterizan de forma general las pendientes de este talud: una forma plana en la superficie de la elevación (tipo meseta) que, por las bajas pendientes,

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

no son de nuestro interés (figura 5); a continuación (destacada en rojo), una parte de pendiente abrupta que coincide con la zona donde se producen los deslizamientos; un tramo más pequeño y menos inclinado (señalado en amarillo), donde se frena y deposita la mayor parte del material desplazado y por último un tramo casi llano en la base del talud (que se destaca en color verde) donde se detiene y se deposita definitivamente el flujo.

La identificación de estas cuatro franjas o segmentos de la ladera sería uno de los objetivos principales del trabajo. Partiendo de un modelo digital del terreno de resolución de 25 metros por pixel y después del procesamiento digital de los datos se obtuvo un mapa de pendientes con una resolución espacial de 5 metros. Dicho mapa fue reclasificado utilizando el método de cortes naturales, lo que permite agrupar los valores similares y maximizar las diferencias entre clases, cuyos límites quedan donde hay contrastes considerables de los datos. Este tipo de clasificación nos permite identificar los cambios más importantes de las pendientes y por lo tanto identificar también, para toda el área, las cuatro franjas de interés; o sea, las zonas donde se puede iniciar el deslizamiento, el punto donde el flujo de escombros comienza su desaceleración y la zona de máxima seguridad.

Como resultado de este proceso se obtuvo un mapa de pendientes reclasificado en tres clases agrupadas en los siguientes valores:

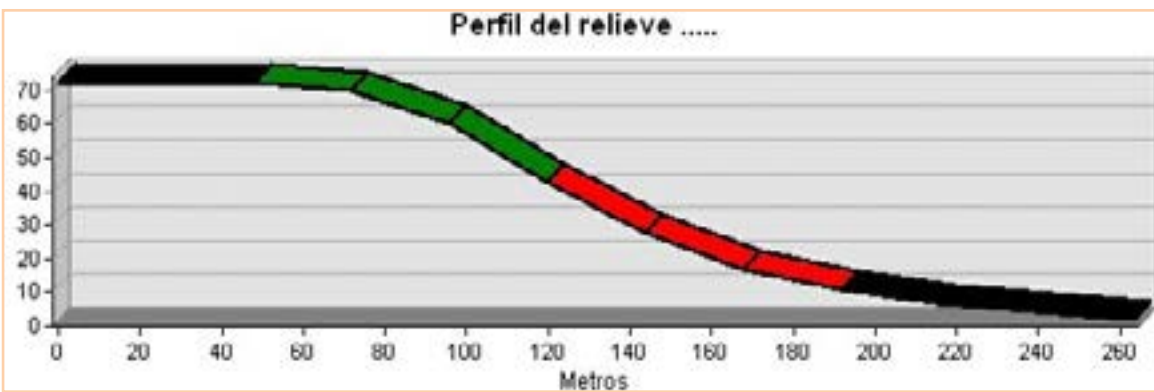
clase 1, se corresponde con las pendientes entre 17 y 53 grados. Es la zona donde se inicia y a través de la cual se produce el flujo de escombros, se caracteriza por ser una zona de pendiente inclinada que disminuye suavemente a medida que se avanza talud abajo; constituye la zona más peligrosa pues en ella el deslizamiento alcanza la máxima velocidad;

clase 2, agrupa las pendientes entre 7 y 17 grados. En esta zona hay un cambio en la inclinación general del talud y constituye la zona donde el deslizamiento comienza a detenerse, el traslado del material acarreado sobre ella depende de la cobertura u ocupación del terreno, pero en los casos estudiados es de solo unos 10 a 15 metros;

clase 3, se corresponde con las pendientes entre 0 y 7 grados y constituye la zona de mayor seguridad (estabilidad), se puede encontrar tanto en la parte alta de la elevación, como al pie del talud, en esta última solo se acumulan materiales finos como consecuencia del proceso de erosión. (Figura 6).

Otro aspecto a valorar durante el estudio de las pendientes fue la curvatura del terreno, teniendo en cuenta que las superficies cóncavas (con curvatura hacia arriba) propician la acumulación de sedimentos, se elaboró un mapa de curvatura en la dirección de máxima pendiente, con el propósito de identificar aproximadamente las zonas de deposición final del deslizamiento. Ese mapa arrojó algunos elementos a considerar en el análisis.

Al observar la distribución de los valores de curvatura, se pueden distinguir dos modos diferentes en el comportamiento de la variable principalmente a lo largo del talud. Mientras que en la base de las alturas y la parte superior de éstas se observa un comportamiento en los valores de curvatura prácticamente de cero, en el talud hay zonas que se caracterizan por presentar valores negativos o sea una superficie convexa seguida de una superficie cóncava (valores positivos de curvatura) y otras donde existen dos superficies convexas, una en la parte alta del talud y otra intercalada entre dos superficies cóncavas. (Figuras 5 y 6).

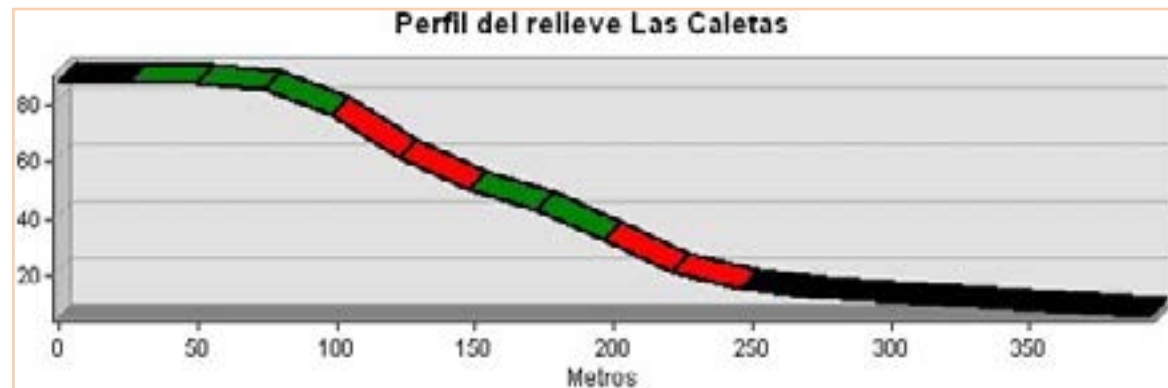


05. FIGURA

Perfil del relieve con una curvatura cóncava (rojo) y otra convexa (verde)

06. FIGURA

Perfil del relieve con dos curvaturas cóncavas (rojo) y dos convexas (verde).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La forma o superficie convexa intercalada en el relieve del talud son indicadores de acumulación de materiales producto de la erosión o de antiguos deslizamientos. Al parecer, inicialmente existía una gran superficie cóncava en la cual, con el transcurso del tiempo se fueron acumulando sedimentos. La figura 7 muestra una parte del mapa de curvatura que comprende el área al sur de los campismos Los Cocos y Las Caletas, la línea azul es el límite inferior del talud, los colores verde y rojo representan las superficies convexas y cóncavas respectivamente.

Esta situación le confiere al área una estabilidad relativa, pues parte del material suelto ya se encuentra depositado en una zona de menor pendiente y por otro lado, estas formas de montículos alargados pueden servir de barreras a deslizamientos que se originen más arriba, sin embargo no podemos olvidar que este material se encuentra aún en una zona de fuertes

pendientes y que por lo tanto, en algún momento pueden ser fuentes de nuevos deslizamientos, aunque en este caso como se producirían en las partes bajas de la escarpa la velocidad tendería a ser menor y su carácter destructor también, si lo comparáramos con deslizamientos que se generan más arriba.

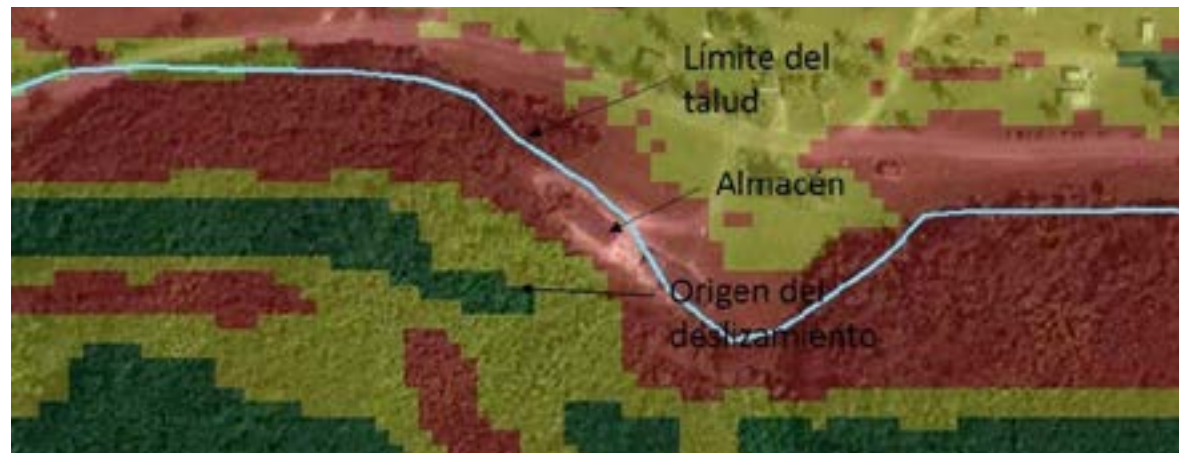
Un ejemplo de esto parece ser el deslizamiento ocurrido en el 2008 en Playa Amarilla. Al observar la fotografía que aparece a continuación podemos ver que el deslizamiento se inicia en una zona baja del talud y al sur del almacén ubicado en el límite de la ladera. Como puede observarse también en la foto (figura 3), parte del almacén quedó totalmente destruido, indicando que a pesar del poco recorrido que hizo el flujo de escombros su energía dentro de los límites del talud es suficiente para devastar lo que encuentre a su paso.

Si comparamos la dirección en la que se produce el deslizamiento y la distancia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FIGURA 07.

Mapa de curvatura del relieve en el sector al sur de los campismos Los Cocos y Las Caletas.



aproximada de éste en la foto, podemos ubicarlo en el mapa de curvatura sobre la segunda superficie convexa.

El escenario parece ser distinto en otras áreas como por ejemplo en el tramo del campismo de Peña Blanca. En este caso la zona comprendida dentro del talud está formada por una superficie convexa de color verde, en la figura que le sigue una superficie cóncava en algunos tramos y casi recta en otros representada en color rojo, lo que puede ser un indicador de una menor actividad del proceso de erosión sedimentación o de deslizamientos y por lo tanto un área de menor estabilidad si tenemos en cuenta que debe existir una mayor potencia de sedimentos sueltos en la parte alta de la escarpa. Los deslizamientos que se generarían en estas áreas por las distancias que pueden recorrer y la poca resistencia que ofrecería el relieve, llegarían al límite del talud con una energía cinética de gran poder destructor.

Después de haber analizado las pendientes y su curvatura se considera que el límite de desplazamiento del deslizamiento fuera de la escarpa no debe sobrepasar la pequeña franja con forma cóncava que aparece en una parte de la base del talud o sea, en lo que se denomina como clase 2 de pendientes cuando estas fueron examinadas.

Otro elemento que debe ser analizado es la cobertura vegetal. Como se constató en los trabajos de campo, a medida que el flujo avanza cuesta abajo, la vegetación es arrasada y se mezcla con los materiales y va formando un amasijo que choca y se apila contra los árboles de raíces más profundas, los cuales forman pequeñas barreras que frenan parcialmente el movimiento de ladera. Muchas veces se pudo observar, a lo largo del talud, fundamentalmente en su parte baja, cómo el almácigo rojo (*Bursera simaruba*) inmovilizó una buena parte del flujo de escombros.

Por otro lado, en la literatura se reconoce, para el caso específico de este tipo de deslizamientos y a partir de estudios realizados en diferentes áreas, que la cobertura vegetal a pesar de que incide positivamente en la infiltración del agua, le da cierta sujeción al suelo y por lo tanto una mayor estabilidad al talud, algunos estudios plantean que en regiones desprovistas de vegetación ocurren 3,5 veces más deslizamientos que en áreas boscosas.

En el caso del área que nos ocupa, debemos decir que a pesar de que está cubierta en su mayor parte por una vegetación densa, tiene algunos espacios en el talud y en la zona comprendida entre éste y la línea que consideramos como límite del deslizamiento, donde la vegetación es escasa o no existe, producto de la construcción en ellas, de

cabañas, pistas de baile, almacenes, etc. y la carretera que da acceso a los campismos, lo que incrementa aún más el peligro de deslizamiento y el impacto en ellas.

Es importante señalar también que la construcción de la carretera arriba citada, modificó el perfil natural del talud lo que sin lugar a dudas cambia el comportamiento normal de los movimientos de ladera, pues parte de la energía que traen los flujos de escombros se disipa al atravesar una superficie horizontal de 7 u 8 metros de ancho (de longitud en el perfil), lo que contribuye a la detención del deslizamiento y por lo tanto debe ser considerada como un elemento antrópico que incide en el alcance del desplazamiento de éste. Sin embargo, este elemento no se tuvo en cuenta a la hora de la definición de las diferentes clases de peligro.

Después de haber analizado estos elementos consideramos que el área de estudio puede ser dividida atendiendo al grado de peligrosidad en cuatro zonas:

zonas de peligro muy alto, comprende todo el talud y el área entre éste y el límite del deslizamiento, donde la vegetación no existe y además donde el perfil de curvatura muestre una sola superficie cóncava,

zonas de peligro alto, comprende el espacio entre el talud y la línea que trazamos como límite del deslizamiento, donde la vegetación es densa y el perfil de curvatura muestre dos o más superficies convexas,

zona de peligro bajo, se considera que debe existir una franja de 10 metros de ancho por fuera del límite del deslizamiento por posibles errores asociados a problemas de georeferenciación y resolución del MDT,

zona sin peligro, se consideró el espacio entre la franja de seguridad y el límite de la costa.

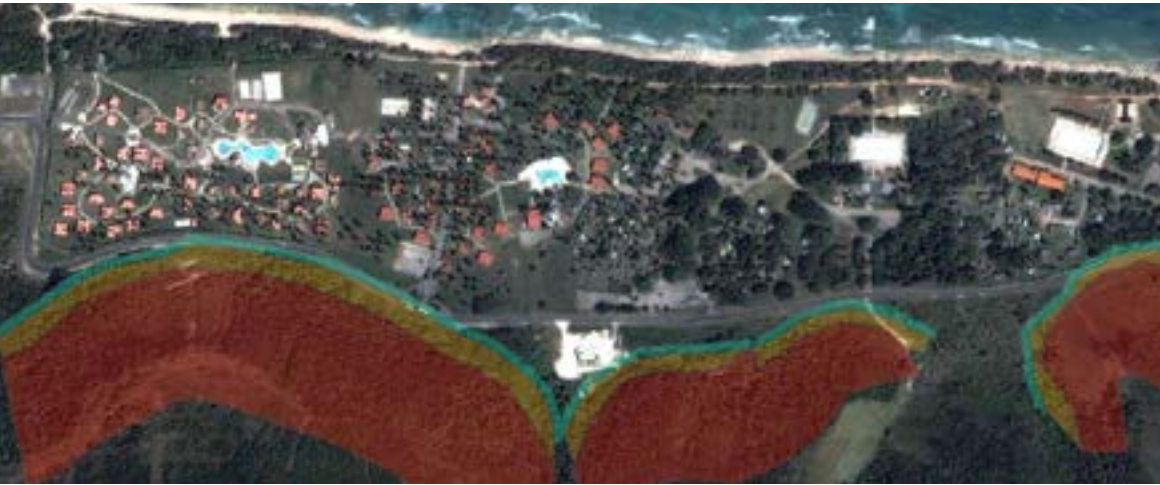
VULNERABILIDAD Y RIESGO

Para el análisis de la vulnerabilidad se hizo una división en tres tramos del área de estudio.

El tramo uno comprende los campismos Los Cocos, Las Caletas, El Abra y La Laguna. Como se puede observar en la figura 8, las instalaciones de estos campismos quedan fuera de las áreas de peligro, no siendo así algunas partes de la carretera que da acceso a ellos, sin embargo, la posibilidad de vías alternativas para acceder a estas áreas hace que la vulnerabilidad según este indicador sea mínima y por lo tanto se considera que los campismos ubicados en este tramo no presentan riesgos por deslizamientos.

Se exceptúan de la afirmación anterior algunas instalaciones como el mirador que se encuentra al sur del campismo Los Cocos y su senda de acceso, construidos, en la cima y en la ladera respectivamente de una elevación considerada zona de peligro, así como varios puntos de dicha ladera donde han sido ubicados varios tanques de reserva de agua potable que abastecen las cisternas de los campismos. (Figuras 9 y 10).

El tramo dos comprende el área desde el hotel Memories Jibacoa hasta el campismo Playa Amarilla, como se puede observar en la figura 11, en esta zona, algunas de las instalaciones se encuentran en áreas de peligro. Presentan mayor riesgo de ser destruidas completamente aquellas construcciones ubicadas en áreas desprovistas de vegetación entre el talud y la carretera, como algunos baños y la parte del almacén que quedó del deslizamiento del 2008. Se considera específicamente muy peligrosa la parte central del área, es decir, el tramo entre el almacén y la piscina, la cual puede ser



08. FIGURA

El tramo uno comprende los campismos Los Cocos, Las Caletas, El Abra y La Laguna.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

susceptible a la ocurrencia de un fuerte deslizamiento, pues se caracteriza por tener grandes pendientes y porque, según la curvatura del terreno, el proceso de estabilización del talud no ha tenido un buen desarrollo.

Resulta notorio que la vía principal, prácticamente en todo su recorrido, queda en áreas de peligro, en este caso a diferencia del tramo anterior, la obstrucción de la carretera por un deslizamiento dificultaría la evacuación del personal de las instalaciones, sobre todo si esto ocurriese en el tramo que pasa entre el talud y el hotel Memories Jibacoa (Figura 11), pues ésta es la única vía de acceso al lugar. No debemos olvidar la posibilidad de ocurrencia de eventos de peligros combinados, que para esta área pudieran

ser deslizamientos asociados a fuertes precipitaciones y penetraciones del mar producto de eventos meteorológicos extremos, situación muy frecuente en nuestro país y que limitaría aún más las posibilidades de salida de esta área.

Otros elementos que consideramos vulnerables son las líneas de comunicaciones y eléctricas, por encontrarse muchos tramos de éstas dentro de las zonas de peligro. En este caso, aunque la magnitud de los daños en términos económicos sería baja, por lo puntual que puede ser el impacto de un deslizamiento sobre estos elementos, la posibilidad de interrumpir las comunicaciones en situaciones extremas, añade una componente que incrementa la vulnerabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FIGURA 09.

Vista del mirador ubicado al sur del campismo Los Cocos cuyas instalaciones y senda de acceso están ubicadas en zona de peligro.



FIGURA 10.

Tanques de agua potable ubicados en zona de peligro. Ladera al sur del campismo Los Cocos.



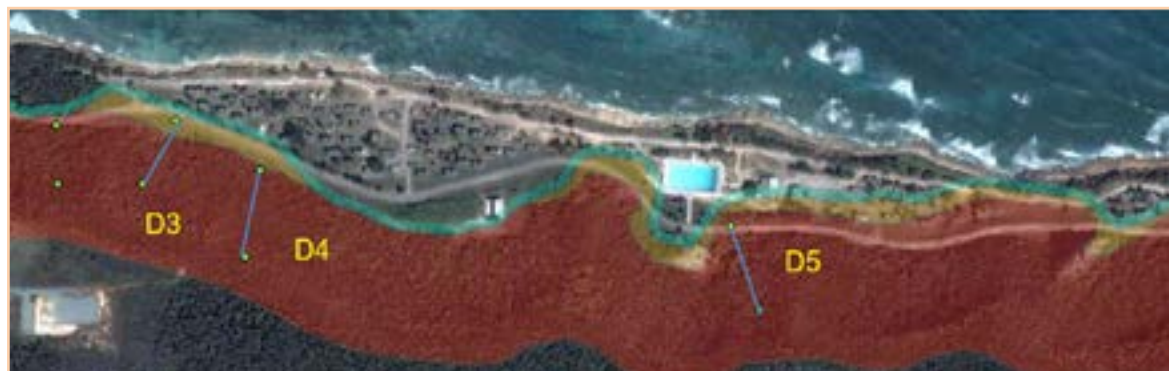


FIGURA 11.

El tramo dos comprende las áreas desde el hotel Memories Jibacoa hasta el campismo Playa Amarilla. D1 es el flujo de 2008; D2 ocurrió en 2014.

FIGURA 12.

El tramo tres comprende el área entre los campismos de Playa Amarilla y Peña Blanca. Aquí ocurrieron tres de los cuatro deslizamientos de 2014.



El tramo tres comprende el área entre los campismos de Playa Amarilla y el de Peña Blanca (figura 12), en este caso hay un mayor número de instalaciones en las áreas de peligro, como la cafetería, el comedor y un grupo considerable de cabañas, o sea lugares donde permanecen grupos de personas durante cierto tiempo, por lo tanto en este tramo además de la vulnerabilidad física por la posible pérdida de instalaciones, hay que añadir que existe la posibilidad de daños a personas o pérdidas de vidas humanas.

De igual forma que en el tramo dos, existe aquí vulnerabilidad por capacidad de respuesta en caso que sean afectadas las líneas de comunicaciones y eléctricas, así como el bloqueo de la vía principal de acceso y con la agravante de que esto puede ocurrir en combinación con otros eventos meteorológicos extremos, aunque aquí consideramos que las posibilidades de salida son aún más limitadas que en el tramo dos, sobre todo si esto pasara en la sección de carretera entre el talud y la zona

de vegetación densa que da acceso a Playa Amarilla, punto que fue objeto en el 2014 de un movimiento de ladera.

LA LLUVIA COMO FACTOR DISPARADOR

El agua es el factor que más comúnmente se asocia con la debilidad y la falla de los taludes en las zonas tropicales, debido a que la mayoría de los movimientos de laderas ocurren después de las lluvias intensas o durante periodos lluviosos prolongados. La infiltración o percolación del agua en el suelo provoca el aumento de la humedad. La cantidad de agua que se infiltra al suelo depende de la capacidad de absorción o retención de éste. Cuando el terreno se humedece al máximo (saturación) y esta condición dura un largo periodo, el suelo obtiene un peso adicional al suyo, aumentando la presión intersticial (presión de poros) debido a la carga de agua, lo cual puede ocasionar

la reducción de la resistencia del suelo y finalmente causar que éste se comporte como un fluido.

El grado de afectación a la ladera por las lluvias depende de la cantidad de humedad del suelo, de la inclinación de la ladera, del tipo de suelo, de su estado de alteración y del tipo de vegetación, entre otros. Es importante hacer notar que la inestabilidad de una ladera no se dará por la acción de una tormenta ordinaria, sino que ocurrirá tras una lluvia intensa o bien, después de una lluvia pertinaz por semanas, que saturará y eventualmente afectará la estabilidad de la ladera.

En el caso que nos ocupa, se ratifica el papel de las aguas pluviales como factor disparador o detonante de los movimientos de ladera del tipo flujo o corriente de escombros ocurridos en las madrugadas de los días 8-9 de noviembre de 2008 y 20-21 de noviembre de 2014. Los registros de lluvias diarias y los acumulados de los días anteriores y posteriores a estos eventos, obtenidos de una serie de pluviómetros (Tabla 1.) de la red de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico (GEARH) de la provincia de Mayabeque, perteneciente al Instituto Nacional del Recursos Hidráulicos (INRH), muestran la ocurrencia de fuertes lluvias en la provincia antes, durante y después de la fecha en que se produjeron los deslizamientos reportados, lo cual se refleja en los valores de lluvias acumulados en toda la región durante los períodos del 7 al 10 de noviembre de 2008 y del 19 al 22 del mismo mes, pero de 2014.

Un elemento interesante a tener en cuenta es que estos eventos extraordinarios de lluvias intensas más o menos prolongadas (2 y 4 días consecutivos, respectivamente) están precedidos de largos períodos de 0 precipitaciones, lo cual parece haber preparado el escenario para una mejor

infiltración del agua pluvial a través de las grietas del suelo reseco.

Para el caso de estudio de los deslizamientos ocurridos en el área de interés solo se tienen en cuenta las precipitaciones reportadas por las estaciones pluviométricas 106, 412, 414 y 416, ubicadas a una distancia de entre 3 y 5 km de las zonas afectadas.

PRECIPITACIONES DURANTE EL EVENTO DEL AÑO 2008

Las precipitaciones ocurridas durante el periodo comprendido entre los días 7/11/2008 y 10/11/2008 que se muestran en las gráficas siguientes, se observan solamente en los registros de las estaciones pluviométricas 106 y 412, ya que, por causas desconocidas, los pluviómetros 414 y 416 no presentan datos de registro durante esos días. No obstante, como se puede observar en la tabla 1, toda la red de pluviómetros demuestra que durante los mismos las lluvias se comportaron intensas en casi todo el territorio.

Como puede observarse en los gráficos el factor detonante del flujo de escombros ocurrido en la madrugada del 8-9 de noviembre fueron las lluvias de 94 y 134 mm, para una media de 114 y acumulados de 137 y 160, para un promedio de 148,5 mm. (Tabla 2).

PRECIPITACIONES DURANTE LOS EVENTOS DEL AÑO 2014

Los gráficos que se muestran abajo reflejan los volúmenes de lluvias medidos por los pluviómetros:

- 106 (cortina del embalse Jibacoa, poblado de Jibacoa del Norte),
- 412 (cortina del embalse Canasí),
- 414 (comunidad Bacunayagua)
- 416 (poblado Arcos de Canasí)

01. TABLA

Acumulados de lluvia en períodos de 4 días (7-10 de noviembre de 2008 y 19-22 de noviembre de 2014), relativas a las fechas de ocurrencia de los movimientos de ladera reportados entre los días 8-9 de noviembre de 2008 y 20-21 de noviembre de 2014.

	PLUV.	X	Y	ALTITUD (M)	ACUM. EN MM	ACUM. EN MM
					7-10/11/2014	19-22/11/2014
1	54	392960	368150	30	82	149
2	55	390890	363090	50	132	176
3	67	396740	366680	27	-	204
4	82	400850	366000	35	155	192
5	83	402040	362140	115	74	145
6	95	403650	367430	100	122	391
7	106	411080	364800	45	257	342
8	232	396990	359020	120	-	153
9	260	396540	363860	35	-	186
10	295	405020	369445	8	-	300
11	353	396480	357630	135	-	65
12	354	403750	367250	101	-	280
13	365	390220	360350	80	-	168
14	410	421250	358850	101	-	415
15	412	418700	362800	65	160	312
16	414	423300	365900	48	-	304
17	416	419950	364920	20	-	419
18	422	429300	367500	100	159	215

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos tomados se corresponden con el período de lluvias intensas y prolongadas ocurridas entre los días 19/11/2014 y 22/11/2014, observándose un pico máximo de precipitaciones el 21/11/2014, fecha en la que ocurrieron los cuatro flujos de escombros reportados. Esto ratifica que las lluvias intensas y acumuladas durante los cuatro días hasta la ocurrencia de los eventos, constituyeron el factor disparador en el desencadenamiento de dichos fenómenos.

Como puede observarse en los gráficos y en la tabla 3, el factor detonante del flujo de escombros ocurrido en la madrugada del 21-22 de noviembre, fueron las lluvias extraordinarias 202,

101, 103 y 106 mm, para una media de 128 y acumulados de 342, 313,304 y 419, para un promedio de 344,5 mm.

Toda la ladera norte de las elevaciones que bordean la costa norte de la provincia Mayabeque entre Playa Jibacoa y Boca de Canasí (Loma de Perle y Loma del Puerto, Figura 1), son susceptibles a la ocurrencia de movimientos de ladera. En ellas están dadas varias de las premisas o condiciones necesarias para la ocurrencia de estos eventos, tales como: altos grados de inclinación de la ladera, tipo de suelo eluvio-deluvial poco compactado, bastante alterado y poco profundo, tipo de vegetación arbustiva, entre otros.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

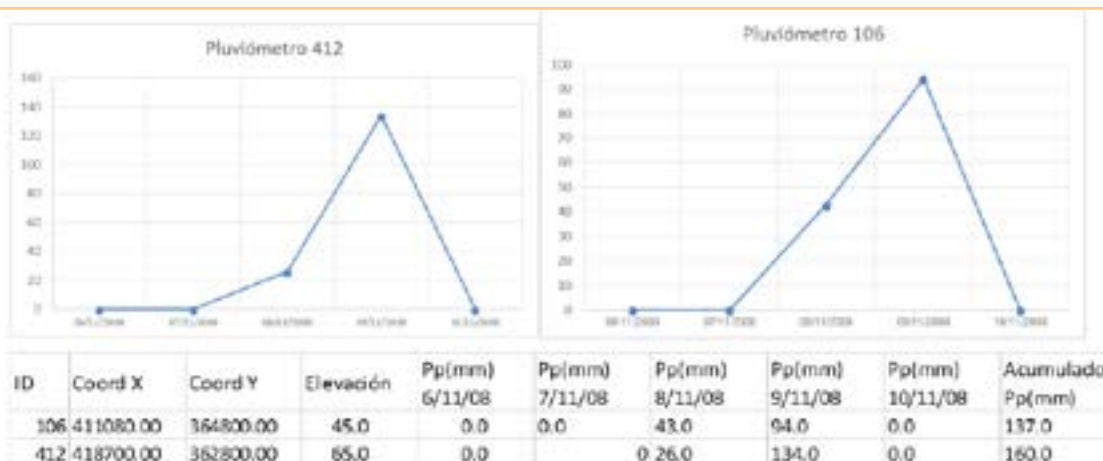
- El análisis de los eventos reportados y la evaluación del terreno in situ, permiten afirmar que el tipo de deslizamiento que se desarrolla en estas condiciones es el de corriente o flujo de escombros.
- El cambio de pendiente artificial inducido por la construcción de la carretera que bordea el pie de monte ayuda a desestabilizar la ladera, pero al mismo tiempo constituye una barrera de contención de los flujos de escombros.
- La mayor parte de las construcciones ubicadas al norte de la carretera están en zona de peligro bajo, en caso de deslizamiento, pues estos se desaceleran con el cambio de pendiente que esta provoca.
- Todas las instalaciones construidas al sur de la carretera están en zona de peligro medio a alto.
- El factor desencadenante o disparador está definido por la ocurrencia de lluvias intensas y prolongadas.
- El análisis de los registros pluviométricos de las áreas aledañas a las zonas afectadas por dos eventos de movimientos de ladera ocurridos en 2008 y 2014, permiten ubicar los umbrales de lluvias para la ocurrencia de movimientos de ladera del tipo flujo de escombros en lluvias con intensidad de más de 100 mm, con más de dos días de persistencia y con valores acumulados por encima de 150 mm.

En este sentido es importante tener en cuenta las circunstancias en las que se produzca el fenómeno, la ocurrencia de lluvias intensas y pertinaces, como factor disparador de los flujos de escombros, puede estar asociada a eventos meteorológicos extremos como ciclones tropicales o a otros eventos aislados como vaguadas, bajas extratropicales, en el primero de los casos se tomarían de facto un grupo de medidas previas orientadas por la defensa civil como la evacuación del personal y los recursos, que permitirían mitigar el posible impacto de un deslizamiento o la combinación de este fenómeno con otro evento extremo. En el segundo caso la situación pudiera ser diferente pues al no orientarse medidas previas generales, podría darse el caso de ser sorprendidos por un fenómeno de movimiento de laderas encontrándose las instalaciones cubiertas, así como también un grupo de recursos materiales expuestos.

Entre las medidas más importantes a considerar estarían:

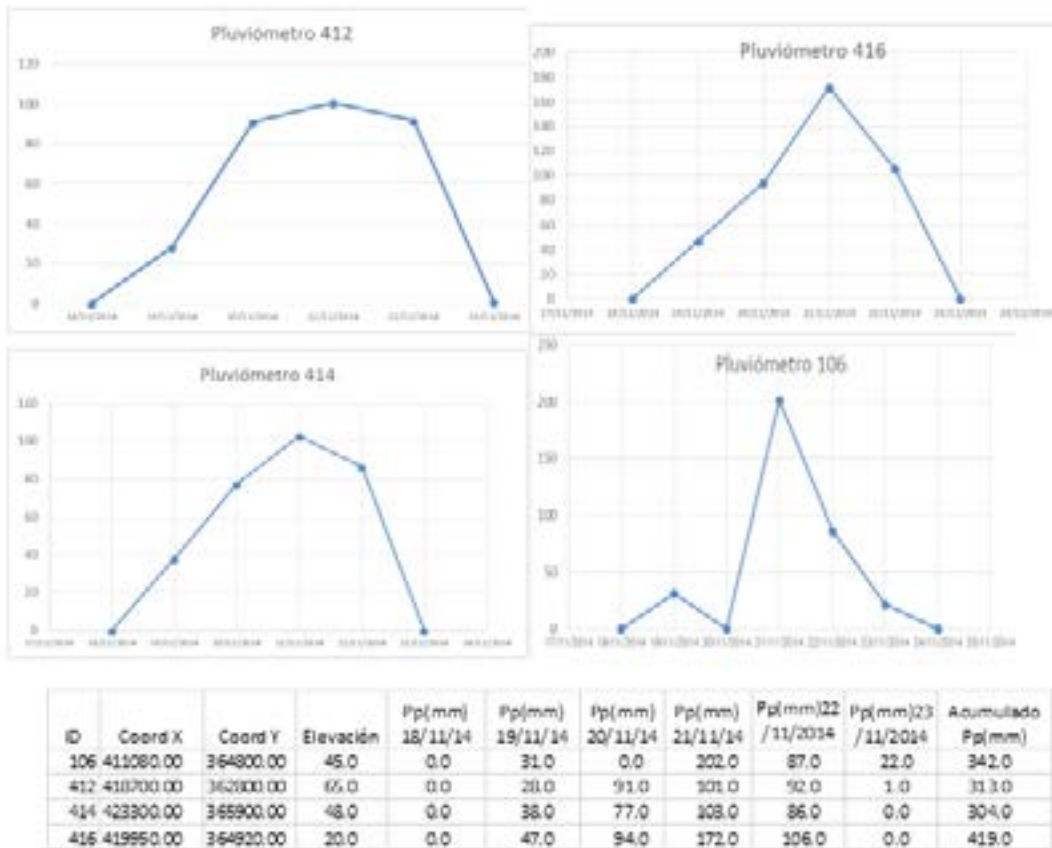
- En caso de intensas lluvias que se prolonguen por más de un día, tomar medidas de prevención en las áreas expuestas según los mapas de peligro, para evitar daños a los bienes materiales o a las vidas humanas.
- Tener en cuenta durante los planes de restauración de los campismos, los resulta-

RECOMENDACIONES



13. FIGURA

Registro de dos de las cuatro estaciones pluviométricas más cercanas al lugar de ocurrencia del flujo de escombros ocurrido al sur del campismo Playa Amarilla en la noche-madrugada del 8-9 de noviembre de 2008.



13. FIGURA

Registro de las cuatro estaciones pluviométricas más cercanas al área estudiada, durante el período de ocurrencia de los cuatro flujos de escombros reportados en la noche-madrugada del 21-22 de noviembre del año 2014.

RECOMENDACIONES

dos de estos estudios, lo que permitiría la reubicación de las instalaciones de bajo peligro. En el caso de que sean mantenidas y se encuentren ocupadas por personas o recursos materiales durante intensas lluvias, trasladar el personal y los recursos a otros lugares y no ocupar éstas hasta pasados cuatro días del cese del período de lluvias intensas.

- Conservar el camino paralelo a la costa de forma tal, que pueda ser utilizado como vía alternativa para entrar o salir de los lugares afectados en caso de que la carretera principal fuese obstruida, de igual forma mejorar el tramo que une este camino con la vía principal y que pasa al este y por el norte del hotel Memories Jibacoa. En caso de que sea necesario reconstruir la carretera, hacerlo por fuera de las áreas de peligro.

- Reforestar las áreas bajo peligro, sobre todo los sectores al sur de la carretera, con especies resistentes a los deslizamientos y que sean parte de las formaciones vegetales del lugar, específicamente se propone el almácigo rojo (*Bursera simaruba*) por su resistencia demostrada en la práctica de las áreas recientemente afectadas.

- En el caso del tramo tres, cuando las intensas lluvias estén asociadas a ciclones tropicales, tratar de permanecer en esta área lo menos posible, incluso el personal destinado al cuidado ellas.

- Mantener vías de comunicación telefónicas alternativas.

- Explicar a los directivos de las instalaciones, los resultados y medidas que se publican en el presente informe.

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

Arango, J. (2000). “Relaciones lluvia-deslizamiento y zonificación geotécnica en la comuna 2 de la ciudad de Manizales”, Tesis de Grado, Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Colectivo de Autores. (2012). Guía metodológica para el estudio de peligro, vulnerabilidad y riesgo por deslizamientos de terreno a nivel municipal, Versión 4. Grupo Nacional de Evaluación de Riesgos. Agencia del Medio Ambiente. CITMA.

Highland, Lynn M.; Bobrowsky, Peter (2008). Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre derrumbes, (Digital) Servicio Geológico de los Estados Unidos, Reston, Virginia.

Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Universidad Industrial de Santander”, 557 p.

WESTEN C.J. (2002). Deterministic landslide hazard zonation, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC).

<http://www.itc.nl/ilwis/applications/application06.asp>.