

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.



Universidad de Pinar del Río

Facultad Geología - Mecánica

Dpto. de Geología

Trabajo de diploma.

**Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque
Nacional Viñales.**

Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Geólogo.

Autor: Darlenys Govea Blanco

Tutor: MSc. Carlos Díaz Guanche

Lic. Hermes Farfán González

Pinar del Río, 2009

Darlenys Govea Blanco

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy autora de este Trabajo de Diploma y que autorizo a la Universidad de Pinar del Río, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____



Darlenys Govea Blanco
dgblancogeomail.upr.edu.cu

Darlenys Govea Blanco autoriza la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia Creative Commons de tipo **Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada**, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Darlenys Govea Blanco autoriza al Dpto. de Geología adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: "[Inserte URL del repositorio]"

Darlenys Govea Blanco autoriza al Dpto. de Geología adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de tesis disponible en: <http://revistas.mes.edu.cu>

AGRADECIMIENTOS

Al Lic. Hermes Farfán y el MSc. Carlos Díaz Guanche tutores de esta tesis por su incondicional ayuda en la elaboración de este trabajo.

A mi novio Jorge A. Hernández Chávez por brindarme tanto apoyo y ayudarme en todo lo que necesite.

A todos mis compañeros que siempre me apoyaron. En especial a Georges Morales, con el cual siempre pude contar para la confección de los mapas

A mis padres porque sin su ayuda me hubiera sido muy difícil concluir este trabajo.

A todo el colectivo de profesores de la Facultad de Geología de la Universidad de Pinar del Río, por transmitir todos sus conocimientos durante estos cinco años.

Mis suegros y familia en general por su apoyo.

RESUMEN

Para la planificación adecuada de cualquier territorio en cuestión, y especialmente las áreas protegidas, conocer los peligros naturales que la afectan es una herramienta de incalculable valor. El Área Protegida del Parque Nacional Viñales, no contaba con un estudio detallado de los peligros naturales que la afectan, por lo que las estrategias de prevención y reducción de desastres se insertaban de manera heurística. En este sentido, el presente trabajo se centró en un estudio sobre los principales peligros naturales que afectan al área, que igualmente sirviera como base para la planificación del territorio. Para esto, se integraron un grupo de metodologías que permitieron describirlos y cartografiarlos. Como resultado principal, se obtuvieron un conjunto de mapas temáticos donde se muestran las principales áreas afectadas, lo cual posibilitará, contar con una herramienta para mejorar las estrategias de vigilancia y protección en el área.

PALABRAS CLAVES:

Peligro, reducción de desastres, área protegida

SUMMARY

For the appropriate planning of any territory in question, and especially the protected areas, to know the hazards that affect it, is a tool of incalculable value. The Protected Area National Park Viñales didn't have a detailed study of the hazards that affect it. For this reason, the strategies of prevention and reduction of disasters were inserted in a heuristic way. In this sense, the present work was centred in a study about the main hazards that affect the area that equally, served like base for the planning of the territory. For this, they were integrated a group of methodologies that allowed to describe and mapping. As a result main, they were obtained a group of thematic maps where the main affected areas are shown, that which will facilitate, to have a tool to improve the strategies of surveillance and protection in the area

KEY WORDS:

hazards, reduction of disasters, protected area

CONTENIDO

CAPÍTULO I PELIGROS NATURALES. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.	12
I.1 PELIGROS O AMENAZAS NATURALES. CONCEPTOS	12
I.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PELIGROS	13
I.3 PELIGROS NATURALES QUE AFECTAN AL PARQUE NACIONAL VIÑALES	14
I.3.1 Peligros geológicos	15
Deslizamientos	15
Erosión	16
Tipos de erosión	16
Colapsos	17
I.3.2 Peligros hidrológicos	17
Inundaciones	17
Erosión Hídrica	18
I.3.3 Peligros meteorológicos	18
Precipitaciones	18
Tormentas locales severas	19
Ciclones tropicales	20
Descargas eléctricas	20
I.3.4 Peligros biológicos	21
Incendios forestales	21
CAPÍTULO II METODOLOGÍA UTILIZADA.	22
II. 1 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS TEMÁTICOS.	23
II.1 CARTOGRAFÍA DE LA EROSIÓN. (MÉTODO PNUMA-FAO)	24
II.2 CARTOGRAFÍA DE LAS INUNDACIONES.	27
Factor Geológico	27
Factor Geomorfológico	28
Factor Climático	29
Factor Hidrológico	30
Factor Edafológico	31
Factor Vegetación	31
DESCARGAS ELÉCTRICAS	32
DESPRENDIMIENTOS CÁRSICOS	32
DESLIZAMIENTOS	33
CAPÍTULO III CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA DEL ÁREA PROTEGIDA DEL PARQUE NACIONAL VIÑALES	34
UBICACIÓN GEOGRÁFICA	34
GEOMORFOLOGÍA	36
CLIMA	38
HIDROLOGÍA	38
SUELOS	39
BIODIVERSIDAD	40
VEGETACIÓN	41
FAUNA	41

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

DIVERSIDAD PAISAJÍSTICA.....	43
CAPÍTULO IV CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS REGIONALES DEL ÁREA PROTEGIDA DEL PARQUE NACIONAL VIÑALES.....	47
IV CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	47
IV.1 Estratigrafía	47
IV.2 Tectónica	56
CAPÍTULO V ESCENARIOS DE PELIGROS NATURALES DEL PARQUE NACIONAL VIÑALES. ..	63
V. 1 ANÁLISIS DE LA EROSIÓN.....	63
V.1.1 Análisis del Mapa de Erodavilidad	63
V.1.2 Análisis del Mapa de Estados Erosivos	65
V.1.3 Análisis de las inundaciones del área.....	68
V.1.4 Descargas eléctricas.....	72
V.1.5 Desprendimientos cárnicos	73
V.1.6 Deslizamientos.....	74
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80

INTRODUCCIÓN

Desde el surgimiento de la humanidad el hombre escogió como lugar de asentamiento aquellos que estuvieran cercanos a ríos, mares y laderas de montañas, muchas veces volcanes activos o zonas donde se producían movimientos tectónicos y deslizamientos. Estas ciudades frecuentemente eran afectadas por fenómenos naturales, que se atribuían a la ira de los dioses, causando pérdidas de vidas humanas y daños al ambiente como resultado de la escasa preparación de sus habitantes para enfrentarlos. Ello lo demuestra el sismo ocurrido en Grecia en el 425 A.C. que convirtió a Eubea en una isla (Seco, 2004).

Los peligros naturales son procesos naturales de diverso origen que perjudican al hombre. De tal manera, el término se asocia a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos) u originados por el fuego que, por razón del lugar en que ocurren, su severidad y frecuencia, pueden afectar de manera adversa a los seres humanos, a sus estructuras o actividades.

En la actualidad, cerca del 75 % de la población mundial se encuentra expuesta a la ocurrencia de peligros naturales. Gran parte de los asentamientos humanos se hallan en zonas de peligros por estar ubicados muy cerca de volcanes, montañas, zonas costeras, terrenos bajos con mal drenaje, corrientes fluviales entre otros, lo que acarrea afectaciones no solo a la sociedad sino también al medio natural.

Latinoamérica en particular está muy expuesta a peligros naturales de diversa índole, debido a las condiciones precarias en que viven, que al conjugarse con la falta de planificación a diferentes niveles para la prevención y mitigación de sus efectos, provoca pérdidas de vidas humanas y cuantiosos daños económicos y sociales.

Los estudios para la reducción de desastres comenzaron a realizarse en Cuba como una necesidad imperiosa de protección de la sociedad, la economía y el medio ambiente. Teniendo en cuenta la compleja posición geográfica y la morfología de nuestro Archipiélago entre las Penínsulas de Yucatán y La Florida, hace que nuestro territorio se interponga en la trayectoria de la mayoría de los huracanes que se forman en las cálidas aguas del mar Caribe y del Atlántico Sur y vienen subiendo

hacia el Golfo de México. Constituye además, una característica específica de nuestra posición geográfica su cercanía a la zona sismogeneradora, originada por el contacto entre las Placas del Caribe y la de Norteamérica que acarrea una amenaza sísmica constante, en especial para las provincias orientales del país.

Los mayores peligros naturales que se identifican en el territorio cubano son los de carácter hidrometeorológicos entre los que se pueden mencionar: lluvias intensas, ciclones tropicales, penetraciones del mar, y otros. A estos se le adiciona la sequía, de amplia presencia en el país, la cual se intensifica por la permanencia y extensión del período seco en los últimos años en el territorio nacional. Otros peligros naturales son los geológicos hallándose en este grupo los sismos, que ocurren particularmente en la zona oriental del país y los geomorfológicos entre ellos los procesos de movimientos de ladera, vinculados principalmente a las zonas montañosas.

Las pérdidas humanas y económicas como consecuencia de desastres naturales han disminuido paulatinamente en el país desde el triunfo de la Revolución. Ello es resultado entre otras acciones, de la creación del Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil, el cual a través de la implementación de un conjunto de medidas protege no solo a la población, sino también los bienes materiales, así como la elevada cultura que tiene hoy el pueblo sobre los peligros naturales que lo afectan. La necesidad de prever, evaluar y preparar al país para la Reducción de Desastres en sus diferentes etapas, esta refrendada en el Capítulo VIII, artículo 670 de la Constitución de la República de Cuba, e incluida en 6 leyes, 18 Decretos Leyes, 7 Decretos y múltiples Directivas y Resoluciones estatales y ministeriales.

El Parque Nacional Viñales – objeto de esta investigación-, como el resto de los paisajes naturales, conforma un gran potencial para el desarrollo, ya que cuenta con diferentes esferas como son la agricultura, el turismo, y la recreación. Por ello la necesidad de conservar este paisaje y el propósito de elevar la calidad de vida de las personas que habitan este lugar. Enfrentar los cambios sociales representa un importante reto que asumen hoy los gestores del desarrollo en esta área. El Paisaje Cultural de la Humanidad “Valle de Viñales” declarado por la UNESCO colinda con

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

este y por consiguiente, tienen una zona común. En esta área, la ocurrencia de peligros que se asocian son los de índole hidrológica, debido a sus características peculiares.

En el caso del Área Protegida del Parque Nacional Viñales, no se cuenta con un estudio detallado de los peligros que la afectan (al menos en sus archivos o asequible), por lo que su administración no cuenta con estrategias adecuadas de prevención y reducción de desastres. Solo se cuenta con un estudio, centrado en los peligros a inundaciones pluviales y fluviales en el Valle de Viñales, (Ulloa, 2008). De tal manera que, la inserción de este tema en los planes de manejo se hace de manera heurística.

Como quiera que sea, *la carencia de una investigación que identifique los escenarios de peligro que afectan al área protegida del Parque Nacional Viñales* es un problema identificado por los gestores de estas áreas.

En este sentido, para la resolución de este problema nos planteamos la siguiente hipótesis:

Si se identifican y cartografían los escenarios de peligro que afectan al área protegida del Parque Nacional Viñales, se constará con una poderosa herramienta diseñada para la toma de decisiones, permitiendo proponer las medidas a incluir en el Plan Director para la Vigilancia, Prevención y Mitigación de Riesgos, propiciando un trabajo más completo y coherente de los decisores locales en caso de catástrofes o en la previsión de las mismas.

Con este propósito y considerando la importancia del tema nos trazamos como objetivo principal *realizar el estudio de los escenarios de peligros naturales que afectan a las áreas del Parque Nacional Viñales, que sirva como base para la prevención y mitigación de desastres naturales y la planificación del territorio.*

De esta manera, se definen como objetivos específicos los siguientes:

- *Identificar los peligros, según su tipología, que afectan el área del Parque Nacional Viñales*
- *Crear el Mapa de Peligros Naturales.*

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

Como fuente de información se tomaron textos y artículos de autores nacionales y extranjeros, además de consultar investigaciones sobre el tema tratado.

El trabajo ha sido estructurado en cinco capítulos:

- Capítulo I Fundamentación Teórico: que recoge diversas definiciones y clasificaciones encontradas de peligros naturales.
- Capítulo II Metodología Aplicada: donde se explican las metodologías aplicadas
- Capítulo III Caracterización Físico-Geográfica del Área Protegida del Parque Nacional Viñales: este capítulo trata sobre la situación geográfica, el medio social, hidrología, suelos, flora, vegetación, y paisajes de esta área entre otros.
- Capítulo VI Características geológicas regionales del Área Protegida del Parque Nacional Viñales: se dará a conocer sobre las características geológicas y la tectónica presente en el Parque Nacional Viñales.
- Capítulo V Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales: se referirá a las principales zonas propensas a todos los fenómenos naturales que constituyen una amenaza para el lugar.

CAPÍTULO I PELIGROS NATURALES. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

En este capítulo se analizarán los peligros naturales que ocurren con mayor frecuencia en el Parque Nacional Viñales, por lo que resulta necesario referirse brevemente a las diversas definiciones dadas por la comunidad científica de los términos peligros o amenaza. También aparece la clasificación de estos fenómenos dada por especialistas, así como el criterio que asumido en cada caso. Esto permitirá una mejor comprensión del tema a tratar en el presente trabajo.

I.1 Peligros o amenazas naturales. Conceptos

Los peligros o amenazas naturales han sido definidos por diversos autores. Una de ellas es la dada por Alfonso(2005), quien considera peligro como *la probabilidad de ocurrencia, dentro de un período de tiempo específico y para un área determinada, de un fenómeno de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre con consecuencias potencialmente destructoras.*

Para el International Strategy for Disaster Reduction/Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (ISDR, 2002), peligro es *un evento físico, fenómeno y/o actividad humana potencialmente dañina, que puede causar muerte, lesiones o daños a la propiedad, caracterizado por su localización, intensidad y probabilidad.*

Las amenazas o peligros de origen natural se refieren específicamente a *todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos y geológicos, que forman parte de la historia y de la coyuntura de la dinámica geológica, geomorfológica, climática y oceánica del planeta y que por su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y actividades.* (CCAD/SICA¹, 1999)

Según el Centro Regional de Información sobre Desastres (CRID, 1998), *el peligro no es más que la probabilidad de que algún fenómeno de origen natural o humano se produzca en un determinado tiempo y espacio. Peligro potencial de que las vidas o bienes materiales humanos sufran un perjuicio o daño.*

¹ Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo / Sistema de Integración Centroamericana

Por su parte el MES (2003), define peligro como, *la probabilidad de que se produzca en un período determinado y en una zona dada, un fenómeno particularmente nocivo cuya magnitud, intensidad, frecuencia, duración y posibilidad de ocurrencia, amenace con daños al hombre, su entorno o sus fuentes de vida.*

Sánchez (2005), plantea que el peligro no es más que *la probabilidad de que un área en particular sea afectada por algún elemento perturbador (inundaciones, ciclones, penetraciones marinas, contaminación).* Además plantea que *peligro natural o amenaza natural es un fenómeno natural, potencialmente dañino, cuya ocurrencia e intensidad en cierta área y en un determinado período de tiempo es incierta y se origina sin participación humana (sismos, temporales marinos, volcánicos etc.).*

Según el glosario de términos de la Defensa Civil del 2002 el peligro de desastres se define como *un probable evento extraordinario o extremo, de origen natural, tecnológico o sanitario, particularmente nocivo que puede producirse en un momento y lugar determinado y que con una magnitud, intensidad, frecuencia y duración dada puede afectar desfavorablemente la vida humana, la economía y/o las actividades de la sociedad al extremo de provocar un desastre.*

De tal manera podemos resumir que los peligros naturales no son más que: *la fragilidad que presenta un territorio ante la ocurrencia de un fenómeno natural determinado, el que puede provocar pérdidas de vidas humanas, daños en los bienes sociales y económicos así como la alteración del paisaje.* La intensidad, magnitud y duración del mismo dependen de las características físico - geográficas y socio - económicas que posea el territorio.

I.2 Clasificación de los peligros

Los peligros son clasificados por muchos autores de diversas formas por ejemplo:

En el sitio web del Centro Regional de Información sobre Desastres se plantea que los peligros pueden ser de tres tipos según su origen:

- Geológicos: (tierra) donde se encuentran los sismos, las erupciones volcánicas, las avalanchas y los deslizamientos.

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

- Hidrometeorológicos: (agua) aquellos tales como: las inundaciones, huracanes, lluvias intensas, granizadas, etc.
- Tecnológicos: (cultura humana) se pueden mencionar: la ruptura de un poliducto, incendio a desechos tóxicos de la actividad agrícola, o industrial y otras acciones del hombre que elevan la probabilidad de los desastres.

Según la Directiva No. 1 del Consejo de Defensa Nacional. (2005) clasifican los peligros en:

- *Naturales* (ciclones tropicales, intensas lluvias, tormentas locales severas, penetraciones del mar, deslizamientos de tierra, sismos, intensas sequías e incendios en áreas rurales).
- *Tecnológicos* (accidentes catastróficos del transporte, accidentes con sustancias peligrosas, derrumbes de edificaciones, ruptura de obras hidráulicas).
- *Sanitarios* (enfermedades que pueden originar epidemias, epizootias, epifitas y plagas cuarentenarias)

Por su parte, Seco (1996), plantea que los peligros según el proceso pueden ser:

- Exógenos: inundaciones, sequías, deslizamientos y avalanchas.
- Endogenéticos: vulcanismos y sismos.
- Antropogenéticos: colapso de estructuras, terremotos por la construcción de grandes embalses y subsidencia por extracción de petróleo.

No obstante, hay que tener presente que, la realidad puede superar los cálculos, estimaciones o apreciaciones realizadas y en tal sentido, un peligro de origen natural puede derivar en un accidente tecnológico o sanitario catastrófico.

I.3 Peligros naturales que afectan al Parque Nacional Viñales

Los peligros naturales que afectan directamente El Parque Nacional se resumen en el gráfico a continuación. (**Tabla I.1**).

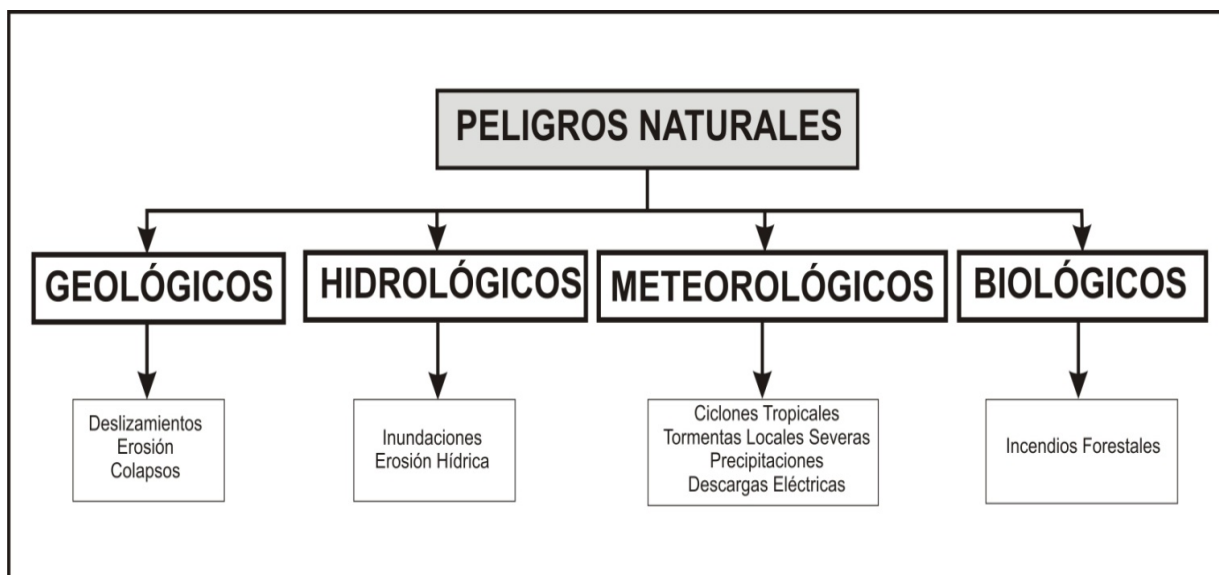


Tabla I.1 Peligros naturales que afectan directamente El Parque Nacional (Elaborada por la autora)

I.3.1 Peligros geológicos.

Deslizamientos

Los deslizamientos son desplazamientos de masas de tierra o rocas por una pendiente en forma súbita o lenta. El deslizamiento o derrumbe, es un fenómeno de la naturaleza que se define como “*el movimiento pendiente abajo, lento o súbito de una ladera, formado por materiales naturales - roca- suelo, vegetación-o bien de rellenos artificiales*”. Los deslizamientos o derrumbes se presentan sobre todo en la época lluviosa o durante períodos de actividad sísmica (Ibañez, 2008)

Los deslizamientos se clasifican en: traslacionales, o rotacionales según la superficie de despegue se plana o cóncava, respectivamente. En los deslizamientos por rotación, el giro se efectúa conforme a un eje paralelo a la fachada. En tales casos, los frentes de avance y/o las terrazas de asentamiento, podrían quedar, incluso, a contra-pendiente.

Existen dos tipos de deslizamientos o derrumbes

- Deslizamientos lentos: Son aquellos donde la velocidad del movimiento es tan lento que no se percibe. Este tipo de deslizamiento genera unos pocos

centímetros de material al año. Se identifican por medio de una serie de características marcadas en el terreno.

- Deslizamientos rápidos: Son aquellos donde la velocidad del movimiento es tal que la caída de todo el material puede darse en pocos minutos o segundos. Son frecuentes durante las épocas de lluvias o actividades sísmicas intensas. Como son difíciles de identificar, ocasionan importantes pérdidas materiales y personales.

Erosión

Se denomina erosión al proceso de sustracción o desgaste de la roca del suelo intacto (roca madre), por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glaciario, el viento, los cambios de temperatura o la acción de los seres vivos. El material erosionado puede estar conformado por:

- Fragmentos de rocas creados por abrasión mecánica por la propia acción del viento, aguas superficiales, glaciares y expansión-contracción térmica por variaciones estacionales o diurnas.
- Suelos, los cuales son creados por la descomposición química de las rocas mediante la acción combinada de ácidos débiles disueltos en agua superficial y meteórica, hidrólisis, ácidos orgánicos, bacterias, acción de plantas, etc.

Tipos de erosión

- Erosión por agua y erosión fluvial: Se le denomina al desplazamiento debido al agua, provocando el humedecimiento de la tierra y que esta se deslave, ya sea por pendiente a cuesta o pendiente en vertical. En los ríos, lagos y mares la erosión es más visible, las corrientes se llevan rocas y arena provocando que el cauce del río se vaya hundiendo y formando paredes verticales, provocando la formación de un cañón o barranco. En los mares las olas provocan que la arena se vaya reduciendo y llevándosela en las corrientes marinas, en el caso de los acantilados, éstos se van hundiendo poco a poco formando un fondo hueco. En los lagos sucede algo igual pero en menor medida.

- Erosión Carsica: Se da cuando el agua se interna dentro de la tierra y disuelve las rocas y granos de tierra cercanos. Se suele presentar en ríos subterráneos y ojos de agua, cuando la tierra ya es muy débil para sostener lo de la superficie, se hunde y forma un boquete o agujero más o menos grande. Esta erosión se presenta en lugares de agua abundante y forma cuevas y grutas, en las ciudades se suele presentar cuando hay una fuga de agua subterránea. También se suele presentar como una reacción química en agua ligeramente ácida sobre las rocas internas, esta producen también el hundimiento de la tierra.

Otros tipos de erosión son: Erosión biótica, Erosión glaciár, Erosión eólica, Erosión marina, pero estos no afectan al Parque Nacional de Viñales.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Erosi%C3%B3n>

Colapsos

Los colapsos o desplomes, se encuentran asocian a la perdida de estabilidad de la superficie debido a la presencia de una cavidad bajo esta. Este fenómeno puede tener un origen natural o antrópico.

En el caso de los territorios cársicos es uno de los principales peligros naturales que lo afectan, debido a que en estos territorios se crean zonas inestables por la presencia de cuevas bajo la superficie. El colapso se debe a varios factores entre los que podemos citar: espesores de capa sobre la cavidad, factores de equilibrio de la bóveda de la cueva, intensidad de la fracturación, ángulo de fricción interno, disolución, entre otros.

Los estudios de este tipo son muy puntuales, y se realizan para la proyección de obras ingenieras en, y sobre una cavidad (Scheidegger, 1961; White, 1988; Ford and Williams, 1989; Parise and Gunn, 2007, Waltham and Lu, 2007; entre otros).

I.3.2 Peligros hidrológicos

Inundaciones

Las inundaciones son la mayor causa de efectos dañinos inducidos por el agua a la sociedad (Yevjevich, 1992). El término inundación proviene del verbo inundar,

proveniente del latín inundare: dicho del agua: Cubrir los terrenos y a veces las poblaciones. Este fenómeno ha provocado en el siglo XX unas 3.2 millones de pérdidas de vidas humanas, lo que representa la mitad de los fallecidos por desastres naturales a nivel mundial, así como también trae consigo pérdidas millonarias en la economía de los países.

www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/08RiesgN/130Inund.htm

Las inundaciones se definen como *estado en el que el cauce de la corriente se llena y pasado el nivel se desbordan las aguas, inundando así las zonas que normalmente no lo están* www.rinamed.net/es/es_ris_inun.htm. Atendiendo a su origen, estas pueden ser:

- Por precipitaciones “*in situ*”
- Por avenidas o desbordamiento de los ríos, lagos o marismas, provocadas o potenciadas por precipitaciones, deshielo, obstrucción de los lechos de los ríos o la acción de mareas y vientos.
- Por rotura o por operación incorrecta de obras de infraestructura hidráulica.

Erosión Hídrica

La desagregación, transporte y sedimentación de las partículas del suelo por las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial definen el proceso de *erosión hídrica*. Este se ve afectado por varios factores, como puede ser, el clima, el suelo, la vegetación y la topografía. http://es.wikipedia.org/wiki/erosion_hidrica

I.3.3 Peligros meteorológicos

Precipitaciones

Es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie. Esto incluye básicamente: lluvia, nieve, granizo. (También rocío y escarcha que en algunas regiones constituyen una parte pequeña pero apreciable de la precipitación total). Las lluvias muy intensas y, consecuentemente, las inundaciones que ellas producen, pueden ser causadas o inducidas por los huracanes. Los efectos de estos fenómenos al ambiente no son restringidos solamente a los cambios del relieve.

En relación a su origen pueden distinguirse precipitaciones *ciclónicas*, de *convección* y *orográficas*. Las *ciclónicas* son las provocadas por los frentes asociados a una borrasca o ciclón. Las de *convección* se producen por el ascenso de bolsas de aguas calientes; son las tormentas de verano. Las precipitaciones *orográficas* se presentan cuando masas de aire húmedo son obligadas a ascender al encontrar una barrera montañosa. La mayor parte de precipitación recogido en una cuenca se debe a las precipitaciones ciclónicas. <http://web.usl.es/~javisan/hidro>

Tormentas locales severas

Ninguna región del país está exenta de la ocurrencia de las tormentas locales severas, las cuales se producen a escala local causando grandes daños a la población y a los recursos económicos de los territorios que afecta. Pueden formarse líneas de tormentas eléctricas prefrontales o líneas de turbonadas, que son eventos de rápido desarrollo y afectan fundamentalmente a la región occidental el país durante el invierno. Las tormentas locales severas son aquellas que se producen localmente con descargas eléctricas, rachas de vientos con velocidades muy superiores a 18 m/seg., aguaceros espontáneos y granizadas, así como tornados, turbonadas, etc.

La mayoría de los tornados en Cuba, casi el 90%, según las estadísticas ocurren entre el mediodía y el atardecer, desde las 12.00 hasta las 19.00 horas, con una mayor frecuencia entre las 15.00 y las 18.00 horas. Existen dos mecanismos fundamentales de formación de los tornados, el primero asociado a la ocurrencia de líneas prefrontales (entre los meses de diciembre a mayo) y el segundo, más característico de los meses de verano, se encuentra condicionado por los patrones de reforzamiento sinóptico, favorecidos por la confluencia de las brisas de la costa Norte y costa Sur que tiene lugar en el interior del país.

Estos eventos pueden ocasionar víctimas y daños económicos significativos ya que, según los estudios realizados, ha quedado demostrado que a partir de mediados de la década de los años 70 del pasado siglo, las descargas eléctricas constituyen la principal causa de muerte por fenómenos meteorológicos en Cuba.

Ciclones tropicales

Los ciclones tropicales son sistemas de bajas presiones con núcleo cálido, alrededor del cual el aire gira en sentido contrario a las manecillas del reloj (en el hemisferio norte) y tienen un diámetro que oscila entre 320 y 770 kilómetros. (Rubiera et al, 2006).

A los huracanes se le aplica una escala de categorías de acuerdo con la intensidad del mismo. Esta escala es la de *Saffir-Simpson* y se expresa así (Rubiera et al, 2006). (**Tabla I.2**)

Categoría	Presión Central (hPa)	Viento Máximo Sostenido (km/h)	Daños
1	≥980	118 a 153	Mínimos
2	979 - 965	154 a 177	Moderados
3	964 - 945	178 a 209	Extensos
4	944 - 920	210 a 249	Extremos
5	<920	250 o más	Catastróficos

Tabla I.2 Clasificación de los huracanes según la escala de Saffir-Simpson (Rubiera et al, 2006).

Descargas eléctricas

La atmósfera contiene iones, pero durante una tormenta se favorecen la formación de los mismos que tienden a ordenarse. Los iones positivos en la parte alta y los negativos en la parte baja de la nube. Además la tierra también se carga de iones positivos. Todo ello genera una diferencia de potencial de millones de voltios que acaban originando fuertes descargas eléctricas entre distintos puntos de una misma nube, entre nubes distintas o entre la nube y la tierra: a dicha descarga eléctrica la denominamos rayo. El relámpago es el fenómeno luminoso asociado a un rayo, aunque también suele darse este nombre a las descargas eléctricas producidas entre las nubes. <http://www.orange.es>

I.3.4 Peligros biológicos

Incendios forestales

Un Incendio Forestal es un tipo de incendio caracterizado por producirse y desarrollarse principalmente en zonas naturales con vegetación abundante.

http://es.wikipedia.org/wiki/incendio_forestal

Si bien las causas inmediatas que dan lugar a los incendios forestales pueden ser muy variadas, en todos ellos se dan los mismos presupuestos, esto es, la existencia de grandes masas de vegetación en concurrencia con periodos más o menos prolongados de sequía.

El calor solar provoca deshidratación en las plantas, que recuperan el agua perdida del sustrato. No obstante, cuando la humedad del terreno desciende a un nivel inferior al 30% las plantas son incapaces de obtener agua del suelo, con lo que se van secando poco a poco. Este proceso provoca la emisión a la atmósfera de etileno, un compuesto químico presente en la vegetación y altamente combustible. Tiene lugar entonces un doble fenómeno: tanto las plantas como el aire que las rodea se vuelven fácilmente inflamables, con lo que el riesgo de incendio se multiplica. Y si a estas condiciones se suma la existencia de períodos de altas temperaturas y vientos fuertes o moderados, la posibilidad de que una simple chispa provoque un incendio se vuelven significativa.

www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/08RiesgN/130Inund.htm

CAPÍTULO II METODOLOGÍA UTILIZADA.

Los trabajos constaron fundamentalmente de dos partes, una de gabinete en la cual en una primera instancia se realizó una compilación y un análisis crítico de la información acumulada y posteriormente se realizó el procesamiento y análisis de los datos obtenidos en la etapa de campo luego se elaboraron los resultados finales; y otra de campo en donde se realizaron encuestas a la población para enriquecer la compilación realizada, ya que algunos eventos no están documentados. Por otra parte, también se realizaron observaciones y mediciones en las áreas afectadas por el paso de los huracanes Gustav e Ike, enfocándonos en las inundaciones provocadas por este último. Estas dos partes se pueden dividir en las siguientes etapas (**Figura II.1**):

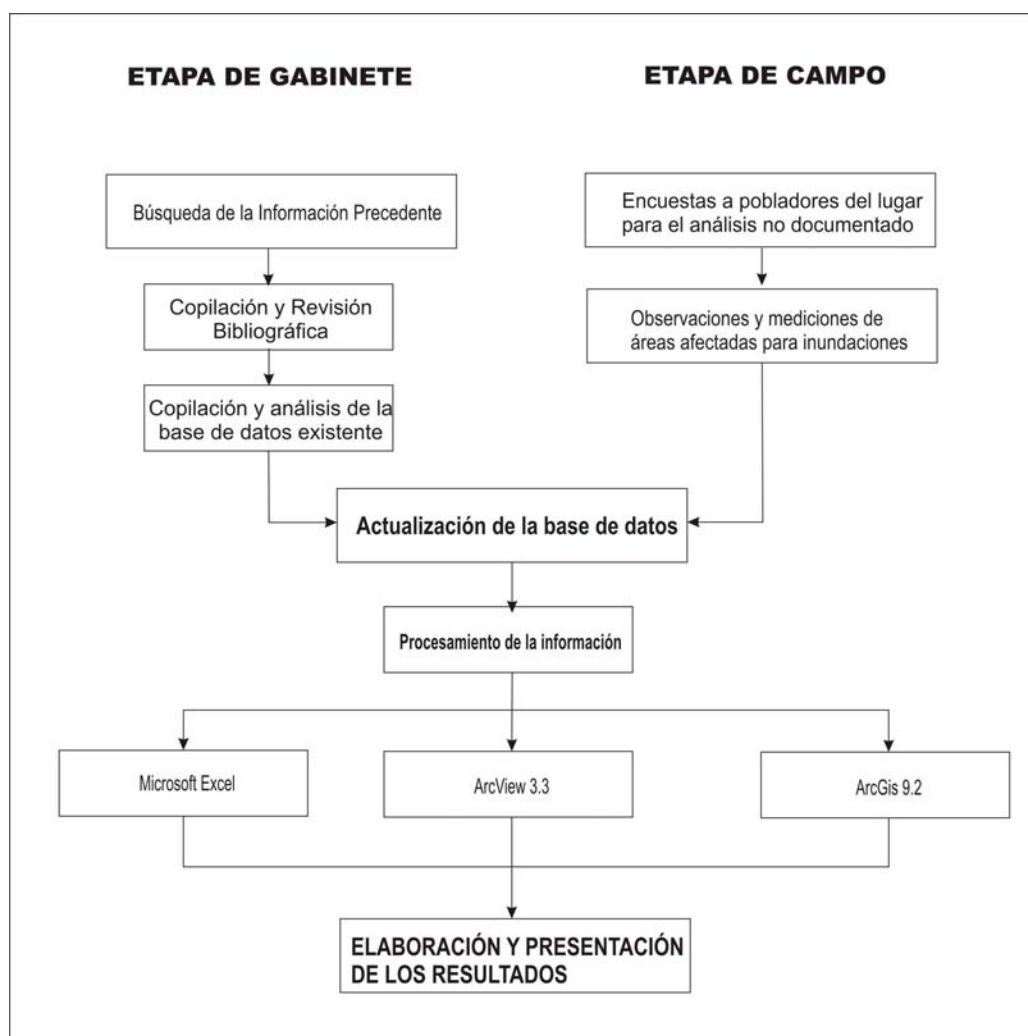


Figura II.1 Diagrama de flujo de la investigación.

II. 1 Metodología utilizada para la elaboración de los Mapas Temáticos.

Los mapas de peligros naturales según CENDRERO (1987) deben proporcionar información para establecer normas preventivas, determinar medidas correctivas, establecer sistemas de alerta y diseñar planes de protección civil.

Este tipo de cartografías que recogen una valoración de diferentes riesgos naturales deben presentar una serie de características entre las que destacan las siguientes (CENDRERO, 1980):

- Objetividad en cuanto a la representación de los aspectos físicos y ambientales del territorio.
- Inclusión de factores potencialmente relevantes para su uso.
- Versatilidad de uso.
- Utilidad y facilidad de comprensión de cara a su empleo.
- Sistema de realización mediante la delimitación de áreas homogéneas con respecto a determinadas características o parámetros, o cuando menos áreas de potencial y respuesta homogénea para distintas actuaciones humanas.

Las metodologías existentes para elaborar este tipo de cartografías pueden agruparse inicialmente en dos grandes categorías (DIAZ DE TERAN, 1988):

1. *Metodologías de carácter sintético, que acuden a la delimitación y representación de unidades integradas.*

Estas metodologías tratan de establecer una diferenciación de porciones del territorio que tienen una cierta homogeneidad interna y que son diferenciables de otras en la misma zona. Estas divisiones integradas se denominan también unidades geoambientales, de paisaje, morfodinámicas, etc.

La configuración y delimitación de unidades homogéneas puede abordarse mediante la cartografía directa por medio de fotografía aérea, teledetección y en cualquier caso, con chequeo posterior en el campo.

La elaboración de estos mapas resulta relativamente sencilla a partir de un mapa geomorfológico.

2. *Metodologías de carácter analítico, que acuden a representar por separado aspectos concretos del territorio.*

Consiste en la clasificación y subdivisión del territorio en base a la utilización de atributos seleccionados. Se considera el territorio, no subdividido en unidades geoambientales, sino algo constituido por la superposición o agregación de una serie de elementos. Cada uno de ellos da lugar a un mapa temático. Se obtienen tantos mapas como elementos se han inventariado.

Se pueden realizar mapas de pendiente, litología, suelos, vegetación, etc. Un determinado territorio queda así definido por un conjunto de valores cuya agregación posterior permitirá obtener el valor de conjunto.

En general, todo este tipo de mapas tienen carácter descriptivo e intentan reflejar los rasgos objetivos del medio y los parámetros que lo caracterizan. Mediante la combinación de los diferentes mapas descriptivos por procesos de superposición y de agregación ponderada se obtienen mapas de carácter interpretativo que representan cualidades o variables significativas del territorio en función de los usos humanos (CENDRERO, 1987).

II.1 Cartografía de la erosión. (Método PNUMA-FAO)

Para la cartografía de la erosión se siguió el método PNUMA-FAO (Griesbach, et al. 1997) que permite mapear los estados erosivos. En este sentido, se considera que los estados erosivos, representan a la erosión per se, por lo que pueden ser utilizados indistintamente para nombrar un mismo fenómeno. Para esto nos basaremos en la cartografía derivada de los procesos llevados a cabo para la elaboración de la cartografía temática de base (pendientes, usos y aprovechamientos, geología, etc.).

Primeramente se genera un mapa de erodabilidad. Este concepto expresa la influencia de las propiedades físicas y químicas de un suelo en la erosión, a través de la infiltración, permeabilidad, capacidad de retención de agua, etc., se expresa en unidades de peso por unidades de superficie para situaciones "estándar" de

morfología y uso (factor K de la U.S.L.E.). Este mapa se obtiene a partir del cruce entre los mapas de pendientes y de litofacies usando la siguiente matriz (**Tabla II.1**).

Para la obtención del Mapa de Pendientes se utilizó el Modelo Digital de Elevaciones (1: 25 000) que expresa la morfología del terreno, a partir de la obtención del TIN (Red Irregular Triangulada). Una vez obtenido el GRID – MDE se reclasificará en los siguientes 5 valores.

Se entiende por Litofacies a las características de dureza y resistencia de los materiales que componen la superficie terrestre ante procesos físico-químicos tales como la erosión o la meteorización. Algunos aspectos a tener en cuenta dentro de este elemento son por ejemplo la permeabilidad de la roca, el contenido en humedad, y la textura o la estructura entre otros. En el caso de las litofacies se clasificarán en 3 intervalos Baja, Media y Alta compacidad según los criterios antes establecidos (Ruiz y Reyes, 2005). Este mapa se obtiene a partir del Mapa Geológico a escala 1: 100.000 (IGP).

Rangos de pendiente	Litofacies		
	Complejo carbonatado	Complejo carbonatado-terrágeno	Complejo terrígeno
< 3 %	Muy Baja	Muy Baja	Baja
3-12 %	Muy Baja	Baja	Media
12-20%	Baja	Media	Alta
20-35 %	Media	Alta	Muy Alta
> 35 %	Alta	Muy Alta	Muy Alta

Tabla II.1 Cruce entre litofacies y las pendientes (simplificado de Griesbach, et al. 1997).

Posteriormente, se genera el mapa de estados erosivos, que se obtiene mediante el cruce del mapa de erodabilidad y el índice de protección del suelo. Este último se elabora a partir del Mapa de Usos del suelo realizado a partir de la fotointerpretación

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

de la imagen Landsat ETM+, que forma parte de la base de datos del Parque Nacional Viñales (confeccionado por Facultad de Geografía de la Universidad de la Habana). A cada uno de los usos se le podrá asociar un % de Cobertura tal y como se verá más adelante, y posteriormente mediante la elaboración de una matriz se podrá generar la clasificación del Grado de Protección o IPS. Los grados de protección asignados a cada uso se definen mediante la (**Tabla II.2**) y (**Tabla II.3**) (Griesvach, et al. 1997)

Leyenda	Clave uso	Clave de protección		
Pastos y Matorrales	13	1	2	3
Cultivos	14	1	2	3
Vegetación de Mogotes	17	1	2	3
Bosque secundario	18	1	2	3
Pinares	20	1	2	3

Tabla II. 2 Asignación del grado de protección a cada uso del suelo donde: 1-. Baja; 2-. Media; 3-. Alta (simplificado de Griesbach, et al. 1997).

Clasificación	Valores del cruce uso/protección
IPS – MUY ALTO	223, 203, 193, 183
IPS – ATO	222, 202, 192, 182, 173
IPS – MEDIO	191, 181, 172, 163, 153, 143, 133
IPS – BAJO	221, 201, 162, 152, 142, 132, 103
IPS – MUY BAJO	171, 161, 151, 141, 131, 102, 101

Tabla II. 3 Clasificación de cubiertas según el índice de protección de suelo asociado (Ruiz Sinoga, et al., 1997).

Por último la superposición de todas las variables anteriores pero de forma resumida en el Mapa de Erodibilidad y el Índice de Protección del Suelo (**Tabla II.4**).

Erodavilidad	Índice de Protección del Suelo				
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Muy Baja	Media	Baja	Baja	Muy Baja	Muy Baja
Baja	Alta	Media	Baja	Muy Baja	Muy Baja
Media	Alta	Alta	Media	Baja	Baja
Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Media	Baja
Muy alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Media

Tabla II. 4 Cruce procedente de las variables Erodibilidad e IPS para la Cartografía de Estados Erosivos (simplificado de Griesbach, et al. 1997)

II.2 Cartografía de las inundaciones.

Se realiza mediante la superposición de diversos mapas temáticos. Para esto se analizan los factores de peligrosidad asociados a tal proceso. Estos factores se describen a continuación.

Factor Geológico

Dentro de la geología se debe tener en cuenta la litología y especialmente la permeabilidad de las rocas que permite conocer si desde el punto de vista geológico el área a estudiar es propicia o no a la ocurrencia de inundaciones. Para ello se utilizará, en este estudio, la clasificación según la permeabilidad de las rocas dada por Sánchez (Seco, 1996), en la que se agrupan los distintos tipos de rocas según el grado de permeabilidad en tres categorías o grupos como aparece a continuación.

- *Rocas permeables:* arenas, guijarros de las playas, bancos de tormentas, arenas aluviales, areniscas y calcarenitas fisuradas, brechas, conglomerados, conglobrechas, olitostromas, mármoles, complejos caóticos, areniscas vulcanomícticas, concreciones calcáreas e intercalaciones flyshoides.

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

- *Rocas medianamente permeables:* arenas gravas, eoleanitas, arenas abigarradas, grauvacas, tobas, tufitas, andesitas, aleurolitas, margas, argilitas, esquistos y tobas metamorizadas, calizas, meta-areniscas, metavulcanitas, serpentinitas, piroxenitas, peridotitas y dunitas serpentinizadas, rocas ultrabásicas metamorizadas.
- *Rocas impermeables:* depósitos carbonatados, terrígenos y turbosos de pantanos, diques de basalto, granodiorita, dioritas, dioritas porfíricas, dioritas cuarcífero-monsoinitas, lagiogranitos, granodeoritas-dioritas cuarcíferas, cuarzo-dioritas porfíricas, granitos biotitomoscovítico, complejo basalto-toleítico, limos y arcillas, gabros.

Teniendo en cuenta la clasificación antes expuesta se puede conocer cuales son las rocas que facilitan la infiltración del terreno y por ende las inundaciones serán menos probables. Por otra parte se conoce cuales son las impermeables y por lo tanto su infiltración será lenta o nula y por consiguiente se producirá una acumulación de agua. Mientras que para aquellas que son medianamente impermeables es necesario tener en cuenta otros factores (suelos, relieve, precipitaciones etc.) para su análisis.

Factor Geomorfológico

Dentro del factor geomorfológico se analizan los elementos fundamentales para las inundaciones, ellos son: el relieve, la altura y de los índices morfométricos: el ángulo de inclinación de la pendiente.

El relieve y la altura son necesarios tener en cuenta ya que existe una estrecha relación entre la altura y las inundaciones. Ejemplo de ello es que en las zonas elevadas no se producen las inundaciones, mientras que en las zonas bajas estas ocurren con una mayor frecuencia.

De los índices morfométricos, se analiza en este estudio el ángulo de la pendiente, por ser de interés para el estudio de peligro por inundaciones. Este ayuda a comprender cómo es el escurrimiento, si mayor o menor. En aquellas zonas donde existe muy poca pendiente o no hay, la posibilidad de que ocurran inundaciones es

mayor, esto se debe a que no se ve favorecido el escurrimiento superficial y el agua puede acumularse en estas áreas; no siendo así en lugares con cierta inclinación en el terreno, lo que permite un buen escurrimiento superficial y por lo tanto no se acumulará agua en estas zonas (**Tabla II.5**).

Código	Rango en grados	Nomenclatura	Procesos característicos	Drenaje
1	0 – 2	Pendiente plana	Empantanamientos Encharcamientos Inundaciones	Deficiente
2	2 – 4	Pendiente poco inclinada	Erosión. Movimientos en masas poco intensos	Poco eficiente
3	4 – 8	Pendiente inclinada	Erosión severa Movimientos en masas poco intensos	Eficiente
4	8 – 16	Pendiente moderadamente abrupta	Erosión severa Movimientos en masa severos	Eficiente
5	16 – 35	Pendiente abrupta	Erosión intensa Movimientos en masa intensos	Eficiente
6	35 – 55	Pendiente muy abrupta	Erosión intensa Movimientos en masa muy intensos	Eficiente
7	> de 55	Pendiente extremadamente abrupta	Erosión intensa Movimientos en masa muy intensos	Eficiente

Tabla II.5 Pendientes, características más significativas (tomada y simplificada de Cabrera, 2002).

Factor Climático

Las precipitaciones influyen de forma directa sobre la ocurrencia de las inundaciones pluviales y fluviales. Esta variable meteorológica es necesaria estudiarla ya que según su intensidad y duración serán las inundaciones que ocurran. Si las precipitaciones son intensas y con un período largo de duración las inundaciones

serán considerables. Mientras que si son escasas y en un período corto de tiempo las mismas tendrán una intensidad leve o no se producirán.

Es necesario tener en cuenta la distribución espacio – temporal de las mismas, ya que su distribución es desigual. En Cuba, en las zonas montañosas precipita más que en las costas. La pluviosidad aumenta de la costa hacia el interior del país.

Otra característica es que en Cuba, las precipitaciones no ocurren con igual magnitud en todo el año, ya que existe una marcada estacionalidad con dos períodos; uno lluvioso y otro poco lluvioso, estas comprenden los meses de mayo a octubre y de noviembre a abril respectivamente. La infiltración es mayor en el período lluvioso que en el seco y por ende ocurren más inundaciones en dicho período.

Factor Hidrológico

Entre los elementos hidrológicos a tener en cuenta en las inundaciones se encuentran: la profundidad del nivel freático y la red de drenaje. En el caso de la profundidad del nivel freático es muy importante, ya que según sea la profundidad que tenga el nivel freático será mayor o menor su influencia en las inundaciones. Si está a unos pocos metros de la superficie la capa de suelo no saturada será pequeña y como consecuencia las inundaciones se producirán con más frecuencia.

Por el contrario si se encuentra a varios metros la capa de suelo saturado tiene un mayor espesor y por consiguiente las mismas se producirán con menor frecuencia que las anteriores.

Cuando se analiza la red de drenaje hay que tener en cuenta las características de las corrientes superficiales y la ubicación de las mismas dentro del área de estudio, además de las características del lugar por donde pasan estas corrientes. Esto se debe a que si pasa por un terreno plano con una geología y suelos impermeables, junto con otros factores desfavorables, existirán más probabilidades de que ocurran inundaciones en estas zonas.

Factor Edafológico

La permeabilidad, la compactación y la humedad del suelo son elementos importantes para el análisis de la ocurrencia de inundaciones, estos determinan la ocurrencia o no de este fenómeno y la permanencia de la lámina de agua. La permeabilidad es una propiedad físico – mecánica que consiste en la velocidad con que el agua se infiltra mediante los horizontes del suelo. No todos los suelos tienen la misma composición, por ende su permeabilidad varía de uno a otro tipo. Aquellos que son permeables tienen la capacidad de absorber con facilidad una mayor cantidad de agua, impidiendo que ocurran inundaciones.

Por el contrario los impermeables absorben menor cantidad de agua y con mayor dificultad, permitiendo que el agua se acumule en la superficie. En el caso de aquellos que son medianamente impermeables es necesario tener en cuenta otros elementos tales como la geología, la vegetación, el relieve, etc.; lo que ayuda a comprender cómo se comportan estos suelos.

La compactación, en este caso se produce por las gotas de lluvias sobre la superficie del suelo que reduce mucho la infiltración en aquellos suelos con textura fina, es el caso de la exposición de los suelos arcillosos que puede conllevar a un estado virtualmente impermeable. Por su parte los arenosos apenas se ven afectados por este proceso. También debe tenerse en cuenta la cubierta vegetal, como protección de los suelos, la que se analizará más adelante. (Ulloa, 2008)

La humedad en aquellos suelos que se encuentran completamente secos, posibilita una infiltración mucho mayor que en aquellos que poseen una elevada humedad donde la infiltración es mínima o nula. La humedad es alta en la primavera y verano, mientras que en el otoño y el invierno es baja.

Factor Vegetación

El análisis de este factor centra su atención en el papel que juega la vegetación en la reducción de las inundaciones. La cobertura vegetal protege al terreno de la erosión provocada por el escurrimiento, ya que donde esta se encuentra presente la infiltración se produce de forma más rápida que donde no existe.

También protege de la compactación mecánica del suelo por la acción de las gotas de lluvia, pudiendo incluso eliminar el efecto de este fenómeno sobre la superficie. A su vez actúa como barrera natural que regula la cantidad de agua que llegará de forma efectiva al suelo; esto se explica ya que parte de las precipitaciones son retenidas por las hojas de los árboles (se le denomina intercepción a este fenómeno), mientras que las que logran pasar esta barrera llegan con menor velocidad al suelo. Ello depende principalmente de la densidad y naturaleza de la vegetación del territorio.

La cubierta vegetal proporciona además una capa de materia orgánica en descomposición, la cual facilita la actividad de insectos y animales excavadores los que ayudan a aumentar la infiltración en estos lugares; también debe tenerse presente que las plantas proporcionan una capacidad de infiltración alta ya que retiran el agua del suelo mediante el proceso de transpiración. (Ferro, 1982)

Por lo que se puede decir que los suelos que se encuentran cubiertos tienen mayor capacidad de infiltración que aquellos que se encuentran desnudos, es decir sin vegetación.

DESCARGAS ELÉCTRICAS

No existen metodologías descritas en la literatura consultadas para la cartografía de las descargas eléctricas. De hecho, su predicción es extremadamente compleja, sino casi imposible. De tal manera, y como que son un fenómeno real, que afecta al área, se realizó un análisis documental, donde se definieron las principales zonas donde han ocurrido estos fenómenos, que a la par, se asocian a las zonas donde han ocurrido incendios forestales de origen natural.

DESPRENDIMIENTOS CÁRSICOS

Para el análisis de los desprendimientos cársicos fueron aplicados algunos métodos descritos en la literatura (Sheidegger, 1961; Nisio et al, 2007; Parise and Gunn, 2007; Santo et al, 2007; Walthman and Lu, 2007), y mediante el uso de la extensión Stability Shallow Slope model del SIG ArcView 3.3.

Shalstab (Shallow Slope Stability Model²) es una extensión de ArcView Extension basada en el modelo de Montgomery & Dietrich (1994) y se basa en parámetros topográficos y del suelo. Los parámetros del suelo tomados en consideración incluyen la cohesión, densidad, profundidad, conductividad hidráulica y ángulo de fricción interna. Cada parámetro puede ser considerado constante o un grid especificando las variables. Los parámetros topográficos usados son: pendiente del terreno y área de acumulación. Estos parámetros son calculados con la propia extensión. El área de acumulación se calcula utilizando diferentes métodos que son estándares para el ArcView. El método de ArcView es calcular las áreas de acumulación basadas en los flujos de cada celda en un Modelo Digital de Elevación hacia cada celda adyacente. Para este se usa el flujo difuso hacia todas las celdas cercanas pendiente abajo. En general, el modelo permite el cálculo del estado crítico de la lluvia como una medición de la relativa estabilidad de la pendiente.

Como cada metodología tiene sus particularidades, se tomaron las áreas comunes, las cuales coinciden con las zonas de máxima pendiente donde se encuentran estructuras pinaculares debido al intenso agrietamiento.

DESLIZAMIENTOS

La cartografía de los deslizamientos se realizó siguiendo dos criterios fundamentales. El primer criterio se basó en los rangos de pendiente definidos por Cabrera (2002) y expuestos en la tabla 5. El otro criterio fue el resultado de la aplicación de la extensión Stability Shallow Slope model del SIG ArcView 3.3 (descrita en el acápite 1.4), coincidiendo con las áreas de mayor erodabilidad de los territorios compuestos por rocas terrígenas, donde estos procesos predominan.

² Extension de ArcView escrita por Tim Schaub

Capítulo III Caracterización Físico-Geográfica del Área Protegida del Parque Nacional Viñales

Ubicación geográfica

El Parque Nacional Viñales se ubica en el municipio de Viñales, en la provincia de Pinar del Río, la más occidental de Cuba. Una pequeña porción de su zona de amortiguamiento se encuentra en el municipio Minas de Matahambre, subdistrito Montañas de Guaniguanico, grupo de paisajes Sierra de Los Órganos s.l. ocupa un área de 1510 ha. Su configuración es estrecha y alargada, no presenta límites naturales, debido a la negativa del MINAGRI durante el proceso de compatibilización (1999-2000) para ceder espacios productivos en función de crear un área protegida. Sus límites oficiales son únicamente de orden administrativo.

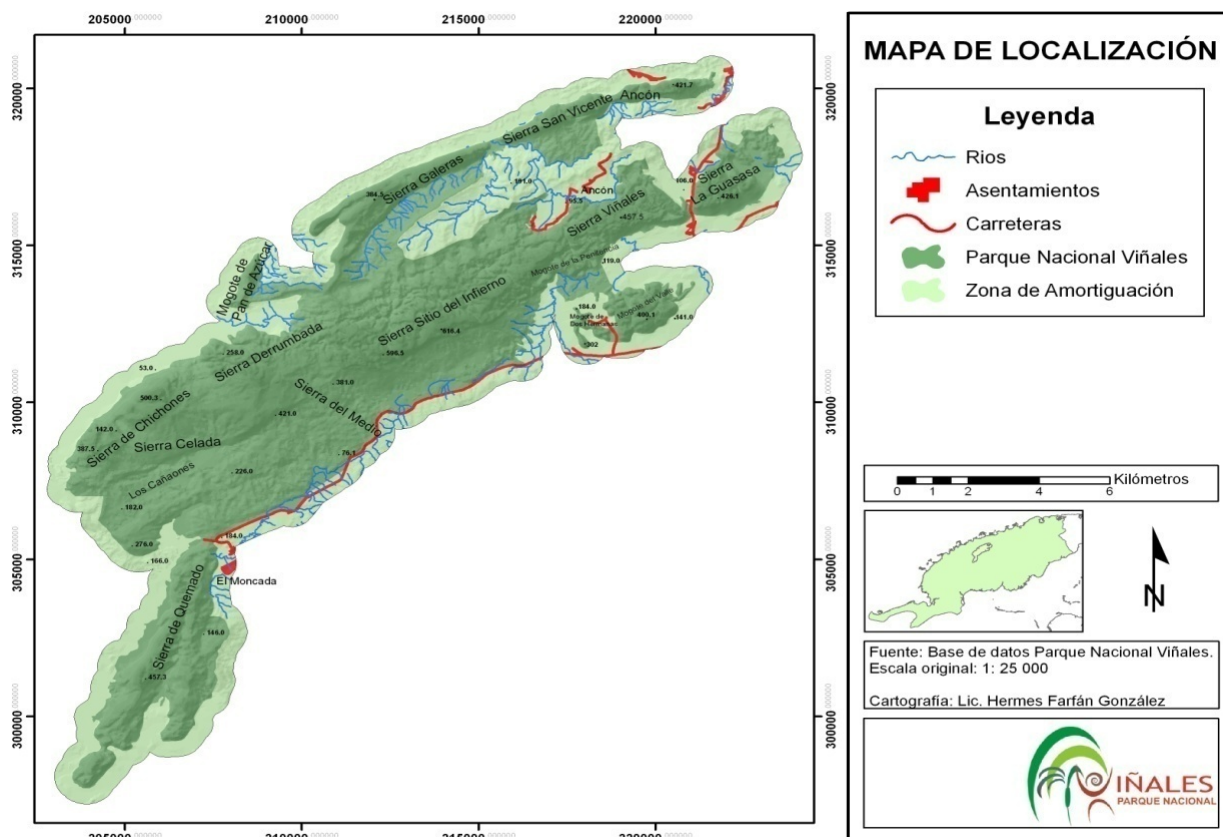


Fig. III.1 Esquema de ubicación geográfica del Área de estudio Parque Nacional Viñales (PNV, 2009)

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

Limita al norte con las depresiones longitudinales (poljas de contacto) al sur de las Alturas de Pizarras del Norte, que de E a W son: Jagua-La Constancia, Costanera de Linares-Llanos de Manacas-El Abra, Costanera de Galeras-Cayo Las Damas, Guachinango-Pan de Azúcar-Valle de Pons y Valle de Isabel María. Por el sur, de W-E, contacta directamente con las Alturas de Pizarras del Sur en el SW, Valle de Santo Tomás-El Sitio, Valle de Viñales-Laguna de Piedra. Al SE con el Fogón de Los Negros-La Constancia.

El área es mayormente natural, usada en parte para la actividad forestal, con zonas dedicadas a la agricultura de subsistencia, cuya base económica fundamental es la producción de hojas de tabaco, viandas, granos, frutos menores y hortalizas. Presenta graves problemas ambientales, en límites de áreas pobladas, donde existe afluencia de contaminantes líquidos y sólidos, tala de bosques, pesca y caza de especies autóctonas, entre ellas endemismos y amenazadas de extinción. Debido a la naturaleza cársica del sustrato, el problema de la contaminación es muy significativo por la carga de sedimentos provenientes de la erosión de las cuencas, por deforestación, cultivos al borde de cauces, cría de animales domésticos y vertimiento de residuos sin tratamiento adecuado.

El desarrollo territorial del área debe centrarse en: turismo de naturaleza (en especial ecoturismo y turismo científico especializado) y la valorización de recursos endógenos; además de mantener áreas agrícolas tradicionales, a través de un estricto control legal y el fortalecimiento de sistemas agroecológicos participativos, que permitan un uso sostenible, como única vía compatible con la vocación del territorio para mantener el área protegida dentro de la categoría otorgada.

La principal vía de acceso es la carretera que lo une a la capital provincial, Pinar del Río por la parte sur-oriental, a solo 25 Km. de distancia. Esta ciudad se enlaza con la capital del país a través de una moderna autopista de 150 Km. de longitud aproximadamente. Otros accesos de importancia son las carreteras del Circuito Norte y Central de Montaña, que lo unen no solo con la capital del país, sino también con el Área Protegida de Mil Cumbres, distante unos 35 Km. y con la Reserva de la

Biosfera Sierra del Rosario, a menos de 80 Km. de distancia. Hacia el occidente, tiene vías de acceso al Circuito Noroccidental de la provincia por la Carretera de Luis Lazo hasta Guane por donde se une al Circuito Sur que permite el acceso al Parque Nacional Guanahacabibes a unos 150 Km. de distancia.

Geomorfología

Existen tres dominios geomorfológicos principales: mogotes, alturas y depresiones llanas de contacto.

Los mogotes, son montañas bajas estructuro-petrogénicas mayormente de rocas calizas, con fuertes procesos cárscicos. Presentan laderas muy inclinadas, a veces verticales, con cimas cupulares y de torres. También existen formas cónicas de cimas puntiagudas y laderas o taludes con menor inclinación y extensas áreas menos elevadas de carso en ruinas. En los grandes macizos llamados localmente “sierras”, se encuentran múltiples fallas y grietas, que se amplían por disolución formando dolinas y abras cárscicas; mientras que en el interior del macizo el paso del agua de forma lineal origina cavidades subterráneas. Ambas evolucionan simultáneamente a dolinas de disolución-desplome.

Las dolinas localmente llamadas “hoyos” en dependencia del período evolutivo presentan diferencias notables, en cuanto a sus características. Un mogote es una forma simple, carente de variaciones notables de su relieve cárscico, mientras que las sierras presentan un relieve con múltiples unidades separadas por depresiones lineales o areales de diferentes grado de complejidad. Las formas positivas del relieve predominante son mogotes, sierras y pequeñas elevaciones en ruinas, separadas por formas negativas como dolinas, poljas y cañones localmente llamados “abras”. El punto culminante del territorio se localiza en la sierra Sitio del Infierno alcanzando los 617 m sobre el nivel de mar y se conoce como “mogote El Americano”

Las formas del relieve subterráneo son mayormente de origen fluvial, aunque también existen de origen vadoso y lacustre. El micro relieve predominante en

superficie es el lapiaz, mientras que en el subterráneo, destacan una gran diversidad de formaciones secundarias, así como otras formas erosivas.

Los procesos en dominio geomorfológico de mogotes, son fundamentalmente cárnicos, aunque existe erosión física diferencial sobre lutitas y argilitas entre estratos calizos; graviclásticos hacia las laderas y combinados disolución-desplome entre el relieve subterráneo y las dolinas.

Los mogotes aislados que destacan como elementos geomorfológicos singulares son: Pita, El Santero, Pan de Azúcar, El Guachinango, Dos Hermanas, Coco Solo, Robustiano, Puertecitas, Esmeralda, Fogón de Los Negros. En el caso de las serranías se encuentran: Tumbadero, San Vicente, Viñales, Sitio del Infierno, Ancón, Galeras, Quemado, Pan de Azúcar y Derrumbada. Existen grandes cañones (abras) como: Puerta de Ancón, Abra, El Boquerón, El Serrucho, El Grillo.

Las Alturas de Pizarras, están compuestas por rocas terrígenas areno-arcillosas con fuertes procesos erosivos y denudativos, que se caracterizan por sus laderas poco inclinadas y cimas desgastadas. Algunas cimas están coronadas por mantos metamórficos de mayor dureza, que por lo general son los puntos de mayor altitud, con cimas puntiagudas y pendientes más inclinadas. Presentan alta disección horizontal por friabilidad y efecto de la erosión hídrica, por lo que abundan vaguadas, cañadas y valles.

Los elementos geomorfológicos que destacan en las Alturas de Pizarras se localizan mayormente en la zona de amortiguamiento, como son: Loma del Mango, Loma Blanca, Loma Blanquizales, La Calabaza, Mirador de Las Cuevitas. En el núcleo se distingue la Loma del Fortín como mirador natural.

Las depresiones llanas más notables son las poljas de contacto, formadas por procesos erosivos entre las dos principales litologías del área: la carbonatada donde predomina la erosión química por disolución y la terrígena con predominio de erosión física (mecánica). Los sitios más singulares de este relieve son: Viñales, Laguna de Piedra, San Vicente, Ancón, Santo Tomás, Quemado, Isabel María, La Costanera,

Pan de Azúcar, Los Cañadones; y los valles ciegos: Palmarito, La Jutía, La Penitencia y El Sitio.

Clima

Transpolando parámetros meteorológicos de estaciones meteorológicas, de municipios aledaños, hidrológicas del extremo Este de la Faja de Mogotes y pluviómetros dispersos en poljas limítrofes a la zona de amortiguamiento, se determinaron los valores siguientes:

- Temperatura media anual del aire: 22,6°C – 24,2°C.
- Temperatura media en el periodo invernal: 22°C - 24°C.
- Temperatura media en el periodo estival: 25°C - 27°C.
- Precipitación media anual: 1 600-1 800 mm.
- Precipitación media en el periodo lluvioso: 1 200-1 400 mm.
- Precipitación media en el periodo seco: 200-400 mm.
- Evaporación media anual: 1 300-1 600 mm.
- Humedad relativa media anual: 07:00 horas: 90-95 %; 13:00 horas: 65-70 %.
- Coeficiente de humedecimiento medio anual (K): 1.10-1.50 (Bosque suficientemente húmedo).

De acuerdo a estos parámetros el bioclima se clasifica (según metodología de Gaussen, modificado en la proporción T-P = 4:1 (Novo y Luis, 1989) como: Tropical Caliente, con un período de sequía de 6 meses desde mediados del otoño hasta mediados de la primavera, con humedecimiento alto y estable, baja evaporación y temperaturas frescas con una marcada oscilación diaria del régimen térmico.

Hidrología

La posición geográfica así como las características geológicas y geomorfológicas del área condicionan la existencia de una compleja hidrología en la que se presentan diversos fenómenos de alcance local y regional por lo que no es posible incluir todo el territorio en un sector o cuenca hidrográfica única.

Aún cuando espacialmente se localiza al norte del parteaguas principal de la provincia, el drenaje superficial en el Parque Nacional Viñales no se comporta según

los patrones generales. Existen sectores como la cuenca del Santo Tomás que proveniente del Sur, atraviesa el área protegida y drenan hacia el oeste hasta incorporarse a la principal cuenca fluvial del occidente cubano.

Otras cuencas como: Palmarito, Novillo y, Zacarías incorporan aguas alóctonas a los macizos cárnicos donde se recargan los caudales con las aguas vadosas locales. Todos se sumergen en cavidades subterráneas de las serranías cárnicas originando importantes sistemas de cavernas que suman más de 120 km de galerías subterráneas. Hacia el Norte surgen, del área cárnica, las corrientes fluviales permanentes de los ríos San Vicente, Las Cuevitas, El Abra y Pan de Azúcar-Cimarrones. La cuenca hidrográfica del río Palmarito es la de mayor significación.

Las rocas carbonatadas agrietadas presentan un gran desarrollo de procesos cárnicos donde existen acuíferos profundos techados con aguas carbonatado-magnésicas utilizables, de buena calidad. También existe un acuífero libre sub-superficial de aguas carbonatadas, no utilizable a causa de los contaminantes domésticos que vierten las comunidades más viejas y pobladores aislados. Esto se debe a la no existencia de un sistema de tratamiento y alcantarillado. Solamente es utilizable para la agricultura.

Existen varias cuencas endorreicas, la más representativa, Los Cañadones, hacia el W del territorio, en la que embudos o ponores, recogen las aguas superficiales de las áreas aledañas. Hacia el NE, existen manantiales de aguas sulfurosas, los cuales se explotan, parcialmente, en el Hotel Horizontes San Vicente. Los mismos se originan por el ascenso de aguas hipotermas provenientes de yacimientos hidrotermales profundos en las rocas areno-arcillosas.

Suelos

En la mayor parte del territorio predominan los suelos esqueléticos condicionados por las características geológicas y geomorfológicas. La presencia de zonas elevadas tanto en materiales carbonatados como areno-arcillosos y la influencia de los procesos erosivos, impiden la acumulación de un sustrato efectivo para la formación de suelos.

En las zonas bajas donde se van depositando materiales residuales de las calizas con gran contenido de arcillas se originan las protorrendzinas rojas que evolucionan a rendzinas rojas y dan lugar a suelos ferralíticos rojos típicos que ocupan las dolinas, uvalas y poljas cársticas. Por lo general las rendzinas presentan poca profundidad efectiva y su acidez es marcada por la materia orgánica que contiene. Los ferralíticos rojos típicos se presentan con mayor espesor y alta friabilidad con un pH ácido de 6-6,5.

Suelos pardos con carbonatos se localizan hacia las pendientes exteriores de las alturas calcáreas, con poca profundidad y con tendencia al pH neutro-básico, mientras que en las alturas compuestas por pizarras, esquistos, filitas, cuarcitas muy agrietadas y friables, los suelos son fácilmente intemperizables.

Los materiales residuales de las alturas de pizarras, compuestos fundamentalmente, por arcillas y fragmentos de cuarzo, se acumulan en el fondo de los valles y poljas marginales, originando suelos de tipo ferralítico rojo-amarillento y con diferente grado de lixiviación según el contenido de fragmentos de arena de cuarzo y tiempo de evolución. Son poco profundos con un pH ácido y bajo contenido de materia orgánica.

En los valles fluviales existen depósitos aluviales con parches de suelos areno-cuarcíticos. En las poljas cársticas típicas de las elevaciones calizas que están conectadas a cuevas fluviales, aparecen suelos ferralíticos rojo-amarillentos con diferentes grados de lixiviación, debido al material areno-arcilloso depositado allí por las corrientes fluviales. La profundidad es muy variable y está asociada a las características geomorfológicas locales. El pH igualmente es variable dependiendo de la dinámica de los sedimentos y las características de los depósitos.

Biodiversidad

El área protegida se encuentra en la segunda región de endemismos del país, presenta una alta variedad de ecosistemas que permiten la existencia de multitud de hábitat, por lo que no se puede precisar las variaciones espaciales; debido a ello existe una gran diversidad de su flora y fauna. La flora está constituida por más de

1200 especies, alcanzando un endemismo cercano al 30% en sustratos carbonatados, mientras la fauna (aún por conocer), presenta muy alto endemismo en grupos particulares, que como los moluscos puede alcanzar el 90%. Los anfibios, reptiles y crustáceos probablemente alcancen un 30% de endemismo, similar a la flora.

Los diversos estudios realizados en el territorio han permitido obtener información integrada a nivel de formaciones vegetales, la cual se sintetiza a continuación:

Vegetación

El complejo de vegetación aparece en mogotes y serranías calcáreas con una clara definición de bosques y matorrales. Asociados a la base de las elevaciones se distinguen bosques, presentes además en laderas y taludes en dependencia de las acumulaciones de rendzinas y materia orgánica. Los matorrales arbustivos se localizan en las cimas y los herbáceos en paredones. Hacia las zonas más húmedas se asientan los bosques siempre verde mesófilo, mientras que los bosques semidecíduos mesófilos aparecen en las secas.

Fauna

La Fauna del PNV presenta una gran riqueza y endemismo en los grupos de invertebrados fundamentalmente moluscos y artrópodos; entre estos últimos: insectos, arácnidos, crustáceos, quilópodos, diplópodos y otros, así como de vertebrados donde destacan anfibios, reptiles; además de mamíferos y aves, que aunque no cuentan con endemismos locales, presentan una representación muy numerosa de los endémicos cubanos.

Aunque el área protegida, cuenta con sus principales paisajes sobre rocas carbonatadas y areno-arcillosas, existen una gran variedad de ambientes menores, que le imprime mayor riqueza en ecosistemas, y por ende la disponibilidad de hábitat y micro hábitat, fundamentalmente en áreas puntuales y lineales asociados al agua, donde destacan especies propias de áreas bajas lacuno-palustres.

Palacios et al. (2008), reportan para el área protegida 352 invertebrados (Tabla 2), de ellos un nemertino, 3 anélidos, 158 insectos, 48 arácnidos, 13 crustáceos, 4

quilópodos, un diplópodos y 134 moluscos. Los 178 vertebrados (Tabla 3), se distribuyen de la manera siguiente: 14 anfibios, 31 reptiles, 105 aves y 28 mamíferos.

Grupo taxonómico	Número de especies	Número de endemismos
Nemertinea	1	¿?
Annelida	3	1
Insecta	158	14
Aracnida	48	23
Crustácea	13	4
Quilopoda	4	¿?
Diplopoda	1	1
Mollusca	134	130
Total	352	173

Tabla III.1 Composición por grupos taxonómicos de la fauna invertebrada (Tomada del Plan de Manejo 2009-2013)

Los sitios críticos para la biodiversidad animal están dados fundamentalmente en los ecosistemas siguientes:

- base de mogotes y serranías calcáreas (fundamentalmente moluscos, reptiles y anfibios; además sitio de anidamiento de aves y alimentación).
- corrientes fluviales (crustáceos, anfibios, reptiles y aves, sitios de desove, anidamiento, y reproducción, además de alimentación)
- interfluvios areno arcillosos (principalmente sitio de anidamiento y alimentación de aves granívoras e insectívoras, hábitat de reptiles e insectos).

Grupo taxonómico	Número de especies	Número de endemismos
Anfibios	14	8
Reptiles	31	20
Aves	105	23
Mamíferos indígenas	18	9
Mamíferos introducidos	10	-
Total	178	60

Tabla III.2 Composición por grupos taxonómicos de la fauna vertebrada (Tomada del Plan de Manejo 2009-2013)

Diversidad paisajística

El Parque Nacional Viñales se destaca por las características visibles de una compleja historia geológica con una variada geomorfología y singulares paisajes, en los que existe una importante diversidad biológica, distribuida en una variada gama de ambientes que interactúan directa o indirectamente con la actividad socioeconómica local (Corvea et al., 2006).

De acuerdo a investigaciones realizadas en el área existen tres grandes unidades de paisaje, con una gran diversidad de unidades menores, diferenciadas por la activa dinámica funcional e interdependencia entre ellas por altura y latitud, esta última por el carácter azonal de la disposición de las rocas. En tal sentido destacan:

Faja de Mogotes en su totalidad (serranías La Chorrera, San Vicente, Viñales, Sitio del Infierno, Santo Tomas, Quemado, Isabel María, Chichones, Pan de Azúcar, Derrumbada, Galeras y Ancón. Mogotes aislados: Dos Hermanas, Pan de Azúcar, Guachinango, etc.). Formados fundamentalmente en rocas carbonatadas, con desarrollo de fuertes procesos cárstico, con hidrografía subterránea y escasos suelos.

Constituye el núcleo fundamental de protección con alto grado de conservación. Destacan elementos importantes como serranías, mogotes aislados, poljas, dolinas, valles fluviales, cavidades subterráneas, que constituyen atractivos naturales escena-estéticos. Existen áreas seminaturales que permiten el uso público activo:

su diversidad abiótica y biótica destacan como elementos singulares para la práctica de ecoturismo y turismo científico. Igualmente contienen elementos del relieve que favorecen la práctica de turismo de aventura. Entre sus principales ecosistemas destacan:

- Cimas de mogotes (zoocomplejo-matorral xeromorfo arbustivo).
- Paredones mogóticos (zoocomplejo-matorral xeromorfo herbáceo).
- Dolinas u hoyos (zoocomplejo-bosque siempreverde mesófilo).
- Taludes y laderas norte (zoocomplejo-bosque siempreverde mesófilo).
- Base de mogotes (zoocomplejo-bosque siempreverde mesófilo)
- Laderas y taludes sur (zoocomplejo-bosque semideciduo mesofilo).
- Cavidades subterráneas.

Los principales hábitat son:

- Áreas soleadas de cimas y elevaciones ruiniformes.
- Grietas y dolinas umbrosas de cimas y ruiniformes.
- Paredones exteriores.
- Paredones interiores.
- Dolinas interiores (hoyos).
- Dolinas exteriores (hoyos).
- Taludes rocosos.
- Laderas rocosas.
- Base horizontal-subhorizontal soleada.
- Base horizontal-subhorizontal úmbrica.
- Fondos pedregosos de cauces fluviales ocupados por agua (carstico).
- Corrientes fluviales en áreas cársticas (aguas libres).
- Valle de inundación cárstico.
- Cavidades subterráneas inundadas.
- Cavidades subterráneas secas.

Alturas de Pizarras del Centro y limitadas áreas de las Pizarras del Sur (Sur de la carretera a Valle Ancón, al W del valle Cuevitas de Ancón y al W del arroyo Ancón-

hasta Pan-Guachinango y áreas específicas entre Ojo de Agua-Derrumbada-Pan de Azúcar; además del sureste de Sierra Quemado).

Por su pequeña extensión dentro del núcleo, es prioridad para la conservación. Entre sus valores naturales destacan elevaciones areno-arcillosas y metamórficas con afloramientos de cuarcitas, entre las rocas fosilíferas más antiguas del país, donde destacan elementos de biodiversidad únicos. La pendiente suave, el fácil acceso y su posición, permiten la existencia de miradores naturales hacia los demás paisajes y el desarrollo de caminatas en bosques de pinos y galería. Es un área de conflictos por la presencia de plantaciones forestales que requieren manejos diversos según el Plan de Ordenamiento Forestal del tendente. Entre sus principales ecosistemas destacan:

- Cauces fluviales ocupados por agua (zoocomplejo-vegetación acuática).
- Cauces fluviales húmedos (zoocomplejo-bosque latifolio en galería).
- Interfluvios de unidades metamórficas (zoocomplejo-bosque de pinos)
- Interfluvios areno-arcillosos (zoocomplejo-bosque de pinos).

Los principales hábitat son:

- Fondos pedregosos y arenosos de cauces fluviales (ocupados por agua).
- Área acuática libres
- Riberas areno-pedregosos de cauces fluviales (ocupada por las aguas).
- Valles de inundación areno-arcillosos.
- Laderas de Interfluvios de unidades metamórficas.
- Cimas y cresta de unidades metamórficas.
- Laderas y áreas planas de Interfluvios areno-arcillosos.
- Cimas y cresta areno-arcillosas.

Poljas marginales, cárnicas y dolinas, con valles interiores (Grandes poljas: Valle de Viñales, San Vicente, Ancón, Laguna de Piedras, Santo Tomás, Quemado, Isabel María, Pan de Azúcar, Costanera).

Su pequeña extensión dentro en las áreas de amortiguamiento, presenta poco valor para la conservación, debido al grado de antropización existente. Están ocupados

por núcleos poblacionales y pobladores aislados, sin embargo es necesario manejar algunos de sus ecosistemas degradados, por repercutir en el núcleo del área protegida. Sus límites son áreas de conflictos ya que los habitantes dependen en gran medida de los recursos existentes que durante toda su vida han hecho suyos. Su posición privilegiada entre las alturas permite miradores hacia los dos principales paisajes, lo cual facilita su uso para caminatas de gran valor escénico estéticas con acercamiento a los límites de los paisajes principales de modo que puedan desarrollarse actividades de ecoturismo y turismo científico especializado para personas de la tercera edad o limitados potenciales.

Entre los ecosistemas de importancia para realizar actividades de manejo para la protección y conservación del área protegida, destacan:

- Valles de inundación de corrientes fluviales antropizadas (zoocomplejo-bosque latifolio en galería alterado).
- Cuerpos de aguas estancadas (zoocomplejo-vegetación acuática alterado).

Los principales hábitat a manejar son:

- Fondos arenosos de corrientes fluviales.
- Fondos arcilloso-limosos de cuerpos de agua estancados.
- Área acuática libres de corrientes fluviales.
- Área acuática libre de cuerpos de agua estancados
- Riberas arenosas de cauces fluviales (ocupada por las aguas).
- Riberas palustres arcillo-limoso de cuerpos de agua estancados
- Valles de inundación areno-arcillosos.
- Riberas areno-arcillo-limoso de cuerpos de agua estancados.

Capítulo IV Características geológicas regionales del Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

IV Características geológicas

IV.1 Estratigrafía

El corte estratigráfico de la región se caracteriza por el desarrollo de formaciones del Jurásico al Eoceno Medio Parte Baja, representadas en su parte inferior por depósitos terrígenos que hacia arriba en el corte se van tornando cada vez más carbonatados, hasta volver a tornarse terrígenos olistostrómicos hacia el final del corte. Su estructura geológica está representada por mantos cabalgados, y la superposición de diferentes eventos tectónicos que agudizan la complejidad del corte.

Formación San Cayetano (Léxico Estratigráfico de Cuba, 1994).

Descrita por E. L. De Golyer, 1918 y redescrita posteriormente por R. H. Palmer, 1940; Ch. W. Hatten, 1957; G. Haczewski, 1976; J. Hernández en: D. Martínez González y R. Fernández de Lara, 1988. Está constituida por intercalaciones de areniscas grises oscuras de grano fino y medio, con lutitas y limolitas arcillosas grises o grises oscuras. Al intemperizarse toman colores rojizos y carmelitosos.

Se desconocen sus contactos inferiores. Está cubierta concordantemente por las formaciones Artemisa (Miembro Zarza), Francisco y Jagua (Miembro Pan de Azúcar) y discordantemente por las formaciones Guane, Paso Real y Villa Roja. Es correlacionable en parte con las formaciones Agua Santa y Cañada de Cuba Occidental; La Chispa, Loma La Gloria y unidad informal esquistos verdes Felicidad de Cuba Central.

Fósiles índices: Ammonites: *Perisphinctes* (*Dichotomosphinctes* sp., *Perisphinctes* (*Discosphinctes*) sp.; Pelecípodos: *Trigonia* (*Vaughonia*) *Krommelbeini*, (*Neocrassina*) sp., *Neocrassina* (*Coelastarte*) sp., *Inoceramus* *Inoceramus* sp., *Eocallista* (*Hemicorbula*) sp., Helechos: *Phlebopteris cubensis* (*Piazopteris branneri*).

Su edad se ha determinado Jurásico Inferior-Jurásico Superior (Oxfordiano Medio). Se depositó en un mar somero, influenciado por sedimentación deltáica. En la secuencia de la Sierra de los Órganos la sedimentación carbonática comenzó, mientras todavía se acumulaban depósitos terrígenos. Su espesor no sobrepasa los 6000 m. La composición litológica de la formación es bastante variada y en diferentes perfiles las secuencias litológicas son distintas. Además las complejas relaciones estructurales en muchos casos, no permiten establecer categóricamente la posición estratigráfica de los complejos litológicos de esta unidad. La cuestión más difícil y en ocasiones imposible de establecer, es la presencia de los estratos que ocupan la posición más baja en el perfil, pero la mayoría de los autores consideran que las capas más antiguas son las más arcillosas y ricas en restos vegetales. Esta unidad fue denominada por su autor como Cayetano formation, pero a partir del trabajo de R. E. Dickerson y W. H. But (1935) comienza a generalizarse el uso de Formación San Cayetano. (Léxico Estratigráfico de Cuba, 1994)(Figura IV.1)

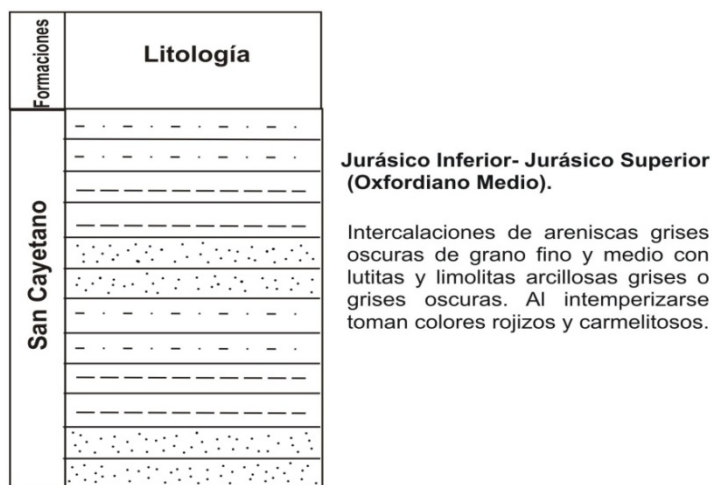


Figura IV.1 Columna geológica de la Formación San Cayetano, según el corte de las Alturas de Pizarras el Sur que aparece en el área de estudio, su construcción se realizó según el modelo geológico existente (Martínez, et al, 1988).

Formación Jagua (Léxico Estratigráfico de Cuba, 1994).

Fue descrita por R. H. Palmer, 1945. Referencia original: Outline of the geology of Cuba. Journ. Geol., Chicago, U. S. A., 53(1):1-34. constituye cuatro subdivisiones: Mbro. Jagua Vieja, Mbro. Pimienta, Mbro. Pan de Azúcar, Mbro. Zacarías. Existen Redescpciones hechas por: R. Myczynski en: A. Pszczółkowski *et al.*, 1975. Su nombre proviene del mogote La Jagua Vieja, provincia de Pinar del Río.

El área tipo de esta formación es la región de Viñales- La Palma, provincia de Pinar del Río. Se encuentra en la Sierra de los Órganos, provincia de Pinar del Río. Esta es compuesta por: Calizas micríticas, esquistos arcilloso- margosos, lutitas calcáreas. Yace concordantemente sobre la Fm. San Cayetano. Está cubierta concordantemente por el Gr. Viñales (Fm. Guasasa). En algunas regiones contacta tectónicamente con la Fm. Arroyo Cangre.

Es correlacionable cronoestratigráficamente con las formaciones Artemisa y Francisco y en parte con el Gr. Gerona de Cuba Occidental; su parte baja lo es con la Fm. Sauco de Cuba Central.

Fósiles índices: Foraminíferos: *Conicospirillina basiliensis*; Bivalvos: *Liostrea* sp., *Neocrasina* sp., *Gryphaea* sp., *Ostrea* sp., *Plicatula* sp., *Posidonomya* sp.; Ammonites: *Cubaochetoceras* sp., *Cubaspidoceras* sp., *Discosphinctes* spp., *Euaspidoceras* spp., *Glochiceras* sp., *Ochetoceras* spp., *Llamellaptychus* sp., *Mirosphinctes* sp., *Perisphinctes* spp., *Vinalesphinctes* spp., Incertae sedis: *Globochaete alpina*.

Edad: Jurásico Superior (Oxfordiano Medio- Superior).

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente nerítico poco profundo dentro de la plataforma.

Espesor: Puede llegar hasta los 160 m.

Formación Guasasa (Léxico Estratigráfico de Cuba, 1994).

Descrita originalmente por N. M. Herrera, 1961 y redescrita posteriormente por V. Housá, 1974; R. Myczynski en: A. Pszczolkowski *et al.*, 1975. Pertenece al Grupo

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

Viñales y se subdivide en cuatro miembros: San Vicente, El Americano, Tumbadero y Tumbitas.

Geográficamente se desarrolla en la Sierra de los Órganos, provincia de Pinar del Río. Está constituida por calizas micríticas, calcarenitas y lentes de pedernales. Las calizas a veces son granulares y frecuentemente laminadas.

Yace concordantemente sobre el Miembro Pimienta (Formación Jagua), y está cubierta discordantemente por las formaciones Ancón, Guane, Manacas y Pons. En algunas regiones contacta tectónicamente con la Formación Arroyo Cangre. Es correlacionable cronoestratigráficamente con las formaciones Artemisa, Polier y el grupo Buenavista de Cuba Occidental.

Fósiles índices: Foraminíferos: Texturalidae, Gasterópodos: Nerinea sp., Ammonites: Durangites sp., Corongoceras sp., Kossmatia sp., Mazapilites sp., Paradontoceras sp., pseudolissoceras sp., Salinites sp., Torquatisphinctes sp., Vinalesites sp.; Tintínidos: Chitinoidea sp., Calpionelidos: Calpionella sp., Calpionellites sp., Calpionellopsis sp., Crassicollaria sp., Tintinnopsella sp., Remaniella sp.; Nannoplancton: Globochaete alpina.

Su edad ha sido determinada del Jurásico Superior (Oxfordiano Superior)-Cretácico Inferior (Valanginiano). Se depositó hasta el Tithoniano Inferior en aguas someras, comenzando después la deposición de sedimentos pelágicos. Su espesor oscila entre 300 m. y 800 m.

Miembro San Vicente (Léxico Estratigráfico de Cuba, 1994).

Descrita originalmente por: N. M. Herrera, 1961. Es un miembro de Fm. Guasasa. Proviene de la localidad San Vicente de los Baños, Viñales, provincia de Pinar del Río. Este corte está ubicado en el extremo occidental de la Sierra de Viñales, a unos 4 km aproximadamente al N del pueblo de Viñales, provincia de Pinar del Río. Con Coordenadas Lambert: x- 221 000 y- 316 000. Se desarrolla en la Sierra de los Órganos, provincia de Pinar del Río.

Litología diagnóstica: Calizas grises azulosas masivas, con desarrollo de carso cónico.

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre el Mbro. Pimienta (Fm. Jagua). Está cubierta concordantemente por el Mbro. El Americano (Fm. Guasasa).

Es correlacionable cronoestratigráficamente con la parte baja del Mbro. La Zarza (Fm. Artemisa) de Cuba Occidental.

Fósiles índices: Foraminíferos de la familia *Textularidae*; Gastrópodos: *Nerinea* sp.

Edad: Jurásico Superior Kimmeridgiano.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente de aguas marinas someras.

Espesor: 650 m.

Miembro El Americano (Léxico Estratigráfico de Cuba, 1994).

Autores: V. Housa y M. L. de la Nuez, 1972.

Unidad principal: Fm. Guasasa (Gr. Viñales).

Origen del nombre: Proviene de la antigua hacienda El Americano, ubicado 6 km al S del pueblo de La Palma, provincia de Pinar del Río. Área tipo: Región La Palma- Viñales, provincia de Pinar del Río.

Distribución geográfica: Se desarrolla muy limitadamente en el margen oriental de la Sierra de los Organos, provincia de Pinar del Río.

Litología diagnóstica: Calizas dolomíticas, calizas microgranulares, calizas arcillosas, lutitas y calizas laminadas, de colores oscuros.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre el Mbro. San Vicente (Fm. Guasasa). Está cubierta concordantemente por el Mbro. Tumbadero (Fm. Guasasa).

Correlación: Es equivalente cronoestratigráficamente con el Mbro. La Zarza (Fm. Artemisa) de Cuba Occidental, la Fm. Trocha y el Gr. San Juan (Fm. Sauco) de Cuba Central.

Fósiles índices: Ammonites de los géneros *Corongoceras*, *Durangites*, *Mazapillites*, *Kossmatia*, *Parodontoceras*, *Pseudolissoceras*, *Salinites*,

Torquatosphinctes, *Vinalesites* y Calpionélidos de los géneros *Calpionella*, *Crassicollaria*, *Chitinoidea*, *Tintinnosepella*.

Edad: Jurásico Superior (Tithoniano).

Ambiente de sedimentación: Se depositó en aguas de media profundidad, en un ambiente reductor, con abundancia de materia orgánica.

Espesor: Oscila entre 20 y 45 m.

Miembro Tumbadero (Léxico Estratigráfico de Cuba, 1994).

Descrita originalmente por N. M. Herrera, 1961, en Contribución a la estratigrafía de la provincia de Pinar del Río. Rev. Soc. Cubana Ing., LXI (1-2):2-23.

Redescripciones: V. Housa y M. L. de la Nuez, 1972; R. Myczynski en: A. Pszczółkowski *et al.*, 1975.

Miembro de la Formación Guasasa. Esta constituido principalmente por calizas micríticas y calcilutitas con intercalaciones de pedernal oscuro. Yace concordantemente sobre el Miembro El Americano (Formación Guasasa). Está cubierto concordantemente por el Miembro Tumbitas (Formación Guasasa).

Fósiles índices: Calpionélidos de los géneros: *Calpionellopsis*, *Calpionella*, *Crassicollaria*, *Remaniella* y *Tintinnopsella*. Su edad se determina como Jurásico Superior (Tithoniano)- Cretácico Inferior (Berriasiano). Los sedimentos de esta unidad se depositaron en aguas marinas profundas con subsidencia de la cuenca. Su espesor no sobrepasa los 50 m.

Miembro Tumbitas (Léxico Estratigráfico de Cuba, 1994).

Autor: V. Housa y L. M. de la Nuez, 1972. Redescripciones: R. Myczynski en: A. Pszczółkowski *et al.*, 1975.

Esta constituido fundamentalmente por Caliza microgranular clara, de estratificación gruesa, presentándose en ocasiones intercalaciones de calizas arcillosas. Yace concordantemente sobre el Miembro Tumbadero (Formación Guasasa). Está cubierto concordantemente por la Formación Pons y discordantemente por la Formación Ancón. Su edad se estima en Cretácico Inferior (Valanginiano).

Fósiles índices: Calpionélidos: *Calpionellites darderi*, *Calpionellopsis simplex*, *Remaniella dadayi*, *Tintinnopsella carpathica*; Nannoplancton: *Globochaete alpina*, *Nannoconus* spp. Depósitos de aguas marinas profundas, fuera del shelf. Su espesor se estima en 40 m.

Formación Pons (Léxico Estratigráfico de Cuba, 1994).

Autor: C.W.Hatten, 1957. Referencia original: Geology of the central Sierra de los Organos, Pinar del Río province, Cuba. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito). Redescrición: K. Piotrowska en: A. Pszczółkowski *et al.*, 1975.

Su litología diagnóstica corresponde a Calizas micríticas oscuras, bien estratificadas, con lentes y nódulos de pedernal gris - negro. Yace concordantemente sobre el Miembro Tumbitas (Formación Guasasa). Está cubierta discordantemente por la Formación Ancón y la unidad informal caliza Peñas.

Su edad es Cretácico Inferior (Hauteriviano)- Cretácico Superior (Turoniano). Se depositó en un ambiente pelágico y su espesor no sobrepasa los 300 m.

Formación Ancón.

Esta unidad fue establecida formalmente por P. Truitt en: P. Truitt y P. Brönnimann (1956b), siendo atribuida en los trabajos posteriores a C. W. Hatten (1957). En las versiones preliminares del Léxico Estratigráfico de Cuba se arrastró el mismo error, llegándose incluso a variar su nombre (Valle del Ancón). C. W. Hatten establece la localidad tipo en "A 800 m al oeste de la casa del rancho Finca Ancón, aproximadamente 6,5 kms al norte de Viñales" (informe traducido). En concordancia con las regulaciones de la versión cubana de la Guía Estratigráfica Internacional, reconocemos a P. Truitt como el autor de la Fm. Ancón por haber sido el primero que la nombró.

Litología diagnóstica: Calizas, calizas esquistasas, arcillosas, margas, brechas calcáreas con fragmentos de calizas y de pedernales.

Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre la Fm. Cacarajícara y el Gr. Viñales (formaciones Guasasa y Pons. Está cubierta concordantemente por

el Mbros. Pica Pica (Fm. Manacas) y discordantemente por la unidad informal olistostroma Vieja (Fm. Manacas).

Fósiles índices: Foraminíferos: *Acarinina brodermanni*, A. cf. *A. wilcoxensis*, *Morozovella* cf. *M. aequa*, *M. pseudobulloides*, M. cf. *M. velascoensis*.

Edad: Paleoceno Superior- Eoceno Inferior basal.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en una cuenca marina inestable de aguas profundas.

Espesor: Oscila entre 50 y 70 m.

Formación Manacas (Léxico Estratigráfico de Cuba, 1994).

Autor: C. W. Hatten, 1957. Referencia original en Geology of the central Sierra de los Organos, Pinar del Río province, Cuba. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito). Redescpciones: K. Piotrowska *et al.* En: A. Pszczółkowski *et al.*, 1975.

Su litología característica es de areniscas polimícticas, limolitas, argilitas, calcarenitas, pedernales, calizas, depósitos caóticos policomponentes de matriz aleurolítica, polimíctica con intercalaciones de areniscas vulcanomícticas y pedernales. Yace concordantemente sobre la Formación Ancón, aunque en algunas regiones lo hace discordantemente de igual manera lo hace sobre la Formación Cacarajícara y el Grupo Viñales. Está cubierta discordantemente por la Formación Guane.

Su edad es Eoceno Inferior- Medio parte baja. Sus depósitos terrígenos sinorogénicos fueron formados por corrientes turbidíticas en el talud continental, asociados al sobrecorrimiento de los complejos del arco volcánico Cretácico y las ofiolitas sobre los depósitos de la Cordillera de Guaniguanico. Estos sedimentos alcanzan un espesor estimado en 200 m.

Formaciones	Miembros	Litologías
Manacas		<p>Eoceno Inferior- Medio parte baja. Areniscas polimícticas, limolitas, argilitas, calcarenitas, pedernales, calizas, depósitos caóticos policomponentes de matriz aleuolítica, polimíctica con intercalaciones de areniscas vulcanomícticas y pedernales.</p>
Pons		<p>Cretácico Inferior (Hauteriviano)- Cretácico Superior (Turoniano). Calizas micríticas oscuras, bien estratificadas, con lentes y nódulos de pedernal gris- negro.</p>
Guasasa	Tumbitas	<p>Cretácico Inferior (Valanginiano). Caliza microgranular clara, de estratificación gruesa, presentandose en ocasiones intercalaciones de calizas arcillosas.</p>
	Tumbadero	<p>Jurásico Superior (Titoniano)- Cretácico Inferior (Berriasiano). Calizas micríticas y calcilitas con intercalaciones de pedernal oscuro.</p>
	E. Americano	<p>Jurásico Superior (Tithoniano). Calizas dolomíticas, calizas microgranulares, calizas arcillosas, lutitas y calizas laminadas, de colores oscuros.</p>
	San Vicente	<p>Jurásico Superior Kimmeridgiano. Calizas grises azulosas masivas, con desarrollo de carso cónico.</p>

Figura IV.2 Columna geológica de la Sierra de Los Órganos según el corte que se observa en el área de estudio su construcción se realizó según el modelo geológico existente (Martínez, et al, 1988).

Columna Estratigráfica Generalizada del Parque Nacional Viñales

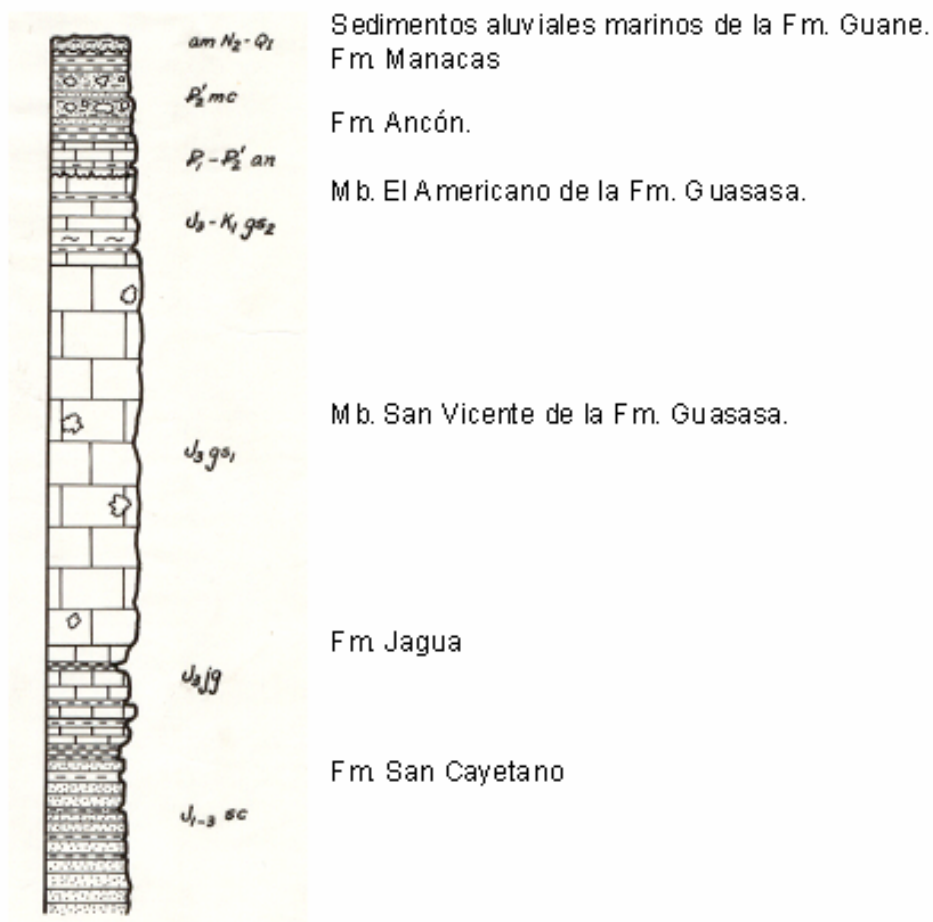


Figura IV.3 Columna estratigráfica generalizada del Parque Nacional Viñales (Tomada del Plan de Manejo del Parque Nacional Viñales, 2003)

IV.2 Tectónica

Numerosos investigadores han manifestado el carácter alóctono de las diferentes secuencias en Sierra de los Órganos (Vermunt, 1937; Palmer, 1945; Hatten, 1957; Rigassi, 1958; Pszczolkowski et al., 1975; Shein et al., 1975; Mormil et al., 1980; Piotrowska, 1982; Martínez et al., 1988, etc., (Cáceres, 1998).

Los rasgos que evidencian una tectónica representada por mantos cabalgados en Sierra de los Órganos, comenzaron a ser manejados en la literatura geológica desde los trabajos de Vermunt (1937), donde se destaca el papel de las

serpentinitas en dichos cabalgamientos. Palmer (1945) concluyó sus trabajos sobre la estratigrafía de Cuba, describiendo entre otras las formaciones Jagua y Capdevila, en los que se habla sobre la estructura de mantos en Cuba (Cáceres, 1998).

Hatten (1957), sugiere la estructura de mantos tectónicos en la región de Pinar del Río, relacionando la formación de los mismos con la orogenia Laramídica (cubana), y considera que la formación de mantos contribuyó al origen de sedimentos fliishoides sinorogénicos que se han depositado en su parte frontal. De igual forma, Riggasi (1958), desarrolló un esquema tectónico en el que se aprecia un amplio desarrollo de los mantos tectónicos cabalgados hacia el Norte o Noroeste (Cáceres, 1998).

En la década del 70, con el levantamiento geológico a escala 1:250 000 realizado por especialistas de las Academias de Ciencias de Cuba y Polonia, se aportan nuevos datos sobre el carácter alóctono de estas secuencias (Martínez et al. 1988).

Para Pinar del Río, Pszczółkowski en 1975, describió cuatro zonas estructurofaciales: Guaniguanico, San Diego de los Baños, Bahía Honda y La Esperanza y más tarde, Mormil en 1980 (en Cáceres 1998), incorporan la zona estructurofacial La Esperanza como de Guaniguanico, reduciéndose el número de éstas.

En 1975, un grupo de especialistas soviéticos y cubanos (Shein et al. 1975, en Cáceres, 1998), confeccionan el mapa tectónico de Cuba, suponiéndose el desplazamiento de Sur a Norte de las rocas eugeosinclinales en Pinar del Río.

Piotrowska plantea que las lineaciones de la Sierra de los Órganos representan tres fases de deformaciones principales. La lineación más antigua observada en las unidades metamórficas, es probable que se haya asociado con los procesos metamórficos (Pszczółkowski, 1987). La lineación principal que aparece en todas las unidades tectónicas de la Sierra de los Órganos, se ha originado durante el

transporte tectónico de la fase orogénica principal. La más joven está conectada con las deformaciones post-charriage (Cáceres, 1998).

Los trabajos realizados por Martínez et al. (1988), revelan dos sistemas principales de estructuras lineales, la primera coincidente con el rumbo de las estructuras de carácter regional (sistema de fallas longitudinal), con dirección Oeste-Suroeste - Este-Noreste, al que pertenecen las fallas inversas de ángulos fuertes y suaves (planos de sobrecorrimientos) que constituyen los límites de las unidades tectónicas con edad Eoceno Inferior parte alta-Eoceno Medio parte baja y las fallas subverticales del Eoceno Medio parte alta y la segunda, cortante de las principales estructuras geológicas del área (sistema de fallas transversales) con dirección Sureste-Noroeste y Suroeste-Noreste. Entre éstas se agrupan las fallas de rechazo horizontal del Eoceno Superior parte baja-Eoceno Superior parte alta y las fallas menores que no presentan una dirección determinada y constituyen sistemas de fracturas tanto en las zonas de desarrollo en las secuencias terrígenas, como en las unidades que conforman el cinturón carbonatado.

Los depósitos más antiguos corresponden a un complejo deltaico jurásico, representado por un paquete terrígeno constituido por intercalaciones de areniscas, lutitas, limolitas, arcillas grises y algunos esquistos y pizarras agrupadas en la Formación San Cayetano de edad Jurásico Inferior al Jurásico Superior (Oxfordiano Medio). Esta Formación fue definida originalmente por De Golyer en 1918 con el nombre de Formación San Cayetano. El espesor de este corte terrígeno se estima que no sobrepase los 6 000 m, ya que no se han podido definir sus límites inferiores.

A partir de este período, la sedimentación se torna carbonatada en la Sierra de Los Órganos, depositándose los sedimentos de aguas someras hasta neríticos profundos de la Formación Jagua del Oxfordiano Medio - Superior y definida por Palmer en 1945, representada por calizas micríticas, esquistos arcillo - margosos y lutitas calcáreas que sobreyacen concordantemente al paquete terrígeno de la

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

Formación San Cayetano. Su espesor es de 160 m. Los sedimentos de esta formación, exceptuando su Miembro Zacarías, pudieran representar los depósitos de una rampa carbonatada (Cobiella, 1996).

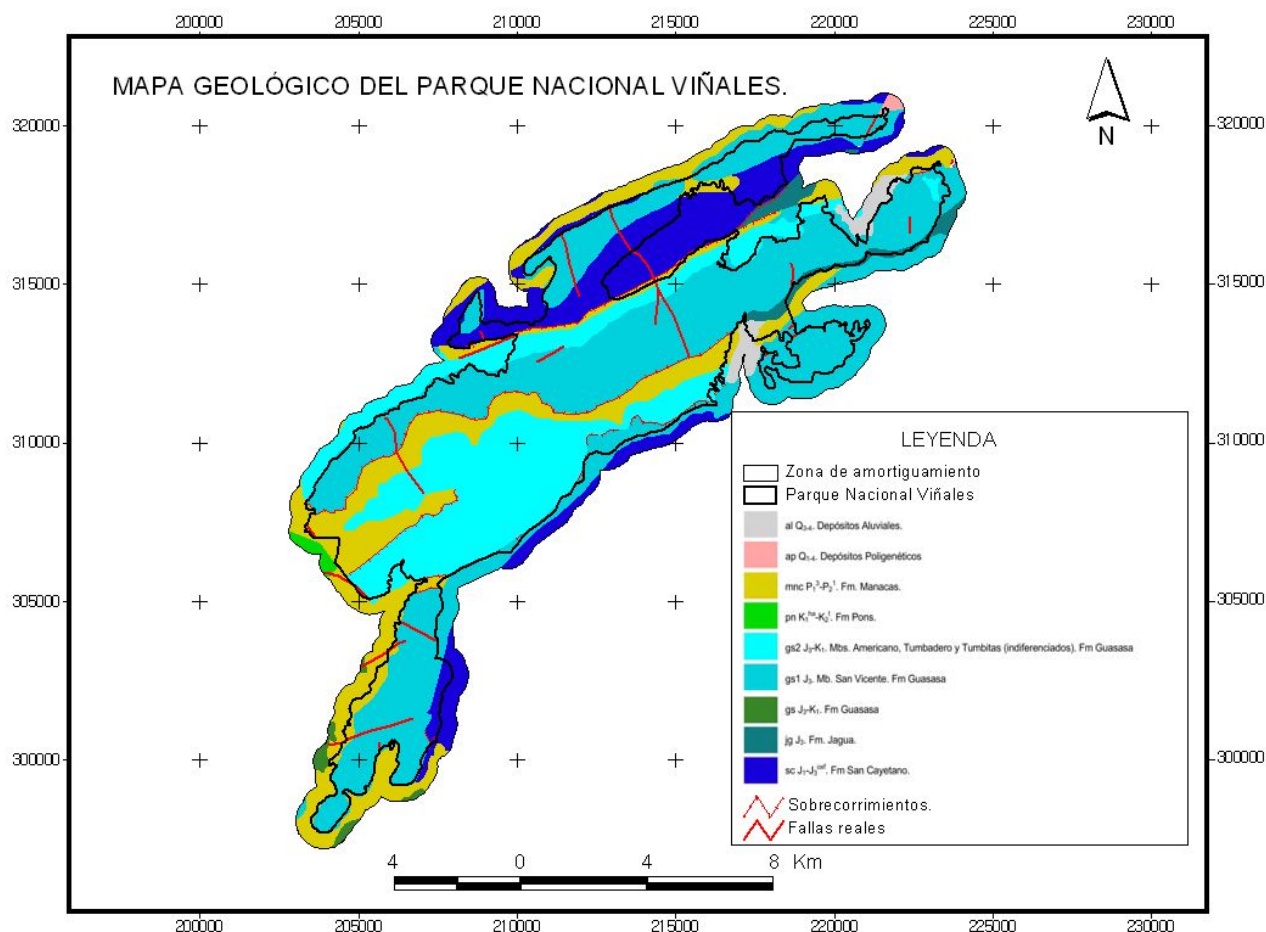


Figura IV.4 Mapa geológico de la zona de estudio, donde se observan las principales formaciones presentes (Martínez et al, 1988).

Sobreyaciendo concordantemente a estos depósitos se encuentran las calizas masivas o con estratificación gruesa muy carsificadas del Miembro San Vicente de la Formación Guasasa, desarrollados como un banco carbonatado entre el Oxfordiano Superior y el Tithoniano Inferior. En este paquete de calizas se han descrito varias facies: micríticas con coprolitos, pelsparitas, biosparitas, calizas

oolíticas entre otras, predominando las variedades micríticas hacia la parte baja de la unidad y las calcareníticas en la parte superior consideradas como un depósito de plataforma carbonatada (Cobiella, 1996). Este miembro fue descrito por primera vez por Herrera en 1961 y tiene un espesor de unos 650 m. Estas rocas transicionan a las calizas bien estratificadas del Miembro El Americano de esta misma formación que, por sus características, parecen representar depósitos de talud. Calizas dolomíticas, calizas microgranulares, arcillosas y laminares y lutitas de colores oscuros conforman las litologías de esta unidad que fue definida por Housa y De la Nuez en 1972 y tienen un espesor de unos 200 m. Su edad se ha establecido como Tithoniano Superior.

En el Cretácico tardío (hasta el Campaniano alto) existe un hiatus sedimentario en todas las secuencias de la Sierra de Los Órganos y las capas cenozoicas comienzan con los sedimentos carbonatados de aguas profundas de la Formación Ancón del Paleoceno Superior al Eoceno Inferior basal, constituida por calizas, margas y brechas calcáreas con un espesor de 70 m y definida en 1956 por Truitt y Bronnimann.

El corte continúa con los sedimentos terrígenos olistostrómicos y sinorogénicos de la Formación Manacas, formados por corrientes turbidíticas en el talud continental, asociadas al sobrecorrimento de los complejos del Arco Cretácico y las ofiolitas sobre los depósitos de Guaniguanico. Este paquete se ha descrito con una potencia de unos 200 m y fue definida por Hatten en 1957.

Todas estas secuencias mesocenozoicas se han incluido en la Unidad Tectónica Infierno de la Zona Estructuro - Facial Guaniguanico (Piotrowska, 1987) con particularidades estructurales propias y constituida por numerosos *nappes* o escamas tectónicas originadas durante la orogénesis cubana (Piotrowska, 1978, 1987; Hatten, 1967; Pszczółkowski, 1978, 1987; Khudoley y Meyerhoff, 1971; en Cobiella, 1996). La Unidad Tectónica Infierno abarca la parte superior de la Formación San Cayetano y las formaciones Jagua, Guasasa, Ancón y Manacas con un mayor desarrollo de las estructuras más complejas en los depósitos pre-

Oxfordianos. Como característica general, los depósitos terrígenos sobrecorrieron al paquete carbonatado. Todas las secuencias hasta aquí descritas tienen un carácter alóctono y fueron emplazadas tectónicamente desde el Sureste.

La parte alta del corte del Jurásico Superior constituida por las unidades calcáreas, se caracteriza por presentar una complejidad menor que la parte inferior del corte. Aquí, la presencia de un potente paquete de calizas masivas ha influido decisivamente en la tectónica de esta unidad, reaccionando como un cuerpo rígido sujeto a deformaciones disyuntivas según Piotrowska (Pszczółkowski, 1987).

Las estructuras disyuntivas desarrolladas en las unidades calcáreas son de un orden menor y dividen en bloques las secuencias carbonatadas provocando pequeños desplazamientos tanto en la horizontal como en la vertical (Martínez, 1994). En la Sierra del Quemado existen dos macrosistemas de estructuras de este tipo, unas con orientación Noroeste - Sureste, aproximadamente paralelas a los sobrecorrimientos y que coinciden con la dirección general del arrastre tectónico de la Sierra de Los Órganos, y otras con dirección Noreste - Suroeste que pueden tener un origen sinorogénico por rotaciones locales durante el avance diferencial de los mantos en su emplazamiento, o ser estructuras posteriores a los cabalgamientos originadas a consecuencia de la rotación horaria del máximo estrés compresivo, para estas últimas se ha establecido una edad de Eoceno Inferior parte alta (Gordon, M. B. et al, 1997; Cáceres, 1998; Rosa, 1999; Díaz, 1999).

Entre las estructuras de menor orden predominan las grietas híbridas y vetas de calcita, siendo frecuentes también las vetas sigmoidales y en escalón, que evidencian la existencia de varias fases deformacionales en la historia tectónica del macizo (Rosa, 1999).

Los depósitos del Paleógeno no se caracterizan por presentar una gran complejidad estructural, estando basada su variabilidad en la mezcla litológica que los conforman. Para la parte tranquila del corte es característica una

estratificación fina con una yacencia que no sobrepasa los 20° - 25° de inclinación. La parte alta está representada por los depósitos caóticos tipo *melange* de la Formación Manacas donde son más frecuentes los plegamientos más intensos.

A partir del Eoceno medio el territorio emerge hasta el Plioceno, intervalo durante el cual comienzan a desarrollarse las formas cársicas más antiguas de la zona. Hacia el Plioceno superior comienza una transgresión marina originándose una llanura aluvial y aluvial marina donde se depositaron los sedimentos terrígenos del Miembro Ensenada Grande de la Formación Guane, constituidos por sedimentos aluviales, eluviales, proluviales y cársicos. Este régimen de sedimentación se mantiene hasta el Pleistoceno superior, en un posible ambiente fluviolagunar, del cual hoy se aprecian relictos. Otros sedimentos aluviales, eluviales y cársicos del reciente coronan definitivamente el corte estratigráfico de la región.

Capítulo V Escenarios de peligros naturales del Parque Nacional Viñales.

V. 1 Análisis de la erosión

El análisis de la erosión (= estados erosivos) del área se realizó siguiendo la Metodología PNUMA-FAO. Esta metodología permite la obtención de los mapas de erodabilidad y posteriormente, de los estados erosivos. Como resultado se clasifica y subdivide el territorio en base al análisis de una serie de atributos seleccionados.

V.1.1 Análisis del Mapa de Erodabilidad

El Mapa de erodabilidad, se obtuvo mediante la superposición del mapa de pendiente del terreno, y de las litofacies y refleja una zonificación de las áreas potenciales a erosionarse. En el Mapa resultante (**Figura V.1**), se puede apreciar el predominio de las zonas de erodabilidad alta, media y muy baja, ocupando aproximadamente el 74.86 % del área.

La erodabilidad muy baja, se asocia principalmente a los poljes o valles intramontanos que se forman en el contacto entre diferentes litologías. Estos valles tienen bajos valores de pendientes relacionados a litofacies que muestran una gran resistencia a los procesos erosivos. Estos territorios ocupan 44.90 Km² y representan el 24. 04 % del área objeto. Otras áreas, pero en menor cuantía están instaladas en la parte alta del carso ruiniforme que se asocia a su vez a la superficie erosiva mejor conservada del área (Farfán, Díaz y Aldana, 2009).

El 21.08 % del área lo ocupan las áreas que muestran una baja erodabilidad, extendiéndose por un área de 39.38 km². Estas áreas ocupan las zonas adyacentes a las de erodabilidad muy baja, principalmente al carso ruiniforme desarrollado al pie de las cadenas mogóticas y a las zonas de contacto entre los poljes con las alturas de pizarras, aunque también se pueden apreciar en el interior de los valles, asociados a los mayores rangos de pendientes de estos. El valle de San Vicente es un caso particular donde las pendientes son un poco más fuertes que el resto del área, por lo que la erodabilidad muy baja tiene muy poca representatividad.

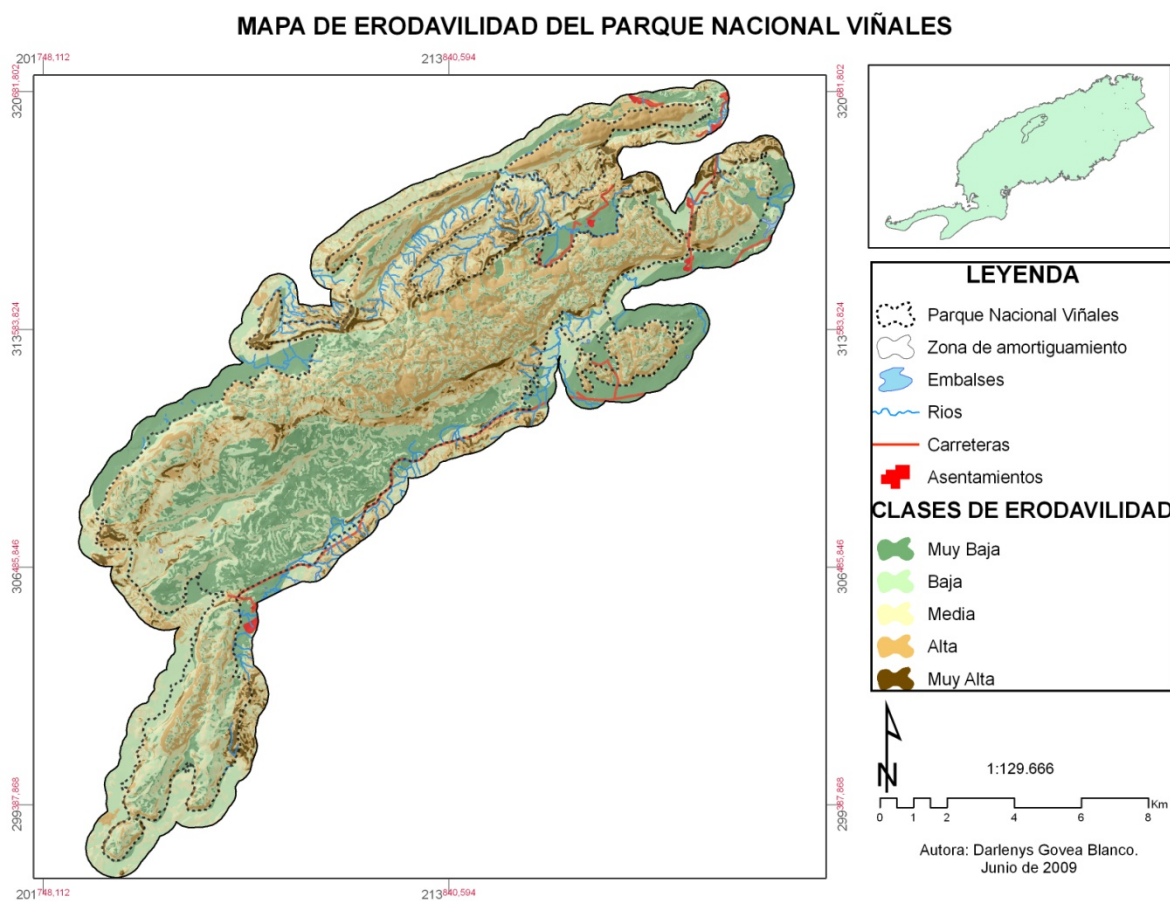


Figura V.1 Mapa de Erodavilidad del Parque Nacional Viñales (Elaborada por la autora).

La erodavilidad media tiene una mayor representatividad en el área extendiéndose unos 52.38 km², representando el 28.04 % (**Figura V.2**). Su distribución es más irregular, encontrándose en las tres litofacies descritas en el área. Es muy común encontrarlas en la zona de pie de monte, o más bien asociada a los sedimentos terrígenos carbonatados del área. Las áreas de pizarras se encuentran en la parte superior del contacto con los valles, mientras en las áreas cársicas está adyacente a los menores valores de erodavilidad, que se encuentran en el carso en ruinas, así como en la parte inferior de las cadenas mogóticas y en las dolinas u hoyos de montaña. En el Valle de los Cañadones, su distribución es elevada, debido al desarrollo de sus pendientes en el área.

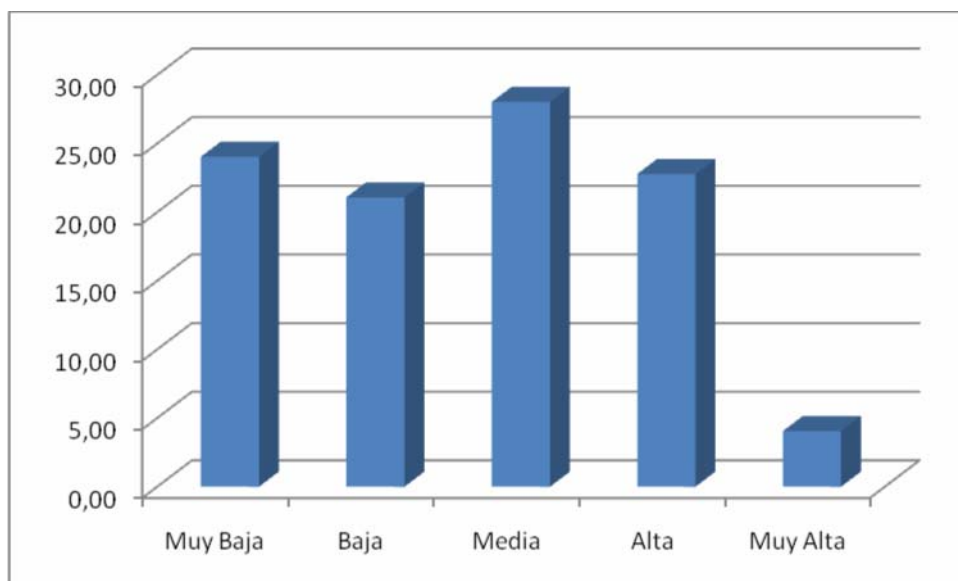


Figura V.2 Por ciento que representa cada clase de erodabilidad en el área de estudio (Elaborada por la autora).

La erodabilidad alta representa el 22.79 % del área, ocupando 45.57 km². Estas áreas están distribuidas principalmente en las cadenas mogóticas asociadas a las pendientes casi extraplomadas (o casi verticales) de estas, con litofacies carbonatadas. También se pueden encontrar en las alturas de pizarras del centro, asociadas a pendientes fuertes, en contacto con las áreas de erodabilidad muy alta, que ocupan las mayores pendientes de estas, siendo estas últimas mas menos representativas (4.05 %). En las áreas cársticas donde se encuentra una erodabilidad muy alta, están asociadas a los mayores valores de pendiente que se encuentran principalmente en el contacto con otras litofacies.

V.1.2 Análisis del Mapa de Estados Erosivos

Con la superposición de todas las variables anteriores pero de forma resumida en el Mapa de Erodabilidad y el Índice de Protección del Suelo se puede llegar a la confección del Mapa de Estados Erosivos (**Figura V.3**) donde se ve ampliamente reflejado que las zonas de estados erosivos de mayor influencia son Baja, Media y Alta representando el 89.74 % del área.

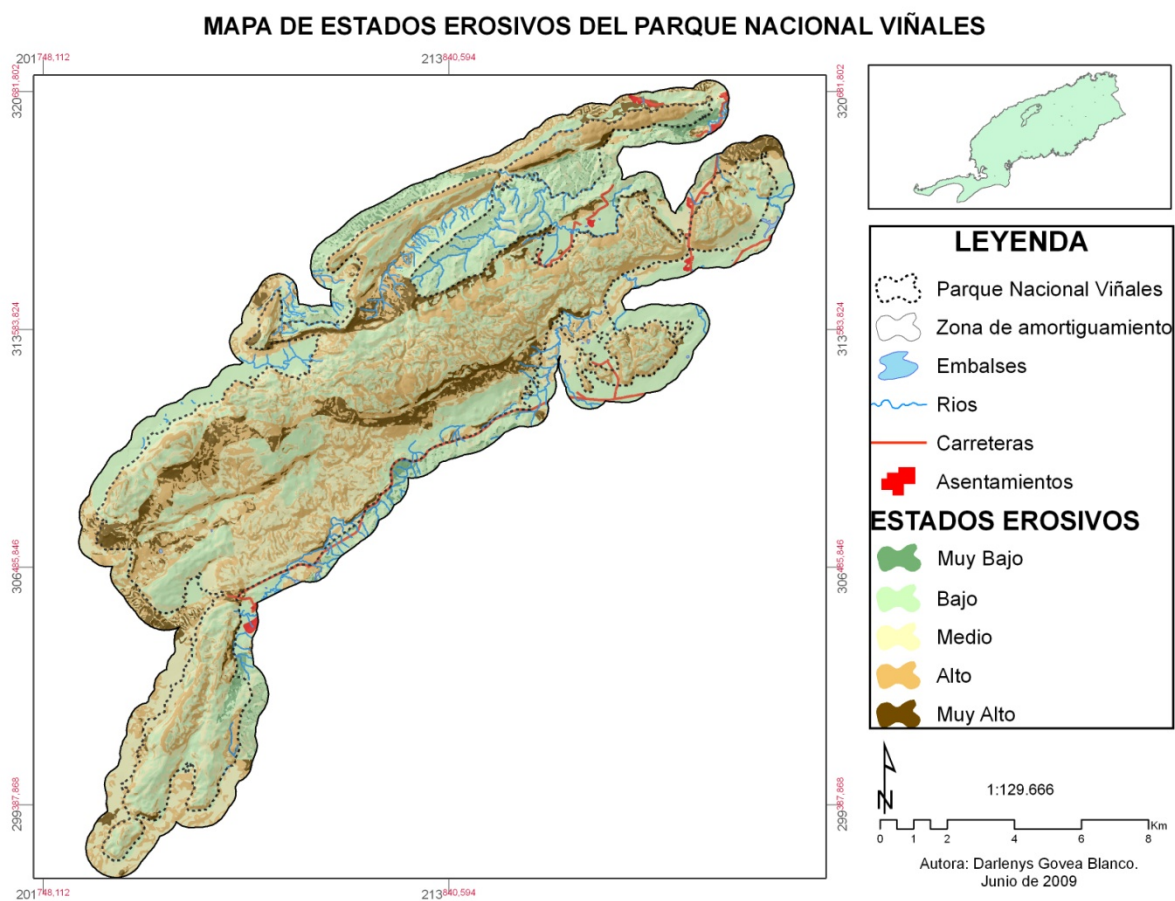


Figura V.3 Mapa de Estados Erosivos del Parque Nacional Viñales (Elaborada por la autora).

Los estados erosivos muy bajos tienen una pobre representatividad en el área, ocupando solo 5.79 Km². Estos están asociados a sectores de erodabilidad media y baja, en áreas de rocas terrígenas y a la vegetación de pinares y encinares, reduciendo esta última en solo algunos sectores con condiciones favorables la erosión.

La zona de estados erosivos bajos representan el 34.43 % del área (**Figura V.4**) extendiéndose 64.21 Km² por esta. Estos estados rangos de estados erosivos bajos se encuentran principalmente en los valles donde predomina la vegetación cultural, así como en las lomas de pizarras y en menor porción en lomas y colinas de pizarras

por lo que existe una vegetación de pinares, pinares y encinares y plantaciones de pinares. En estas zonas se puede encontrar rocas carbonatadas y terrígenas, por tanto se puede decir que los estados erosivos bajos se asocian a la erodabilidad muy baja.

En los sectores donde predominan los procesos cársticos, estos también muestran gran representatividad, asociados a erodabilidades Muy bajas y bajas, con vegetación de mogotes. Colindando con estas áreas se encuentran los estados erosivos predominantemente altos.

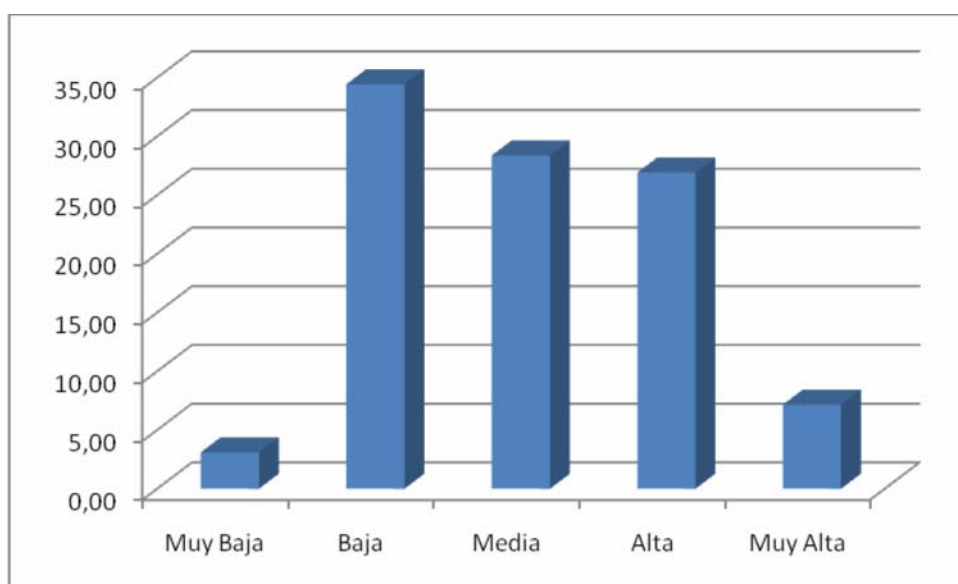


Figura V.4 Por ciento que representa cada clase de estados erosivos en el área de estudio (Elaborada por la autora).

El 28.38 % del área lo ocupan las zonas que muestran un estado erosivo medio, extendiéndose por un área de 52.93 Km². Estas están asociadas principalmente a zonas de poljes donde la vegetación predominante es la cultural. Los estados erosivos medios vienen dado por una litología de Rocas fracturadas y rocas afectadas por procesos geológicos externos asociados al clima (intemperismo) o sea rocas terrígenas en el mayor de los casos.

Menor representatividad tienen los estados erosivos altos ya que representan 26.92 % del área, ocupando 50.20 Km². Su distribución esta asociada a los sectores de

máxima pendiente en los territorios carbonatados, donde se presentan procesos cársicos y erodavilidades medias y altas, conjuntamente con el complejo de vegetación de mogotes. También se puede encontrar cualquier zona de valles, lo mismo en rocas terrígenas, carbonatada o carbonatada terrígena indistintamente.

Las áreas con estados erosivos muy altos se distribuyen por el 7.16 % del área (13.35 km²) de manera muy dispersa. Estos se asocian a sectores con erodavilidad muy alta, alta y media, donde predominan los bosques secundarios y complejos de vegetación de mogotes, los cuales ofrecen poca protección ante la erosión. En estas áreas las litofacies son predominantemente del tipo terrígeno.

V.1.3 Análisis de las inundaciones del área

Las inundaciones se producen en los valles y poljes de la región, ocupando en algunos casos y en condiciones excepcionales, la mayor parte de estos. Esto se debe a que generalmente, estos se encuentran en la zona de absorción de los sistemas cársicos del área. En este sentido, las redes de cavernamiento, juegan un importante papel en los procesos de regulación hidrológica de estos valles y de los sistemas cársicos en general.

Para la zona de descarga, las inundaciones también pueden ser notables, pero en algunos casos más lentas, debido a las diferentes maneras en que se estructura el campo de propiedades físicas dentro del territorio cársico, jalonado principalmente por la dualidad del campo de flujos en él. En algunos casos, las inundaciones más fuertes se pueden producir sin homólogas notables en la zona de absorción, debido a la saturación de la red cársica, o justamente, cuando este disminuyendo. Algunas formas cársicas como los estavellas, ejercen un importante papel regulador en los procesos de inundaciones. En la (Tabla V.1), se exponen las principales áreas inundables y el área en Km² que ocupan.

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

LOCALIDAD	Km ²
Valle de Pan de Azúcar	2,413
Valle el Jobero y Los González	0,133
Valle de Isabel María	8,776
Valle de Santo Tomás	0,987
Valle de Constantino	0,604
Hoyo de Jaruco	0,094
Ensenada de la Jutía	0,785
Valle de San Vicente	0,529
Resolladero de la cueva El indio	0,585
Valle de Viñales	10,592

Tabla V.1 Áreas inundables del área de estudio (Farfán et al, 2005).

Algunas áreas merecen especial atención, debido a que estas se desarrollan en condiciones muy particulares, lo que le imprimen procesos de regulación hidrológicas muy específicas. Como ejemplos tipo, se tomaron el Valle de Viñales y de San Vicente, cuyo funcionamiento fue observado tras el paso de los Huracanes Gustav e Ike, provocando notables inundaciones. En el estudio de campo, se logró cartografiar las áreas inundadas, confeccionándose el mapa de inundaciones máximas (**Figura V.6**) (Farfán et al., 2009).

En el valle de Viñales, donde el agua es absorbida principalmente, a través de cuevas absorbentes de caudal alóctono que conforman el sistema cársico Palmarito-Novillo-Pan de Azúcar de 48 km de extensión (Molerio et al., 2003) y un estavelle que se activa ocasionalmente al pié del Mogote del Tumbadero, por lo que las condiciones de inundación son menores.

**MAPA DE LAS INUNDACIONES PROVOCADAS
POR EL HURACÁN IKE EN LOS VALLES DE SAN VICENTE Y VIÑALES.**

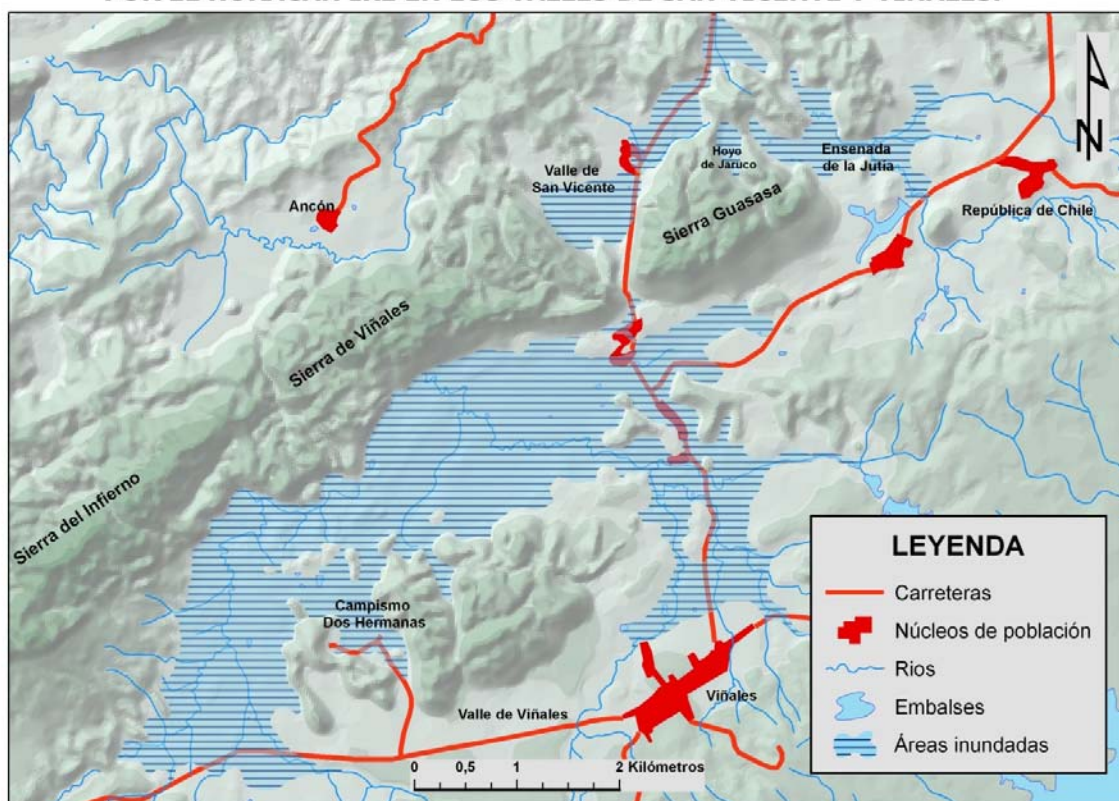


Figura V.6 Mapa de inundaciones provocadas por el Huracán Ike en el Valle de Viñales y de San Vicente (Farfán et al. 2009).

En tal sentido, las mayores avenidas las produce la Cuenca del Novillo, que pese a sus pequeñas dimensiones, tiene una mayor densidad de drenaje que la Cuenca del Palmarito (**Tabla V.2**). En este sentido, el proceso de incremento de los gradientes y de inversión temporal del flujo que producen el aumento de las áreas inundadas comienza por este, superando rápidamente su plano de inundación y aportando por flujo lateral más volumen la cuenca del Palmarito. Las grandes lluvias provocan que las grandes avenidas de los ríos de las pequeñas cuencas tengan una alta capacidad de autopurificación, si se asumen los criterios de desarrollo bajo condiciones no tropicales, que no se someten a estos eventos. Esto trae consigo que las

aproximaciones tradicionales, no son capaces de explicar los mecanismos de autopurificación en tan corta distancia (Díaz Arenas, 1988).

Índices morfométricos	Cuenca Palmarito. (VA)	Cuenca El Novillo. (VA)
Área de la Cuenca(o de alimentación teórica)	22 Km ²	9 Km ²
Longitud real	5.358	6.354
Longitud rectificada	3.204	4.072
Coeficiente de sinuosidad	1.672	1.560
Pendiente	70	82
Rupturas de pendiente	2	20
Altura media de la cuenca	92.5 m	77.5 m
Densidad de drenaje	1.923 km/km ²	2.626 km/km ²
Avenidas (1% de probabilidad)	8.4 m ³ /s	16.80 m ³ /s

Tabla V.2 Índices morfométricos de las cuencas Palmarito y Novillo en el Valle de Viñales (Farfán et al. 2005).

Otro aspecto que provoca que las aguas superen la llanura de inundación es el funcionamiento hidráulico del Mogote del Tumbadero. Este mogote no recibe ningún aporte de flujos alóctonos, por lo que es un sistema de caudal autóctono. Este es un mogote aislado que se ubica hacia el centro del Valle de Viñales en la parte centro-inferior de la Cuenca del Palmarito, con una descarga estacional concentrada hacia el norte que se une al río Palmarito.

Al este, en el sector de Valle de Dos Hermanas, se encuentra un sumidero que se activa recargando el sistema al formarse una laguna ocasional. Cuando la recarga (producto de los grandes volúmenes aportados por eventos extremos) excede la capacidad de almacenamiento del sistema este se sobresatura y los niveles comienzan a ascender hasta que se este se sitúa bajo el nivel de las aguas y comienza a descargar, comportándose como un estavelle. Cuando cesa el aporte y

comienzan a descender los niveles vuelve a comportarse como un sumidero infiltrando todo el volumen de agua almacenado en el lago estacional. La existencia de esta forma de comportamiento dual al pié del Mogote del Tumbadero, que funciona en condiciones extremas es un elemento a tomar en consideración.

Las cavidades al pié, son muy comunes en las paredes de los mogotes que entran en contacto con el fondo de los valles cársicos de la Sierra de los Órganos. Estas juegan una importante acción hidrológica durante la fase lacustre de la evolución de los valles cársicos (poljes y uvalas).

El Valle de San Vicente estuvo inundado por 15 días, debido a la saturación de los suelos y los sistemas cársicos adyacentes, donde el drenaje es al pie de la sierra calcárea, sin cauce definido y con tupiciones de esta por árboles y sedimentos. En este, la inundación se produce por la incapacidad momentánea de las cavidades al pié (*Füsshöhlen*) de infiltrar el agua hacia los sistemas cársicos adyacentes, ya que los factores antes descritos no se asocian a este. Sobre este aspecto Lehmann (1953) llama la atención explicando el funcionamiento de estos valles (*poljes y poljes marginales*). Para este autor, las cavidades al pié o grutas marginales jugaban un importante papel en la regulación hidrológica de estos. Para Lehmann (1954): “Únicamente esas grutas están en condiciones de poder despachar con relativa rapidez hacia el sistema hidrológico subterráneo las masas de agua que, durante los aguaceros tropicales, inundan enteramente el fondo de los poljes”. La presencia de sedimentos lacustres en el fondo de las dolinas, poljes y uvalas sustenta esta aproximación (Molerio, 2009-inédito).

V.1.4 Descargas eléctricas

Las descargas eléctricas no son un fenómeno muy común en el área, pero producen severos daños en la biota del territorio. Estos se localizan principalmente en las zonas más altas de los mogotes, principalmente en laderas que descienden hasta los valles adyacentes. Su cartografía se basa en observaciones de campo y en los estudios históricos sobre los peligros que han afectado al área.

Recientemente, debido al extenso período de sequía que sufre el área, varios de los incendios ocasionados en los mogotes se han debido a este fenómeno. En los dos meses anteriores, se han reportado 3 incendios debido a estas causas (Corvea, com. pers).

V.1.5 Desprendimientos cársicos

Estos fenómenos también están muy localizados, y se asocian principalmente a las mayores pendientes del área cársica. En estas área los fenómenos de inestabilidad de pendientes se deben principalmente a los efectos de la disolución cársica que actúan sobre fracturas casi verticales creando estructuras pinaculares que progresivamente se tornan inestables (**Fig. V.7**). En estas áreas los procesos de escurrimiento superficial son insignificantes.

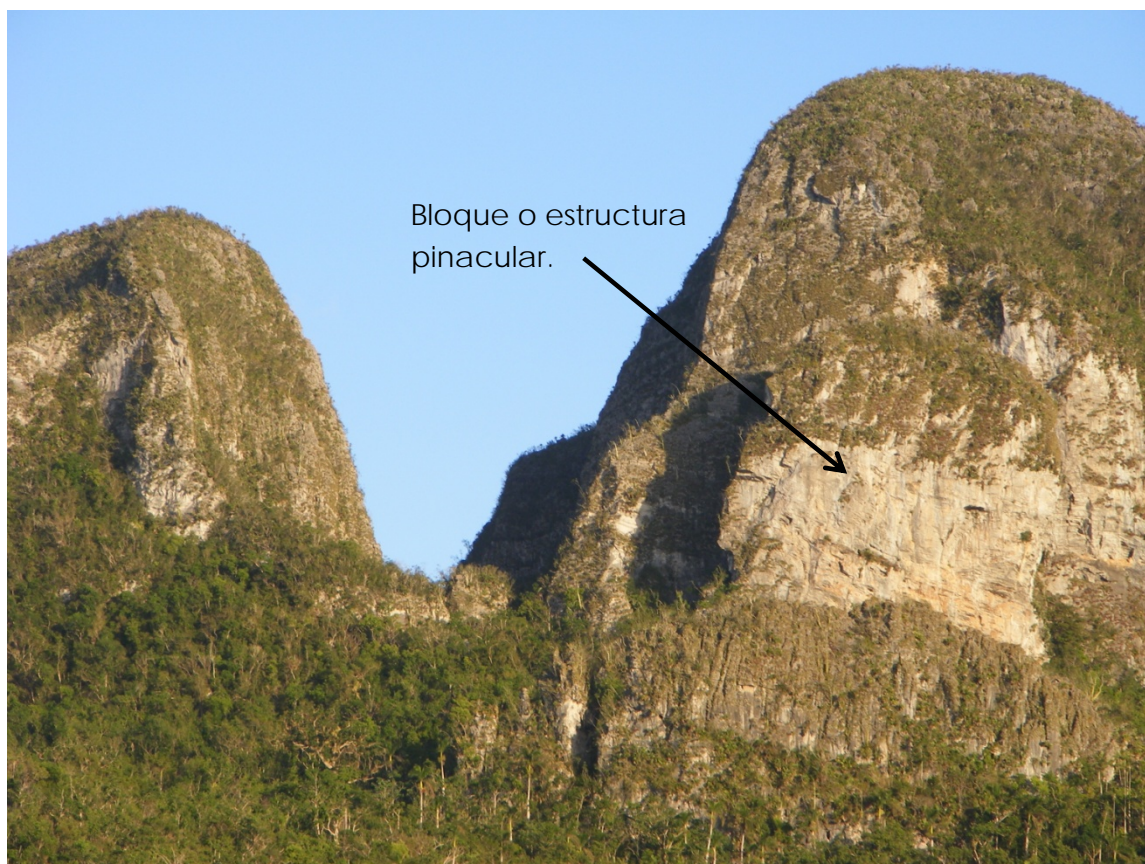


Figura V.7 Boquerón del Infierno en la sierra homónima. Obsérvese la estructura pinacular, separada de del macizo por una falla vertical (Farfán, 2008).

Es muy conocido que existe una relación directa entre los factores de estabilidad como una función de la pendiente, para diferentes ángulos de fricción interna de la roca (Sheidegger, 1961, Ford & Williams, 1989, Molerio, 2009, Santo et al, 2007, White, 1988, entre otros). En este sentido, la litología, las pendientes, las fracturas casi verticales, la intensidad de la fracturación junto con el ángulo de fricción interna y de reposo contribuyen a la recesión de las paredes, y por consiguiente son elementos que determinan la inestabilidad de las pendientes y consecuentemente los procesos de desprendimientos de las masas rocosas.

V.1.6 Deslizamientos

Estos fenómenos, al igual que los desprendimientos cársicos se localizan en las mayores pendientes del área. Sin embargo, la diferenciación se debe principalmente a la litología y las condiciones en la que se desarrollan.

Se encuentran asociados a las litologías terrígenas, y donde la fracturación no es un elemento que influya en este proceso, ya que se debe principalmente a erosión superficial, tanto lineal como areal. En estas áreas, los procesos erosivos son más intensos debido a la relativa impermeabilidad del sustrato, por lo que son áreas favorables para el escurrimiento superficial. La lluvia es el principal factor externo que actúa como un disparador para el desarrollo de estos procesos, donde las pendientes también juegan un importante papel.

La inestabilidad de las pendientes en estas áreas no es un elemento a considerar, puesto que generalmente, muestran gran estabilidad, sin embargo, al ocurrir un deslizamiento, se crea un área inestable que mueve su centro de gravedad a medida que se mueve la masa de tierra o material removido. La erosión lineal provoca un deslave a lo largo de una línea de flujo que corta la pendiente (Sheidegger, 1961).

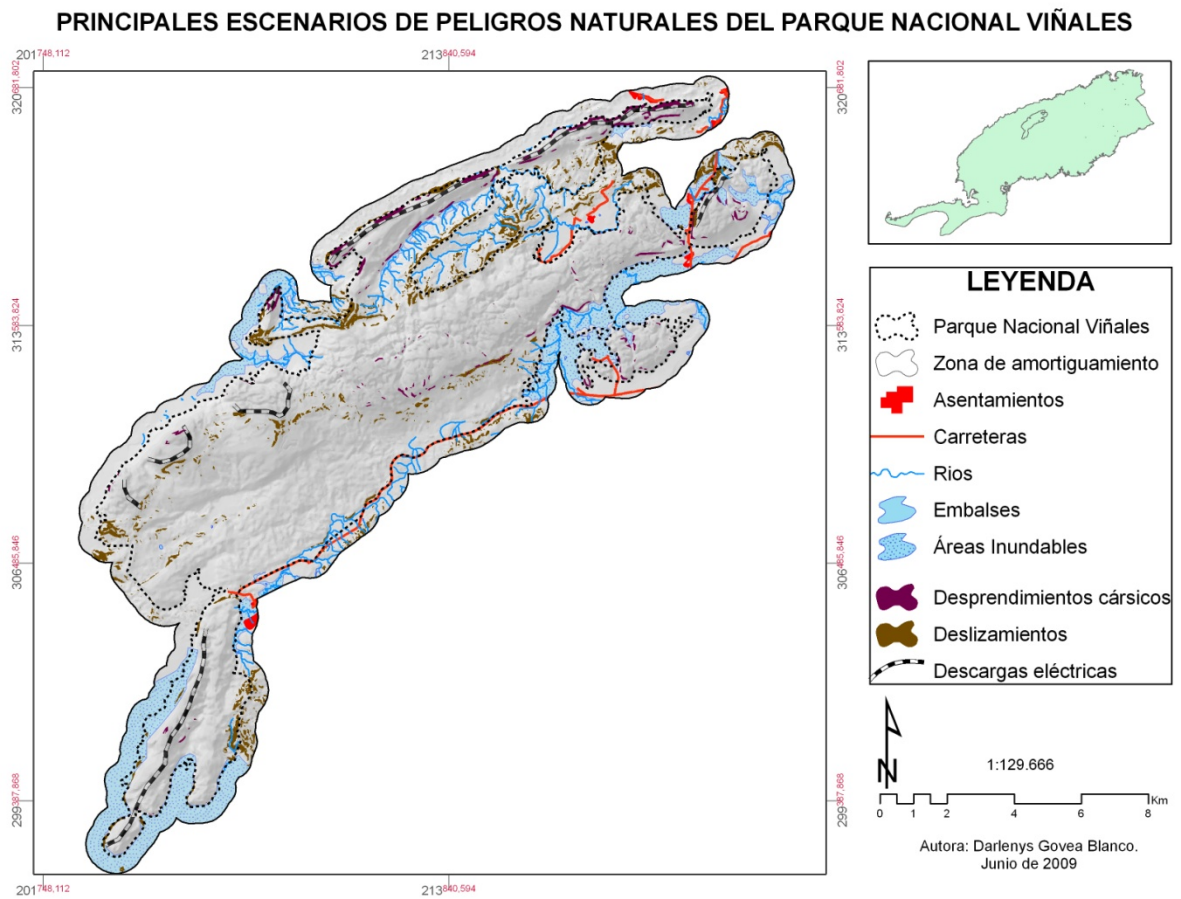


Figura V.8 Principales escenarios de peligros naturales del Parque Nacional Viñales (Elaborada por la autora).

CONCLUSIONES

Después de analizar los resultados de la presente investigación, se arriba a las siguientes conclusiones:

1. En el área de estudio, fueron identificados y clasificados según su tipología los peligros naturales que la afectan, como es el caso de las inundaciones, descargas eléctricas, desprendimientos cársicos, deslizamiento por pendiente y erosión.
2. La erosión en el área, muestra el predominio de la erosión Baja, Media y Alta representando el 89.74 % del área.
 - La erosión muy baja se asocia a rocas terrígenas y a la vegetación de pinares y encinares.
 - La zona de erosión baja se encuentran principalmente en los valles donde predomina la vegetación cultural, además en las lomas de pizarras. En estas zonas se puede encontrar rocas carbonatadas y terrígenas.
 - Las zonas de erosión media están asociadas principalmente a zonas de poljes donde la vegetación predominante es la cultural.
 - La erosión alta muestra una distribución asociada a los sectores de máxima pendiente en los territorios carbonatados. También se puede encontrar cualquier zona del valle, lo mismo en rocas terrígenas, carbonatada o carbonatada terrígena indistintamente.
 - Las áreas con valores de erosión muy altos se distribuyen de manera muy dispersa. Específicamente donde predominan los bosques secundarios y complejos de vegetación de mogotes. En estas áreas las litofacies son predominantemente del tipo terrígeno.
3. Las inundaciones se producen en los valles y poljes de la región, ocupando en algunos casos y en condiciones excepcionales, la mayor parte de estos. Las redes de cavernamiento, juegan un importante papel en los procesos de

regulación hidrológica de estos valles y de los sistemas cársicos en general, por lo que se definen dos casos diferenciados en el área:

- Zona de absorción de los sistemas cársicos del área: el sistema recibe agua desde una cuenca alóctona superficial, y por consiguiente están sujetos a inundaciones rápidas, mostrando una gran variabilidad en las descargas debido a los grandes volúmenes de agua que son capaces de transmitir, condicionado por la red cársica.
 - Zonas de descarga de los sistemas cársicos del área: las inundaciones pueden ser notables, pero en algunos casos más lentas, debido a las diferentes maneras en que se estructura el campo de propiedades físicas dentro del territorio cársico, jalonado principalmente por la dualidad del campo de flujos en él. Las inundaciones más fuertes se pueden producir sin homólogas notables en la zona de absorción, debido a la saturación de la red cársica, o justamente, cuando este disminuyendo.
4. Otros peligros de menor representación en el área son las descargas eléctricas, que se localizan en las zonas más altas de los mogotes, principalmente en laderas que descienden hasta los valles adyacentes. Estos son los causantes de los incendios naturales ocasionados en los mogotes a causa de las intensas sequías que sufre el territorio.
5. Los desprendimientos cársicos y los deslizamientos mapeados en el área se realizaron mediante la aplicación de varias metodologías y del uso de la Extensión Shallow Slope Stability Model del ArcView 3.3. Esta última mostró resultados coherentes. Generalmente estos procesos se asocian a las máximas pendientes, pero en diferentes litologías, las que le imprimen procesos muy particulares. Como caso muy particular, las metodologías desarrolladas para la cartografía de los peligros asociados a los territorios cársicos (desprendimientos cársicos y colapsos) muestran notables

Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.

diferencias en sus resultados, por lo que se adoptaron las áreas comunes entre estas y la extensión mencionada.

RECOMENDACIONES

1. Continuar profundizando los estudios relacionados a los peligros naturales que afectan el área, a fin de validar y actualizar el resultado obtenido en esta tesis.
2. Realizar algunos estudios locales referentes a la estabilidad de las cavernas, con el objetivo de perfeccionar las metodologías descritas.
3. Perfeccionar las metodologías relacionadas a la cartografía de los peligros asociados al carso, debido a que las metodologías existentes para tal objetivo, no muestran una concordancia aceptable.
4. Se recomienda la inclusión del presente en el plan de manejo del Parque Nacional Viñales y su inclusión en la estrategia ambiental para lograr un desarrollo adaptativo en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- ALFONSO, H. (2005). La mitigación de los peligros y riesgos provocados por fenómenos naturales en Cuba y la planificación del desarrollo. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, Universidad de Barcelona, Vol. X. Disponible en: www.ub.es/geocrit/b3w-590.htm.
- ASTAJOV, K., SOLIANIK, V., VASILIEV, V., MARTÍNEZ, D., FERNÁNDEZ, R., OUBIÑA, J., DIMIDOV, S., SANTAMARÍA, Z (1981): Levantamiento a escala 1: 50 000 Pinar Noroeste. C.N.F.G., Pinar del Río.
- CABRERA, M. (1998): Geología del Cuaternario de la región Norcentral del archipiélago cubano. Memorias III Congreso de Geología y Minería. Tomo I. PP. 78-81. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- CÁCERES, D. (1997): "Estructura geológica y pronóstico preliminar para metales básicos más Barita en la parte central de las Alturas de Pizarras del Sur. Pinar del Río. Tesis doctoral, 1997. Oficina Territorial del Fondo Geológico, Pinar del Río.
- CÁCERES, D. (1998): Diferentes fases deformacionales en la porción más meridional de la Sierra de los Órganos. Memorias III Congreso de Geología y Minería. Tomo I. PP. 89-92. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- CCAD/SICA (1999). Cooperación Regional para Reducir la Vulnerabilidad Ambiental y promover el Desarrollo Sostenible en Centroamérica. Con la ayuda de PNUD/PNUMA/CEPAL. Pp.20
- CENDRERO, A. (1987): Riesgos geológicos, ordenación del territorio y protección del medio ambiente. In AYALA, E.J., DURAN, U. YPEINADO, T. (Eds.): Riesgos geológicos, 327-333. COME.
- CENDRERO, A. (1980): Bases doctrinales y metodológicas. Ponencias de la 1ª Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, 1-62.
- COBIELLA, J. (1996): Estratigrafía y eventos jurásicos en la Cordillera de Guaniguanico. Minería y Geología. Vol. XIII. No. 3. Pag. 11.

- CONSEJO DE DEFENSA NACIONAL. (2005). Directiva No. 1 del vicepresidente del consejo de defensa nacional para la planificación, organización, y preparación del país para las situaciones de desastres. La Habana. Cuba. Pp.56. (Inédito)
- CORVEA, J.L.; NOVO, R.; MARTINEZ, Y.; BUSTAMANTE, I. y SANZ, J. (2006). El Parque Nacional Viñales: un escenario de interés geológico, paleontológico y biológico en el occidente de Cuba. Trabajos de Geología. Vol. 26, 121-129 pp. Universidad de Oviedo.
- CRID. (1998). Glosario. Revista Prevenir Recompensa. No. 28. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. San José, Costa Rica. pp.5.
- DENIS, R. (1998): Algunas consideraciones sobre el Cuaternario de Cuba Occidental. Memorias III Congreso de Geología y Minería. Tomo I. PP. 180-182. Editorial C.N.D.I.G. La Habana.
- DÍAZ ARENAS. A (1988): Something more than a Tropical Climate in the Caribbean Basin. In: Quesada. V; J. Gutierrez; L. Landner (eds): Water resources management and protection in tropical climates. Selected papers from the First International Symposium. 8-12 February. 38-44. Havana. Cuba.
- DÍAZ DE TERÁN MIRA, J. R. (1988): "Tipos y metodologías de cartografías geoambientales o geocientíficas", AA.VV, Geología ambiental, I.T.G.E, Madrid, pp. 239-257.
- DÍAZ GUANCHE, C Y H, FARFÁN (2007): Geomorfología e Hidrología de la Sierra de San Vicente, Viñales, Cuba. II Convención Cubana de Geociencias. La Habana.
- DÍAZ, C. (1999): Geología y geomorfología del carso de la Sierra de San Vicente. Tesis de Maestría. Mención Geología Regional. Universidad de Pinar del Río. 51 pp.
- DÍAZ, C; SAAVEDRA, C. R; CÁCERES, D (2000): Conocimiento reciente sobre la Geología y geomorfología del carso de la Sierra de San Vicente. Congreso 60 Aniv. De la SEC. 15 pp.

- DÍAZ, J. (1986): Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve cubano y su aplicación en la región centro-oriental de Cuba. Ed. Academia de Ciencias. La Habana. 60 pp.
- DZULYNSKI, S et al (1984): Observaciones sobre la génesis de algunos sedimentos terrígenos cuaternarios del occidente de Cuba. Ciencias de la Tierra y el Espacio. No. 9. PP. 75-89. Editorial Academia. La Habana.
- FARFÁN. H, L. MOLERO Y J. DÍAZ (2005): Aproximación al funcionamiento hidrológico del Valle de Viñales. Congreso 65 Aniversario de la SEC. 15 pp.
- FARFÁN. H; C, DÍAZ; C. ALDANA (2009): Dolines in Sierra de Quemado and their relation whit the development of the Gran Caverna de Santo Tomás, Viñales, Cuba. (en prensa). 15pp.
- FARFÁN. H; J.L. CORVEA; Y. MARTINEZ; C. DIAZ; C. ALDANA; I. DE BUSTAMANTE AND M. PARISE (2009): Impact of the hurricanes Gustav and Ike in the karst areas of the Viñales National Park, Cuba. Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-1186. Viena. Austria. ISSN: 1029-7006.
- FORD, D. C & WILLIAMS, P. W (1989): Karst geomorphology and hydrology. Unwin Hyman. London.
- FRANCO, G.; R. GONZÁLEZ; A. RECIO; G. FURRAZOLA; R. DELGADO; J. TRIFF (1994): Léxico Estratigráfico, Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS, La Habana, Cuba.
- GORDON, M.R. et al (1997): Cenozoic tectonic history of theNorrrth America-Caribbean plate boundary zone in western Cuba. En: Journal of Geophysical research, Vol. 102, Number B5. Pp. 10,005-10,082. American Geophysical Union.
- GRIESBACH, J. C., RUIZ SINOCA, J. D., GIORDANO, A., BERNEY, O., GALLART, F., and ROJO, L. (1997): Guidelines for Mapping and Measurement of Rainfall-induced Erosion Processes in the Mediterranean Coastal Areas/Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes. Split: PAP/RAC. pp xii + 70. ENG/FRA/CRO

- IBAÑEZ, J. J (2008): Concepto de Deslizamientos, Avalanchas y Movimientos de Tierra: Desastres Naturales en los que Interviene el Suelo. En: <http://weblogs.madrimasd.org/universo/default.aspx>
- ISDR. (2002). Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives. Geneva, Switzerland. Pp. 387
- LEHMANN, H. (1953): Karst-Entwicklung in den Tröpen. Die Uns. In Wissenschaft und Technik, Frankfurt, (18). 32-45
- LEHMANN, H. (1954): Der Tropische Kegelkarst auf den Groben Antillen. Erdkunde, 8.
- LEHMANN, H. (1960): Las Áreas Cársicas del Caribe. Rev. Soc. Geog. de Cuba.(30)
- LEHMANN, H; K. KROMMELBEIN; W. LOTSCHERT. (1956): Karstmorphologische, geologische und botanische studien in der Sierra de Los Órganos auf Cuba. Erdkunde, 30
- MARTÍNEZ GONZÁLEZ, D. Y FERNANDEZ DE LARA, R. (1988): Informe sobre los resultados del levantamiento geológico y búsqueda acompañante a escala 1:50 000 en la parte central de la provincia de Pinar del Río. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito).
- MARTÍNEZ, D.; FERNÁNDEZ DE LARA, R.; PELAEZ, R.; VÁZQUEZ, M.; BARRIOS, E.; VALIDO, A.; REINOSO, R.; CHANG, J. C.; FERNÁNDEZZ, O.; DENIS, R.; GÓMEZ, L.; GARCIA, D.; GIL, S.; PÉREZ, D. H.; REYES, R.; VALDIVIA, M.; NÚÑEZ, R.; PÉREZ, R.; PIZ LANGS, J. (1991): Informe Sobre los resultados del Levantamiento Geológico y Prospección Preliminar a Escala 1:50 000 Pinar-Habana. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (Inédito).
- MES. (2003). Glosario de términos que deben dominarse en la disciplina Preparación Militar para la Defensa Departamento de Enseñanza. En:[http://recursos.unica.cu/bibliografia/F.%20CulturaFisica/Preparacion%20para%20la%20defensa%20de%20la%20Facultad/materiales%20complementarios/nuevo%20glosariodoc\(f\).doc](http://recursos.unica.cu/bibliografia/F.%20CulturaFisica/Preparacion%20para%20la%20defensa%20de%20la%20Facultad/materiales%20complementarios/nuevo%20glosariodoc(f).doc)

- MOLEIRO, L. (2004): Los Mogotes del Valle de Viñales, Monumento Nacional, Pinar del Río, Cuba. Mapping Interactivo. Diciembre de 2004.
- MOLERIO. L. F. (2009): Hydrological controls in the development of the slopes of the mogotes (hillstacks, conic karst, kegel karst, tower karst, turm karst) of Sierra de Los Órganos, Cuba. p 22 (inédito)
- MOLERIO. L. F.; M. M. CONDIS; M. LABRADA; E. BALADO; P. J. ASTRAÍN; C. ALDANA; R. FDEZ; R. GUTIÉRREZ; E. JAIMEZ; J. R. FAGUNDO; J. B. GLEZ; R. M. LAVANDERO; J. MARTÍNEZ; L. F. DE ARMAS; J. L. CLINCHE; J. PAJÓN; E. DALMAU; T. CRESPO; A. GRAÑA; E. VENTO; M. G. OLIVA; A. ROMERO; M. C. MARTÍNEZ; A. MARTÍNEZ. (2003): El Mundo Subterráneo. Universidad para Todos. Ed. Academia. p 32.
- NISIO, S., CARAMANNA, G., & CIOTOLI, G (2007): Sinkholes in Italy: first results on the inventory and analysis. *In*: PARISE, M AND J, GUNN (eds): Natural and anthropogenic hazards in karst areas: Recognition, Analysis and Mitigation. Geological Society, London, Special Publication, 279. 23-45
- PARISE, M AND J, GUNN (2007): Natural and anthropogenic hazards in karst areas: Recognition, Analysis and Mitigation. Geological Society, London, Special Publication, 279. p 202
- PIOTROWSKA, K. (1978): Nappe structures of Sierra de Los Órganos, western Cuba. *Acta Geológica, Polonia*, 20: 97-170.
- PNV (2009): Plan de Manejo del Parque Nacional Viñales. 2009-2013. Inédito.
- PSZCZÓLKOWSKI, A. (1978): Geosynclinal sequences of the Cordillera de Guaniguanico in the western Cuba: their lithostratigraphy, facies development, and paleogeography. *Acta Geol. Pol.*, 28 (I): 1-96.
- PSZCZÓLKOWSKI, A. (1987): Contribución a la Geología de Pinar del Río. Editorial Científico-Técnica. La Habana. 225 pp.
- PSZCZÓLKOWSKI, A. (1999): The exposed passive margin of North America in Western Cuba. *Caribbean Basins. Sedimentary Basins of de World*, 4 editado

- por P. Mann (Editor de series: K. J. Hsu), pp 93-121, Elsevier Science B. V., Amsterdam, 1999.
- ROSA, C. (1999): Geología y Geomorfología del Carso en la Sierra de Viñales. Tesis de Maestría. Mención Geología Regional. Universidad de Pinar del Río. 51 pp.
- RUBIERA. J; C. GONZÁLEZ; M. BALLESTER; M. T. LLANES; A. CAYMARES; Y. GIMENO; E. MOJENA. (2006): Curso sobre Ciclones Tropicales. Universidad para todos. Ed. Academia. p 32. La Habana.
- RUIZ, J. D Y F.J, REYES (2005): Geografía Física Aplicada. Manuales. Univ. De Malaga. España. Pp 513. ISBN: 84-9747-103-2
- SÁNCHEZ, M. (2005) Acercamiento teórico al vocablo riesgo y la terminología asociada (Documento PDF). Pp. 13
- SANTO, A., DEL PETRE, S., DI CRESCENZO, G & ROTELLA, M (2007): Karst processes and slope instability: some investigations in the carbonate Apennine of Campania (southern Italy). *In*: PARISE, M AND J, GUNN (eds): Natural and anthropogenic hazards in karst areas: Recognition, Analysis and Mitigation. Geological Society, London, Special Publication, 279. 59-72
- SCHEIDEGER, A. E (1961): Theoretical geomorphology. Springer-Verlag. p 333. Berlin.
- SECO, R. (2004). Geomorfología. Editorial Félix Varela. Pp. 376-387.
- SECO. R. (1996). El enfoque físico – geográfico para el estudio de los peligros naturales en el ejemplo de la provincia Ciudad de la Habana. Facultad de Geografía. Universidad de La Habana. Tesis de Maestría. Pp. 89. (Inédito)
- ULLOA. S., 2008: Peligro de inundación en el Paisaje Cultural de la Humanidad “Valle de Viñales”. Fac. Geografía. Univ. Habana. p.83
- WALTHAM, T & LU, Z (2007): Natural and anthropogenic rock collapse over open caves. *In*: PARISE, M AND J, GUNN (eds): Natural and anthropogenic hazards in karst areas: Recognition, Analysis and Mitigation. Geological Society, London, Special Publication, 279. 13-22

WHITE. W. B., 1988: Geomorphology and hydrology of karst terrains. Oxford University Press. p 464.

YEVJEVICH. V., 1992: Floods and society. Proceedings of the NATO-ASI Conference on "Coping whit floods". Erice, 3-15 November. 11-17.

Sitios Web

Centro Regional de Información sobre Desastres.

www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc12847/doc12847-contenido.pdf

Wikipedia. Erosión.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Erosi%C3%B3n>

Wikipedia. Erosión hídrica.

http://es.wikipedia.org/wiki/erosion_hidrica

Wikipedia. Incendios forestales

http://es.wikipedia.org/wiki/incendio_forestal

Causas de las inundaciones.

www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/08RiesgN/130Inund.htm

Inundaciones.

www.rinamed.net/es/es_ris_inun.htm

Precipitaciones.

<http://web.usl.es/-javisan/hidro>

Descargas eléctricas.

<http://www.orange.es>