

**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
“ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL
TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER EN
GEOLOGÍA AMBIENTAL
Mención Ciencias Ambientales**

**Título: Zonación ingeniero geológica de peligrosidad y riesgo por
inundación del territorio de Sagua de Tanamo**

Autor: Sulma Castañeda Herris

Tutor: Dr. Rafael Guardado Lacaba

MOA – 2003

INTRODUCCIÓN

Los peligros naturales, como los recursos naturales, son parte de lo que ofrecen nuestros sistemas naturales; ellos pueden ser considerados como recursos negativos. En todo sentido, los peligros naturales constituyen un elemento de los "problemas ambientales" que actualmente capturan tanta atención pública: alteran los ecosistemas naturales e incrementan el impacto de su degradación, reflejan el daño hecho por los humanos a su medio ambiente y pueden afectar a gran número de personas. Pero los efectos de los desastres causados por los peligros naturales pueden ser significativamente reducidos mediante acciones tomadas previamente para reducir la vulnerabilidad a dichos peligros.

Además del impacto social y económico directo, los desastres naturales pueden afectar el empleo, la balanza comercial y la deuda externa durante muchos años después de su ocurrencia. La prevención, que incluye medidas estructurales (es decir hacer que las estructuras sean más resistentes al peligro) y medidas no estructurales (por ejemplo, restricciones en el uso del terreno), es una manera costo-efectiva de reducir pérdidas de vidas y propiedades. La ayuda post-desastre y las medidas de reconstrucción son importantes por razones humanitarias, y también pueden incluir consideraciones diseñadas para prevenir o mitigar futuros desastres.

En los últimos 30 años, los costos anuales de los desastres naturales en América Latina y el Caribe han sido, en promedio, de 6.000 vidas, 3 millones de personas afectadas y 1.800 millones de dólares en daños físicos y pérdidas económicas. Aún más, están aumentando los impactos: durante los años 60 aproximadamente 10 millones de personas fueron muertas, lesionadas, desplazadas o afectadas de alguna u otra manera; el número para los años 70 fue seis veces mayor y para los 80 tres veces mayor. (OEA/DDRMA, 1993).

Los desastres naturales se convierten en titulares internacionales con deprimente regularidad entre los que se destacan los huracanes, las inundaciones, los terremotos, las erupciones volcánicas, los deslizamientos de tierra, las sequías. Como tema a tratar relacionado con los desastres naturales en este trabajo tenemos "Las Inundaciones".

La información existente sobre las inundaciones raramente es suficiente para evaluar el potencial de inundación en una área de estudio pero, haciendo uso de la interpretación a través de los SIG, se puede realizar una evaluación del peligro de inundación que satisface las limitaciones de tiempo y presupuestales de un estudio de planificación para el desarrollo o zona propiamente de desarrollo. Tal evaluación es útil para diseñar nuevos proyectos e identificar medidas de mitigación para el desarrollo existente, amenazado por inundaciones.
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch04.htm>.

El uso del SIG para combinar información sobre peligros naturales, recursos naturales, población e infraestructura puede ayudar a los investigadores a identificar áreas menos expuestas a los peligros y más aptas para actividades de desarrollo, áreas que requieren evaluación adicional de los peligros y áreas donde se deberán priorizar las estrategias de mitigación, ofrece a su vez flexibilidad para la selección de normas mínimas. La factibilidad de las normas tentativamente seleccionadas puede ser expuesta a prueba y también, pueden ser reajustadas.

La aplicación de las técnicas de SIG, en el manejo de los peligros naturales y la planificación del desarrollo, sólo están limitadas por la cantidad de información disponible y por la imaginación del analista.
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch04.htm>.

El área que nos ocupa es la ciudad de Sagua de Tánamo la cual tiene su origen en el año 1750 como un caserío, en 1813 fue reconocida como pueblo. Según encuesta verbal a la población que vive a lo largo de la rivera del río se pudo conocer las reiteradas crecidas que han ocurrido a lo largo de decenas de años y que han sido transmitidas de generación en generación. Se dice que en los años 1835 y 1868 se produjeron crecidas superiores a la de 1963, conocida como ciclón Flora. Se dice también que se produjeron crecidas en los años 1904, 1935, 1937, 1948 y 1963, no existiendo afectaciones de consideración debido a que el cauce del río se encontraba libre de obstáculos.

En la actualidad las afectaciones son considerables llegando a producirse inundaciones en unas 3000 viviendas como la crecida acontecida en noviembre de 1993 (GEOCUBA, 2002).

La ciudad se encuentra dentro del área de la cuenca del río Sagua la cual es totalmente montañosa con grandes pendientes y una red hidrográfica bien desarrollada, lo que de conjunto con las elevadas precipitaciones, favorece la formación de grandes caudales de avenidas.

La forma de la forma de la cuenca es prácticamente redonda hasta la ciudad y sus principales afluentes confluyen con el río principal en un tramo relativamente corto, lo que conjuntamente con el cambio brusco de pendiente y el estrechamiento del cauce del río en la parte que bordea la ciudad provoca grandes inundaciones en las áreas urbanizadas.

Los riesgos por inundación fluvial que se observan en la cuenca pueden categorizarse como positivos, debido a que son procesos naturales que actúan en forma cíclica y el mayor problema existente se debe a la frontera urbana sobre una zona natural inundable.

El trabajo de zonación con la utilización de las técnicas de Sistema de Información Geográfica (SIG), y consiste en delimitar zonas de peligrosidad y riesgo por inundación, así como determinar las posibles causas y condiciones que propician este fenómeno.

De esta manera, en áreas expuestas a peligros, el uso de un SIG sobreponiendo información de peligros, datos socio-económicos y de infraestructura, puede revelar el número de personas o el tipo de infraestructura en riesgo. Se demuestra a través de este sistema que aproximadamente, 8872 personas se encuentran en zonas de riesgo potencial por inundación, 3170 personas se encuentran en zonas que por su estado técnico desfavorable están expuesta a sufrir afectaciones severas por las inundaciones y que 196 personas, viven dentro de zonas inundables con viviendas cuya tipología constructiva constituye un riesgo para su habitat. (GEOCUBA, 2003).

La zonación realizada no tiene como finalidad dar pautas para las investigaciones del fenómeno y no debe reemplazar a los estudios de suelo, hidrológicos y climatológicos realizados en diferentes zonas, sino que nos orienta sobre cualidades de peligrosidad y riesgo, permitiendo definir zonas para ratificar, cambiar o utilizar para determinados usos.

Antecedentes de la Investigación.

La cuenca del río Sagua, ha provocado numerosas y reiteradas inundaciones, las cuales han ocurrido a lo largo de decenas de años que suman siglos y que se han transmitido de generación en generación. Se dice que en los años 1835 y 1868 se produjeron crecidas superiores a las del 1963, conocida como el ciclón Flora. También se dice que en los años 1904, 1935, 1937, 1948 y en los años 1993, 1994 en los cuales creció en dos ocasiones (mayo y noviembre). En el año 2001 hubo también una crecida como las anteriores a las del 1835 y 1868, aunque se dice que las del siglo XX fueron las mayores.

Debido a los daños ocasionados a la población por las reiteradas crecidas de los últimos años, se ha planteado realizar un estudio de Zonación Ingeniero Geológico de Peligrosidad y Riesgo por Inundación, para determinar en gran magnitud las causas y condiciones que propician la ocurrencia de este fenómeno.

El manejo de peligros naturales es frecuentemente realizado de manera independiente de la planificación para el desarrollo integrado. Es importante combinar ambos procesos. De los muchos componentes del manejo de peligro, las siguientes técnicas son las más compatibles con el proceso de Zonación:

Evaluación del peligro natural: una evaluación de la ubicación, severidad, y probable ocurrencia de un evento peligroso en un determinado período de tiempo.

Evaluación de la vulnerabilidad: un estimado del grado de pérdidas o daños que podrían resultar de un evento peligroso de severidad dada, incluyendo daños a estructuras, lesiones personales, e interrupción de las actividades económicas y funciones normales de poblaciones.

Evaluación del riesgo: un estimado de la probabilidad de pérdidas esperadas por causa de un evento peligroso dado.

<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch04.htm>.

Planteamiento del Problema.

Indefinición en las causales y condicionales que propician el Riesgo por Inundación en el río Sagua.

Objetivos de la Investigación.

Objetivos Generales:

Elaborar el Mapa de Riesgo por Inundación en el territorio de Sagua de Tánamo.

Objetivos Específicos:

- ∞ Realizar el levantamiento del grado de inundación y cota de nivel de piso de los inmuebles afectados.
- ∞ Determinación de las causales y condicionales que provocan la Peligrosidad y Riesgo por inundación en el área.
- ∞ Confección del Mapa de Zonificación Ingeniero Geológica de Peligrosidad por Inundación en el territorio de Sagua de Tánamo.
- ∞ Confección del Mapa de Vulnerabilidad.
- ∞ Confección del Mapa de Riesgo por Inundación en el territorio de Sagua de Tánamo.

Hipótesis.

Si conocemos las condiciones ingeniero geológicas del terreno (ingeniero geodinámicas), la vulnerabilidad del territorio y el posible costo de vidas humanas y materiales provocado por los peligros de inundaciones del río Sagua, podremos conocer el nivel de riesgo por inundación y lograr un manejo adecuado y su mitigación apoyados por los Sistema de Información Geográfica.

Diseño de la Investigación.

El diseño de la investigación expresa en términos generales, una evaluación teórica de los factores y/o condiciones a tomar en cuenta, en la zonación ingeniero geológica de un área. Para ello se crea un modelo estructurado que refleja los pasos a seguir para la solución del problema.

En la Figura 1 se expresa la secuencia lógica de trabajo seguida por el autor, partiendo de la derivación e integración de los factores involucrados, definiendo a su vez los resultados cartográficos a obtener con cada acción. El análisis parte de considerar que la zonación de las áreas de peligrosidad y riesgo está en función de la influencia que ejercen sobre el medio, las condiciones naturales y la infraestructura del área.

Novedad Científica

La aplicación en el territorio de Sagua de Tánamo de un conjunto de técnicas especiales para el procesamiento e interpretación de la información sobre las inundaciones a través de la tecnología de Sistema de Información Geográfica (SIG).

Aporte Científico – Técnico y Práctico de la tesis

Incremento sustancial del conocimiento sobre las inundaciones en el territorio de Sagua de Tánamo.

El mejoramiento del modelo SIG existente para el territorio, lo que permite fundamentar científicamente las investigaciones futuras a desarrollarse.

Análisis Bibliográfico.

Para la elaboración del trabajo se revisaron y reinterpretaron una serie de informaciones durante 2 años. Esta búsqueda bibliográfica fue encaminada a profundizar e investigar trabajos realizados en esta materia, tanto en nuestro país como en el plano internacional.

Según declaraciones de expertos en geología como el Dr. Quintas C. Félix, se desarrollaron en nuestro país investigaciones hidrológicas por problemas de inundación en los ríos Jatibonico y Yaguajay en las provincias de Sancti Spiritus y Villa Clara respectivamente, cuyos informes no se han podido consultar y próximas a ejecutarse en el río Sagua por el INRH de Holguín para establecer sistemas de prevención hidrológica.

Las tesis doctorales de Félix Quinta, Joaquín Proenza y diferentes trabajos de diplomas como los de R. Díaz, R. Martín Álvarez, J.J. Rojas, Spencer Rodríguez y otros nos brindan un panorama geológico regional, el cual ha sido plasmado por su gran interés en el contexto de estudio.

Se revisaron informes, artículos de revistas que nos muestran los diferentes estudios realizados en materia de riesgo en otros territorios; R. Guardado en 1996, hace una evaluación ingeniero geológica de las áreas con peligros y riesgos geoambientales de la ciudad de Moa, este mismo autor nos muestra la regionalización para la construcción y planeamiento de la ciudad de Santiago de Cuba.

En la publicación del X Congreso Latinoamericano de Geología, Luis R. Elzeard y otros nos muestran un estudio sobre mapas geotécnicos de la ciudad de Cutral – Co, provincia de Neuquén, describiendo el mapeo geotécnico y definiendo los tipos de inundaciones y zonificando la ciudad dentro de estas marcas las directrices generales para cada zona. Luis Laín Huerta en la serie Medio Ambiente. Riesgos Geológicos. No. 3, año 2002 del Instituto Geológico de España trata los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la gestión de los riesgos geológicos y el medio ambiente definiendo a los SIG como gestores de bases de datos gráficas y georreferenciadas, los cuales adquieren cada vez más protagonismo, pues su utilización se ha generalizado, no solo en una creciente cantidad de temas, sino también al aumentar rápidamente el número de personas que lo utilizan, los que son aplicados al medio ambiente, permiten una eficaz gestión del territorio, desde distintos puntos de vista. Arianne Álvarez Seco y otros tratan los SIG en la protección civil en España posibilitando registrar toda la información que se recibe por diferentes vías, sirve de apoyo en el seguimiento, evaluación y análisis de situaciones de emergencia, entre otras funciones. Ana Isabel García hace referencia en el año 2002 a la simulación de

eventos hidrológicos en pequeñas cuencas hidrográficas en España, brindando una información minuciosa de las características fisiográficas de las cuencas y los múltiples factores que intervienen en la transferencia de las lluvias a las escorrentías, así como los tiempos de viaje de la escorrentía superficial.

Sofía del Rosario en 1991 desarrolla en su trabajo de diploma un estudio geológico ambiental y la zonificación de aptitud de uso, establece la utilización óptima que se debe dar a las zonas para la recuperación o conservación de su equilibrio, delimita zonas estables e inestables. A. Cardona Arias realiza en su trabajo de diploma un estudio geomorfológico y aspectos estructurales de las cuencas del Río Verde y Quebrada, La Española, parámetros tales como la pendiente, uso del suelo, litología, formaciones superficiales, procesos erosivos obteniendo una zonificación de susceptibilidad a la erosión. Fidel Galindo en 1996 realiza en su trabajo de diploma una zonificación ingeniero geológica de la zona de desarrollo turístico de Bacuranao a escala 1: 50 000 en el cual se detallan diferentes estudios y mapas a confeccionar para las zonificaciones.

Tras una búsqueda por Internet, se pudo contactar una Manual en el sitio <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch04.htm> "Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado" de un colectivo de autores, en el cual se hace referencia los disímiles peligros naturales que influyen en la planificación y las técnicas para su estudio, en su capítulo 8 trata ampliamente el tema de las inundaciones definiendo y evaluando el peligro de inundación utilizando la técnica SIG sobre la base de percepción remota.

El texto de la Defensa Civil, 1997 de nuestro país nos brinda todo un detalle acerca de los riesgos que se presentan, trata el tema de la vulnerabilidad mostrando como caso tipo la ciudad de Santiago de Cuba por peligros sísmicos, el tema de las inundaciones por fenómenos meteorológicos.

Las bibliografías revisadas son ricas en contenido y valiosas en información, el autor ha tomado lo mejor de sí, plasmando parte de esta en su trabajo y otras como materiales de consulta, permitiéndonos definir la investigación como de aplicación de técnicas ya existente a un área de trabajo definida.

CAPITULO I. GENERALIZACION DEL CONOCIMIENTO DE LA REGION

I.1 Caracterización Física, Geográfica y Económica de la Región.

I.1.1 Ubicación Geográfica

El río Sagua se encuentra ubicado en la región Oriental del país, provincia Holguín, municipio Sagua de Tánamo, fluyendo por la vertiente norte del macizo Sagua – Baracoa desde la Meseta del Guaso (854m SNM), La Sierra del Maquey (894m SNM) y la Vertiente Sudeste de la Sierra Cristal (1231m SNM). Ver **Figura 1.1**.

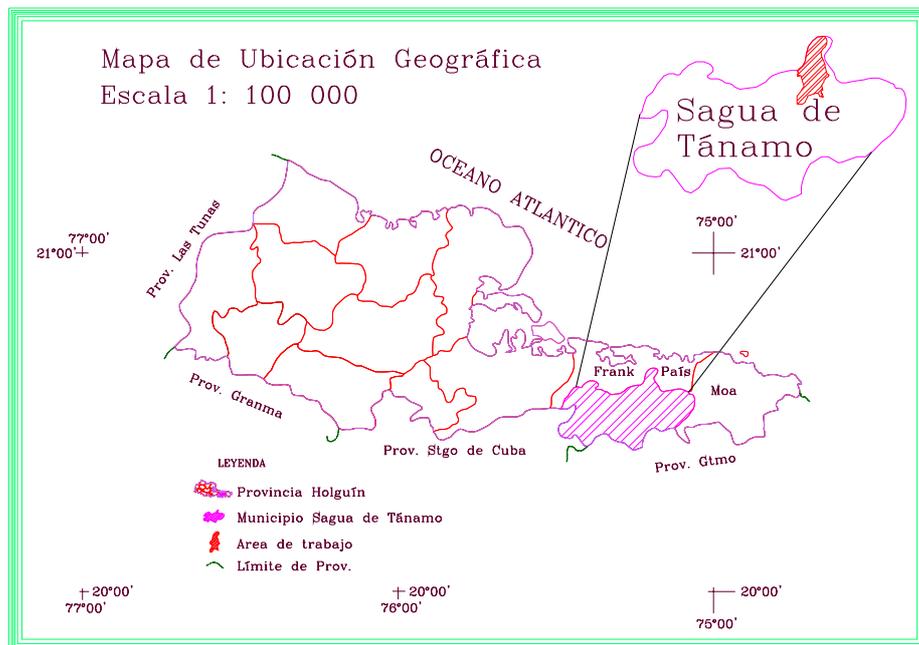


Figura 1.1. Ubicación Geográfica del territorio y área de estudio.

Nomenclatura de las hojas abarcadas en el trabajo:

| A escala 1:25 000 | No. De Hoja | A escala 1:50 000 | No. De Hoja |
|-------------------|---------------|-------------------|-------------|
| Cayo Mambí | 5177 – IV – b | Sagua de Tánamo | 5177 - I |
| Cebolla Cuatro | 5177 – I – a | Cayo Mambí | 5177 - IV |
| Sagua de Tánamo | 5177 – I – c | | |
| Granadillo | 5177 – IV - d | | |

La zona urbana y semiurbana se encuentra mapificada a escala 1: 2 000 por el método estereofotogramétrico (año 1987) y otra parte por el método directo (El Jobo y La Plazuela) del año 2002.

Nomenclatura de los planos a escala 1: 2 000 del año 1987:

694 – 08 – 20, 94 – 09 – 23, 694 – 08 – 25, 694 – 14 – 01, 694 – 09 – 21,
694 – 14 – 02, 694 – 09 – 22, 694 – 14 – 03.

Nomenclatura de los planos a escala 1: 2 000 del año 2002:

694 – 13 – 20, 694 – 14 – 08, 694 – 14 – 06, 694 – 14 – 11, 694 – 14 – 07,
694 – 14 – 16.

I.1.2 Clima

El comportamiento medio Hiperanual de las precipitaciones en el territorio, se manifiesta entre 1200mm en la desembocadura y 2200 en las zonas más altas de la Sierra Cristal y del Maquey.

Precipitaciones Máximas diarias

Según estudios realizados por expertos en Hidrología del INRH de Holguín y teniendo en cuenta la aplicación de tratamientos estadísticos de series de observación a través del programa PQMAX con la aplicación de curvas probabilísticas, a través de la series conformadas con los valores máximos anuales superiores a 50mm obtuvieron que: 415mm para la cuenca hasta el pueblo y 430mm para la estación hidrométrica. Ver **tabla 1.1**.

| Pb | Poblado | Estación |
|------------|----------------|-----------------|
| 1% | 415 | 430 |
| 5% | 240 | 250 |
| 10% | 200 | 205 |

Tabla 1.1. Precipitaciones máximas diarias de diferentes probalidades (mm), según INRH, Holguín, 2002.

En la tabla 1.2 Cesar M. Buján, en mayo del año 2000 da a conocer diferentes datos sobre la cuenca. <File://A:/friend-amigo.htm>.

| | | |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Tributario Principales: Ríos Santa Catalina, Castro y Miguel | Principales lagos: Laguna Madre Vieja | Precipitación media anual: 1735mm |
| Evaporación media: 2155mm | Escorrentamiento medio anual: Estación Hidrométrica El Infierno (332Km ²) = 5.08m ³ /s | |
| Gasto Máximo observado: 3016m ³ /s | Temperatura media del aire: 25.3 ⁰ C | Principales Ciudades: Sagua de Tánamo (18 409Hab) |
| Densidad de drenaje: 1.2Km/Km ² | Para la Cuenca de Sagua de Tánamo Provincias: Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo | |

Tabla 1.2. Datos Hidrometeorológicos de la cuenca, Según César M. Buján, 2000.

En la cuenca y su periferia (hasta la desembocadura), se cuenta con 52 pluviómetros, de ellos 5 han realizado observaciones pluviométricas en algún momento y 7 pertenecen a la red de información diaria que en caso de ciclones e intensas lluvias deben realizar observaciones con frecuencia de hasta 2 horas según la fase del fenómeno meteorológico.

Esto se revierte en una situación favorable, aunque en muchos de ellos no existen observaciones de uno de ambos de los 2 principales fenómenos extremos ocurridos en la cuenca El Flora (Octubre de 1963) por su lámina total y el de Noviembre de 1993 por su intensidad. Ver **Figura 2.3**.

Esta cuenca montañosa se mantiene prácticamente en condiciones naturales en cuanto a su aprovechamiento hidráulico.

I.1.3 Relieve y Geomorfología.

En sentido general el relieve de la región es el resultado de un incesante desarrollo y de la compleja intervención de factores internos y externos. Una gran llanura rodeando al asentamiento principal y todo una cuenca principal que cuenta con un área de 1127 Km² hasta la ciudad de Sagua, las alturas descienden de los 1160m SNM en la Sierra Cristal (cuenca de sus afluyente izquierdo Miguel) a 5.0m a la entrada del pueblo de Sagua de Tánamo y entre 1.7 y 2.0m a su salida (siguiendo la dirección de la corriente),

La pendiente media de la cuenca es de 21.10%, la altura media de 298 msnm, altura mínima es de cero msnm en la desembocadura en la costa norte municipio Frank país, altura máxima 1160 msnm (Pico Cristal), pendiente media suavizada del río 0.40% (M. Buján Rubio, 2000).

Según la clasificación altimétrica del relieve por pisos altitudinales de Díaz et al, la zona se caracteriza por llanura que van de bajas a altas, alturas de pequeñas a grandes y montañas desde la categoría de submontañas a montañas pequeñas. Ver **tabla 2.7.**

En el área de estudio de 36Km² aproximadamente, predomina el relieve llano y el fundamentalmente asociados a la llanura de inundación del río Sagua y sus afluentes, alturas con su punto máximo en la cota 170 msnm.

II.1.4 Hidrología.

La cuenca del río Sagua, limita al oeste con las de los ríos Grandes, Cabonico, Levisa y Mayarí; al este con la de los ríos Moa y Toa; al sur con las cuencas del Guaso y el Guantánamo.

El río corre de sur a norte y desemboca en el Océano Atlántico, con una longitud de 90 Km, tiene un carácter permanente y posee 3 afluentes principales: Santa Catalina el cual fluye por la margen derecha con un área de 217 Km² y tiene su nacimiento en la Sierra del Guaso, Río Castro el cual fluye por la margen derecha con un área de 147 Km² y tiene su nacimiento en las Cuchillas del Toa y el

río Miguel el cual fluye por la margen izquierda con un área de 255 Km² y tiene su nacimiento en la vertiente sur de la Sierra Cristal. Cuenta con 52 Pluviómetros los cuales se localizan en ella y en su periferia. Ver Figuras 1.2 y 1.3.

En estos de las series de lluvia anual son por general, cortas y en muchas de ellas no existen observaciones de uno o de ambos de los dos principales fenómenos extremos ocurridos en la cuenca, El Flora en octubre de 1963 por su lámina total y el de noviembre de 1993 por su intensidad.

Las series de lluvia anual son discontinuas, según los datos de introducidos en la base de datos del mapa de precipitaciones obtenido a partir de la interpretación por los años observados, fundamentalmente por ser esta una zona poco habitada, la más confiable de ellas es la del pluviómetro ubicado en la estación hidrométrica (No de control 1575) al ser atendido permanentemente por personal del INRH.

Entre las características morfométricas fundamentales y teniendo en cuenta el promedio anual de precipitaciones se puede deducir que existe una distribución casi simétrica en ambas vertientes donde nacen los principales afluentes. Ver **tabla 1.1**.

| No. | Nombre | Long. (Km) | Área (Km ²) | Punto más alto (m) |
|-----|----------------------------|------------|-------------------------|--------------------|
| 1 | Río Sagua | 90 | 1216 | 800 |
| 2 | Río Sagua hasta el poblado | 70 | 1072 | 800 |
| 3 | Río Santa Catalina | 36 | 227 | 854 |
| 4 | Río Castro | 30 | 146 | 894 |
| 5 | Río Miguel | 46 | 270 | 1160 |

Tabla 1.3. Características del río y sus principales afluentes, INRH. Holguín.

Los niveles máximos observados referidos por el INRH de Holguín, aparecen sólo en el perfil transversal del expediente de la estación hidrométrica de 1996 y aparece señalada la cota 82.9m como nivel máximo observado y de la crecida de noviembre de 1993 igual a 82.37m. Los totales lluvias observados para el Flora según estudios anteriores y con una correspondencia a las declaraciones realizadas por habitantes, fueron significativamente mayores aunque con menor intensidad, como promedio para la cuenca son de 471mm y en comparación con la avenida de

noviembre de 1993 se obtienen para la cuenca valores de 346mm pero de mayor intensidad.

En cuanto a las observaciones en el poblado de Sagua, se consideró por el EIPH de Holguín el gasto de 5 000 m³/s para el Flora en octubre de 1963, en mayo de 1993 alrededor de 2 500 m³/s y fue causado por lluvias intensas y en noviembre de 1993 ascendió a unos 6 800 m³/s, causado por lluvias intensas y considerada la mayor del pasado siglo.

Según consideran las observaciones del equipo 1575 en todo el día 24 de noviembre de 1993, los valores de las lluvias fueron de 308mm, no así las del día 23 que fueron de 130mm, mayo de 1993 fueron de 102mm.

Según trabajos realizados por INRH de Holguín, 2002 los gastos calculados en los cierres ubicados para el 1% de probabilidad a la salida del pueblo, punto hidrométrico del pueblo y la desembocadura del arroyo Romero fueron de 5920 m³/s.

II.1.5 Suelos y Vegetación.

Suelos

La cuenca está caracterizada por varias combinaciones de suelos. Los de la agrupación I se desarrollan hacia la vertiente derecha, los de la III se desarrollan en el curso superior y vertiente izquierda – Sierra del Cristal, los de la IV se encuentran distribuidos en toda la cuenca, los de la V se desarrollan en la vertiente izquierda – curso inferior y vertiente derecha – curso superior, los de la VII se desarrollan a lo largo del cauce en el curso inferior y los de la X en el curso superior (Ver **tabla 1.4**).

Características específicas de algunas especies Agropecuarias que se distribuyen en estos suelos según la Dirección General de Suelos y Fertilizantes, Ministerio de la Agricultura, 1986.

Cítricos:

Esta especie puede dividirse en dos grupos principales, los exigentes, como la Toronja, la Naranja y otros y los pocos exigentes, como el Limón y sus exigencias fundamentales son: Buena aireación, buen drenaje, un nivel no muy elevado de carbonato de calcio, con sensibilidad a la salinidad y necesidad de un riego en nuestra condiciones climáticas para poder alcanzar rendimientos elevados.

Plátano:

Es sensible a la salinidad, no tolera suelos muy mal drenados y estos deben ser profundos, aunque no tanto como para los cítricos pero más que para el Tabaco.

Caña:

Constituye una de las especies de mayor adaptabilidad en condiciones diferentes del medio. Los rendimientos agrícolas máximos se alcanzan en los suelos calcáreos y latosolizados y los rendimientos industriales más elevados son propios de los suelos calcáreos. En condiciones de secano es un cultivo que responde a las precipitaciones.

Café:

Esta planta es extremadamente sensible a la falta de oxígeno por las raíces, no vive en suelos impermeables, crece mejor a la sombra, si no es excesiva y en suelos ricos en humus, la profundidad efectiva debe ser superior a los 50cm, excepto cuando el suelo es muy fértil, que admite menor profundidad y extrae los nutrientes y el oxígeno no requerido. El exceso de carbonato propicia deficiencias de algunos micronutrientes en la planta. Se desarrolla particularmente en suelo gumíferos en zonas de montañas y en las llanuras fértiles mediante agrotecnia elevada.

Pastos:

Los pastos en ciertas zonas disminuyen el peligro de las inundaciones, pues la penetración del agua al subsuelo se incrementa y disminuye la posibilidad de las grandes avenidas. Debido al desarrollo agrícola los pastos quedan marginados a los peores suelos.

Vegetación

La vegetación de la cuenca es natural, caracterizándose por una gradación desde la vegetación siempre verde de bosque tropical perennifolio llamada Mesófilo Submontano a Complejo de vegetación de Mogotes asociados al matorral tropical latifolio. Aparecen como seminatural los bosques, matorrales y comunidades herbáceas naturales y como vegetación cultural algunos cultivos agrícolas. (Según Nuevo Atlas Nacional de Cuba, 1989). La densidad de la vegetación natural está en franco proceso de disminución por la deforestación lo que está asociado al proceso erosivo de los suelos.

II.1.5 Vías de Comunicación.

Las vías de comunicación mas importantes en esta zona corresponden a la carretera que une a Sagua de Tánamo con la ciudad de Moa y la de Sagua de Tánamo con la ciudad de Guantánamo, existen diferentes caminos y trillos que comunican a los asentamientos del municipio. (Ver **Figura 1.5**).

II.1.6 Características Urbanas y Económicas.

El municipio Sagua de Tánamo cuenta con 15 Consejos Populares, de los cuales 10 son rurales, 2 urbanos y 3 rurales, contando aproximadamente con 20% de populares de la zona urbana y el 80% rural. El área de estudio comprende los consejos populares urbanos Sagua Norte y Sagua Sur y los rurales Marieta, Plazuela y El Jobo.

El desarrollo económico se centra principalmente en las producciones de Café, Cacao y Forestal, además existe un gran desarrollo de la Agricultura, la Ganadería, la Industria Local, materiales de construcción, planta de asfalto, etc.

I.2 Principales Rasgos Geológicos de la Región.

En el presente acápite se abordan los principales rasgos geológicos regionales y la tectónica como elemento estructural de gran importancia sobre todo para las unidades oceánicas. Para la realización de este capítulo se tomaron los datos más recientes publicados en los trabajos de Iturralde-Vinent (1996, 1998), Quintas, F.

(1989, 1995), Proenza, J. (1997), Proenza y otros (1999, 2000), Cobiella, J. L. (1988, 1997, 2000), así como el Mapa Geológico a escala 1: 100 000, elaborado por Quintas Caballeros (1989), el Mapa Geológico de la región Mayarí-Sagua-Moa, 1:250 000 (Albear y otros, 1988).

I.2.1 Reseña de las Investigaciones anteriores.

A pesar de existir numerosas investigaciones y reportes de la geología de la zona realizadas antes del triunfo de la revolución entre los cuales esta el trabajo realizado en la región en 1803 por V. Pellitero, el cual publico apuntes geológicos sobre itinerarios sobre Sagua de Tánamo y Santa Catalina (Quintas F.), no hasta el año 1903 que los geólogos norteamericanos como Hayes Vaughan y Spencer elaboraron la primera división tectónica de oriente, constituido este el primer trabajo geólogo regional moderno efectuado en la isla. Se sucedieron 4 décadas aproximadamente de ausencia de trabajos geológicos en esta zona hasta que el geólogo holandés F. G. Keyzer(1940) publico el trabajo donde divide la provincia de oriente en siete regiones caracterizada cada una por su propio corte estratigráfico y en cuya división incluyo a la zona de Sagua de Tánamo perteneciente a la segunda región a la cual le denomino como THE REGION BORDIRING THE SERPENTENEITE BEETIN THE SOUTH y describe como subregión los depósitos aluviales del río Sagua(Quintas F.); no es hasta la década del 60 que se desarrollan las investigaciones profundas de carácter regional haciéndose imprescindible mencionar los trabajos de los especialistas soviéticos A. Adamovich y Chejovich(1962, 1963, 1965), que constituyeron un paso fundamental en el conocimiento geológico de la región oriental y esencialmente para la zona de la corteza de intemperismo ferroniquelíferas. A. Adamovich y Chejovich (1963), elaboraron un mapa geológico a escala uno en 1: 250 000 sobre la base interpretaciones foto geológicas y marcha de reconocimiento geológico en el cual fueron limitados por la zona de corteza de intemperismo por el territorio Mayarí Baracoa.

En la década del 60 se inició una nueva etapa de conocimiento geológico regional como señala F. Quintas en su tesis doctoral (1989), se fue abriendo paso a la consecución movilista como base para la interpretación geológica, especialmente con posterioridad a la publicación 1974 de los trabajos de Knipper y Cabrera quienes plantearon que los cuerpos de serpentinas representan fragmentos de corteza

oceánica que se deslizaron por fallas profundas hasta la superficie donde se emplazaron sobre formaciones sedimentarias del cretácico en forma de manto tectónicos.

En 1972 se inician investigaciones de carácter regional del territorio oriental cubano por especialistas del departamento de geología de la universidad de oriente, luego el ISMMM de Moa y ya en el 76 se estableció la tectónica de sobreempuje afecta también a las secuencias sedimentarias fuertemente dislocadas. Como resultados de estos trabajos en 1978 J. Cobiella y otros proponen un esquema tectónico que resume una nueva interpretación estratigráfica y paleogeográfica de Cuba Oriental delimitada en 5 zonas estructuro facial. En 1980 J. Cobiella y J. Rodríguez subdividieron las anteriores estructuras propuestas en 6 zonas.

En el periodo de 1972 a 1976 se realiza el levantamiento geológico de la antigua provincia de oriente a escala 1:250 000 por la brigada cubano húngara de la cadena de ciencia de Cuba Oriental. El mapa de informe final de esta investigación constituyo la parte científica a la geología de cuba al ser la primera interpretación geológica regional de ese extenso territorio basado en datos de campo obteniéndose resultados importantes expresados en los mapas geológicos tectónicos y de yacimientos minerales. Desde el punto de vista tectónico regional adquieren importancias relevantes las investigaciones realizadas por M. Campos(1983-1991), en su estudio tectónico de la porción oriental de la provincia de Holguín y Guantánamo donde propone 7 unidades tectonoestratigráfico para el territorio.

En 1989 F. Quintas, realizo el estudia estratigráfico del extremo oriental de Cuba donde propone las asociaciones estructuro formacionales que constituyen este extenso territorio así como las formaciones que lo integran.

I.2.2 Geología de la Región y del área de estudio.

Trabajos precedentes muestran la alta complejidad desde el punto de vista geológico que posee la región de estudio, en la misma afloran formaciones geológicas de las más diversas edades, composición litológica y génesis, constituyendo claras evidencias de un desarrollo geológico sumamente complejo, que se refleja en una elevada complejidad estratigráfica y tectónica.

Según Iturralde – Vinent en Cuba se pueden reconocer dos elementos estructurales principales: El cinturón plegado y El neoaútóctono.

El cinturón plegado esta integrado por unidades continentales y oceánicas. Solo la segunda de estas unidades aflora en la región de estudio, representada por los siguientes elementos estructurales:

Arco de isla volcánico del cretácico (paleoarco).

Ofiolitas septentrionales.

Cuencas transportadas (piggy back) del campaniense tardío – Daniense

Arco de isla volcánico del paleógeno o neoarco.

Cuencas transportadas (piggy back) del Eoceno Medio- Oligoceno.

El Neoaútóctono, esta representado en el área, compuesto por materiales del Post-Eoceno.

Después de ver aclarado estos aspectos haremos una breve descripción de cada uno de ellos en la región y en nuestra área de estudio:

Arco de isla volcánico del cretácico (paleoarco).

Según (Iturralde –Vinent, 1996), la actividad volcánica se extendió desde el Aptiense al Campaniense medio y fue resultado de una subducción intraoceánica.

Un rasgo sumamente importante de la geología de la región lo constituye el amplio desarrollo de las secuencias volcánicas y vulcanógenas – sedimentarias de edad Cretácico inferior Preaptiano - Cretácico Superior diferenciado notablemente Preconiaciano.

Estas secuencias compuestas por tobas de diferentes tipos, basaltos, basalto-andesitas y otras rocas, pertenecen a este elemento estructural, el cual esta bien representado en esta región por la formación Santo Domingo de edad Cretácico (Aptiano- Turoniano), la cual es la representante típica del Arco de Isla Volcánico del Cretácico en Cuba Oriental. Esta formación ocupa una pequeña área en la región,

sus mayores afloramientos se localizan hacia la parte sur- este del área y en la parte alta de la cuenca del río Sagua.

Ofiolitas Septentrionales:

En la región del oriente de Cuba están presentes extensos afloramientos de rocas de las secuencias ofiolíticas representadas por peridotitas con textura de tectónicas, cúmulos ultramáficos, diques de diabasas, niveles efusivos sedimentarios. Estas secuencias constituyen la denominada faja ofiolítica Mayarí- Baracoa (Iturralde-Vinent, 1996). Estas ofiolitas han sido interpretadas como representativas de un sistema de cuencas de back arc – mar marginal. (Iturralde- Vinent, 1996).

Los contactos observados por las estructuras circundantes son tectónicos. La estructura es compleja debido al emplazamiento tectónico, estando afectadas tanto por dislocaciones plicativas como disyuntivas de diferentes tipos y ordenes de importancia.

Dentro de las dislocaciones disyuntivas se encuentran fallas de sobrecorrimientos, fallas de rechazo horizontal. Las rocas de la cobertura, las formaciones del paleógeno, así como, las secuencias más jóvenes del Eoceno Superior recubren a las rocas ofiolíticas, las rocas volcánicas a veces sobreyacen e infrayacen al macizo. Las secuencias del Eoceno Superior y más jóvenes afloran en la parte más alta, demostrando así los sucesivos levantamientos ocurridos en la región, muestra de ello lo constituyen las terrazas.

Un rasgo geológico importante en la región sin duda alguna lo constituyen precisamente el desarrollo de la asociación ofiolítica, sin embargo el grado de conocimiento actual del complejo ofiolítico cubano es insuficiente.

Las secuencias ofiolíticas localizadas en el área pertenecen al macizo Moa, por otro lado, la Formación Gran Tierra (Paleoceno) se compone de calizas brechosas, conglomerados volcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas órgano-detriticas, areniscas vulcanomícticas de cemento calcáreo, lutitas y tufitas (Iturralde-Vinent,

1976; Cobiella, 1978; Quintas, 1989). En algunas localidades los depósitos Maestrichtiano-Daniense de tipo olistostrómicos.

Cuencas de "*piggy back*" del Campaniense Tardío-Daniense.

En estas condiciones de inestabilidad tectónica se desarrollaron una serie de cuencas, que se comportaron como cuencas de "*piggy back*" (también denominadas "cuencas superpuestas de primera generación"; Quintas, 1989). De este estadio son representativas las formaciones sedimentarias Mícara, La Picota y Gran Tierra. Dentro de las mismas se encuentran secuencias típicamente olistostrómicas como es el caso de la Formación La Picota (Maestrichtiano) y parte de la Formación Mícara. Existen dudas acerca de su pertenencia a esta formación o si son brechas tectónicas en algunas regiones donde afloran brechas muy cataclastizadas formando parte de los melanges. Aflora en los flancos meridionales de la Sierra del Cristal, cuenca de Sagua de Tánamo, la base de la Sierra del Maquey y en la meseta de Caimanes.

La formación Gran Tierra es una secuencia terrígeno-carbonatada que aflora en los flancos meridionales de la sierra de Cristal. En la localidad de Mícara (Maestrichtiano-Paleoceno), las cuales están compuesta por fragmentos y bloques procedentes de la secuencia ofiolítica y de las rocas volcánicas cretácicas (Cobiella, 1978a, 1978b, 2000; Quintas, -flyschoide (formaciones Mícara y La Picota) transicionan a la secuencia del Daniense-Eoceno Superior (formaciones Gran Tierra, Sabaneta, Charco Redondo y San Luis) (Iturralde-Vinent, 1996b, 1998; Cobiella, 2000).

El área de afloramiento de la formación Mícara es muy diversa, aflorando en los flancos meridionales de la sierra del Cristal, cuenca de Sagua de Tánamo, Mayarí Arriba, Sector de Los Indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores.

La formación La Picota tiene una composición muy variable en cortas distancias, a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomerática, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último carbonatado, rocas

arcillosas y margosas de esta formación se han registrado los primeros vestigios del vulcanismo paleogénico en forma de tobas.

En consecuencia, estas formaciones constituyen un registro temporal del proceso de emplazamiento tectónico (obducción) de las ofiolitas, el cual estuvo enmarcado en el tiempo de desarrollo de estas cuencas.

Arco de islas volcánico del Paleógeno (Neoarco)

Entre el Paleoceno-Thanetiense y el Eoceno Medio Inferior se desarrolló otro régimen geodinámico de arco de islas volcánicas en Cuba. Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla, y en nuestra zona se considera como materiales dístales del vulcanismo paleogénico. Estas secuencias están compuesta por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, lutitas, margas, gravelitas, conglomerados volcanomícticos y algunos cuerpos de basaltos, andesitas, y andesitas-basálticas, los cuales alcanzan hasta 6000 m de espesor (Formación Sabaneta) (Iturralde-Quintas y otros, 1995) la cual yace sobre una secuencia de transición que contiene finas intercalaciones de tufitas (Fm. Gran Tierra) (Iturralde-Vinent, 1976) o descansa discordantemente sobre las formaciones Mícara y La Picota, y sobre las ofiolitas y vulcanitas cretácicas (Nagy y otros, 1983). Albear y otros (1988) dividen esta formación en Castillo de los Indios (Eoceno Inferior-Medio) y Miranda (Paleoceno-Eoceno), mientras que otros en 1990 la dividen en Sabaneta y Castillo de los Indios. Todas ellas con características similares.

En Farallones el corte está compuesto por tobas vitroclásticas y cristalolitoclasticas zeolitizadas, en menor grado argilitizadas, tufitas, calizas, radiolaritas, tobas vítreas y tobas cineríticas.

Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación. La estratificación es buena, siendo frecuentemente gradacional. En los Indios de Cananova, en la base de la formación se intercalan areniscas de granos gruesos y algunas brechas, donde fueron encontrados fósiles que indican una edad Paleoceno-Daneano. Esta formación aflora en los flancos septentrional y meridional

de la Sierra Cristal, en la cuenca de Sagua de Tanámo, en un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey.

Las rocas pertenecientes al arco de isla volcánico del Paleógeno yacen sobre los materiales deformados del arco Cretácico, las ofiolitas y las cuencas de *piggy back* del Campaniano Tardío-Daniano (Proenza y otros, 1998).

Cuencas de "*piggy back*" del Eoceno Medio-Oligoceno.

En el Eoceno Medio Inferior concluyó la actividad volcánica paleógena. A partir de este momento y hasta el Oligoceno se desarrolló un segundo estadio de cuencas de *piggy back* (Quintas y Blanco, 1993) en las cuales se depositaron espesores considerables de materiales terrígenos y carbonatados. Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno están representadas por las formaciones Puerto Boniato, Charco Redondo, Sagua, Sierra de Capiro, Cilindro, Mucaral, y Maquey.

La Formación Puerto Boniato (Eoceno Medio) se compone principalmente de calizas órgano-detríticas, aporcelanadas, algáceas y margas (Nagy y otros, 1976), mientras que la Formación Sagua está compuesta por margas y calizas (Albear y otros, 1988; Quintas, 1989, 1996).

La Formación Charco Redondo (Eoceno Medio) está compuesta por calizas compactas órgano-detríticas, fosilíferas, de color variable. En la parte inferior del corte son frecuentes las brechas. En esta parte predomina la estratificación gruesa, mientras que en la superior la fina (Cobiella, 1978a, 1978b; Quintas, 1989, 1996 y otros en 1990).

La Formación Sierra de Capiro (Eoceno Superior) se compone de lutitas y margas con intercalaciones de lutitas y conglomerados con fragmentos de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas (Cobiella, 1978a, 1978b; Quintas, 1989). Aflora en la región de Yamanigüey formando una franja a lo largo de toda la costa.

I.2.3 Tectónica y Estratigrafía de la Región y del área de estudio.

Cuenca Sagua de Tánamo

Esta delimitada al este por la falla Miraflores y al sur por el bloque elevado de la sierra del Maguey, al norte continua en la costa del océano atlántico. El basamento ultrabásico aparece en la superficie en varias localidades y en otros lugares yace a profundidades mayores de 1000m. En la parte meridional de la cuenca el basamento esta constituido por rocas del arco volcánico del cretácico en forma de un 3^{er} manto tectónico. Los sedimentos que rellenan la cuenca están representados por las formaciones La Picota, Gran Tierra, Mícara, Yateras, Júcaro, Sabaneta y depósitos cuaternarios. La cuenca esta surcada por fallas que hacen que algunos bloques se hundan y otros asciendan.

Se destaca una anomalía en esta zona señalando el límite lateral de la ultramafita hacia la sierra Cristal. Cerca de la sierra de Maquey se encuentran grabenos a más de 1000m de profundidad.

Esta cuenca esta afectada por fallas compresivas laramídicas y poslaramídicas de rumbo NW-SE, al sur del poblado Cebolla una falla de igual dirección a la anterior delimita la extensión territorial de la formación Mícara y Gran Tierra, aparecen formas suavemente plegadas con eje de dirección NE-SW, E-W, NW-SE y N-S que no son correlacionables con el sistema de falla protocubanas conocidas.

Bloque Sierra Maquey: se limita al norte y al noroeste por el hundimiento de la cuenca de Sagua de Tánamo, al noreste está cortado por fallas Miraflores-Riito, se considera un bloque elevado entre una cuenca y una falla, en su parte central predominan las rocas ultrabásicas (ofiolitas) y en los bordes las rocas del arco volcánico superior.

Las peridotitas de la sierra Maquey presentan una forma obalada negativa con su eje de 3 y 5 Km de longitud que se manifiestan en el bandeamiento de la roca que

puede tener un origen mágnico tectónico. Las zonas periféricas de las ultrabasitas están atravesadas por diques de diabasa.

La región pertenece a una zona transicional con características de anomalías gravimétricas con valores de isolíneas entre 70 y 140 Mgal que se encuentran entre el máximo de la meseta y el mínimo de la costa NE.

Se supone que el bloque de Sierra del Maquey se hunda hacia el oeste en el fondo de la cuenca Sagua de Tánamo en forma escalonada.

Para este bloque son características las fallas compresivas de rumbo ENE-WSW y ESE- WNW que determinan movimientos en las direcciones NE-SW, E-W, N-S. Según datos aeromagnético existe un sistema de fallas de rumbo NW-SE, septentrional con las de dirección NE-SW que son de gran importancia.

Falla Miraflores

Es el principal elemento de subducción regional del territorio, tiene dirección NW-SE con un ligero arqueamiento hacia el SE. Se compone de varias fallas sudparalelas de trazo irregular, deformado. El ancho de la zona es variado puede alcanzar cuatro kilómetros. Los tramos de fallas son seguros, mapeados en el campo mientras su parte noroccidental esta parcialmente cubierta por sedimentos paleogénicos enmascarados por fallas mas jóvenes, las zonas de fallas se consideran casi virtual alcanzando profundidades verticales las rocas dentro de esa zona y están muy trituradas tanto en las zonas de trituración como la orientación estructural de los distintos bloques que siguen el rumbo general de las fallas, así como, los pequeños sobrecorrimentos o escamas también están orientadas subparalelamente con las fallas. En la zona de falla se encuentra únicamente rocas de la asociación ofiolítica y de la formación Sierra del Purial. La estructura de graben entre la loma Miraflores y la Sierra Maquey se formó posteriormente rejuveneciendo algunos elementos de la zona. Durante largo tiempo esta controlado el levantamiento desigual de las regiones separadas por ellos pero anteriormente debimos contar con movimientos horizontales cambiados por la rotación de bloques, sincrónicos o anteriores a la

formación de los sobrecorrimientos de la propia zona. Segunda posibilidad, significa una época de la actuación de fuerzas compresivas.

Estratigrafía del área de estudio.

Cada una de las formaciones nombradas en el área de trabajo han sido copiadas del mapa a escala 1:250 000 modificado de Albert y otros en 1988. (Ver **Figura 1.6**).

La zona de investigación presenta diversos complejos rocosos que son representativos de las etapas por las que atravesó su evolución aunque el estudio geológico de la zona no es suficiente, el último trabajo realizado en la misma fue el levantamiento por parte de la brigada Cubano-Húngara por lo que en estos momentos abundan las contradicciones que tienen su base principalmente en la consecución de la evaluación geológica regional.

Formación La Picota

J. L. Cobiella (1975).

Su localidad tipo se encuentra en la loma La Picota se propaga por la periferia del macizo orogénico Nipe - Cristal, y en la cuenca Sagua de Tánamo y Baracoa. En el territorio de trabajo estas rocas se encuentran en franjas discontinuas del río Sagua, aparece en el valle del río Santa Catalina en forma de restos erosiónales aislados y la encontramos cerca del arrollo la Novilla, Serrajon y San Mateo.

La formación esta constituida por sedimentos clásticos, generalmente de granos gruesos mal seleccionados mal estratificados y débilmente sementados, los clastos y guijarros se componen de tobas ácidas a intermedias de lavas andesíticas y basaltos, diabasas, gabro, rocas ultrabásicas serpentinizadas, raramente calizas, aleurolitas y guijarros lateríticos, es característico el color pardo rojizo en los guijarros sometidos a meteorización . Las arenas de composición más o menos similares son de color gris, amarillo o pardo, sus granos van de finos a gruesos, las margas son de color amarillento, las arcillas son de color rojo y pardo.

Esta formación yacen en discordancia indistintamente angular y erosional sobre la formación Santo Domingo y las rocas ultrabásicas. Se encuentra plegada fracturada formando un anticlinal entre los ríos Sagua y Guaso. Las capas tienen buzamiento entre veinte y treinta grados hacia el norte o norte noroeste.

Formación Mícara

M. Iturralde Vinent, 1975.

Su localidad tipo se encuentra en el valle de Mícara en Santiago de Cuba. Se propaga por el flanco sur de la zona cristal desde Sabanilla de Mayarí Arriba hasta Naranjo, en toda la depresión de Sagua de Tánamo y en el borde norte de la Sierra de Cristal entre Collazo y Sagua de Tánamo.

Esta formación se compone de fases terrígenas y terrígenas carbonatadas de edad Maestrichtiano a Daniana. Las secuencia inferior tienen un marcado carácter molásico mientras que la superior es flichóide.

La formación Mícara según F. Quintas, está compuesta esencialmente por limositas, areniscas y conglomerados vulcanomísticos cuyos clastos se dividen de la erosión de las rocas volcánicas y vulcanógenas sedimentarias de la formación Santo Domingo, así como, por clastos de gabros, dioritas y serpentinas. Ver **Figura 1.7**.



Figura 1.7. Perfil del borde oeste de la Cuenca de Sagua de Tánamo, según Quintas C, 1989.

Formación Sagua de Tánamo

Albert y otros, 1988, Quintas C, 1989,1996.

Su localidad tipo se encuentra al SE de la ciudad de Sagua de Tánamo entre los ríos Sagua y el arroyo Lindero. La serie terrígena- carbonatada ocupa un área en los alrededores de las confluencias de los ríos Santa Catalina, Castro y Sagua.

La formación está constituida por alternancia de margas, calizas margosas y raramente calizas que contienen intercalaciones de conglomerados y areniscas. Las margas son de color blanco cremoso o grisáceo generalmente compactas aunque la variedad arcillosa es más friable. La serie carbonatada se encuentra bien estratificada al igual que las areniscas.

Esta formación descansa con discordancias angulares y erosional sobre las formaciones Mícara, La Picota, y Sabaneta. Localmente esta cubierta por formación Yateras de manera discordante.

Sedimentos Cuaternarios

Están representados fundamentalmente por aluviones depositados por los ríos de la zona, los cuales alcanzan un área notable en las partes más llanas y se componen de una variedad litológica de clastos de rocas calcáreas, serpentinitas, calizas estratificadas que en algunos casos alcanzan hasta 2.00m de potencia en la llanura de inundación. (Mapa Geológico de Cuba, escala 1: 500 000. 1985).

Constituyen una cobertura generalmente delgada casi continua y de tipo continental, que cubren el área. Aparecen suelos grises y oscuros de una potencia de hasta 50cm, producidos por la meteorización de rocas y areniscas en pequeñas zonas de afloramiento de la Formación Mícara, sembrados de caña principalmente y desarrollo de pastos.

Ofiolitas Septentrionales

Los contactos observados por las estructuras circundantes son tectónicos. La estructura es compleja debido al emplazamiento tectónico, estando afectadas tanto por dislocaciones plicativas como disyuntivas de diferentes tipos y ordenes de importancia. Las secuencias ofiolíticas representadas por serpentinitas, wherlithas, peridotitas con textura de tectónicas, cúmulos ultramáficos, diques de diabasas, niveles efusivos sedimentarios. Estas secuencias constituyen la denominada faja ofiolítica Mayarí- Baracoa (Iturralde- Vinent, 1996).

CAPITULO II. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

II.1 Introducción.

Los estudios de las condiciones Ingeniero Geológicas se realizaban en tiempo atrás, basados en la interpretación fotogeológica en combinación con los levantamientos geológicos de campo. La solución generalmente era abordada a partir de la realización de trabajos regionales ingeniero – geológicos en formato analógico, de la que se obtenía un mapa con la división del territorio en cuestión, en una serie de unidades más o menos homogéneas. Estudios en muchos de los casos con problemas en cuanto a escalas, densidad de representación e interpretación y de carácter cuantitativo (Cabrera J, 2002).

Métodos que plantean la organización y clasificación de los mapas ingeniero geológicos según la finalidad, contenido y escalas, empleados fundamentalmente para el planeamiento territorial y urbano y la gestión ambiental.

Obtener datos hidrológicos directamente de los ríos o cursos de agua es un esfuerzo valioso pero que consume tiempo. Si tales datos dinámicos han sido obtenidos durante muchos años de aforos regulares, se pueden usar modelos para calcular la frecuencia estadística de los eventos de inundación, determinando así su probabilidad. Sin embargo, tales evaluaciones son difíciles sin aforos de por lo menos veinte años, este trabajo fue realizado por INRH de Holguín, año 2002.

Como resultado, las evaluaciones del peligro de inundaciones, basadas en mediciones directas, pueden no ser posibles porque no hay una base para determinar los niveles específicos de inundación y los intervalos de recurrencia para determinados eventos. Se pueden realizar evaluaciones del peligro en base a datos de fotos, informes de daños y observaciones de campo cuando los datos cuantitativos son escasos. Tales evaluaciones presentan información graficada que define las áreas inundables que probablemente serán afectadas por una inundación de un intervalo específico (Riggs, 1985).

La peligrosidad (severidad, dimensión espacio – temporal y probabilidad) puede abordarse con tres grupos de metodologías: Históricas, hidrológicas y geológico – geomorfológicas. La primera utiliza eventos previos para delimita puntos de conflictos, niveles alcanzados por el agua o registros de caudales, los métodos hidrológicos, mas difundidos y cuantitativos, tienen a su vez dos etapas: modelación hidrológica, utilizando el análisis estadístico de los caudales registrados en estaciones de aforo o métodos hidrometeorológicos (simulación del proceso precipitación –aportación) de la que se obtiene el caudal de crecida y al modelación hidráulica y finalmente y nuestro caso de estudio en particular los métodos geomorfológicos los cuales tratan de delimitar las áreas geomorfologicamente activas durante la inundación a partir de las formas y depósitos asociados a eventos de crecida. Como resultado final la peligrosidad y el riesgo se presenta mediante diferentes tipos de mapa: áreas inundables (normalmente para diferentes periodos de retorno, eventos históricos con su frecuencia de ocurrencia), de vulnerabilidad y de riego.

Características de la superficie del terreno relacionadas con inundaciones

Los estudios de peligrosidad por inundación deben tener en cuenta las características de superficie, relacionadas con las inundaciones:

- ∞ Topografía o pendiente del terreno, especialmente su horizontalidad;
- ∞ Geomorfología, tipo y calidad de suelos, especialmente material de base de depósitos fluviales no consolidados;
- ∞ Hidrología y la extensión de las inundaciones recurrentes.

Estas características comúnmente son consideradas en las actividades de evaluación de recursos naturales (OEA/DDRMA, 1993). Las preguntas a las que el estudio de planificación debe responder son; " ¿Cuan peligrosa es el área de estudio en relación con inundaciones recurrentes"? y "¿Cuál es la vulnerabilidad de las actividades de desarrollo existentes y propuestas?". Uno de los primeros pasos de evaluación es recomendar la instalación de equipos de aforo y estaciones hidrometeorológicas en regiones propuestas para el desarrollo, si es que no están ya disponibles.

Naturaleza cambiante de las llanuras de inundación

Las llanuras de inundación no son estáticas ni estables. Están compuestas de sedimentos no consolidados, se erosionan rápidamente durante inundaciones y crecidas de agua, o pueden ser el lugar donde se depositen nuevos estratos de lodo, arena y limo. En tal virtud, el río puede cambiar de curso e ir de un lado de la llanura de inundación al otro. La **Figura 2.2** muestra este comportamiento dinámico donde el canal de un río puede cambiar de posición en la llanura de inundación y ésta, a su vez, es modificada periódicamente por las inundaciones, a medida que el canal se desplaza de un lugar a otro.

El ancho de una llanura de inundación está en función del caudal del río, velocidad de la tasa erosionante, pendiente del canal, y dureza de su pared. Las llanuras de inundación no son usuales en los canales de las partes altas de la cuenca fluvial, porque los ríos son de poco caudal, las pendientes y la velocidad de profundización son altas y las paredes del valle frecuentemente muestran roca firme sin cobertura.

En ríos moderadamente pequeños, la llanura de inundación usualmente se encuentra sólo en el interior de la curva de un meandro, pero la ubicación de la llanura de inundación se alterna de lado a lado a medida que el río fluye en meandros de un lado del valle al otro.

Para evaluar el peligro de inundaciones se debe saber:

¿Dónde se encuentran ubicadas las llanuras de inundaciones y las áreas inundables?

¿Con qué frecuencia estará cubierta de agua la llanura de inundación?

¿Cuánto tiempo estará cubierta de agua la llanura de inundación?

¿En qué época del año se puede esperar que ocurran inundaciones?

En este trabajo el autor aborda el estudio de Zonación Ingeniero Geológico a partir del empleo de los mapas temáticos, topográficos y geológicos, de los cuales se derivan algunos mapas que reflejan la influencia de las condiciones antropogénicas y naturales y el uso de la tecnología SIG, teniendo en cuenta un minucioso trabajo

de informaciones conceptuales según diversos autores y un organizado trabajo de campo y de gabinete.

Análisis del peligro (peligros de origen meteorológicos “Inundaciones”)

Se determina el peligro por el tipo de situación, teniendo en cuenta hechos históricos o acontecimientos anteriores que pueden ser escritos o narrados por personas expuestas o no. (Ver Figura 2.3).

Son clasificados con el objetivo de diferenciarlo para elaborar los planes en:

- ☞ Por su origen: naturales y antropogénicos.
- ☞ Por el medio donde se producen: terrestres.
- ☞ Por el área de afectación: local.
- ☞ Por la forma de manifestarse: de aparición brusca, rápida o repentina y de aparición lenta.
- ☞ Por la magnitud de las pérdidas: graves, moderadas, pequeñas.
- ☞ Por su período de duración: momentáneos, de corta y larga duración.

Los principales peligros naturales que enfrenta el país son los de origen meteorológico, tanto por la magnitud de sus factores destructivos, la frecuencia y el área de incidencia, como por la intensidad y periodicidad con la que afectan a la población y la economía.

Durante la temporada ciclónica, que en el área abarca desde junio a noviembre, un ciclón tropical afecta al país cada año, este fenómeno produce lluvias intensas que llegan a afectar considerablemente al territorio nacional, produciendo fuertes inundaciones que han ocasionado grandes afectaciones humanas y pérdidas materiales. (Según Defensa Civil, 1997).

Estrategias de mitigación de peligro

La duración de las inundaciones han tenido en nuestro país una media de 72 horas sin incluir los procesos de recuperación o rehabilitación como resultado de las

pérdidas y afectaciones, los cuales en algunos casos han sido prolongados teniendo en cuenta las disponibilidades de recursos.

En nuestro país, la mitigación de desastre incluye todas las actividades emprendidas para reducir los efectos que provocaría la ocurrencia de un hecho potencialmente destructivo, e incluyen las medidas de prevención, preparación, respuesta, reconstrucción y rehabilitación, para hacer frente a los desastres. (Según Defensa Civil, 1997).

Los ejemplos de medidas estructurales que pueden mitigar los efectos de los peligros naturales incluyen los códigos de construcción y especificaciones de materiales, reacondicionamiento de estructuras existentes para que sean menos vulnerables al peligro y dispositivos de protección tales como diques. Las medidas no estructurales se concentran en identificar áreas propensas a peligros y limitar su uso. Los ejemplos incluyen la zonificación para uso de terrenos, incentivos tributarios, programas de seguros, y la reubicación de poblaciones a lugares fuera del alcance de un evento peligroso. Se pueden sustentar argumentos contundentes para enfatizar la mitigación no estructural en los países en desarrollo, ya que las medidas de mitigación estructural frecuentemente tienen un costo directo alto que debe ser añadido a los costos del proyecto. Las medidas no estructurales pueden tener algún costo de capital y/o costo operativo pero, generalmente, son menores que los costos estructurales.

<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch04.htm> .

Estrategias para peligros específicos

Huracanes

Los huracanes ocurren en zonas bien definidas de la cuenca del Caribe y la costa occidental de América Central. Si un área de estudio está dentro de una de estas zonas, el planificador puede proceder a determinar los riesgos y buscar medidas de mitigación. Dado que los efectos marítimos de una tormenta (la elevación en el nivel del mar debido a la baja presión barométrica de la tormenta), son en realidad el peligro que causa más daño, las áreas bajas cerca del mar son las que se encuentran en mayor peligro. El monitoreo de la tormenta y las mejores medidas de

alerta y evacuación son los mecanismos más efectivos para salvar vidas. Algunas medidas estructurales de bajo costo para la mitigación pueden reducir los daños (por ejemplo asegurando que los techos estén bien anclados, cubriendo grandes paneles de vidrio, y retirando salientes que fácilmente podrían ser llevadas por el viento). Las pequeñas poblaciones y asentamientos tienen que depender en gran parte de sus propios recursos para defenderse contra los huracanes. Esto requiere que los líderes de la comunidad estén preparados y que se establezca un programa nacional para entrenar y mantener comunicación con el personal local.

<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch04.htm>.

Inundaciones

La información existente raramente es suficiente para evaluar el potencial de inundación en una área de estudio pero, haciendo uso de la interpretación de sensoramiento remoto como método noveso, se puede realizar una evaluación del peligro de inundación que satisface las limitaciones de tiempo y presupuestales de un estudio de planificación para el desarrollo. Tal evaluación es útil para diseñar nuevos proyectos e identificar medidas de mitigación para el desarrollo existente, amenazado por inundaciones.

<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch04.htm>.

Medios y técnicas para evaluaciones de desastres naturales

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un SIG, sistema para dar referencia geográfica a la información sobre una unidad de espacio, puede facilitar el almacenamiento, acceso y análisis de datos tanto en forma de mapas como de tabulaciones. Puede ser un sistema manual, pero la mayor parte de los SIG pueden ser computarizados, tal como lo demanda el enorme número de datos de unidades de información que se requieren para el manejo de peligros naturales, particularmente en el contexto de la planificación para el desarrollo. Un SIG puede ser de un costo sorprendentemente bajo, puede multiplicar la productividad de un técnico y su uso puede dar resultados de mucho mejor calidad que aquellos que se obtienen manualmente, sea cuales fueren los costos.

<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch06.htm>.

Estos se pueden definir brevemente como gestores de bases de datos gráficas y georreferenciadas, nos brindan garantía de la actualización de la base cartográfica, existencia de un marco de cooperación y colaboración institucional entre administraciones en todo lo referente a información geográfica, garantía de compatibilidad de datos e integración de sistemas a largo plazo. (M. Pérez et al).

Los términos y conceptos relacionados con las inundaciones y la naturaleza de las áreas sujetas a inundaciones recurrentes, según diferentes autores, son muy variado por lo que se hace necesario por el autor conocer tan disímiles conceptualizaciones y una muestra de ellos se relaciona a continuación:

Fenómeno Natural: Evento físico que no afecta a los seres humanos porque sus efectos no entran en contacto con ellos (OEA/DDRMA, 1993).

Peligro Natural: Evento físico que ocurre en un área poblada o con infraestructura que puede ser dañada (OEA/DDRMA, 1993).

Desastre Natural: Peligro natural que causa un número inaceptable de muertes o daños a propiedades (OEA/DDRMA, 1993).

Peligro – Amenaza – Desastre: Términos más amplios que incluyen la presencia de eventos naturales y/o intervención humana. (OEA/DDRMA, 1993).

Riesgo Natural: Es la mayor o menor probabilidad de que se produzca un daño o catástrofe en una zona, debido a la actividad de un proceso natural. (Guardado, 1999)

Riesgo Geológico: Son definidos por Ayala Carcedo, 1980, como "todo proceso, situación u ocurrencia en el medio geológico, natural, inducido o mixto, que puede generar un daño económico o social para alguna comunidad y en cuya previsión, prevención o corrección se emplean criterios geológicos".

Inundación: Es un proceso de desbordamiento del agua fuera del cauce natural o artificial. <http://www.senamhi.gob.pe/aprendiendo/apen-hidro02.htm>.

Inundaciones: son un evento natural y recurrente para un río. Estadísticamente, los ríos igualarán o excederán la inundación media anual, cada 2,33 años, son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras. Esto hace

que un determinado curso de aguas rebalse su cauce e inunde tierras adyacentes.
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch12.htm>.

Llanuras de inundación: son áreas de superficies adyacentes a ríos o riachuelos, sujetas a inundaciones recurrentes. Debido a su naturaleza siempre cambiante, las llanuras de inundación y otras áreas inundables deben ser examinadas para precisar la manera en que pueden afectar al desarrollo o ser afectadas por él.
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch12.htm>.

Llanuras de inundación: aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia, y ubicados en zonas adyacentes a los ríos y cursos de agua. Las llanuras de inundación son, por tanto, "propensas a inundación" y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de éstas excede un nivel aceptable.
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch12.htm>.

La definición de llanuras de inundación depende algo de las metas que se tenga en mente. Como **categoría topográfica** es muy plana y se encuentra al lado un río; geomorfológicamente, es una forma de terreno compuesto primariamente de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río en cuestión; **hidrológicamente**, está mejor definida como una forma de terreno sujeta a inundaciones periódicas por un río padre. Una combinación de estas características posiblemente cubre los criterios esenciales para definir una llanura de inundación". Más sencillamente, una llanura de inundación se define como "una franja de tierra relativamente plana, junto a un río y que sufre desborde de las aguas durante las crecidas"<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch06.htm>.

Frecuencia: Cuan a menudo ocurre. (OEA/DDRMA, 1993).

Frecuencia de inundaciones: depende del clima, del material de las riberas del río y la pendiente del canal. Cuando ocurre copiosa precipitación en una determinada estación cada año, o la inundación anual es resultado del deshielo, las llanuras de inundación pueden ser inundadas casi todos los años, aún a lo largo de grandes ríos con muy poca pendiente de canal. En las regiones que no sufren extensos períodos con temperaturas bajo cero, las inundaciones generalmente ocurren en la época de mayor precipitación. Cuando el mayor número de inundaciones son resultado del deshielo, frecuentemente acompañado por precipitación, la época de inundaciones es la primavera o el inicio del verano.
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch06.htm>.

Las inundaciones: Suelen ser descritas en términos de su frecuencia estadística. Una "inundación de 100 años" o "una llanura de inundación de 100 años" se refiere a un evento o una área expuesta a un 1 % de probabilidad que ocurra una inundación de un determinado volumen en cualquier año dado. Este concepto no significa que una inundación ocurrirá sólo una vez cada 100 años. Si es que ocurre o no en un determinado año no cambia el hecho de que siempre hay una probabilidad del 1 % de que ocurra algo similar al año siguiente. Dado que las llanuras de inundación pueden ser cartografiadas, los linderos de una inundación de 100 años se utilizan comúnmente en programas de mitigación de llanuras de inundación, para identificar las áreas donde el riesgo es significativo. Se puede seleccionar cualquier otra frecuencia estadística para un evento de inundación, según el grado de riesgo que se decida evaluar, llanuras de 5 años, 20 años, 50 años, o 500 años. <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch12.htm>.

Vulnerabilidad (V): Es el factor interno de una comunidad expuesta a una amenaza que puede ser afectada y depende de varios factores: El grado de exposición (zona de ribera de los ríos, terrenos con fallas geológicas, etc.). El grado de incorporación en la cultura y los conocimientos que permita a los pobladores reconocer las amenazas. La calidad del diseño de la construcción de las viviendas y las áreas libres de evacuación. El grado de organización de la sociedad y la orientación de las instituciones de la comunidad del estado y de las organizaciones no gubernamentales. Capacidad de las instituciones que prestan apoyo en las emergencias. <http://www.senamhi.gob.pe/aprendiendo/apen-hidro02.htm>.

Vulnerabilidad: Es una medida de la susceptibilidad o predisposición intrínseca de los elementos expuestos a una amenaza a sufrir un daño o una pérdida. Estos elementos pueden ser las estructuras, los elementos no estructurales, las personas, las instituciones y sus actividades colectivas. (Defensa Civil, 1997).

Vulnerabilidad: Exposición de las personas, sus obras y su medio a los efectos de una amenaza. <http://www.Ceit.es/Asignatureas/Ecología/Hipertexto/08RiesgoN/130inund.htm>.

Riesgos Geoambientales: Se entiende por Riesgos Geoambientales a la mayor o menor probabilidad o recurrencia de que se produzca una catástrofe en una zona determinada debido a procesos naturales o aquellos inducidos por el hombre. (X Congreso Latinoamericano de Geología y Minería, Vol. Directrices Geoambientales).

Mapa de Riesgo: Es un gráfico, un croquis o una maqueta, en donde se identifican y se ubican las zonas de la comunidad, las casas o las principales obras de infraestructura que podrían verse afectadas si ocurriera una inundación u otro desastre. <http://www.Ceit.es/Asignatureas/Ecología/Hipertexto/08.RiesgoN/130inund.htm>.

Evaluación de Daños: El conjunto de acciones que permiten valorar adecuadamente las pérdidas materiales directas e indirectas, el costo de las medidas aplicadas, más las necesidades materiales y psíquicas de los afectados, así como la toma de decisiones justas, oportunas y apropiadas para ayuda y rehabilitar el territorio afectado y a sus habitantes. (Defensa Civil, 1997).

Recursos: Fortaleza o debilidad con que cuenta la comunidad para enfrentar, reducir o eliminar una situación de emergencia. <http://www.Ceit.es/Asignatureas/Ecología/Hipertexto/08.RiesgoN/130inund.htm>.

Recursos Humanos: Personas y organizaciones, capacidad de respuesta, nivel y flexibilidad de organización, planes de acción elaborados, etc. <http://www.Ceit.es/Asignatureas/Ecología/Hipertexto/08.RiesgoN/130inund.htm>.

Recursos Materiales: Sistema de comunicación y transporte, vías alternativas, espacios físicos e instalaciones seguras, equipos médicos. Equipos de protección y rescate, fondos de emergencia, etc. <http://www.Ceit.es/Asignatureas/Ecología/Hipertexto/08.RiesgoN/130inund.htm>.

Riesgo (R): Es la exposición a las amenazas y las condiciones en que se encuentra una comunidad. <http://www.senamhi.gob.pe/aprendiendo/apen-hidro02.htm>.

Respuesta: Acciones desarrolladas inmediatamente después de ocurrido un peligro o desastre natural. Tiene como objetivo “salvar vidas, reducir el sufrimiento y disminuir pérdidas”. También incluye acciones destinadas a prevenir efectos secundarios como por ejemplo protección de riberas de ríos con sacos de arena. <http://www.Ceit.es/Asignatureas/Ecología/Hipertexto/08.RiesgoN/130inund.htm>.

Recuperación y Rehabilitación: Actividades y acciones desarrolladas después de ocurrir el evento destinadas a recuperar el estado previo al desastre (volver a la normalidad) y en algunos casos mejorar ese estado. <http://www.Ceit.es/Asignatureas/Ecología/Hipertexto/08.RiesgoN/130inund.htm>.

Mitigación: Intervención, medida o acción destinada a determinada circunstancia. <http://www.Ceit.es/Asignatureas/Ecología/Hipertexto/08.RiesgoN/130inund.htm>.

Daño: El proceso social en sí mismo y trata de clarificar el sistema intrínseco, valorando el carácter de las transformaciones sufridas o potenciales. (Alonso Aguilo).

Peligrosidad: Se refiere al proceso natural en sí mismo y trata de clarificar el sistema intrínseco, valorando sus potencialidades como causante de transformaciones en el núcleo, independientemente de que en el haya o no actividad social. (Alonso Aguilo).

II.2 Trabajos de Campo.

En el área de la ingeniería geológica crece la demanda de las investigaciones sobre el medio físico, para la ejecución de diferentes obras. Esta búsqueda está dirigida a la determinación de riesgos geológicos, problemas geotécnicos de fundaciones, dinámica de los procesos y fenómenos geológicos y su interrelación con la actividad provocada por los diferentes usos del medio.

Los trabajos de campo se comenzaron teniendo en cuenta las áreas que se encontraban mapificadas a escala 1: 2 000 para los asentamientos urbanos y 1: 25 000 para los asentamientos rurales, como Sistema de coordenadas: Cuba – Sur y Alturas: Siboney.

Para darle solución a las zonas abiertas y que no poseían mapificación a escala 1: 2 000 se utilizó como material base las imágenes ampliadas del vuelo realizado entre los años 1999-2001, las que se rectificaron y ampliaron a escala 1: 2 000. (Ver **Figura 2.8**).

Para el desarrollo de las líneas de Nivelación Técnica se utilizaron las alturas de las CF de las líneas de nivelación de I, II, III y IV Orden que atraviesan el pueblo de Sagua de Tánamo.

Para el desarrollo de la Red de Puntos Altimétricos se utilizó la Nivelación Técnica con doble puesta de instrumento, apoyando ambos extremos de las líneas en las CF. Actualización de las construcciones nuevas que no aparecían en los planos a escala 1: 2 000. (GEOCUBA, 2002)

Determinación de los niveles de piso (NP) de los inmuebles afectados.

Investigación según planilla diseñada para la investigación de los inmuebles sobre su estado técnico a la cual se le agregaron datos como fue el grado de inundación, y sus niveles de piso.

El método geodésico utilizado para el desarrollo de la Red de puntos Altimétricos se utilizó la Nivelación Técnica con doble puesta de instrumento. El error de cierre permisible en este caso se calculó por la formula:

$$f\Delta h \text{ perm.} = \pm 50 \text{ mm. } \sqrt{L}$$

Donde L- longitud de la línea en Km.

Determinación de los Niveles de Piso (NP) de los inmuebles afectados.

En la determinación de los niveles de piso se utilizaron dos taquímetros autoreductores, una plancheta y en algunos casos directamente con el nivel, apoyando la nivelación en los puntos de nivelación técnica ubicados a menos de 200 m de las construcciones.

El nivel de piso se les determinó también a los sótanos que estaban reconocidos como viviendas y a las plantas superiores de las construcciones que tenían más de un piso. En algunos casos a los sótanos y a las plantas superiores se le determinó el nivel de piso con cita, con precisión hasta el cm.

Equipos utilizados y comprobaciones realizadas a estos.

El nivel Wild NI 495830, los taquímetros RDS 135290, 204208 y la Plancheta KA-2T 00462, los cuales fueron verificados en el Órgano Metrológico de la Empresa GEOCUBA Holguín.

Precisiones alcanzadas, análisis de errores y sus desviaciones.

El error de cierre obtenido en las líneas de nivelación en todos los casos estuvo por debajo de $\pm 30 \text{ mm. } \sqrt{L}$

Investigación del estado técnico constructivo de los inmuebles.

La investigación del estado técnico constructivo se realiza por Consejo Popular y dentro de cada Consejo Popular por manzanas.(GEOCUBA, 2002).

A cada investigador se le entrega los planos de manzanas con las viviendas con su número consecutivo que no se deben repetir en cada Consejo Popular. A parte de los planos se entregaron las planillas “Encuesta del estado Técnico de la Vivienda”. En esta planilla están reflejados 21 aspectos, todos relacionados con la vivienda; Teniendo en cuenta la investigación a realizar se le incrementaron dos atributos más relacionados con las inundaciones, el grado de inundación y la cota de nivel de piso. (Ver **tabla 2.1**).

Se tomaron mediciones del ángulo de buzamiento de algunos taludes, próximos a la carretera de Sagua hacia El Miguel, oscilando los mismos entre 32° y 35°.

Se realizaron verificaciones de campo en los afloramientos de rocas presentes en el área con la ayuda del mapa topográfico y el Esquema geológico del área.

| | | | |
|-------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| I | Nombres y Apellidos del propietario: | X | Pisos: |
| | Dirección: | XI | Pinturas: |
| | Cantidad de habitantes: | XII | Carpintería: |
| | Cuántos trabajan: | XIII | Instalaciones hidráulicas: |
| II | Tienen propiedad: | XIV | Red sanitaria: |
| III | Tipología constructiva: Tipo I, II, III, IV, V, VI, VII. | XV | Escalera: |
| IV | Tipología habitacional: | XVI | En la construcción: |
| V | Estado Técnico: | XVII | Grado de Inundación: |
| VI | Estado técnico: | XVIII | Cota de Nivel de Piso: |
| VII | Necesita reparar: Tipo de muros: | Los atributos XVII, XVIII están tomados, teniendo en cuenta la declaración de los habitantes de que sus viviendas fueron inundadas en noviembre de 1993. | |
| VIII | Enchape: | | |
| IX | Cimientos: Necesidad de hacer columnas: | | |

Tabla 2.1. Temática de Investigación de los Inmuebles, GEOCUBA, 2002.

II.3 Trabajos de Gabinete.

El estudio de los eventos producidos por grandes precipitaciones y sus consecuencias hidrológicas puede realizarse cada vez con mayor precisión y rigor científico, a pesar de la gran escasez de datos que en muchas ocasiones se encuentran disponibles.

Para el estudio de esta área se ha de partir únicamente del conocimiento de los datos meteorológicos y de las características fisiográficas de la cuenca.

En función de las variables involucradas en el problema y de la modelación de los fenómenos físicos, han sido utilizadas a escala internacional diversas metodologías.

El autor de este trabajo entiende por Zonación Ingeniero Geológica de Peligrosidad y Riesgo por Inundación todo grupo de clasificación de zonas teniendo en cuenta un conjunto de condiciones naturales, ambientales y antrópicas que determinan la planificación de determinadas situaciones y por consiguiente la selección de las zonas vulnerables al fenómeno, así como los tipos de aprovechamiento dado al territorio.

Tomando en consideración esta definición y apoyándonos en las funciones de la tecnologías SIG el autor ha considerado que la zonación se logra examinando una serie de factores técnicos - sociales de los inmuebles y los naturales que determinan las condiciones de realización de la investigación, en la **Figura 1** se expresa una secuencia lógica de trabajo seguida por el autor, partiendo de la derivación e integración de los factores involucrados, definiendo a su vez los resultados cartográficos a obtener en cada acción.

El análisis parte de considerar que para cumplir el objetivo general de la investigación se hace necesario tener en cuenta las influencias que ejercen sobre el medio, las condiciones naturales, condiciones climáticas y la infraestructura del área que no es más que el resultado de las actividades humanas modificadoras del medio ambiente (obras civiles, industriales, actividades agrícolas, mineras y otras formas de uso y ocupación del suelo).

Entre los principales factores a tomar en cuenta para el trabajo de Zonificación el autor consideró:

Relieve y Geomorfología del territorio.

Clima.

Hidrología.

Particularidades geológicas.

Teniendo en cuenta que la influencia del relieve es un factor determinante en cualquier estudio de Zonación Ingeniero Geológica de Peligrosidad y Riesgo por Inundación, contituyendo una expresión de la evaluación y transformación del paisaje bajo los efectos de las fuerzas internas y externas de la tierra. Su influencia puede estimarse a través de los mapas altimétricos, de pendiente y de disección vertical, entre otros.

Digitalización

Los planos topográficos a escala 1: 2 000 existentes del año 1987 se Digitalizaron, editaron e imprimieron a escala 1:2000. Estos planos se llevaron a formato digital por el método de las imágenes escaneadas, las cuales se obtuvieron en formato BMP, con 150 dpi y tamaño natural. Las imágenes se cargaron sobre AutoCad Map, con unidades en milímetros y factor de escala 2.0.

Se procedió a la digitalización de los mapas catastrales escala 1:10 000 con el objetivo de plasmar el uso actual del suelo y algunos elementos de los mapas topográficos a escala 1: 25 000 y 1: 50 000 del territorio, este último (1: 50 000) tomado del año 1955 con el objetivo de evaluar la dinámica del río. En estas bases cartográficas se representaron varias capas con diferentes colores según establecido en el proyecto.

El conocimiento de anteriores inundaciones es una información, si no fundamental, si muy importante a la hora de determinara valores cuantitativos en zonas potencialmente inundadas.

Se procedió a la digitalización del mapa de las inundaciones súbitas o severas como las ha llamado el autor a escala 1:25 000, tomado de IPF del municipio Sagua. (Ver **figura 2.3**), otros mapas como los de la Red Pluviométrica, Hidrométrica, Red Hidrológica, definiendo por cada uno de estos las capas de trabajo. Ver **Tabla 2.2**.

| MAPA | CAPA | MAPA | CAPA |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Altimétrico | Curva de Nivel según las alturas, Textos, Alturas, Información Marginal. | Uso de Suelo | Parcela, Número, Símbolo, etc. |
| Red Hidrológica | Hidrografía, 1 ^{er} , 2 ^{do} , 3 ^{er} , 4 ^{to} y 5 ^{to} orden, Textos, Información Marginal. | Construcciones | Construcciones, Red Vial, etc. |
| Estaciones Hidrométricas | Estaciones, Nombre. | Red Vial | Carreteras, Caminos, Textos. |
| Red Pluviométrica | Pluviómetros, No. De Control, Hidrografía. | Consejos Populares | Nombre, Área Exterior, Hidrografía. |
| Pendiente | Según rangos: 0-3, 3-6, etc. | Geológico | Formaciones, Tectónica, Textos. |
| Disección Vertical | Según valor obtenido: 0, 10, 20, 30, etc. | Inundaciones Súbitas | Inundaciones según su nombre. |
| Dinámico | Textos, Construcciones, Vial, Hidrografía. | Zonación IG | Zonas establecidas. |

Tabla 2.2. Ejemplo de capas representadas durante el proceso de automatización para los diferentes mapas.

Con la medición de distancias, áreas y perímetros en los mapas capturados y su posterior comparación con sus equivalentes en el mapa primario se obtiene una validación de los datos espaciales. Se toman como aceptables aquellos valores, resultantes de dicha comparación, cuyas magnitudes están por debajo del límite de tolerancia de los errores gráficos, que en función de la escala se han calculado para el caso de los datos planimétricos como la mitad del error gráfico (0.1mm) en la escala de representación del mapa en ambos ejes (X, Y).

Tecnología SIG

En cuanto a las características fisiográficas de la cuenca, es bien sabido que son múltiples los factores que intervienen en la transferencia de las lluvias a las escorrentías, así como en los tiempos de viaje de la escorrentía superficial, las

velocidades que desarrolla el flujo del agua y la disponibilidad para la erosión o la sedimentación. Para el estudio de estos factores y su análisis se suele recurrir a distintas técnicas en función del grado de conocimiento que sea necesario alcanzar sobre cada uno de ellos. Naturalmente en todos estos estudios sea cual sea su nivel de extensión y profundidad juegan un papel primordial los Sistemas de Información Geográficas (SIG), que nos permiten almacenar toda la información en cada punto del territorio y en diferentes capas con las que posteriormente podremos operar y realizar nuestros mapas.

Concluida la operación de digitalización, georreferenciación y eliminación de los errores, la asignación de la información no espacial a cada objeto geográfico digitalizado y correctamente identificado se efectuó importando las bases de datos creadas en Access y otras tecleadas directamente desde MapInfo 5.5 y 6.5 como software utilizado.

Como resultado de esta primera etapa de automatización de la cartografía, se obtienen en plataforma SIG los mapas temáticos primarios (topográficos y geológicos) y mapas auxiliares (de ubicación de estaciones hidrometeorológicas y pluviométricas, construcciones, entre otros) y posibilitando la modelación y gestión más cómoda, rápida y barata de los procesos naturales, económicos y sociales de la realidad. La posibilidad de utilización de la información de las estaciones hidrometeorológicas fue desechada ya que en el área próxima a los trabajos solo contábamos con una sola (El Infierno).

La base de datos y de la base cartográfica para ser unidas sin dificultades es necesario primero que posean un identificador común, para lo cual se sugiere sea el ID que toman los elementos al ser estos importados en MapInfo, este prefijado en la base de datos una vez creada.

Análisis del SIG

Los SIG pueden ser empleados para la obtención de cartografías de áreas inundadas durante eventos pretéritos de inundación, bien recopilando información de campo (marcas de nivel) o mediante información declarada por habitantes, para

este trabajo las declaraciones fueron validadas por nuestro sistema, no así las mediciones de los niveles de piso, ya que esta última información resultaron contradictorias debido al largo tiempo pasado entre la investigación de las planillas y la medición de los niveles de piso de los inmuebles.

En esta etapa se hace necesario del uso del lenguaje de realización de consultas (SQL) para derivar nuevas informaciones. La cartografía de las inundaciones históricas y de todos los mapas geomorfológicos y su captura en el SIG nos permitió la realización de las consultas SQL (interacción de temáticas de diferentes orígenes ó preguntas al sistema y su efectividad está independiente del conocimiento del analista consultor).

Se emplean operaciones de extracción de la información para buscar objetos o inmuebles espaciales de la base de datos que cumplan una condición establecida por el usuario. En el trabajo son empleadas operaciones sobre mapas simples que incluyen operaciones de superposición de múltiples mapas para obtener los diferentes mapas resultantes.

A partir del empleo de los mapas primarios, se derivan las diferentes causas y condiciones que permiten estudiar las variables que rigen la zonación ingeniero geológica de peligrosidad y riesgo por inundación, aplicando el modelo de la realidad.

II. 4 Evaluación del SIG.

Este producto está controlado por las necesidades lógicas de los usuarios, los programas utilizados, el modelo y diseño de las bases de datos.

La tipología y estructura de las capas y bases de datos necesarias para la construcción de un SIG basado en estudio de riesgos debe tener en cuenta algunos aspectos tales como ser capaces de permitir la integración de datos de diverso origen, tratar la información de forma continua, estar estructurados en una organización lógica de acuerdo a una secuencia de trabajo que permita describir el escenario de estudio de forma útil y revelar la información acerca de él.

En determinadas circunstancias los productos finales del SIG, necesitan algún tipo de análisis y reelaboración, como pueden ser la eliminación de áreas pequeñas, la unión de dos o más polígonos, reemplazo de atributos, el suavizado de contornos, entre otras. Por lo tanto la comprobación de los resultados obtenidos es un paso de vital importancia.

Para comprobar la correspondencia entre el modelo expresado por los mapas derivados y la realidad sobre el terreno, se programaron visitas a algunas de las zonas identificadas por el análisis permitiendo de esta manera establecer el grado de coincidencia entre lo obtenido y el mundo real. Este criterio de aceptación ayuda a decidir cuando se ha alcanzado un nivel de respuesta aceptable.

El empleo de datos provenientes de informes muy recientes en los que se emplearon técnicas novedosas, el procesamiento e introducción de la información por parte de especialistas calificados en la tecnología SIG, son indicadores de la calidad de los datos en función de la calidad de las fuentes, la actualización de los mismos y la precisión de su introducción en el sistema.

El SIG aplicado ha posibilitado: la cartografía digital, producción de mapas de riesgos, análisis de procesos naturales, evaluación de las condiciones geológico - ambientales imperantes en el medio, integración de temas específicos para la zonación ingeniero geológica, la variación de las escalas de trabajo y de recuperación de la información, el trabajo con mayor número de atributos, permitiendo el almacenamiento, actualización y recuperación en tiempo real, evaluación de la dinámica del uso del suelo a lo largo del tiempo.

II.5 Resultados Esperados.

De las condiciones principales (naturales y infraestructura económica) a tomar en cuenta sobre las condiciones y causas que generan el riesgo por inundación para el trabajo de zonificación tenemos:

Condiciones naturales:**Relieve y Geomorfología**

Mapa altimétrico: Reflejan la altura de un territorio dado con referencia al nivel medio del mar expresado en metros. (Ver **Figura 2.1**).

Entre las clasificaciones más utilizadas en Cuba tenemos: la clasificación altimétrica general utilizada por el Instituto de Planificación Física de Cuba y contenida en el IPF (1981), (**Tabla 2.6**) y la clasificación altimétrica del relieve de Díaz et. Al. (1986), (**Tabla 2.7**).

| Rango (m) | Características |
|----------------------|-------------------|
| 1200 a 2000 | Montañas medias |
| 700 a 1200 | Montañas bajas |
| 400 a 700 | Montañas pequeñas |
| Menor de 400 | Premontañas |
| 100 a 300 | Alturas |
| Menores de 100 a 200 | Llanuras |

Tabla 2.6. Clasificación altimétrica general utilizada por el IPF de Cuba.

| CATEGORÍA DEL RELIEVE | PISO ALTITUDINAL | |
|-----------------------|------------------|-------------------|
| Montañas | 2 000 - 1 500 | Montañas Medias |
| | 1 500 - 1 000 | Montañas Bajas |
| | 1 000 - 500 | Montañas Pequeñas |
| | 500 - 300 | Submontañas |
| Alturas | 300 - 200 | Alturas Grandes |
| | 200 - 120 | Alturas Medias |
| | Menores de 120 | Alturas Pequeñas |
| Llanuras | 120 - 80 | Llanuras Altas |
| | 80 - 20 | Llanuras Medias |
| | Menores de 20 | Llanuras Bajas |

Tabla 2.7. Un resumen de la clasificación altimétrica del relieve, en Pisos altitudinales y Categorías. Contendida en (Díaz et al, 1986).

En función de las particularidades propias del territorio en estudio y conociendo que la mayor altura presente es de 170m, teniendo en cuenta las clasificaciones altimétricas del relieve según la tabla 5.1 tenemos presente Rango (m) de 100 a 300 y menores de 100 a 200 cuyas características se corresponde con Alturas y Llanuras

respectivamente. Según la tabla 5.2 como categorías están presentes las Alturas y Llanuras respectivamente.

Mapa de Pendiente: Como bien es conocido, no este mapa no es más que la representación cartográfica del ángulo de la superficie del terreno, que se forma entre dos puntos equidistantes. (Ver **Figura 2.4**).

Generalmente estos mapas representan rangos de pendientes, los que están en función de las características del relieve del territorio y del objetivo específico para el cual es confeccionado. Así el IPF (1981) recomienda con aplicación a tareas de la construcción y la agricultura una serie de rangos según se expresa en las tablas. (Ver **tablas 2.8, 2.9 y 2.10**).

En función de las particularidades propias del territorio en estudio tomamos como pendientes, características más significativas las mostradas en la **tabla 2.11**.

Como se puede observar las pendientes comprendidas entre 0 – 2 se corresponde para las zonas de peligro potencial por inundación.

Mapa de Disección Vertical: Consiste en la determinación de las áreas con desniveles similares de altura. Muy utilizado en la determinación de formas de relieve, en el trabajo que nos ocupa, para delimitar las zonas de bajos desniveles potencialmente inundables. (Ver **Figura 2.5**).

La ausencia de curvas de nivel en el Km² analizado es considerado como desnivel cero y la presencia de un área con desnivel de 0 m/Km², se denomina óptima si coincide con zonas elevadas, pero si está a nivel del mar será potencialmente inundada.

La clasificación adoptada por el IPF (1981) y la clasificación propuesta por el autor en función de los mismos parámetros utilizados en el mapa de pendientes, se pueden ver en las **tablas 2.12 y 2.13**.

| Pendiente | Características |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Menor de 0.2 | Regularmente pantanosas, desfavorables a la construcción y mayoría de los cultivos. |
| De 0.2 a 0.5 | Prevalecen en menor grado los procesos de inundación. Útiles con fuertes limitaciones a la construcción, requieren de drenaje para el uso agrícola. Adecuada para el cultivo de viandas y vegetales. |
| De 0.5 a 2 | Ocasionalmente inundaciones, limitaciones para la construcción, generalmente requieren de drenaje para el uso agrícola. |
| De 2 a 5 | Rango óptimo para la agricultura y construcciones, no existen riesgos de inundación y no se manifiestan los procesos erosivos. La mecanización es total. |
| De 5 a 10 | Comienzan los procesos erosivos de las pendientes, se recomienda el riego por aspersión y la mecanización comienza a dificultarse. Rango límite para las construcciones urbanas. |
| De 10 a 15 | Grandes movimientos de tierra, no útiles para construcciones urbanas. Recomendables para instalaciones industriales especiales. Límite para la roturación anual de la tierra. |
| De 15 a 20 | Fuertes problemas erosivos, recomendables para cultivos perennes sin riego y ganadería controlada. |
| De 20 a 25 | Cultivos perennes sin riego. |
| Mayor de 25 | Uso Forestal. |

Tabla 2.8. Rangos de pendientes adoptados por IPF (1981), para la evaluación de los potenciales naturales de los territorios.

| Rango (%) | Uso |
|-------------|-----------------------------------------------------------|
| De 0 a 25 | Uso Agrícola. |
| Mayor de 25 | Uso Forestal, fuerte erosión. |
| 20 | Límite Ganadería. |
| 15 | Límite riturado anual de la tierra, mecanización y riego. |
| De 2 a 10 | Ótimo Agrícola. |
| De 10 a 20 | Agrícola con problemas erosivos. |

Tabla 2.9. Rangos de pendientes aceptados por IPF (1981) en la agricultura.

| Rango (%) | Uso |
|--------------|----------------------------------------------------|
| Menor de 0.2 | Regularmente pantanosas e inundadas. |
| De 2 a 5 | Áreas óptimas. |
| De 10 a 15 | Rango útil solo a las construcciones industriales. |
| Mayor de 15 | No recomendables. |

Tabla 2.10. Rangos de pendientes aceptados por IPF (1981) en la construcción.

| Código | Rango (m) | Nomenclatura | Procesos característicos | Uso del suelo |
|--------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1 | 0 a 2 | <i>Pendiente llana</i> | <i>Inundaciones</i> | Agrícola, Pasto. |
| 2 | 2 a 4 | Pendiente poco inclinada | Erosión, inundaciones ocasionales, movimientos en masa ligeros. | Agrícola, Pasto, Construcciones limitadas. |
| 3 | 4 a 6 | Pendiente inclinada | Erosión severa, movimientos en masa poco intenso. | Construcción, cultivos temporales |
| 4 | 6 a 8 | Pendiente moderadamente inclinada | Erosión severa, movimientos en masa intensos. | Forestal, Cultivos Permanentes |
| 5 | 8 a 10 | Pendiente abrupta | Erosión intensa, movimientos en masa intensos. | Forestal, Cultivos Permanentes |
| 6 | Mayor de 10 | Pendiente muy abrupta | Erosión intensa, movimientos en masa muy intensos. | Forestal |

Tabla 2.11. Pendientes, características significativas.

| Rango (m/Km ²) | Características |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Menor de 5 | Llanura Plana: Desfavorable para las construcciones en caso de llanuras costeras con fuertes fluctuaciones del manto freático. Favorables cuando ocupan zonas elevadas en forma de mesetas. |
| De 6 a 10 | Llanura Onduladas: Areas óptimas para la agricultura y construcciones, ocasionales inundaciones en rango intermedio entre 2.5 a 5. Ausencia de erosión. |
| De 11 a 20 | Llanura Colinosa: Aceptable para la urbanización y agricultura no inundables, limitaciones por aumento de pendientes. |
| De 20 a 40 | Colinas: Aumentan los procesos erosivos, útil con limitaciones para la urbanización y agricultura. |
| De 40 a 60 | Premontañas: Se incrementan los procesos erosivos, la agricultura requiere de técnicas antierosivas. |
| Mayor de 60 | Montañas: No recomendable para las construcciones urbanas, la agricultura se puede desarrollar en mayor o menor medida hasta 200m/Km ² . |

Tabla 2.12. Rangos de disección vertical adoptados por el IPF (1981).

| Código | Rango (m) | Nomenclatura | Procesos característicos | Uso del suelo |
|--------|-------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1 | 0 a 10 | Poco diseccionada | Empantanamientos, inundaciones permanentes y temporales. | Agrícola limitado, pastoreo. |
| 2 | 10 a 20 | Débilmente diseccionada | Empantanamientos y encharcamientos, inundaciones permanentes y temporales. | Agrícola y constructivo con algunas limitaciones. |
| 3 | 20 a 30 | Diseccionada | Encharcamientos, inundaciones temporales. | Cualquiera |
| 4 | 30 a 40 | Muy diseccionada | Erosión limitada | Cualquiera |
| 5 | 40 a 50 | Fuertemente diseccionada | Intensa erosión | Forestal |
| 6 | Mayor de 50 | Intensamente diseccionada | Fenómenos gravitacionales, aumento de la erosión. | Forestal |

Tabla 2.13. Disección Vertical, características más significativas.

Hidrología

Mapa de Red Fluvial: Se representan en el mismo todos los ríos, arroyos y baguadas que se obtienen teniendo en cuenta un mismo comportamiento de las curvas de nivel.

Se ha podido apreciar un mayor desarrollo de la red hidrográfica sobre la formación Mícara, el desarrollo de cuatro alineaciones tectónicas bien definidas, una en dirección N-S representada en los tramos rectos de los ríos y arroyos de cursos permanentes, una alineación de E-W vinculada con pequeñas rupturas debido a esfuerzos tectónicos en dirección opuesta y otro dos sistemas NE-SW y NW-SE y como máximos exponentes se muestran tramos bien definidos y rectos de los afluentes Miguel y Castro y del río principal los cuales están vinculados con estructuras mayores por esfuerzos de compresión, todos estos sistemas se muestran en las **Figura 2.6.**

Clima

Un factor natural de obligada utilización en la zonación ingeniero geológica de peligrosidad y riesgo por inundación lo constituye sin dudas el clima.

Atendiendo a la ubicación geográfica de nuestro país y a su posición altimétrica, se puede resumir que las variables climáticas de mayor incidencia en las condiciones ingeniero geológica en todo el país, son las lluvias y los vientos ya que las oscilaciones de temperatura tanto a nivel de las estaciones del año como en función de la altura, no son muy significativas en comparación con la influencia que ejercen por ejemplo las lluvias, como se puede apreciar en la **Figura 2.12**, donde se muestra un mapa en función de los años observados, ya que no contábamos con los datos de lluvia. Se tomaron los pluviómetros de más de 30 años por los que se desechó la información de 15 de ellos (No. 1571, 1576, 1599, 1617, 1624, 1625, 1635, 1641, 1645, 1646, 1370, 1574, 1585, 1607 y 1678.)

Como resultado de la aplicación de esta herramienta, se obtienen los mapas precipitaciones en función de los años observados, morfoestructural y de Estabilidad Potencial (Ver **Figura 2.9**), este no es más que el resultado de la combinación de los mapas de Uso actual del suelo y el de pendientes, considera el tipo de vegetación y el uso del terreno, lo que nos da una idea general de la susceptibilidad de este último ante los agentes erosivos, deslizamientos y las inundaciones provocadas por el uso inadecuado, como consecuencia de pendientes excesivas o por la existencia de construcciones con peligrosidad potencial para el medio ambiente ante la ocurrencia del fenómeno que nos ocupa.

Se dan a conocer 4 zonas en función del peligro que representa la inundación para el uso del suelo y dos en función del desarrollo comunitario:

Zona 1: Uso potencialmente afectados;

Todas las áreas de cultivos que son inundados en todas las crecidas, ubicados no más de 200m del cauce del río.

Zona 2: Uso Ocasionalmente afectados;

Todas las áreas de cultivos que son inundados en todas las crecidas, ubicados a más de 200m del cauce del río y solo se inundan en épocas lluviosas.

Zona 3: Uso menos afectados;

Todas las áreas de cultivos que se encuentran en pendientes entre 4 - 8% y sólo son afectados por inundaciones severas como la de 1993.

Zona 4: Usos no afectado;

Todas las áreas de cultivos que nunca han sido inundados.

Para estas cuatro zonas propuestas como característica fundamental se encuentra la no garantía del desarrollo los cultivos durante las arriadas y un determinado tiempo después de ocurrida esta. (Ver Base de datos en la **tabla 2.3**).

Zona Ub1: Construcciones mal ubicadas;

Todas aquellas construcciones que ha sido inundada en todos los eventos históricos ocurridos.

Zona Ub2: Construcciones bien ubicadas;

Construcciones que no han sido inundadas por los eventos ocurridos.

En la **Figura 2.10** se refleja la relación existente entre la estructura geológica y el paisaje presente interpolando los mapas de altimetría y pendiente y la combinación de estos es superpuesta al de disección vertical. El producto resultante se combina con el mapa geológico, obteniéndose finalmente el mapa morfoestructural. (Ver Base de datos en la **tabla 2.4**).

Se definen 3 unidades morfoestructurales, atendiendo a grado de alteración que pueden sufrir las secuencias rocosas: **Unidad 1**, compuesta por rocas que van desde carbonatadas hasta depósitos terrígenos, aluviones depositados por los ríos de la zona, con intercalaciones de clastos de rocas calcáreas; **Unidad 2**, compuesta por rocas carbonatadas, alternancia de margas, predominando los colores blanco cremoso o grisáceos, las variedades arcillosas son más friables y la **Unidad 3**, compuesta por serpentinitas, conglomerados vulcanomícticos de granos gruesos mal seleccionados, clastos, guijarros lateríticos, raramente calizas.

A partir de la combinación del mapa morfoestructural, mapa de las inundaciones súbitas, estabilidad potencial, se obtuvo el mapa de zonación ingeniero geológico de peligrosidad por inundación.

Desde estos mapas temáticos se pueden realizar evaluaciones de las causales y condicionales imperantes para la creación del mapa peligrosidad por inundación.

Se delimitan en esta zona cuyas características están en correspondencia en mayor medida con las unidades propuestas anteriormente y que es coincidente con la geología del área. (Ver **Figura 2.11**). (Ver base de datos en la **tabla 2.5**).

Zona A: Predominan las secuencias cuaternarias, por consiguiente la más vulnerable al peligro ya que se encuentran sobre la llanura de inundación y su periferia, caracterizada por un desarrollo urbanístico medio y de mayor desarrollo de cultivos temporales.

Zona B: Comprende aquellas secuencias rocosas que se desarrollaron en el cretácico, rocas ultrabásicas serpentínizadas las cuales ocupan las mayores alturas del área.

Infraestructura Económica:

Estos son el resultado de las actividades humanas modificadoras del medio ambiente (obras civiles e industriales, actividades agrícolas o mineras y otras formas de uso y ocupación del suelo). Estas condiciones aparecen como elementos cartográficos de los elementos de los diferentes mapas confeccionados, principalmente en el mapa de uso actual de los suelos y en el mapa morfoestructural.

CAPITULO III. ZONIFICACION INGENIERO GEOLOGICA DE LOS PELIGROS DE INUNDACION DEL RIO SAGUA

El análisis del riesgo de inundaciones fluviales requiere, como la mayor parte de los riesgos naturales, el estudio pormenorizado de la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad asociadas al anegamiento de las riberas por desbordamiento durante crecidas o avenidas, para posteriormente confrontar los resultados y obtener una síntesis integrada del riesgo. (A. Díez Herrero, 2002).

En los procesos fluviales el riesgo más notorio deriva de los cambios de caudal y como consecuencia de la extensión de las tierras de riberas ocupadas por el agua. Crecidas y estiajes son fenómenos normales en cualquier río. Dependiendo de su régimen de alimentación, estos serán diarias, estacionales, anuales, de otra periodicidad o excepcionales. (Aguilo Alonso, 1998).

Precipitaciones copiosas, constituye una de las causas naturales más frecuentes de las avenidas. De este modo, nos interesaba conocer el funcionamiento de la cuenca vertiente, básicamente su régimen de alimentación y características fisiográficas, para así determinara las posibles causas de las avenidas y las condiciones imperantes.

Conociendo estas causas y teniendo en cuenta las condiciones del área, es posible realizar un análisis de la vulnerabilidad y riesgo según los usos del suelo impuesto sobre la zona. La transformación de los caudales provocados en altura de agua sobre los cauces y esta a su vez en superficie potencialmente inundada, es un problema y allí donde la morfología del terreno es consecuencia del modelo fluvial (grandes llanura, valles), no es difícil determinar cuales serán las zonas inundadas en función de la magnitud de la avenida.

III.1 Causales y Condicionales.

La ocurrencia de todo fenómeno geológico va acompañado de causas y condiciones que propician y que determinan la duración e intensidad del mismo,

Las inundaciones generalmente están ligadas directamente a uno o varios de los siguientes procesos genéticos (M. Martín. 2002).

- ☞ Desbordamientos naturales del agua de los cauces durante momentos de precipitaciones intensas.
- ☞ Encharcamientos en zonas llanas, mal drenadas y sustratos impermeables.
- ☞ Obras públicas, como carreteras, ferrocarriles, canales de riego y edificaciones.
- ☞ Deslizamientos de laderas hasta ocupar total o parcialmente la zona aluvial.
- ☞ Zonas de desembocadura de los ríos, etc.

El autor ha considerado las siguientes causas y condiciones:

Causas:

- ☞ Aumento del tiempo de descarga.
- ☞ La explotación de una arenera (Arenera Miguel).
- ☞ Colmatación del cauce.
- ☞ Disminuye el área y la capacidad de evacuación.
- ☞ Formación de islotes.
- ☞ Ocurrencia de lluvias intensas y prolongadas.
- ☞ Cambios en el canal principal.
- ☞ Aumento brusco de los niveles.
- ☞ Mayor escurrimiento superficial en las montañas, debido al desarrollo.
- ☞ Mayor área de inundación.
- ☞ Mayores Caudales.
- ☞ Cambios en los parámetros físicos del río (profundidad, ancho, pendiente, cauce).

Condiciones:

- ☞ Desarrollo Urbanístico sobre la llanura de Inundación.
- ☞ Desarrollo Urbanístico en las montañas.
- ☞ Desarrollo intensificado de la Agricultura sobre la llanura de Inundación.
- ☞ Convergencia de los afluentes al río principal en una corta distancia.

- ☞ Cuenca montañosa con pendientes elevadas.
- ☞ Sinuosidad del cauce.
- ☞ Deforestación de la llanura de inundación.
- ☞ Deforestación y pérdida del potencial vegetativo en zona de montaña.
- ☞ Proceso de sedimentación.
- ☞ Fuertes procesos de erosión.
- ☞ Cambios en las propiedades físico mecánica de suelos y rocas.
- ☞ Cambios climáticos.

III.1 Análisis de la Vulnerabilidad.

La aplicación del SIG en la estimación de personas y estado constructivo de los inmuebles expuestos parte de la utilización de coberturas que contengan información georreferenciada de ambos elementos en riesgo, fundamentalmente procedente de la base cartográfica del SIG realizado a la unidad inversionista de la vivienda en el territorio de Sagua de Tánamo.

El mapa de vulnerabilidad obtenido no puede interpolar los valores para obtener un modelo digital continuo, aunque si toda la toda la información georreferenciada y expresarse cualitativamente en zonas y cuantitativamente en número de afectados.

La vulnerabilidad se hace evidente cuando comparamos como inundaciones con similares intensidades provocan diferentes consecuencias en igual o diversas zonas. Analizar en su justa medida la vulnerabilidad significa definir:

¿A qué se es vulnerable?

¿Por qué se es vulnerable?

Estas interrogantes han puesto de manifiesto que la vulnerabilidad es el resultado de muchos puntos débiles del medio en el cual el hombre desarrolla su vida y de la organización y estructuras sociales existentes. Se puede decir que la vulnerabilidad por inundación es relativa y tiene una manifestación diferenciada en las sociedades, atendiendo a su desarrollo económico.

Vulnerabilidad de los asentamientos poblacionales por peligros de “inundaciones”

Se hace un estudio de la magnitud del peligro a esperar y las características del área expuesta y se tiene en cuenta si es grande, moderada o pequeña, se tienen en cuenta las características de tipo topográficas, constructivas, de comunicación, de la vegetación, de las vías, de las instituciones, la densidad poblacional.

El 70 % del territorio estudiado está expuesto potencialmente a los Fenómenos meteorológicos. Como consecuencia de los factores destructivos de estos (vientos, precipitaciones e inundaciones), así como por la ubicación de los asentamientos humanos y sus características constructivas, se consideran vulnerables: Por derrumbe, por inundación.

Existen 5 asentamientos distribuidos en 5 consejos populares que están a menos de 200m de los ríos del área y en elevaciones mínimas con respecto a este se encuentra en casi en su totalidad consejo popular de Marieta.

Se puede revelar el caso estudiado el número de personas o el tipo de infraestructura en riesgo. Se demuestra a través de este sistema que aproximadamente, 8872 personas se encuentran en zonas de riesgo potencial por inundación, 3170 personas se encuentran en zonas que por su estado técnico desfavorable están expuesta a sufrir afectaciones severas por las inundaciones y que 196 personas, viven dentro de zonas inundables con viviendas cuya tipología constructiva constituye un riesgo para su hábitat.

El autor propone tres zonas vulnerables al peligro, estas han sido representadas a escala 1: 2 000 para obtener mayor representatividad del área, por lo que se restringió solo a los dos asentamiento urbanos. **(Ver Figura 3.1).**

Zona de alta vulnerabilidad: Ubicada donde existe desarrollo urbanístico, haber sido inundada en el evento de mayor lámina (noviembre de 1993), inmuebles cuyo estado técnico (cubierta, instalaciones eléctricas, piso, red hidráulica, sanitaria,

paredes) sea malo, posean cimiento en mal estado o que no tengan, cantidad de habitantes mayor de 2.

Zona de vulnerabilidad media: Ubicada donde existe desarrollo urbanístico, haber sido inundada en el evento de mayor lámina (noviembre de 1993), inmuebles cuyo estado técnico (cubierta, instalaciones eléctricas, piso, red hidráulica, sanitaria, paredes) sea regular, posean cimiento en estado regular.

Zona de baja vulnerabilidad: Ubicada donde existe desarrollo urbanístico, haber sido inundada en el evento de mayor lámina (noviembre de 1993) y que las características del estado técnico de los inmuebles en general sean buenas.

III. 2 Análisis del Riesgo.

Los riesgos geológicos pueden ser atendidos como una circunstancia o situación de peligro, pérdida o daño, social y económico, debido a una condición geológica o una posibilidad de ocurrencia de procesos geológicos inducidos o no (Aguilo Alonso, 1998).

En la actualidad, no solo el análisis del riesgo es una actividad obligada y exigible, sino necesaria que viene impuesta a los criterios de valoración ingeniero geológica de los terrenos, es una herramienta que permite tomar decisiones para el racional uso y empleo de los territorios.

Durante el mismo se tiene en cuenta en cuenta (Según Defensa Civil, 1997):

- ∞ Bajas humanas (heridos, muertos y desaparecidos).
- ∞ Pérdidas (entre los animales y cultivos).
- ∞ Destrucciones (industrias, instituciones, viviendas).
- ∞ Daños (redes comunales, electricidad, comunicaciones, alcantarillado).
- ∞ Efectos secundarios (en objetivos económicos, almacenes).
- ∞ Plazos de respuesta.
- ∞ Evaluación de los daños ocasionados por fenómenos similares con anterioridad.
- ∞ Los riesgos por inundación fluvial que se observan en el área pueden categorizarse como positivos, debido a que son procesos naturales que actúan

en forma cíclica y los problemas existentes se deben a la frontera urbana sobre zonas naturales inundables.

En la evaluación de los peligros y riesgos en el territorio se tomaron en consideración cuatro elementos fundamentales:

- ∞ La casuística y las condiciones que aceleran o retienen el fenómeno.
- ∞ El área afectada, es decir, su distribución espacial.
- ∞ La implicación Social.
- ∞ Valor.

La conjugación de estos cuatro parámetros nos permitió una evaluación del riesgo por inundación. Ahí donde la peligrosidad y el costo lo indiquen, deben de tomarse medidas adecuadas acordes a la escala en la cual se establece el máximo riesgo asumido al mínimo evitable.

Teniendo en cuenta, lo antes señalado se ha elaborado el mapa de Riesgo por Inundación, expresado como medida de la vulnerabilidad del área ante este fenómeno.

Se definen en el mismo 5 zonas de riesgo (Ver **Figura 3.2**): Estas han sido representadas a escala 1: 2 000 para obtener mayor representatividad del área, por lo que se restringió solo a los dos asentamientos urbanos.

- I. **Zona de riesgo potencial.**
- II. **Zona de alto riesgo.**
- III. **Zona de riesgo medio, no asumible.**
- IV. **Zona de riesgo bajo asumible.**
- V. **Zona de libre de riesgos.**

Zona I: Responde a una diferenciación natural tanto geológica (trata de las secuencias Eoceno Cuaternarias), como por su comportamiento y las condiciones para el desarrollo agrícola, ocupando casi el 45% de la superficie estudiada.

Zona II: Se trata de la urbanización que se encuentra dentro de la llanura de inundación, constituyendo la zona de mayor riesgo potencial.

Zona III: Se trata de una división arbitraria dentro de las áreas de mayor riesgo potencial, basada en los niveles de piso de los inmuebles (plantas altas).

Zona IV: Se trata de la urbanización ubicada en la periferia de la zona III, que ocasionalmente es inundada por la ocurrencia de inundaciones muy severas como la del Flora en 1963 y la de noviembre de 1993. (Si tenemos en cuenta la probabilidad de ocurrencia dada por el IPF, 50 y 100 años respectivamente).

Zona V: Se trata del desarrollo urbanístico que posee mayor altura el cual nunca ha sido inundado.

El autor ha establecido divisiones dentro de las zonas de riesgo allí donde el costo y la peligrosidad lo han indicado, se trazan directrices generales permitiendo definir zonas para ratificar, cambiar o utilizar para determinados usos.

ZI₁: Se encuentra ubicada en la llanura de inundación, escaso desarrollo urbano principalmente área rural, con un amplio desarrollo de cultivos (temporales y permanentes, caña, maíz, cítricos y abundantes pasto naturales) como directriz fundamental se plantea la eliminación de los inmuebles más próximos al río, limitar el crecimiento del asentamiento e intensificar la siembra de cultivos temporales.

ZII₁: Se encuentra casi totalmente urbanizada, como directriz general se destaca la eliminación de los inmuebles en estado más crítico y de mayor cantidad de personas, el mejoramiento técnico de los inmuebles en estado regular que tenga solución ingenieril, el estudio de las aguas de consumo de los pozos y la consolidación de lo ya urbanizado antes de permitir el avance de la mancha urbana, lo que implica la ocupación de los vacíos existente y no es más que la llanura de inundación del río.

ZIII₁: Se encuentra totalmente urbanizada, en plantas altas (hasta 4), como directriz general se destaca la consolidación de lo ya urbanizado, la eliminación de los

inmuebles en estado más crítico y el mejoramiento técnico de los inmuebles en estado regular que tenga solución ingenieril.

ZIV₁: Se encuentra totalmente urbanizada, como directriz general se la consolidación de lo ya urbanizado y el mejoramiento técnico de los inmuebles en estado regular que tenga solución ingenieril.

ZV₁: Se encuentra totalmente urbanizada, como directriz general se la consolidación de lo ya urbanizado y el mejoramiento técnico de los inmuebles en estado regular que tenga solución ingenieril.

Las Zonas de Riesgos fueron evaluadas para los asentamientos urbanos, con el objetivo de lograr mayor nitidez en la representación gráfica, teniendo en cuenta diferentes atributos de las temáticas tratadas, a continuación citamos algunos:

Mapa de Vulnerabilidad

Estado técnico de la cubierta, cimientos, si ha sido inundado el inmueble, grietas en las paredes, necesidad de reparar, estado técnico del piso, cantidad de personas, estado de la Red Hidráulica, tipo de Red Hidráulica, tipo de Red Sanitaria.

Mapa de Pendientes

Tipo de pendiente, características de la pendiente.

Mapa de Disección

Rango de Disección, características

Mapa de Altimetría

Altura, características del relieve.

Mapa de Uso de Suelo

Tipo de Uso.

Mapa Geológico

Litología, Edad.

Mapa de Inundaciones

Lámina Total.

Frecuencia de Ocurrencia.

CONCLUSIONES:

El diseño de la investigación y la metodología aplicada al territorio de Sagua de Tánamo, nos ha permitido arribar a las siguientes conclusiones:

1. Se desechan los niveles de piso para su utilización en la base de datos por resultar contradictorios en cuanto a los inmuebles inventariados.
2. A través de los diferentes mapas morfométricos y geológico del área ha sido posible establecer la zonación del riesgo.
3. El desarrollo urbanístico en las montañas aumenta el escurrimiento superficial, posibilitando la mayor afluencia de agua y el aumento de los caudales.
4. La deforestación y la pérdida del potencial vegetativo en las zonas de montaña aumentan el escurrimiento superficial, posibilitando la mayor afluencia de agua y el aumento de los caudales.
5. El desarrollo urbanístico en la llanura de inundación constituye un obstáculo durante las avenidas.
6. La inundación de los asentamientos urbanos no se debe a la migración del cauce principal, al avance del desarrollo urbanístico sobre la llanura de inundación.
7. La deforestación de la llanura de inundación aumenta los procesos de erosión.
8. La erosión ha desarrollado un fuerte proceso de sedimentación en el cauce del río.
9. La sinuosidad del cauce del río provoca cambios en el canal principal.
10. Los cambios climáticos constituyen la condición más favorable para el desarrollo de las inundaciones del territorio.
11. A través del inventario a los inmuebles y cartografía digital de las inundaciones severas ha sido posible establecer los puntos vulnerables del territorio.
12. El empleo de la Tecnología SIG, posibilita la conjugación de diferentes mapas básicos (geológico, topográfico) y la obtención de de mapa temáticos que han permitido darle solución a los objetivos planteados.
13. El mapa de Riesgo nos permite definir zonas para ratificar, cambiar o utilizar para determinados usos.

RECOMENDACIONES:

1. Aplicar la Tecnología SIG a nivel de la infraestructura económica del territorio.
2. Incorporar a la Zonación Ingeniero Geológica de Peligrosidad y Riesgo por Inundación datos de propiedades físico - mecánica de los suelos y rocas del área.
3. Ordenamiento territorial medio ambiental que posibilite la mejor planificación física del territorio sobre las áreas inundadas.
4. Antes someterse a realizar una inversión analizar todos los riesgos presentes en el área.

BIBLIOGRAFÍA:

- 1 ABAD FERNANDEZ, J. et al. Geotechnical Mapping for Industrial and urban planning. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. Londres.1980: 83-91 p.
- 2 ADAMIVICH A, F. et al. *Estructuras montañosas de Sierra de Nipe y Cristal, provincia de Oriente*. Informe Geológico. Fondo Geológico Nacional. Ciudad de la Habana. 1963.
- 3 ALAFONT, S. L. *Elaboración de un mapa de riesgo medioambiental combinado para las aguas subterráneas mediante un SIG. Serie: Medio Ambiente. Riesgo Geológico*. 3.2002. 245-255 p.
- 4 ALBERT et al. *Mapa Geológico de la Región Mayarí- Sagua- Moa, 1: 250 000*. 1988.
- 5 ALONSO AGUILO, M. et al. Agua. ALONSO AGUILO. et al. *Guía para la Elaboración de estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología*. 3 ed. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica de Medio Ambiente, 1998, 321-378 p.
- 6 ALONSO AGUILO, M. et al. Clima. ALONSO AGUILO. et al. *Guía para la Elaboración de estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología*. 3 ed. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica de Medio Ambiente, 1998, 95-160 p.
- 7 ALONSO AGUILO, M. et al. Geomorfología. ALONSO AGUILO. et al. *Guía para la Elaboración de estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología*. 3 ed. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica de Medio Ambiente, 1998, 165-206 p.
- 8 ALONSO AGUILO, M. et al. Inventario del Medio. ALONSO AGUILO. et al. *Guía para la Elaboración de estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología*. 3 ed. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica de Medio Ambiente, 1998, 47-78 p.
- 9 ALONSO AGUILO, M. et al. Los Estudios del Medio Físico. ALONSO AGUILO. et al. *Guía para la Elaboración de estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología*. 3 ed. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica de Medio Ambiente, 1998, 33-44 p.
- 10 ALONSO AGUILO, M. et al. Suelos. ALONSO AGUILO. et al. *Guía para la Elaboración de estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología*. 3 Ed. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica de Medio Ambiente, 1998, 211-315 p.
- 11 ALVAREZ SECO ARIANNE. et al. *Los SIG en la protección Civil. Serie: Medio Ambiente. Riesgo Geológico*. 3. 2002. 45-60 p.
- 12 ALVERO, F. F. *Diccionario Manual de Lengua Española*. Cervantes. Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana. 1988.
- 13 ARCIAL CARRATALA, F. *Geología del Curso Medio del río Castro*. Cobiella Reguera, J.L. et al (tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1978: 93 h.
- 14 AYALA F, J. *Introducción a los Riesgos Geológicos*. In riesgos geológicos. ITGE. 1988: 333 P.
- 15 BITAR, O. Y. et al. *Carta de risco geológico e carta geotecnica: uma difernciacao a partir de casos en áreas urbanes no brasil*. En Simposio Latinoamericano sobre Risco Geológico Urbano, 2, Pereira, 1992. Atas...v.1, 35-41 p.
- 16 BUJAN RUBIO, C. M. *Cla Cuenca del río Sagua de Tánamo. Región Oriental de Cuba*. File://A:/friend-amigo.htm. 2000.
- 17 CABRERA BERMUDEZ, J. *Introducción al Catastro Ingeniero Geológico y Geoambiental de la Provincia de Pinar del Río*. Guardado Lacaba, R (tutor). Tesis de Doctorado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2002: 101 h.
- 18 CALVO, I. J. C. Implementación de un SIG para el manejo de los nombres geográficos de la Republica de Cuba. V Taller internacional Informática Geociencia, GEOINFO 2000. La Habana. Cuba.
- 19 CAMPOS M. *Acerca de la posible correlación de la metavulcanitas de la Sierra del Purial con las rocas de la Asociación Ofilítica. Minería y Geología*. 2, 1987.
- 20 CAMPOS M. *Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de las provincias de Holguín y Guantánamo. Minería y Geología*. 2, 1983.
- 21 CARDONA ARIAS, A. et al. *Estudio Geomorfológico y Aspectos Geológico Estructurales de las Cuencas del río Verde y Quebrada, La Española, Cordoba, Quindío*. López Reina, A (tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1993: 165 h.
- 22 CARRILLO D, J. *Aplicaciones de algunos conceptos teóricos de los SIG para la delimitación morfométrica a partir de un MDT: Un caso de estudio en Alora, región al sur de España*. III Congreso Cubano de Geología y Minería. Resúmenes. 1998: 329 p.

- 23 CASTAÑEDA HERRIS, S. et al. *Mapa Informe Sagua de Tánamo*. Informe Final. GEOCUBA, Moa, 2002: 15 h.
- 24 CASTAÑEDA HERRIS, S. et al. *Mapa Informe Sagua de Tánamo*. Proyecto Técnico Ejecutivo. GEOCUBA, Moa, 2002: 20 h.
- 25 CENDRERO, A. *Riesgos geológicos. Ordenación del territorio y protección del medio ambiente*. In Riesgos Geológicos. ITGE. Madrid. España, 1988: 333 p.
- 26 CHICA SANCHEZ, A. Geología y Geotecnia en Terrenos Inclinados. Modelo para la Elaboración de Planos Geológicos-Geotecnicos. *Revista DYNA*, 1987, (109): 27-35.
- 27 COBIELLA J. et al. *Análisis Estratigráfico y Tectónico de las provincias Orientales y Camaguey*. Informe Geológico. Fondo Geológico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Moa. 1983.
- 28 COBIELLA J. *Los macizos serpentiniticos de Sabanilla. Mayarí Arriba. Revista Tecnológica* 12(4). 1974
- 29 COBIELLA J. *Propuesta de una nueva unidad litoestratigráfica en el Eoceno Medio de Cuba Oriental. Minería y Geología*. 2, 1983.
- 30 COBIELLA J. *Sierra Cristal*. Informe Geológico. Fondo Geologico. Facultad de Geologia. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Moa. 1975.
- 31 COBIELLA J. *Sobre el origen del Extremo Oriental de la Fosa de Bartlet*. Editorial Oriente. Cuba. 1984
- 32 COBIELLA J. *Una Melange en Cuba Oriental. La minería en Cuba*. 4(4). 1978.
- 33 COLECTIVO DE AUTORES. *Características Edafológicas de Cuba*. Ed. Científico Técnica, 1992.
- 34 COLECTIVO DE AUTORES. *Defensa Civil*. 1997.
- 35 COLECTIVO DE AUTORES. <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch04.htm>. Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. 1993.
- 36 COLECTIVO DE AUTORES. <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch06.htm>. Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. 1993.
- 37 COLECTIVO DE AUTORES. <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch12.htm>. Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado. 1993.
- 38 COLECTIVO DE AUTORES. *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. Academia de Ciencias de Cuba. 1989.
- 39 COLECTIVO DE AUTORES. *Suelos de la Provincia de Holguín*. 1983
- 40 DEL ROSARIO NAVARRO, S. et al. *Estudio Geológico Ambiental y Zonificación de aptitud de Uso de las Cuencas La Robada y La Playa Río Sucio, Caldas*. Trabajo de Diploma. Universidad de Caldas, 1991. 81 p.
- 41 DIAZ J, L. et al. *Los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve Cubano y su aplicación en la región centro oriental de Cuba*. Academia de ciencias de Cuba. Instituto de Geografía. 1986.
- 42 DIAZ, R. *Geología de Cananova Sagua de Tánamo*. Cobiella Reguera, J.L (tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1979: 59 h.
- 43 Dirección General de Suelos y Fertilizantes. *Suelos de la Provincia de Holguín*. La Habana: Editorial Científico Técnica, 1981: 80 h.
- 44 DOMINGUEZ BRAVO, J. *Aplicación de los SIG a la planificación y prevención de emergencias*. Acta de XII Congreso Nacional de Geografía. Valencia, A.G.E, 1991: 197-208 p.
- 45 DOMINGUEZ, L. et al. *Aproximación a la problemática de la didáctica de los SIG. Acta del primer congreso de la sociedad Española de SIG. Los SIG en la gestión territorial*. Asociación Española de SIG. Madrid. 1992: 126-138 p.
- 46 EIPH, VICEDIRECCIÓN DE PROYECTOS, 1993. *Alternativas para la protección contra inundaciones de la ciudad de Sagua de Tánamo*. Holguín. 12 p.
- 47 EIPH, VICEDIRECCIÓN DE PROYECTOS, 1994. *Apuntes de interés sobre inundaciones notables del río Sagua durante el año 1993*. Holguín. 12 p.
- 48 ELZEARD LUIS R. et al. Mapa Geotecnico de la Ciudad de Cutral-Co, Provincia de Neuquen. X Congreso Latinoamericano de Geología. Buenos Aires, 1998. III v. 319-324 p.
- 49 ESTRADA, S. V. et al. *Prevención Hidrológica-1 Protección contra Inundaciones Sagua de Tánamo*. Informe Final. INRH, Holguín, 2002: 32 h.

- 50 ESTRADA, V. *Calibración del modelo matemático TCG en la cuenca del río Sagua*. Tesis de maestría. CIH. ISPJAE. Habana. 2002.
- 51 FABREGAS REINOSA, S. et al. A. *Los SIG: una herramienta para la gestión de situaciones de emergencia a nivel municipal. Serie: Medio Ambiente. Riesgo Geológico*. 3.2002: 233-241 p.
- 52 FERNANDEZ, O. et al. *SIG para la representación y evaluación del riesgo geológico. Su aplicación en Santiago de Cuba*. III Congreso Cubano de Geología y Minería. Resúmenes. 1996: 311 p.
- 53 FONT, X. et al. *Los riesgos geológicos en la ordenación territorial*. Acta geológica hispana, v.30, n 1-3. 1996: 83-90 p.
- 54 FURRAZOLA G, J. et al. *Geología de Cuba*. Editorial Consejo de Universidades. Ciudad de la Habana. 1964
- 55 GALINDO ARIAS, F. *Zonificación Ingeniero Geológica de la Zona de desarrollo turístico Bacuranao esc. 1: 5 000*. Álvarez, A et al (tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1996: 25 h.
- 56 GARCIA Y GARCIA ANA ISABEL. et al. *Simulación de eventos hidrológicos en pequeñas cuencas hidrográficas. Serie: Medio Ambiente. Riesgo Geológico*. 3. 2002: 65-83 p.
- 57 GEOCUBA, 1999. *Procedimiento Normalizativo Operacional HOP-09-11 "Diseño e implementación del SIG de la vivienda*. 8 h
- 58 GEOCUBA, 2002. *Procedimiento Normalizativo Operacional GMP-004 "Digitalización de mapas topográficos y catastrales con el empleo del Autocad*. 13 h.
- 59 GIRALDO BOTERO, J. A. et al. *Aspectos Geológicos Ambientales de la Cuenca Hidrográfica de la Quebrada Doña Juana Municipio de Victoria*, Caldas. Sánchez Zapata, F (tutor). Trabajo de Diploma. Universidad de Caldas, 1993: 90-115 p.
- 60 GONGORA, M. L. et al. *Informe técnico sobre la creación de las bases de datos topográficas digitales a escala 1: 250 000 de la República de Cuba en formato de SIG para MapInfo*. Empresa GEOCUBA La Habana, Agencia de Cartografía Digital. 1999.
- 61 GONZALEZ ESPINDOLA, L. et al. *Hidrológica superficial para ingenieros*. CIH. ISPJAE. 2001. Habana.
- 62 GORSHOKOV, G. et al. *Acción Geológica de las Aguas Corrientes Superficiales*. GORSHOKOV, G. et al. *Geología General*. Editorial Pueblo y Educación, 1977: 141-178 p.
- 63 GORSHOKOV, G. et al. *Acción Geológica de las Aguas Subterráneas*. GORSHOKOV, G. et al. *Geología General*. Editorial Pueblo y Educación, 1977: 184-213 p.
- 64 GUARDADO LACABA, R. *(Revisión y adaptación) Ingeniería geológica. Ingeniería petrológica*. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 1982.
- 65 GUARDADO LACABA, R. *Estudio ingeniero geoambiental de la ciudad de Santiago de Cuba como base para la regionalización ingeniero geológica*. *Revista Geología y Minería*, 1995, (2).
- 66 GUARDADO LACABA, R. et al. *Zonificación de los Fenómenos Geológicos que generan Peligros y Riesgos en la Ciudad de Moa*. *Revista Geología y Minería*, 1999, 16(2): 21-23 p.
- 67 GUARDADO LACABA, R. *Evaluación de Peligros y Riesgos Geológicos*. *Universidad Nacional de San Juan. Colombia*, 1999.
- 68 GUARDADO LACABA, R. *Evaluación Ingeniero Geológica de las áreas con peligro y riesgos geambientales de la ciudad de Moa*. *Revista Geología y Minería*, 1997, 13(3).
- 69 GUARDADO LACABA, R. *Principios de Regionalización Ingeniero Geológica para la construcción y planeamiento de la ciudad de Santiago de Cuba*. *Revista Geología y Minería*, 1983, (3).
- 70 GUARDADO LACABA, R. *Regionalización Ingeniero Geológica de la ciudad de Santiago de Cuba*. *Revista Geología y Minería*, 1984, (1).
- 71 HERNÁNDEZ SAMPIÉN R. *Metodología de la Investigación*. Ed. McGram-Hill. Ediciones Cubanas. 2002. (2Tomos).

- 72 HERRERO DIEZ, A. *Aplicaciones de los SIG al análisis del riesgo de inundaciones fluviales. Serie: Medio Ambiente. Riesgo Geológico*. 3. 2002: 87-109 p.
- 73 <http://search.yahoo.com/search?p=peligrosidad+y+riesgo+por+inunda>.
- 74 <http://www.senamhi.gob.pe/aprendiendo/apen-hidro02.htm>.
- 75 ICGC, 1980. *Instrucción Técnica para levantamiento a escala 1: 2 000, 1: 1 000 y 1: 5 00*. 10 h.
- 76 *Inundaciones en el Estado Táchira*. <http://www.geocities.com/pipeline/dropzone/5171/inundación.html>. 16k.
- 77 *Inundaciones. Interdisciplina en la Gestión del Riesgo por Inundación*: 1996. <http://www.Ceit.es/Asignatureas/Ecología/Hipertexto/08 RiesgoN/130inund.htm>.
- 78 ITURRALDE VINENT, M. *Estratigrafía de Calabazas - Achotal. La minería en Cuba*. 2(4), 1976.
- 79 ITURRALDE VINENT, M. *Estratigrafía de Calabazas - Achotal. La minería en Cuba*. 3(1), 1977.
- 80 ITURRALDE VINENT, M. *Nuevo Modelo interpretativo de la evolución geológica de Cuba. Ciencias de la Tierra y del Espacio*. 3, 1981: 51-90 p.
- 81 KNIPPER A. et al. *Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio y eugeo sinclinal y del cinturón hiperbasáltico de Cuba. Contribución a la geología de Cuba*. Pueblo y Educación. 2 Instituto de Geología y Paleontología. La Habana. 1974
- 82 LAIN HUERTA, L. *Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de los riesgos geológicos y el medio ambiente. Serie: Medio Ambiente. Riesgo Geológico*. 3. 2002: 288 h.
- 83 LOLLO. et al. *Aplicacao da Tecnica de Avaliacao do Terreno em Mapeamento Geotecnico. Revista de Engenharia e Ciencias Aplicadas*. 1997/1998, 4. V: 109-123.
- 84 Mapa Geológico de la República de Cuba, escala 1: 500 000. 1985
- 85 MARTIN ALVAREZ, R. *Geología del área del Curso Inferior del río Castro*. Rodríguez, T. et al (tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1978: 80 h.
- 86 MARTIN LOECHES, M et al. *La reducción de la vulnerabilidad por la cruz roja Española en Honduras. El caso de la exposición al riesgo de inundación y erosión potencial. Serie: Medio Ambiente. Riesgo Geológico*. 3. 2002: 169-178 p.
- 87 MULAS DE LA PEÑA, J. et al. *Utilización de un SIG en los estudios Geotecnicos para la determinación de los asentamientos por descenso del nivel freático. Aplicación en el área metropolitana de Murcia. Serie: Medio Ambiente. Riesgo Geológico*. 3. 2002: 153-166 p.
- 88 MURASHKO, V. et al. *Yacimientos de Cromitas Metalúrgicas de la Región Mayarí-Sagua de Tánamo. Revista Geología y Minería*, 1999, 16(2): 21-23 p.
- 89 NAGY E. *Ensayo de las zonas estructuro faciales en Cuba Oriental. Contribución a la Geología de Cuba Oriental*. Editorial Ciencia y Técnica. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana, 1983.
- 90 NAGY E. et al. *Subdivisiones formales e informales de la antigua provincia de Oriente. Informe Científico Técnico*. 109. Instituto de Geología y Paleontología. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana, 1985.
- 91 Organización de Estados Americanos, Departamento de Desarrollo Regional y del Medio Ambiente (OEA/DDRMA) 1993.
- 92 PELEGRIN RODRIGUEZ, C. *Protección Civil*. Junta-Andalucía: 1996. http://www.junta-andalucia.es/esp/almotacen/datos/esp_96/ProtecciónCivil96.pdf. Area de Riesgo Naturales. CECM Andalucía.
- 93 PEREZ PEREZ, M. et al. *La utilización de los SIG en la elaboración del contenido ambiental de los instrumentos de planeamiento urbanístico general. Serie: Medio Ambiente. Riesgo Geológico*. 3. 2002. 201-216 p.
- 94 PROENZA FERNADEZ, J. A. *Mineralización de cromitas en la faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Merceditas*. Tesis de Doctorado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1997: 35-60 p.
- 95 PROYECTO CUBA/94. PNUD. *Desarrollo de la técnica de predicción de las inundaciones costeras, prevención y reducción de sus acciones destructivas. Informe Técnico*. 172 h.

- 96 QUINTAS CABALLERO, F.J. *Análisis Estratigráfico y Paleogeográfico del Cretácico Superior y del Paleógeno de la Provincia de Guantánamo y áreas cercanas*. Tesis de Doctorado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1989: 145 h.
- 97 RODRIGUEZ INFANTES, A. *Manual de Geomorfología*. Instituto Superior Minero Metalúrgico: 1987: 114 h.
- 98 RODRIGUEZ RODRIGUEZ, F. F. *Estudio hidrológico Presa Sagua. Sagua de Tánamo*. EIPH. 1991. Holguín.
- 99 RODRIGUEZ RODRIGUEZ, F. F. et al. *Análisis de la avenida del río Sagua el 24 de noviembre de 1993*. EIPH. 1994. Holguín.
- 100 RODRIGUEZ RODRIGUEZ, F. F. et al. *Estudio hidrológico para la ETE: Protección contra inundaciones de Sagua de Tánamo*. EIPH. 1993. Holguín.
- 101 RODRIGUEZ VEGA, A. et al. *Indicios de Mineralización Talífera en la Cuenca de Sagua de Tánamo*. *Revista Geología y Minería*, 1994, 11(3): 31-37 p.
- 102 ROJAS, J.J. *Estratigrafía de Cananova, Sagua de Tánamo*. Cobiella Reguera, J. L (tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1979: 73 h.
- 103 ROSARIO NAVARRO, SOFIA DEL, et al. *Estudio Geológico ambiental y Zonificación de aptitud de uso de las cuencas La Robada y La Playa Río Sucio, Caldas*. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1991: 81 h.
- 104 SPENCER RODRIGUEZ. et al. *Estudio de los Flujos de Dispersión Mecánica en La Cuenca Hidrográfica del Río Concepción y su Evaluación Perspectivas*. Díaz Martínez, R (tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 1993: 47 h.
- 105 UNESCO, 1976. *Engineering geological Maps. A guide to their preparation*. The UNESCO Press, 79. Paris.
- 106 www.inta.gou.ar/bn/articulos/Andras%20jornadas%20inundaciones.doc.
- 107 [www//United.mty.tesm.mx/Estudio de vulnerabilidad y Riesgo Geológico](http://www//United.mty.tesm.mx/Estudio%20de%20vulnerabilidad%20y%20Riesgo%20Geol%C3%B3gico).
- 108 X PEREIRA, FERNANDO. et al. *Suelos en un sector del delta del Paraná*. X PEREIRA, FERNANDO. et al. X Congreso Latinoamericano de Geología. Buenos Aires, 1998. I v. 405-420 p.