



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN
SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE MOA
“Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y
MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

*Tesis en opción al título de
Ingeniero Geólogo*

*Tema: Determinación de Peligro
por inundaciones en el municipio
Moa: subcuenca del río Cabaña*

Autor: Alfredo Igarza Sánchez

Tutores: Dr. Líber Galván Rodríguez

MSc. Beatriz Riverón Zaldívar.

Moa, julio del 2019



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

En decisión conjunta, el autor Alfredo Igarza Sánchez y los tutores Beatriz Riverón Zaldívar y Liber Galván Rodríguez, certificamos nuestra propiedad intelectual en este Trabajo de Diploma, el cual se titula “Determinación de Peligro por inundaciones en el municipio Moa: subcuenca del río Cabañas”. La Universidad de Moa, podrá hacer uso del trabajo para sus fines educativos y docentes a partir del 2020.

Autor: Alfredo Igarza Sánchez

Tutora: MSc. Beatriz Riverón Zaldívar

Tutor: Dr. Liber Galván Rodríguez

PENSAMIENTO



*La educación es el
pasaporte hacia el futuro, el
mañana pertenece a
aquellos que se preparan
para él en el día de hoy.*

Malcon X



*La juventud tiene que
crear. Una juventud
que no crea es una
anomalía realmente*

Che Guevara

DICATORIA

Dicen que el amor es la razón del cual gira la vida lo cual implica que todo lo que hagamos por mínimo que sea requiere de este preciado sentimiento. Es por ello, que la realización de esta memoria se la dedico a las personas que más quiero y aprecio en la vida.

A mi madre por haber sido siempre mi guía en la vida, por haberme dado fuerza y voluntad un camino seguro para ser hoy y siempre una mejor persona. Para ellos y para todos los que me han guiado por el camino correcto y me han brindado su apoyo durante toda mi vida de estudiante, a toda mi familia, a mis compañeros, profesores y amigos...gracias.

AGRADECIMIENTOS.

La realización de este trabajo y mi formación profesional ha sido posible gracias a

La incondicional ayuda y colaboración de personas, que siempre han mostrado preocupación constante por mí y creyeron en eso de que podía. De ahí que, el término de este trabajo carezca de sentido sin antes mostrar el agradecimiento a dichas personas.

- Quiero agradecer a mis padres Idania y Alfredo, a mí padrastro Pedro por haberme dado el apoyo y la fuerza necesaria en los momentos más difíciles de la vida para seguir adelante, culminar lo empezado y guiarme hasta lo bueno que nos depara el futuro cercano.
- A mi novia Grecher y sus padres por estar y apoyarme en momentos de alegría, tristeza, darme todo el amor que necesito y confiar en mí.
- A mis compañeros de aula con los cuales compartí inolvidables momentos en estos años de carrera, en fin, a todos.
- Al Dr. Liber Galbán Rodríguez y la MSc. Beatriz Riverón le agradezco la disposición de ser mis tutores y tener voluntad de apoyarme cuando fue necesario, agradezco la disposición de todo su conocimiento en función de que el trabajo tenga mejor calidad.

RESUMEN

En la provincia Holguín, y en particular en el municipio Moa y su zona costera, es susceptible a la ocurrencia de los peligros y riesgos asociados a inundaciones, debido a las condiciones ingeniero geológicas existentes (relieve, nivel freático y pendiente) y factores desencadenantes o disparadores (intensas lluvias y surgencia) que están presente en el territorio. En este trabajo se realiza un análisis comparativo y modelación cartográfica del peligro a inundaciones en la subcuenca hidrográfica del río Cabaña a partir de dos metodologías recientemente diseñadas en Cuba y en España. Con el empleo de software profesionales como el Sistema de información Geográfica (SIG).

SUMMARY

In the provinces Holguín, and in particular at the municipality Moa and his seashore, you are susceptible to the funny remark of dangers and correlated risks floodings, due to the conditions engineer geological existent (relief, underground water level and slope) and factors desencadenantes or triggers (intense rains and surgencia) that are present at the territory. The drainage area of the River Cabañas as from two methodologies recently designed in Cuba and in Spain accomplishes to coastal total floodings in this a comparative analysis and cartographic modelation of the danger in this work. Using in the process software professional how Information System Geographic (SIG).

INDICE

PENSAMIENTO	III
DICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.	V
RESUMEN	VI
SUMMARY	VII
INDICE	VIII
INTRODUCCIÓN	1
Marco Teórico Conceptual.	4
Suelos.....	4
Erosión.....	7
Erosión hídrica	8
Erosión laminar	8
Materia sedimentable	9
Caudal	9
Sedimentos.....	9
Hidrodinámica básica	9
Precipitación	9
Las inundaciones.....	10
Inundaciones pluviales.	11
Inundaciones fluviales (Ribereñas).....	12
Inundaciones costeras.....	12
Inundaciones por rotura y operación incorrecta de infraestructura hidráulica.	12
Inundaciones repentinas.....	13
Inundaciones de larga duración.....	13
Encharcamiento.....	13
Inundaciones en Cuba.	16
Peligro.....	17
Interferencia:.....	17
Vulnerabilidad	17
Impacto.	17
Daño:	17

Daños por inundación.....	18
Daños humanos.....	19
Daños materiales.....	20
Daños directos.....	21
Daños indirectos.....	21
Daños totales.....	22
Riesgo.....	23
Descripción de las potencialidades y aplicaciones de los SIG como herramienta para la determinación de inundaciones costeras en Cuba y en el mundo.....	26
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO - GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	37
1.1 Introducción.....	37
1.2 Ubicación geográfica del área de estudio.....	37
1.3 Características socioeconómicas regionales.....	37
1.4 Particularidades climáticas de la región.....	38
1.4.1 Precipitaciones.....	38
1.4.2 Humedad y evaporación.....	41
1.4.3 Vientos.....	41
1.4.4 Temperaturas y presiones atmosféricas.....	41
1.5 Geomorfología regional.....	41
1.6 Geología regional y local.....	42
1.7 Tectónica regional.....	45
1.8 Características hidrográficas regionales.....	51
1.9 Vegetación regional.....	54
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	56
2.1 Introducción.....	56
2.1 Etapa I: Recopilación y revisión de la información existente.....	56
2.2 Etapa II: Procesamiento de la información.....	57
2.2.1 Identificación y caracterización físico-geográfica general de la subcuenca hidrográfica río Cabaña.....	69
2.2.2 Selección del método para determinar el potencial hídrico superficial (escurrimiento superficial) en la cuenca hidrográfica, subcuencas y microcuencas objeto de estudio.....	71
2.2.3 Determinación y representación espacial de los parámetros que sirven como base para los cálculos del potencial hídrico superficial.....	72

2.2.4 Representación espacial del potencial hídrico superficial en la cuenca o subcuencas seleccionadas con el uso de un SIG.	75
2.2.5 Determinación y representación espacial de la altura máxima de inundación en un SIG.....	76
2.3 Etapa III: Interpretación de los resultados.....	79
CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DEL PELIGRO POR INUNDACIONES EN LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO CABAÑA DEL MUNICIPIO MOA...	80
Introducción:	80
3.1 Resultados de la modelación de peligro ante inundaciones fluviales en la subcuenca hidrográfica del Río Cabaña	84
3.2. Plan de medidas de prevención y mitigación ante inundaciones en la subcuenca del río Cabaña.	90
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94

INTRODUCCIÓN

Entre las diversas amenazas naturales que con frecuencia impactan las áreas urbanas, destacan las de origen hidrometeorológicos, como las precipitaciones intensas, de corto tiempo y las provocadas por los ciclones tropicales, las cuales, al vincularse con la dinámica del proceso de ocupación urbana, favorecen el riesgo de desastre por inundaciones.

Con todos los beneficios que aporta el agua, la sociedad debe centrarse en entender el peligro que representan las inundaciones, ellas corresponden a un proceso natural en los sistemas fluviales (Lytle & Poff, 2004), sin embargo, el hombre al ocupar y urbanizar zonas inundables, amplía las áreas de riesgo para los asentamientos humanos y las infraestructuras (Keller & Blodgett, 2007).

Es precisamente la urbanización una de las causas principales de los cambios que se producen en los sistemas hídricos (Miller et al., 2014) pues al hombre impermeabilizar los suelos y reducir la infiltración, se provocan intensas y frecuentes inundaciones con descargas más rápidas (Suriya & Mudgal, 2012; Wheeler & Evans, 2009; Miller et al., 2014).

La urbanización es un proceso por el cual una sociedad cambia su forma de vida de rural a urbana; es el proceso donde un gran número de personas se concentra permanentemente en áreas relativamente pequeñas, que forman ciudades alrededor de todo el mundo. Estas concentraciones, según la Organización de las Naciones Unidas, debe ser de 20,000 habitantes, pero según la forma de organizarse en cada nación, este número puede variar (*Rodríguez Vázquez, 2012*)

El desarrollo urbano se ha acelerado en la segunda mitad del siglo XX con gran concentración de población en pequeños espacios, con impacto en el ecosistema terrestre, acuático y en la propia población a través de inundaciones, enfermedades y pérdida de calidad de vida. Este proceso ocurre debido a la falta de control del espacio urbano que produce efectos directos sobre la infraestructura del agua (abastecimiento, sistemas sanitarios, drenaje urbano, inundaciones y residuos sólidos). La urbanización representa una de las manifestaciones más significativas de la actividad humana. (Tucci, 2007)

Las áreas que antes contaban con vegetación o suelo natural sobre las cuales se han construido casas, calles, industrias que impermeabilizan el área, traen

como consecuencia una disminución del índice de infiltración y un incremento en los coeficientes de escurrimiento que impacta por una parte en una disminución de la recarga de los acuíferos y la disponibilidad de agua para épocas de sequía, y por otro lado un aumento en el volumen de escurrimiento superficial. También la velocidad del flujo y los gastos máximos se incrementan, situación que obliga a la construcción de obras que protejan a los habitantes y sus bienes de daños causados por una inundación.

Asimismo, la urbanización tiene efectos indirectos como son la invasión de cauces naturales, planicies de inundación y deforestación de cuencas, lo cual intensifica y acelera el proceso lluvia-escurrimiento (Rodríguez Vázquez HG, 2012).

El escurrimiento pluvial puede producir inundaciones e impactos en áreas urbanas debido a dos procesos, que ocurren aisladamente o combinados:

- Inundaciones de áreas ribereñas, son inundaciones naturales que ocurren en el lecho mayor de los ríos debido a la variabilidad temporal y espacial de la precipitación y del escurrimiento en la cuenca.
- Inundaciones debido a la urbanización, son las inundaciones que ocurren en el drenaje urbano debido al efecto de la impermeabilización del suelo, canalización u obstrucción del escurrimiento.

Cuba no es ajena a esta problemática, sus características litológicas, el relieve, y la ubicación geográfica, hacen que el archipiélago cubano sea azotado frecuentemente por fenómenos extremos de lluvias con exposición a disímiles inundaciones y desastres naturales severos. Por tal motivo numerosas investigaciones sobre las inundaciones y sus peligros para la población y la economía demuestran que estas son producto de fenómenos naturales como los huracanes, las tormentas tropicales, la penetración del mar. Estas son razones por la cuales en nuestro país se invierten recursos humanos y materiales para estudiar los fenómenos que están asociados a las inundaciones y desarrollar métodos, técnicas e instrumental que ayuden a la preservación de las vidas y los recursos económicos.

En el análisis de esta problemática se le presta atención a la determinación del peligro por inundaciones en la micro ubicada en el territorio de Moa. De manera que los resultados de esta investigación profundizan en el conocimiento de esta temática y constituyen un aporte para la correcta planificación urbanística, económica y para la protección civil del municipio.

Por ello surge la presente investigación a partir del siguiente problema:

Problema Científico

Insuficiencias en determinar el peligro por inundaciones fluviales ante la ocurrencia de precipitaciones en la subcuenca del río Cabaña, municipio Moa, provincia Holguín; que garantice la calidad en el proceso de toma de decisiones de las instituciones gubernamentales.

Objeto de Estudio.

Subcuenca del río Cabaña

Campo de estudio

Inundaciones en la subcuenca del río Cabaña

Objetivo General.

Determinar el peligro por inundaciones ante la ocurrencia de precipitaciones en la subcuenca del río Cabaña, municipio Moa, provincia Holguín; a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para garantizar la calidad en el proceso de toma de decisiones de las instituciones gubernamentales.

Objetivos Específicos.

- Determinar las causas que originan las inundaciones en la subcuenca del río Cabaña.
- Clasificar las inundaciones que se producen en la subcuenca del río cabañas.
- Determinar la altura de las inundaciones que ocurren en la subcuenca del río Cabaña.
- Proponer un plan de medidas de prevención o mitigación de las inundaciones para subcuenca del río Cabaña.

Hipótesis.

Si se determina el peligro por inundaciones y las causas que originan las mismas en la subcuenca del río Cabaña con el empleo de Sistemas de Información Geográfica, las instituciones gubernamentales se ocuparan de garantizar la calidad en el proceso de toma de decisiones y mejorar la evaluación final de su impacto.

En el desarrollo de la investigación se emplearon los **métodos** siguientes:

- **Dialéctico Materialista (Universal):** sirvió de base para la concepción general del trabajo y permitirá la orientación y enriquecimiento de los métodos particulares utilizados para la ejecución de las diferentes tareas. En combinación con los demás métodos será utilizado en todas las etapas y momentos de la investigación.
- **Histórico – Lógico:** Se empleó en el análisis y comportamiento conceptual y contextual de los análisis de peligro por inundaciones costeras en el mundo y en Cuba, a partir de la búsqueda y estudio de otros trabajos realizados hasta la fecha, que permite realizar un análisis comparativo para obtener un punto de partida en la situación actual.
- **Inductivo-deductivo:** Para determinar cuáles son las variables o indicadores que influyen en la manifestación de las inundaciones costeras y su factor disparador.

Marco Teórico Conceptual.

Para la base teórica conceptual de la investigación se realizan consultas de las bibliografías relacionadas con la temática tratada, los SIG y las aplicaciones de estos. Desde el punto de vista conceptual, se parte de las definiciones que se han publicado y que a continuación se analizan porque son conceptos empleados en este trabajo.

Suelos

Desde diferentes ciencias se abordan definiciones de Suelos; para la presente investigación el concepto que se utiliza es dado por la Ingeniería Geológica, que define el suelo, como un agregado de minerales unidos por fuerzas débiles de contacto, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación en

agua. Como se observa en la Figura 1, el suelo está constituido por la fase sólida, líquida y gaseosa (González de Vallejo, 2002)

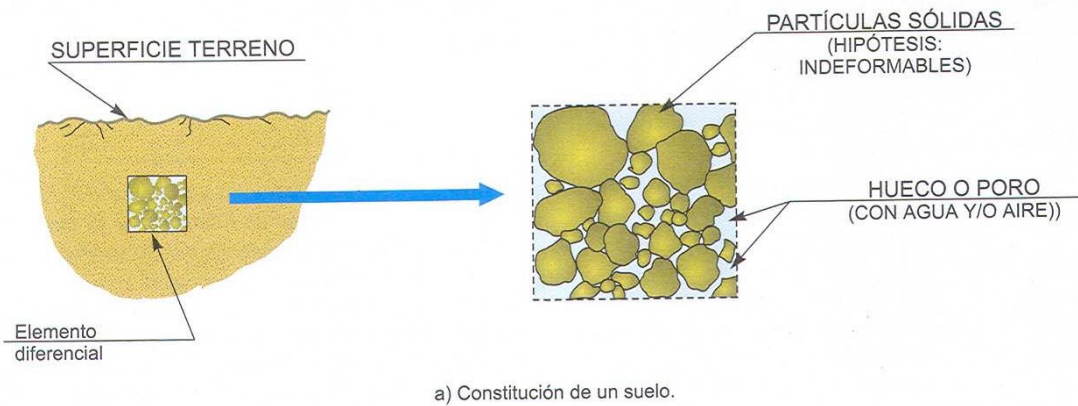


Figura 1. Constitución del suelo. (González de Vallejo, 2002)

Precisamente, para estudiar un material tan complejo como el suelo (con diferentes tamaños de partículas y composición química) y su respuesta a los procesos erosivos es necesario seguir una metodología con definiciones y sistema de evaluación de propiedades. Así se han clasificado los suelos en cuatro grandes grupos en función de la granulometría: (ASTM, 1993)

- Gravas, con tamaño de grano entre unos 8-10 cm y 2 mm, los granos se observan directamente. No retienen el agua por la inactividad de la superficie y los grandes huecos existentes entre partículas.
- Arenas, con partículas comprendidas entre 2 y 0.060 mm, todavía son observables a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separan de ella con facilidad.
- Limos, con partículas comprendidas entre 0.060 mm y 0.002 mm. Retienen el agua mejor que los tamaños superiores. Si se forma una pasta agua-limo y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se observa como el agua se exhuda con facilidad.
- Arcillas, formadas por partículas con tamaños inferiores a los limos (0.002 mm). Se trata de partículas tamaño gel y se necesita que existan transformaciones químicas. La capacidad de retención del agua sea muy grande. La existencia en el área de estudio de un macizo rocoso de composición ultrabásicas, un clima cálido y húmedo, un relieve que no

permite que el escurrimiento superficial favorezca la erosión y transporte de los productos de meteorización y la presencia de un sistema de grietas y fisuras de diversos orígenes propician el desarrollo de potentes horizontes lateríticos, utilizados como base natural de las construcciones.

La Figura 2 representa un perfil laterítico generalizado de la región de Moa en el cual se distinguen 4 zonas que se caracterizan a continuación de arriba hacia abajo (Brand N., Butt C, Elias M. (1998):

1 - **Ferricretas:** presenta un color marrón oscuro, con tonalidades negras. En la parte superficial se observan partículas de forma esférica de hidróxidos de Fe, frecuentemente cementadas entre sí por material ferruginoso, de composición similar al que forman los propios hidróxidos, estos procesos de cementación dan lugar al crecimiento de capas de hidróxidos de hierro de variadas dimensiones, que pueden tener varias toneladas de peso. El proceso de cementación de los hidróxidos de hierro es el resultado de los procesos a los que está expuesto el corte lateríticos en condiciones naturales, debido a las variaciones climáticas anuales. La potencia es variable entre 0.2-15 m. Granulométricamente predomina la fracción areno gravosa.

2- **Zona limonítica:** se caracteriza por un color ocre o marrón oscuro. Su potencia es variable 2-6 m. Presenta una humedad mayor que la zona superior. La granulometría es limo-arcillosa, con predominio de la fracción limo.

3- **Zona de transición:** constituye la zona de transición entre la zona limonítica y la saprolítica. La coloración del corte es pardo-amarilla. Su granulometría es limo-arcillosa, con predominio de la fracción limo. En su interior se pueden encontrar bloques de la zona saprolítica. Esta zona se corresponde con la zona de variación del nivel freático del agua durante las diferentes estaciones del año (ciclos de secado y humedecimiento), aspecto que favorece la hidratación, disolución, transporte y precipitación de los diferentes elementos o compuestos químicos, así como el desarrollo de los procesos de oxidación de los minerales por la entrada de los diferentes gases atmosféricos (principalmente oxígeno) al bajar el nivel freático.

4- **Zona saprolítica:** la coloración verde-amarilla varía en relación con su grado de alteración. Esta zona presenta mayor irregularidad en cuanto a su extensión y potencia. Normalmente el material se encuentra en estado saturado. La granulometría es de tipo limo-arcilloso, predomina la fracción limo en más del

50% de su peso. Está compuesta por peridotitas y harzburgitas serpentinizadas muy meteorizadas.

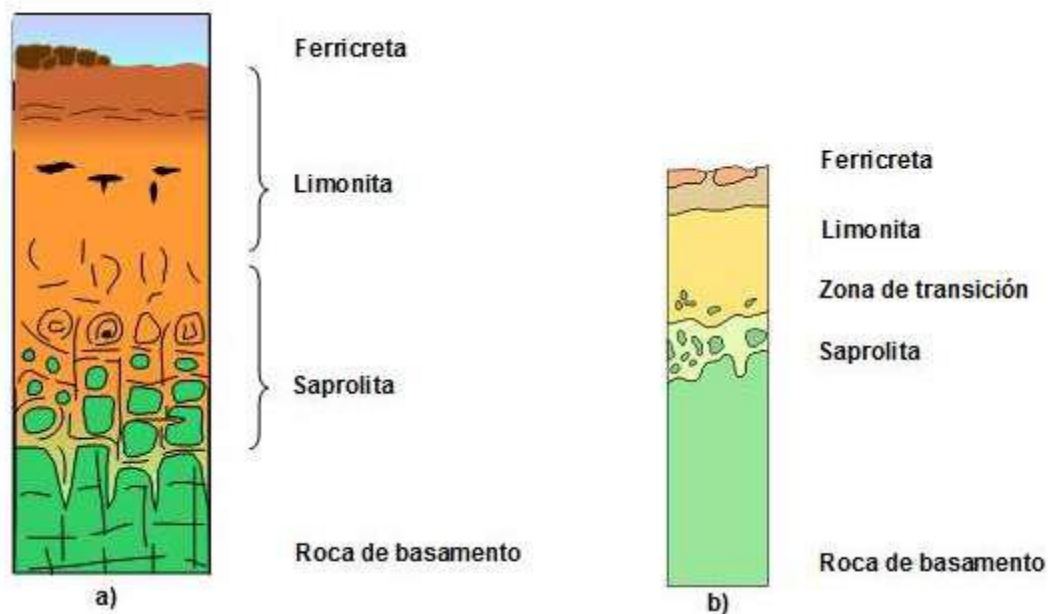


Figura 2. **a)** Perfil laterítico desarrollado sobre roca ultramáfica en una zona tropical, **b)** Perfil laterítico generalizado de tipo oxidado de la región de Moa. (Modificado Brand N.W., Butt C.R.M., Elias M. (1998))

Erosión

Según G. Gorshkov y A. Yakushova (1977) la erosión es el desprendimiento y el transporte de los detritos rocosos por los agentes (gravedad, viento, glaciares) en movimiento que operan sobre la superficie terrestre. Fragmentos de rocas creados por abrasión mecánica por la propia acción del viento, aguas superficiales, glaciares y expansión-contracción térmica por variaciones estacionales, diurnas o climáticas, suelos, los cuales son creados por la descomposición química de las rocas mediante la acción combinada de ácidos débiles disueltos en agua superficial y meteórica, hidrólisis, ácidos orgánicos, bacterias, acción de plantas.

La erosión es uno de los principales factores del ciclo geográfico que es causado por el agua. Con la deflagración de los procesos erosivos, en función de la ocupación del suelo, estos son comandados por diversos factores relacionados con las condiciones naturales de los terrenos, destacándose: la lluvia, la cobertura vegetal, la topografía y los tipos de suelos.

Durante el proceso de erosión se arranca y transporta las capas superficiales de la tierra vegetal. Los agentes externos causantes de la erosión y modelación de la corteza terrestre son esencialmente: la intemperie, el viento (erosión eólica), las aguas superficiales (erosiones pluvial y fluvial), las aguas subterráneas, los glaciares, el mar y los organismos litófagos. Castañeda Sulma y Guardado L. Rafael (2015).

La energía del inicio del movimiento es siempre mayor que la energía del transporte. Es decir, las fuerzas para erosionar una roca son mayores que las de mantener las mismas partículas en movimiento. A parte de las fuerzas de erosión tradicionales existen otros fenómenos de menor importancia: erosión por fuerzas tectónicas o por impacto de meteoritos.

Erosión hídrica

Es el proceso de sustracción de masa sólida al suelo o a la roca de la superficie llevado a cabo por un flujo de agua que circula por la misma. El impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento representan los agentes externos que trabajan para vencer la cohesión de las partículas de la masa de suelo y provocar su transporte. Una vez que la capacidad de infiltración y de almacenamiento superficial está satisfecha, comienza el escurrimiento, arrastra las partículas sueltas y las que su fuerza misma desagrega. En términos generales, la erosión hídrica es aquella producida por el agua de lluvia a través del golpeteo de sus gotas sobre la superficie del terreno, genera desprendimiento y arrastre de partículas y masas de suelo.

Erosión laminar

Consiste en la remoción de delgadas capas de suelo extendidas en forma más o menos uniforme en toda la superficie del suelo; es poco apreciable ya que la cantidad total de suelo removido en un aguacero es generalmente pequeña y ya cuando se detecta sólo queda una delgada capa de suelo. La erosión laminar es el efecto combinado de la acción del golpeteo que desprende las partículas de suelo y la escorrentía, su acción selectiva sobre las partículas genera “pavimentos de erosión” los cuales se producen por la remoción y arrastre de las partículas más livianas arcilla y materia orgánica que queda sobre la superficie suelos gravillosos o pedregosos. De aquí se desprende su efecto también sobre la fertilidad de los suelos y su productividad, este tipo de erosión arrastra únicamente la capa superior del suelo y se propicia en suelos localizados en

condiciones de fuerte pendiente, sin vegetación adecuada y con bajo contenido de materia orgánica.

Materia sedimentable

Materia sólida recogida sobre una superficie normalizada provista de un elemento de retención. Está constituida por las partículas y el polvo que caen directamente, más la materia arrastrada por la lluvia (soluble o insoluble) menos lo que el viento arranca del elemento de retención.

Caudal

El caudal de agua es el volumen, por ejemplo, la cantidad de litros, que pasa por una sección específica de la quebrada, río o arroyo en un tiempo determinado, por ejemplo, segundos.

Sedimentos

Se denominan a las partículas de suelo o sólidos de basura que se acumulan en el fondo de depósitos o corrientes de agua. Otras partículas no forman sedimentos: flotan cerca de la superficie lo que entúrbiese el agua y obstaculiza la penetración de la luz. Como la fotosíntesis llevada a cabo por algas y otras plantas requiere de esa luz, al no producirse la fotosíntesis, provoca el decaimiento no sólo de algas y plantas sino también de los organismos. Si los sedimentos acarrean sustancias tóxicas, pueden producir, a través de las cadenas alimentarias, la muerte de organismos acuáticos.

Hidrodinámica básica

Una corriente fluvial es una masa de agua que se desplaza, debido a su energía potencial, desde puntos de mayor energía (mayor cota topográfica) a los de menor. Se denomina nivel de base el punto en que esta energía se anula (el mar, otro río confluyente, un lago, etc.). El agua del río, durante su desplazamiento, vence unos rozamientos externos e internos. La velocidad del agua es máxima en la zona central y mínima en los bordes y fondo por el rozamiento con las paredes.

Precipitación

Incluye todo tipo de agua que cae o se deposita sobre la superficie terrestre, en forma líquida o sólida.

En el estudio de las precipitaciones es necesario por sus múltiples aplicaciones, desarrollar las investigaciones de este campo para conocer realmente la

influencia y comportamiento de las mismas para la estimación de avenidas, el cálculo y diseño de las estructuras de conservación de suelos y para mitigar o prevenir las inundaciones.

La medida de la precipitación sobre el área del estudio se realiza por medio de los pluviómetros. Se basan en la recogida de la precipitación en un elemento denominado colector. La precipitación se mide por volumen y su registro se realiza por lectura directa o por registro gráfico o electrónico (Rodríguez, R et al. 2004).

Las inundaciones.

Existen varios criterios y definiciones acerca del tema, sin embargo algunos no consideran la existencia del terreno, su geomorfología y geología en general, como condición indispensable para su manifestación; además de la existencia de zonas bajas en la corteza terrestre o las inundaciones provocadas por otros fenómenos naturales como los deslizamientos de tierra sobre otros cuerpos de agua, los tsunamis, los deshielos y la fuerza de atracción natural entre la luna y la tierra que provocan las inundaciones costeras por mareas, entre otras causas. Es entonces que se asume un concepto más completo que enuncia:

“Las inundaciones son fenómenos geológicos inducidos por las precipitaciones u otros fenómenos naturales o antrópicos (deshielos, remociones de masas, tsunamis, mareas) en determinadas zonas de la corteza terrestre (capa sólida superior de la Tierra=Geo) donde la acumulación del agua en los suelos, rocas y espejos de agua preexistentes (ríos, lagos, lagunas, embalses, etc.) sobrepasa los límites permitidos naturales o artificiales, que ocupan zonas que habitualmente están libres de ésta”. (Galbán, 2012).

Lo cierto es que todas las concepciones y tratados sobre el tema de las inundaciones coinciden en plantear, que pueden ser causadas por la acumulación de agua en la superficie terrestre, tanto por la ocurrencia de fenómenos naturales, como por causas antrópicas. Dentro de las causas naturales se encuentran:

- Lluvias Intensas
- Ciclones tropicales, huracanes o tifones
- Bajas extratropicales
- Tormentas Locales Severas

- Fusión de las nieves y glaciares
- Cambios de la marea astronómica.
- Los Tsunamis.
- Los Deslizamientos de tierra.

Las inundaciones se producen principalmente por la ocurrencia de lluvias intensas prolongadas y por fallas en estructuras hidráulicas ocasionadas por las tormentas tropicales y el paso de huracanes, unido a dificultades locales en el drenaje provocado por diversas causas, principalmente por la acción negligente de las personas.

La magnitud de las inundaciones depende de la distribución espacial y temporal, del tamaño de las cuencas hidrológicas en el que tiene lugar, de las características del suelo, la infiltración, el drenaje natural o artificial de las cuencas y el contenido de humedad en el suelo.

Los daños de las inundaciones se evalúan con base en la susceptibilidad de una comunidad a presentar un alto grado de vulnerabilidad. Esta vulnerabilidad depende de factores físicos, económicos y ecológicos y la biodiversidad.

Las inundaciones se pueden clasificar de acuerdo a su origen como: (Cruz, 2009; CENAPRED, 2004)

Inundaciones pluviales. Son consecuencias de las precipitaciones, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, que puede permanecer horas o días.

Su principal característica es que el agua acumulada es agua precipitada sobre esa zona y no la que viene de alguna otra parte. Normalmente, en Moa estas precipitaciones son originadas por diferentes fenómenos hidrometeorológicos, se destacan los ciclones tropicales, las lluvias orográficas, frentes fríos, y las lluvias convectivas.

- Para el caso de los ciclones, éstos ocurren entre junio a noviembre con pico de frecuencia a finales de setiembre y durante noviembre, y cuya manifestación destructiva más conocida es, en intensas precipitaciones, además de fuertes velocidades de viento, oleaje y marea de tormenta.

- Lluvias orográficas, éstas se originan por las corrientes de aire húmedo que choca con las barreras montañosas y generan lluvias del lado del barlovento.
- Lluvias invernales. Consisten en el desplazamiento de aire frío procedente de la zona del polo norte.
- Lluvias convectivas. Se originan por el calentamiento de la superficie terrestre, en donde el aire que está en contacto con esa zona cálida, llega a calentarse más que los alrededores, y da lugar a corrientes vertientes con las que asciende el aire caliente húmedo.

Inundaciones fluviales (Ribereñas). Se tienen cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos. Son volúmenes de agua de precipitaciones registradas en algún punto de la cuenca tributaria. El aumento brusco del volumen de agua que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, produce lo que se denomina como avenida o riada. Una avenida es el paso por tramos de un río de caudales superiores a los normales, que dan lugar a elevaciones de los niveles de agua causando alteraciones a la morfología de los ríos.

Los cauces de los ríos y arroyos no permanecen siempre inalterados, no son rectos ni uniformes, sino que en general están afectados por los deslizamientos del terreno, los arrastres de sólidos, la acumulación de sedimentos, los meandros, los estrechamientos, los puentes que se construyen para cruzarlos, las represas, las obstrucciones, la deforestación, etc. La cubierta vegetal cumple entonces una función muy destacada al evitar el impacto directo de las gotas de agua sobre el terreno, que impide su erosión, al mismo tiempo que con sus raíces absorbe una parte de ella o dificulta su avance hacia los ríos, que prolonga en éstos su tiempo de concentración. Además, colabora en la disminución del transporte de residuos sólidos que posteriormente afectan a los cauces.

Inundaciones costeras. Tienen presencia cuando el nivel medio del mar asciende a la marea y permite que éste penetre tierra adentro en las zonas costeras, que genera el cubrimiento de grandes extensiones de terrenos. Los vientos de los ciclones tropicales sobre la superficie del mar son los causantes de la marea de tormenta y el oleaje.

Inundaciones por rotura y operación incorrecta de infraestructura hidráulica. Otras inundaciones son por fallas de la infraestructura hidráulica, las

cuales son poco frecuentes, y tienen su origen por un diseño escaso, mala operación, falta de mantenimiento o término de la vida útil. Se trata de un hecho circunstancial poco probable y no necesariamente relacionado con los fenómenos meteorológicos, sino más bien con los geológicos o con la técnica de operación. Es evidente que la rotura de una presa, por pequeña que sea, puede llegar a causar una serie de estragos no sólo a la población sino también a sus bienes, a la infraestructura y al medio ambiente. La propagación de la onda de avenida en ese caso resulta tanta más dañina cuanto mayor sea el caudal circundante, el tiempo de propagación y los elementos existentes en la zona de afectación.

Inundaciones repentinas. Se generan por precipitaciones intensas en cuencas de respuesta rápida (flash floods). Ocurren con frecuencia en la periferia de las grandes concentraciones urbanas, donde el mismo desarrollo favorece los asentamientos humanos, como son barrancas deforestadas.

Inundaciones de larga duración. Se presentan en zonas bajas, en áreas extensas y se originan por el volumen acumulado de precipitación pluvial durante varios días o semanas. No son causantes de pérdidas humanas, pero sí de importantes pérdidas económicas en zonas urbanas y rurales.

Encharcamiento. Tiene lugar en sectores urbanos, con periodicidad anual y duración intermedia, con la consecuencia del retraso en el desarrollo de las actividades productivas de la población. Es un fenómeno causado por la saturación del suelo, caracterizado por la presencia de láminas delgadas de agua sobre la superficie del suelo en pequeñas extensiones y por lo general, presente en zonas moderadamente onduladas o planas. El fenómeno puede durar desde pocas horas hasta unos pocos días.

La urbanización de una cuenca modifica la respuesta hidrológica frente a una determinada lluvia, debido a la construcción de casas, calles, banquetas y estacionamientos que aumentan la impermeabilización. Los efectos de ésta impermeabilización son varios, por ejemplo la lluvia ya no se infiltra y por lo tanto el volumen de escurrimiento se incrementa, la superficie es más lisa, por lo que transporta más eficientemente el flujo y existe menos almacenamiento. Esto conlleva a la alteración de las redes de drenaje natural, como es la construcción de colectores y encauzamientos que aumentan la velocidad del escurrimiento

hacia aguas abajo de la cuenca e incrementa las zonas impermeables en la superficie, todo ello con el criterio de drenar lo más eficiente y rápido posible el área urbanizada. Esta dinámica afecta a la hidrología de la cuenca y muy especialmente a las zonas situadas aguas abajo. La urbanización aguas arriba modifica el hidrograma que reciben estas zonas, de forma que se incrementan el volumen de escurrimiento y el caudal máximo. Asimismo es menor el tiempo que transcurre entre el inicio del escurrimiento provocada por la lluvia y el máximo caudal (disminuye el tiempo de concentración) (Campos, 2010)

La sobreexplotación de acuíferos que, a pesar de ser indirecto, ocasiona graves problemas relacionados con las inundaciones ya que normalmente se asocia con la pérdida de capacidad de drenaje natural y artificial debida al hundimiento de las ciudades y otra afectación en el proceso hidrológico son los efectos de contaminación. Las inundaciones ocasionan graves problemas sanitarios, que no solamente se presenta en el momento de la inundación. Los daños o destrucción de las viviendas dejan a la intemperie a sus ocupantes, a veces en condiciones climáticas que distan mucho de ser favorables, en el mejor de los casos se tienen alberges en centros de emergencia para el alojamiento en masa. A todo esto, se le suma las tareas de salud pública cuando se retira el agua de inundación, ya que en este punto la más común es la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua (subterránea y superficial), que crea condiciones favorables para generar epidemias.

De acuerdo a la concepción emitida anteriormente, que reconoce la geología del planeta como reservorio natural de las inundaciones, se induce que son superficies geológicas y antropizadas las que son capaces de inundarse. Por tanto las estructuras geomorfológicas más representativas donde se forman las inundaciones son:

- Las cuencas hidrográficas.
- Las zonas bajas y de mesetas.
- Las zonas costeras.
- Las zonas antropizadas por el hombre.

Las cuencas hidrográficas son la cédula geomorfológica fundamental del relieve terrestre, e incluye dentro de ellas las otras formas mencionadas con anterioridad. Conceptualmente, una cuenca hidrográfica es una superficie terrestre drenada por un sistema fluvial continuo y bien definido, cuyas aguas

vierten a otro sistema fluvial o a otros objetos de agua, con características geosistémicas propias y, con límites generalmente determinados por la divisoria principal según el relieve (González, 2007); estas ocupan el espacio del territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, que conforman los sistemas hídricos en toda la tierra emergida del planeta, que tiene un ámbito tridimensional y integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de esta línea divisoria. Estos subsistemas variarán de acuerdo al medio en el que esté ubicada la cuenca y el nivel de intervención del factor humano. (Umaña, 2002). (Figura 3).

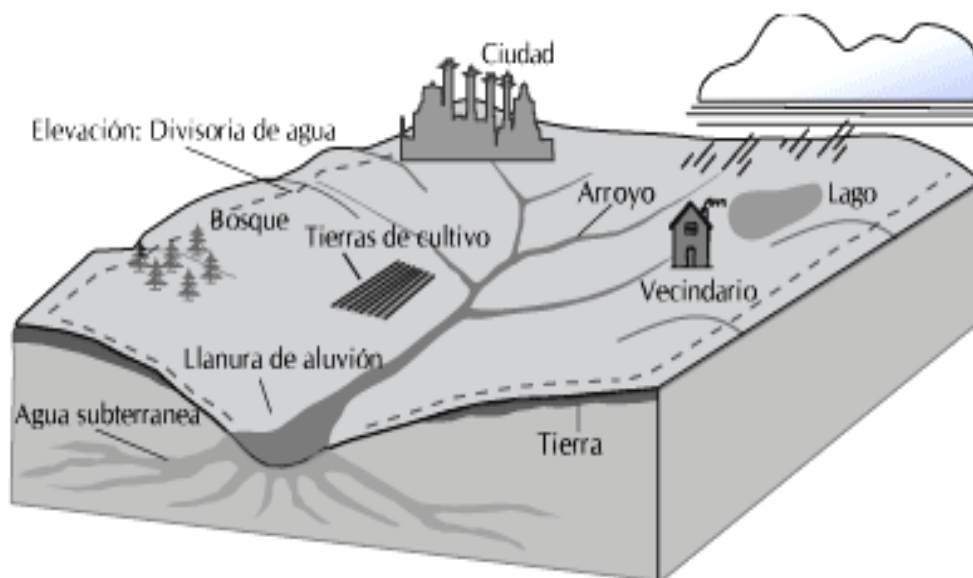


Figura 3. Sistema típico de una cuenca hidrográfica.

Se puede decir de manera general que en vista de la evolución que han tenido las cuencas, además de verse influenciadas principalmente por la acción antropogénica, actualmente se puede hablar del incremento de las inundaciones y con ello de las pérdidas que éstas causan, desde bienes materiales hasta vidas humanas. El cambio en el uso de suelo es un condicionante para la respuesta de una cuenca respecto al escurrimiento, y dentro de este ámbito los factores responsables son la urbanización, deforestación, trabajos mal hechos sobre la red de drenaje, el ordenamiento territorial, políticas ambiguas, corrupción, hundimientos de terrenos por extracción de hidrocarburos, agua y minerales, el incremento de la población en áreas marginales con altos niveles de peligro, por

mentar algunas, pueden contribuir a este efecto de incremento de inundaciones.

Las inundaciones son más antiguas que la existencia del hombre en la tierra. El hombre siempre intentó ubicarse cerca de los ríos para emplearlos como transporte, obtener agua para su consumo y para lanzar sus desechos. Las áreas próximas a los ríos generalmente son planas, propicias para el asentamiento humano, hecho que motivó su ocupación.

Inundaciones en Cuba.

Las inundaciones son una de las catástrofes naturales que más afectan a Cuba. El archipiélago cubano está expuesto a numerosas amenazas o riesgos naturales, debido a un conjunto de elementos entre los que se encuentran su ubicación geográfica, clima y relieve. Dadas las características de país tropical, con el paso frecuente de tormentas o la generación de intensos aguaceros durante el período lluvioso, se producen grandes inundaciones.

La influencia de lluvias intensas y prolongadas se refleja de diversas formas en el terreno. Así, en las zonas rurales con deficientes condiciones de drenaje (poca pendiente, suelos de baja infiltración), las aguas inundan campos agrícolas que en ocasiones producen pérdidas de las cosechas y dificultan la aplicación de la técnica agrícola. En zonas urbanizadas la aglomeración de edificios y otros objetivos construidos por el hombre hacen que sean mayores las probabilidades de inundaciones, por lo cual también aumentan las probabilidades de pérdidas de vidas humanas y la destrucción de bienes. (Celada 2001)

Las pérdidas de vidas y propiedades en una inundación pueden ser eludibles, estas pérdidas ocurren con frecuencia cuando se considera que existe una protección adecuada o se desconoce la gravedad del fenómeno como ocurrió en el año 1963 durante el paso del ciclón Flora por las provincias orientales

En los últimos 15 años Cuba ha sido impactada directa o indirectamente por 28 ciclones tropicales 8 de ellos con gran intensidad, que han provocado cuantiosas inundaciones, y desastres tanto económicos como de vidas humana donde han fallecido un total de 56 personas, con pérdidas calculadas en más de 25 mil millones de dólares, las medidas adoptadas por el Sistema de Defensa Civil permitieron proteger más de 14 millones de personas. (CITMA 2016)

Peligro

Es una situación que produce un nivel de amenaza a la vida, la salud, la propiedad o el medio ambiente. Se caracteriza por la viabilidad de ocurrencia de un incidente potencialmente dañino, es decir, un suceso apto para crear daño sobre bienes jurídicos protegidos.

Interferencia:

Se refiere a la mayor o menor adecuación entre el proceso natural y el social. Existen grados de adecuación del social al natural o de indiferencia (o viceversa) y que determinan medidas preventivas, pasivas o activas. Es decir, la actuación sobre el proceso natural para disminuir su peligrosidad o derivar su interferencia, o bien sobre el proceso social para evitar su interferencia.

Vulnerabilidad

La capacidad disminuida de una persona o un grupo de personas para anticiparse, hacer frente y resistir a los efectos de un peligro natural o causado por la actividad humana, y para recuperarse de los mismos. Es un concepto relativo y dinámico. La vulnerabilidad casi siempre se asocia con la pobreza, pero también son vulnerables las personas que viven en aislamiento, inseguridad e indefensión ante riesgos, traumas o presiones.

La exposición de las personas a riesgos varía en función de su grupo social, sexo, origen étnico u otra identidad, edad y otros factores. Por otra parte, la vulnerabilidad puede adoptar diferentes formas: la pobreza, p. ej., puede resultar en que las viviendas no puedan resistir a un terremoto o huracán, y la falta de preparación puede dar lugar a una respuesta más lenta al desastre, y con ello a más muertes o a un sufrimiento más prolongado.

Impacto. Éste analiza el cambio en atributos de calidad de un determinado recurso (natural o humano) debido al desarrollo de un proyecto. Ambos manejan parámetros en común, tal es el caso de interferencia, transformación de situación inicial y final, costo, etc. El concepto de riesgo natural es inverso al de impacto y puede definirse asociado a él, esto es: el análisis y evaluación de riesgos naturales es un método de confrontación entre procesos naturales y sociales, mediante el cual tratan de deducirse los cambios de valor que pueden producirse en el medio social, debido al desarrollo de los procesos naturales.

Daño: hace mención al proceso social en sí mismo, que trata de valorar el carácter de las transformaciones sufridas o potenciales, es decir los costos

mercantiles o sociales. Este concepto va estrechamente vinculado con el de vulnerabilidad el cual se entiende como la suma compleja de población, infraestructura, organización social y actividad económica.

Daños por inundación.

Las planicies de inundación, han sido desde siempre, los lugares preferidos para las actividades socioeconómicas, como lo demuestran las altas densidades de asentamientos humanos que allí se suelen encontrar. Por tanto, los efectos sociales y económicos de las inundaciones son un problema crítico debido a las cuantiosas pérdidas, incluyendo las vidas humanas que se generan durante estos eventos. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), (Durán 2009).

Los principales daños directos de las crecidas son los siguientes:

- Pérdidas de vidas humanas y de animales.
- Pérdidas de bienes, como vivienda, infraestructura de producción y servicios.
- Pérdida de medios de subsistencia.
- Disminución de la capacidad productiva y adquisitiva.
- Migración de sectores poblacionales afectados.
- Efectos psicosociales que pueden causar traumas duraderos.
- Obstaculización del proceso de desarrollo.
- Deterioro y destrucción de obras de arte y tesoros arqueológicos.

Desde la perspectiva de la valoración económica, las inundaciones a menudo presentan uno o varios de los siguientes efectos indirectos, cuya medición puede hacerse en términos monetarios.

- Mayores costos de operación derivados de la destrucción.
- Menor producción o prestación de servicios derivados de la paralización total o parcial de servicios.
- Mayores costos derivados de la reorientación presupuestaria.
- Reducción de ingresos por la no prestación o suministro parcial de servicios
- Los costos en los que se incurrió para la atención de la población afectada durante el período o fase de emergencia.
- Las pérdidas de producción o ingresos derivados de efectos en cadena, semejantes a los de una recesión, que pueden ir hacia adelante o hacia atrás.

Daños humanos.

Los efectos relacionados con las inundaciones en los que respecta a daños humanos, se han documentado extensamente en la literatura de salud pública en todo el mundo, particularmente en la República Popular de China, Bangladesh, Brasil, Gran Bretaña, Holanda, Portugal, y Los Estados Unidos de Norte América. Los resultados de esos estudios, describen la mortalidad en números absolutos y también se enfocan en las poblaciones desplazadas por efecto de las inundaciones. Igualmente han demostrado que la mortalidad específica por inundaciones varía de país en país. Por ejemplo en las áreas propensas de Bangladesh, aproximadamente 15,000 personas mueren cada año debido a estos desastres, en Estados Unidos, con más de 20,000 ciudades y comunidades sujetas únicamente a inundaciones repentinas, por lo que el promedio anual de muertes se ha estimado entre 46.7 y 140, en China, donde se estima que más de 40 millones de personas se han visto afectadas por la inundaciones. (Malilay 2000).

La mayor parte de la mortalidad ocurre en las inundaciones repentinas y tienen que ver con las circunstancias del evento mismo. Un estudio de estas muertes en los Estados Unidos de 1969 a 1981, mostró que 1,185 muertes se atribuyeron a 32 inundaciones repentinas y violentas, con un promedio de 37 muertes por evento. En estos casos, debido primordialmente a la ruptura de diques asociadas con las lluvias intensas, el ahogamiento causó un estimado de 93 % de esas muertes. En general, la mortalidad debida al deshielo se observa frecuentemente en los incidentes de inundaciones repentinas y violentas, por ejemplo de los cuales ocurrieron en Nmes, Francia, en 1988, Puerto Rico en 1992, Missouri en 1993 y Georgia en 1994, cuando grandes corrientes de agua inundaron las comunidades con gran velocidad e intensidad. (Malilay 2000).

Después de cada desastre natural, entre las autoridades públicas y de salud normalmente surge el temor de potenciales epidemias de enfermedades transmisibles. Se piensa que los trastornos en los sistemas de purificación del agua y de disposición de excretas tornan más susceptibles a las comunidades ante las infecciones por agua y alimentos. La vigilancia de las entidades transmitidas por el agua y otros vectores, de las enfermedades endémicas y de las lesiones durante las actividades de limpieza, ha sido recomendada e implementada durante los períodos de respuesta y recuperación en las

comunidades afectadas. Aunque no se notaron incrementos de muertes significativas debidas a las enfermedades transmisibles después de varias inundaciones en el mundo, en ciertos casos se han notado incrementos aislados de las enfermedades endémicas. Por ejemplo después de las inundaciones durante un deshielo en 1993, se detectó una epidemia de diarrea relacionada con giardiasis en Utah, después de fuertes y extensas inundaciones en Sudán en 1988, los niveles endémicos de hepatitis E y de malaria resistente a la cloroquina subieron y se esperaba que aumentaran con el tiempo. En Bangladesh 1988, los epidemiólogos atribuyeron la mayoría de las muertes y de las enfermedades a un proceso diarreico inespecífico después de una extensa inundación. (Malilay 2000).

En una inundación, existe el potencial para la exposición a agentes químicos o biológicos peligrosos. Las tuberías subterráneas se pueden romper, los tanques de almacenamiento se pueden vaciar, los desechos tóxicos pueden fluir y los químicos almacenados en terreno se pueden escapar. Los riesgos se exacerban cuando las áreas industriales o agrícolas quedan sumergidas. Por ejemplo la planta química de Spolana Neratovice, que se encuentra cerca de Praga admitió que una sustancia carcinogénica fue filtrada en el río Elbe durante la inundación en agosto de 2002, la planta filtró cerca de 80 toneladas de cloro y algunas decenas de toneladas de otra sustancia química durante la peor inundación vivida en la República Checa. El jefe de la comisión investigadora de los daños por inundación mencionó que el cloro filtrado de la fábrica puede compararse con el desastre nuclear de Chernóbyl en 1986. (Gautam 2003).

Daños materiales.

Los desastres tienen consecuencias negativas que van más allá del corto plazo y en ocasiones, producen cambios irreversibles en las condiciones económicas, sociales y ambientales. La gravedad de los daños infringidos a la economía por un desastre natural depende de la intensidad del fenómeno, de la proximidad de los asentamientos humanos y de la actividad económica respecto al lugar en que ocurrió. Influye también el nivel socioeconómico de la población afectada, que se refleja en el tipo de construcciones y en la existencia o no de algún tipo de medidas de prevención o de preparación para enfrentar eventos de esta naturaleza.

En cuanto a los daños provocados por una inundación se mencionan la disminución de la disponibilidad de vivienda e instalaciones de salud y enseñanza, con lo que se pueden provocar interrupciones temporales de los servicios de suministro de agua y saneamiento, electricidad, comunicaciones y transporte, escasez temporal de alimentos, de materias primas para la producción agrícola e industrial, contaminación de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, además del desplazamiento involuntario de poblaciones culturalmente arraigadas en el territorio de impacto. (Bitrán 1992).

Daños directos.

Son aquellos que sufren los activos inmovilizados, construidos o dañados, y los infligidos a las existencias (tanto de bienes finales como de bienes en proceso, materias primas, materiales y repuestos). Se trata en esencia, de los prejuicios que sufrieron las personas y la economía durante el siniestro. Entre ellos se cuentan la destrucción total o parcial de infraestructura física, edificios, instalaciones, maquinaria, equipos, medios de transporte y almacenaje, mobiliaria, perjuicios en las tierras de cultivo, en obras de riego, embalses, etc.

Daños indirectos.

Son daños ocasionados a los bienes y servicios que se dejan de producir o de prestar durante un lapso de tiempo que inicia después de acaecida la inundación y puede prolongarse durante la fase de recuperación. El cálculo del efecto debe extenderse el tiempo que sea necesario para alcanzar la recuperación parcial o total de la capacidad productiva.

Los daños indirectos incluyen los costos requeridos para la producción de bienes y la prestación de los servicios a causa del desastre, así como los menores ingresos que se recibirán debido a la imposibilidad o dificultad de realizarlos (que a su vez reflejan los indicadores macroeconómicos). Ejemplos de daños indirectos son, la pérdidas de producción industrial por daños en las plantas o por falta de materia prima; los mayores costos de transporte originados por la necesidad de utilizar vías o medios alternos de comunicación que son más largos o costosos, los menores ingresos en las empresas de servicios por la interrupción o reducción de estos, etc.

Las inundaciones generan también algunos efectos indirectos importantes que son difíciles de identificar e imposibles de cuantificar. Son efectos “intangibles”, como el sufrimiento humano, la inseguridad, el sentimiento de admiración o de rechazo por la forma en que se han enfrentado las consecuencias del desastre, la solidaridad, la participación desinteresada, los efectos sobre la seguridad nacional y muchos otros factores del mismo tenor que inciden en el bienestar y la calidad de vida. El encargado de la evaluación no siempre dispondrá de tiempo o la información necesaria para determinar el valor monetario de estos importantes efectos, pero debe estar consciente de que una apreciación completa de estos debería contener una evaluación o, al menos, una discusión global sobre los daños o beneficios intangibles que puedan afectar las condiciones de vida de una población.

Por último existen efectos indirectos que podrían medirse a partir de un valor monetario pero cuyo cálculo difícilmente podrá intentarse debido al poco tiempo de que se dispone para la evaluación. Pertenecen a esta categoría la estimación de las oportunidades no realizadas al impacto de la inundación en la estructura y el funcionamiento de las actividades económicas, los efectos distributivos y redistributivos, las pérdidas en capital humano que significan las víctimas y los damnificados.

Es indispensable estimar los daños indirectos en estrecha colaboración con las autoridades respectivas y los expertos. Así se tienen que determinar, por ejemplo, los periodos necesarios para restablecer los servicios, los volúmenes de producción perdida, los mayores costos en que habrá de incurrirse para prestar los servicios, y las correspondientes reducciones en los ingresos de los factores. También se impone analizar los resultados operativos de las empresas de servicios para estimar sus posibles pérdidas mientras dure la rehabilitación, así como los precios y rendimientos perdidos de los productos agropecuarios e industriales.

Daños totales.

Al juntarse las dos categorías de daños –directos e indirectos- se obtienen la estimación del monto total de las pérdidas materiales atribuibles a una inundación.

Es necesario igualmente evaluar los efectos macroeconómicos, referentes a la incidencia de la inundación sobre el comportamiento de las principales variables económicas.

Riesgo

Es una medida de la magnitud de los daños frente a una situación peligrosa. El riesgo se mide si se asume una determinada vulnerabilidad frente a cada tipo de peligro. Si bien no siempre se hace, debe distinguirse adecuadamente entre peligrosidad y (probabilidad de ocurrencia de un peligro), vulnerable (probabilidad de ocurrencia de daños dado que se ha presentado un peligro) y riesgo (propiamente dicho).

Las inundaciones pueden ser consideradas como riesgo geoclimático, ya que su origen se sitúa en la atmósfera, es decir, con las precipitaciones. Por otra parte, luego de las lluvias, el movimiento del agua y los riesgos asociados se siguen por la geomorfología e hidrología de la cuenca.

Los riesgos de inundación se están ven incrementados fundamentalmente por dos factores:

El primero es la efectividad del cambio climático, con un posible aumento de la frecuencia de las lluvias torrenciales y el potencial aumento del nivel del mar, consecuencia del calentamiento de la atmósfera; y el segundo factor, el impacto de las actividades humanas, como las construcciones en cauces y obras hidráulicas de desviación y canalización de los ríos, o la construcción de puertos sin medidas de evaluación y de corrección de su impacto ambiental. También los procesos de desertificación ocurridos por talas masivas de árboles, incendios entre otros. En definitiva, los riesgos de inundación se incrementan como consecuencia del desarrollo insostenible.

Durante un fenómeno de inundaciones, la predicción espacial es plenamente factible para lo cual es necesario tener un registro de las precipitaciones y de los caudales de los ríos y arroyos. A nivel temporal, la predicción es mucho más difícil y costosa. En algunas cuencas, pueden emplearse valores umbrales de riesgo en función de registros pluviométricos y proceder a la evacuación de la población afectada según las áreas delimitadas en los mapas de riesgo (Sánchez miguel, 2005).

En cuanto a la prevención, hay dos tipos de medidas. Entre las no estructurales, la ordenación del territorio es la herramienta más importante. Entre las

estructurales, la construcción de canales, presas, limpieza de llanuras de inundación, entre otras, aparecen como las más importantes. (AYALA Carcedo, 1988).

Las inundaciones se convierten en un problema sólo cuando se ven involucrados los asentamientos humanos o zonas de actividad productiva, porque es entonces cuando quedan expuestas las vidas humanas y propiedades. Por tanto las inundaciones tienen un efecto negativo sobre las condiciones de vida de la población, el desempeño económico de los países o regiones en que ocurren, además de que perjudican la cultura y los servicios. Las secuelas de las inundaciones se prolongan más allá del corto plazo y en ocasiones, provocan cambios irreversibles tanto en las estructuras económicas, sociales como el ambiente.

En el caso de los países industrializados las inundaciones afectan gravemente las considerables existencias de capital acumulado, en tanto que las pérdidas de vidas humanas son limitadas gracias, entre otros factores a la disponibilidad de sistemas eficaces de alerta temprana y evacuación, así como a una mejor planificación del desarrollo urbano y a la aplicación de estándares y códigos de construcción más estrictos.

En los países en desarrollo, en cambio, el número de muertes suele ser elevado debido a su mayor vulnerabilidad, uno de cuyos componentes es la ausencia o ineficacia de los sistemas de pronóstico y evacuación. Si bien en estos casos las pérdidas de capital son menores en términos absolutos comparadas con las de los países desarrollados, su peso relativo y su impacto económico general suelen ser significativos, e incluso afectan su sustentabilidad.

La ocurrencia de las inundaciones no sólo es muy frecuente en todo el mundo, sino que parecería que su incidencia e intensidad se han incrementado en años recientes. De ahí la importancia de disponer con metodologías sistematizadas para evaluar, con los mismos criterios, los daños de los desastres que tienen lugar, tanto en países desarrollados como en países en desarrollo.

Las actividades de evaluación preferentemente se realizan cuando las actividades de la fase de emergencia han sido completadas o están por finalizar y tienen por objeto identificar las necesidades y prioridades para la fase de reconstrucción.

En el pasado siglo XX, fue declarada por la Asamblea General de Naciones Unidas como el Decenio Internacional de Lucha para la Reducción de Catástrofes Naturales. Coincidentemente en este periodo, se consolidó el alcance y se amplió el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que llegan a convertirse hasta la actualidad en poderosas herramientas para crear mapas, integrar información, visualizar escenarios, desarrollar análisis efectivos a consultas y emitir soluciones.

Los SIG, tienen una gran importancia para la zonificación de los peligros, la ejecución de planes preventivos para su mitigación y la evaluación de las vulnerabilidades ante la amenaza de fenómenos naturales. De igual manera, la atención a zonas de desastre, se hace con la presencia de cartografía actualizada y datos geoespaciales que permiten modelar y diseñar los planes de mitigación a los impactos. (Galbán Rodríguez, 2014)

En Cuba, la base legal establece la obligatoriedad del Estudio de Peligro, vulnerabilidad y riesgos (PVR) para situaciones de desastres, que se organiza y ejecuta a través del proceso de compatibilización del desarrollo económico social del país con los intereses de la Defensa Civil, para elevar la protección ante situaciones de desastres que pueden afectar a la población y la economía por lo que se convierte en herramienta útil para la toma de decisión. (Consejo de ministro de Cuba, 1999)

Actualmente estas técnicas y procedimientos metodológicos para determinar el área de las inundaciones, se encierran en distintas metodologías diseñadas por varios autores internacionalmente; la mayoría de ellas están soportadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los SIG, tienen una gran importancia para la zonificación de los peligros, la ejecución de planes preventivos para su mitigación y la evaluación de las vulnerabilidades ante la amenaza de fenómenos naturales. De igual manera, la atención a zonas de desastre, se hace con la presencia de cartografía actualizada y datos geoespaciales que permiten modelar y diseñar los planes de mitigación a los impactos (Galbán Rodríguez, 2014); siendo el SIG la herramienta más adecuada para la modelación y cartografía del peligro de inundaciones (Alonso, 2004); desde hace años sus campos y aspectos de aplicación han ido sustituyendo y han desplazado antiguas técnicas manuales menos precisas y más costosas (Llorente, et al, 2009).

A diferencia de los terremotos y los huracanes, las inundaciones no cuentan con un sistema de clasificación estándar que puedan usar los meteorólogos, geólogos, hidrólogos y otros especialistas que se dedican a su estudio, para medir la intensidad de este fenómeno natural. Sin embargo, hay tres factores que los científicos pueden utilizar para determinar la magnitud de una inundación: el nivel, que es la profundidad del agua; la descarga, que es el volumen de agua que llega a un área determinada en cierto período; y la zona que cubre la inundación. (Kolar, 2018)

Para la determinación del área de inundación se utilizan una serie de técnicas y procedimientos, que a grandes rasgos pueden agruparse en tres aproximaciones (Ribera Masgrau, 2004):

- El método histórico: que consiste básicamente en cartografiar las áreas inundables a partir de documentación histórica (manuscritos e impresos de archivos, bibliotecas y hemerotecas) y testimonios (orales o audiovisuales) para reconstruir la extensión cubierta o la cota alcanzada por las aguas durante una crecida desencadenada en el periodo histórico.
- El método geomorfológico: se fundamenta en el estudio de las formas del terreno provocadas por el paso del agua, fundamentalmente su huella en el terreno; lo que es analizado actualmente con el empleo de fotos aéreas e imágenes satelitales.
- El método hidrológico e hidráulico: que delimita las áreas potencialmente inundables a partir de los registros pluviométricos y mediciones de los caudales y, del comportamiento físico del agua en función de la morfología del terreno. En la que los especialistas han puesto particular empeño con el diseño de distintas metodologías, muchas de ellas hoy soportadas en software profesionales.

Descripción de las potencialidades y aplicaciones de los SIG como herramienta para la determinación de inundaciones costeras en Cuba y en el mundo.

Las bases para la futura aparición de los SIG se encuentran algunos años antes de la década de los sesenta del siglo XX, con el desarrollo de nuevos enfoques en cartografía que parece predecir las necesidades futuras que traerá un manejo informatizado de ésta. Los trabajos desarrollados por John K. Wright en la

Sociedad Geográfica Americana, en especial, la publicación de su obra *Elements of Cartography* en 1953, son particularmente importantes. Obras como esta amplía el campo de la geografía cuantitativa hasta que este alcanza un nivel donde puede plantearse, una vez que la informática alcanza una cierta madurez, la unión de ambas disciplinas (Olaya, 2014).

La primera experiencia relevante en esta dirección se encuentra en 1959, cuando Waldo Tobler define los principios de un sistema denominado MIMO (map in--map out) con la finalidad de aplicar los ordenadores al campo de la cartografía. En él, establece los principios básicos para la creación de datos geográficos, su codificación, análisis y representación dentro de un sistema informatizado. Estos son los elementos principales del software que integra un SIG, y que habrán de aparecer en todas las aplicaciones desarrolladas desde ese momento (Olaya, 2014).

En el año 1962, en Canadá, se diseñó el primer Sistema de Información Geográfica para el mundo de recursos naturales a escala mundial por el Dr. Tomlinson, conocido en el campo como el "padre de los SIG". En el Reino Unido se empezó a trabajar en la unidad de cartografía experimental No fue hasta la época de los 80's cuando surgió la comercialización de los SIG (Historia de los Sistemas de Información Geográfica, 2017).

La generalización de las nuevas tecnologías se realizó aceleradamente y con ello la gestión digital de la información cartográfica y el surgimiento de muchos sistemas informáticos para distintas aplicaciones cartográficas. De la misma manera se avanzó en diversos sectores vinculados, entre ellos la topografía, la geología, la fotogrametría, el catastro y la percepción remota. A medida que aumentaban los sistemas y se adquiría experiencia, surgió la posibilidad de articular los distintos tipos de elaboración automatizada de información espacial, reuniéndolos en verdaderos sistemas de información geográfica para fines generales.

La aparición de estos programas no solo implica la creación de una herramienta nueva, sino también el desarrollo de técnicas nuevas que hasta entonces no habían sido necesarias. La más importante de ellas es la codificación y almacenamiento de la información geográfica, que entonces era clave para lograr un uso adecuado del software. El trabajo de Guy Morton con el desarrollo

de su Matriz de Morton juega un papel importante, que superan las deficiencias de los equipos de entonces, tales como la carencia de unidades de almacenamiento con capacidad de acceso aleatorio, que dificultaban notablemente el manejo y análisis de las bases de datos.

La acelerada evolución en las tecnologías provocó que en los años 1960 y 1970 emergieran nuevas tendencias en la forma de utilizar los mapas para la valoración de recursos y planificación. Dándose cuenta de que las diferentes coberturas sobre la superficie de la tierra no eran independientes entre sí, sino que guardaban algún tipo de relación, se hizo latente la necesidad de evaluarlos de una forma integrada y multidisciplinaria. Una manera sencilla de hacerlo era superponiendo copias transparentes de mapas de coberturas sobre mesas iluminadas y encontrar puntos de coincidencia en los distintos mapas de los diferentes datos descriptivos.

Al principio de la década de los setenta, siendo ya claro que los SIG son herramientas con gran futuro, aparecen no solo los esfuerzos de desarrollo y estabilización de la disciplina, sino todos los restantes que dan entidad propia a la prometedora ciencia de la información geográfica con base informática.

Durante los años 60's y 70's se empezó a aplicar la tecnología del computador digital al desarrollo de tecnología automatizada. Excluyendo cambios estructurales en el manejo de la información, la mayoría de programas estuvieron dirigidos hacia la automatización del trabajo cartográfico; algunos pocos exploraron nuevos métodos para el manejo de información espacial, y se siguieron básicamente dos tendencias:

- Producción automática de dibujos con un alto nivel de calidad pictórica
- Producción de información basada en el análisis espacial, pero con el costo de una baja calidad gráfica.

A principios de los años 80 los SIG se habían convertido en un modelo plenamente operativo, a medida que la tecnología de cómputo se perfeccionaba, se hacía menos costosa y gozaba de una mayor aceptación. Durante esta década los SIG se comenzaron a convertir en herramientas de dominio público y comenzaron a registrarse las primeras iniciativas de carácter institucional (SIG institucionales), principalmente de mano de organizaciones

públicas gubernamentales de todo el mundo.

En 1987 se empieza a publicar el International Journal Of Geographical Information Systems. Un año más tarde se funda en la Universidad Estatal de Nueva York, en Buffalo, la primera lista de distribución en Internet dedicada a los SIG, y arranca la publicación mensual GIS World.

El desarrollo tecnológico determinó, durante la década de 1990, que la herramienta se simplificara de tal forma que su utilización se masificara al punto de ser en la actualidad algo ampliamente difundido.

En la literatura consultada existe una gran variedad de definiciones sobre SIG emitidas por diferentes autores. La Association for Geographic Information (AGI) y el Departamento de Geografía de la Universidad de Edimburgo lo explica como: "un sistema de cómputo para obtener, almacenar, integrar, manipular, analizar y representar datos relativos a la superficie terrestre".

Para el desarrollo de esta investigación, se tuvo en cuenta objetivo y contenido, se asume la definición emitida por el National Center for Geographic Information and Analysis, N.C.G.I.A. de USA, Manual de SIG, que lo define como un sistema de tecnología, programas y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos, especialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión y el contexto de esta investigación se asemeja a dicha definición.

De estas definiciones se puede extraer que la importancia de los SIG radica en que las soluciones para muchos problemas frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información que pueden ser relacionadas por geografía o distribución espacial. Los SIG son herramientas actuales que ofrecen múltiples ventajas, permiten caracterizar a través de mapas un área determinada, realizar análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de esa zona; se constituyen en una herramienta de gerencia de la información espacial.

Se puede decir que los Sistemas de Información Geográfica son producto del desarrollo de diferentes líneas de trabajo (Luis, 2008):

- La Diseño asistida por computadora (CAD).

- La superposición de mapas para el planeamiento urbano y regional.
- La teledetección.
- Los avances técnicos-metodológicos de la geografía cuantitativa.

Un SIG no es un CAD. La esencia del CAD radica en que utiliza proceso de información que poseen las computadoras para producir mapas. El resultado final es siempre el producto clásico, un documento cartográfico en papel o en otro tipo de soporte, aun cuando pueda ser tan sofisticado como el mapa, en el que el usuario selecciona la escala, la proyección cartográfica, zona, simbología, información que desea, para obtener finalmente un documento trazado a la medida de las necesidades. En cambio, un SIG aplica las posibilidades de la informática a la tarea de consultar, analizar la información que puede contener un mapa, o conjunto de mapas, enriquecida en ocasiones con datos de procedencia diversa. El producto final en este caso, es una respuesta que puede tomar la forma de un fichero, un listado, un dibujo en papel, un gráfico en pantalla, etc (Rodríguez, A, et al, 2014).

Dentro de las funciones principales que tienen los SIG se encuentran:

1. **Entrada de datos:** la entrada de información en un SIG está dada por los procedimientos para la conversión de la información geográfica a formato digital, está condicionada por dos factores fundamentales: la fuente de información espacial y el formato digital de la base de datos, aunque en muchos casos la información espacial puede encontrarse ya en formato digital. Previamente a la entrada de los datos a un SIG se debe reunir y preparar toda la información para poder tratarla digitalmente.
2. **Manipulación de datos:** están presentes dos fases fundamentales de recuperación de datos, la extracción y el filtrado. La extracción de datos es el proceso de selección de un subconjunto de la información de la base de datos de acuerdo a una solicitud para una aplicación determinada, donde es posible reorganizar todos los elementos integrados en ella de diversas formas.
3. **Análisis de Datos:** es el componente más importante de un SIG, que lo diferencian de los sistemas CAD. Debe ser capaz de realizar los análisis básicos de un SIG, deben tener herramientas de análisis espacial, ráster, de imágenes, de redes, en 3 dimensiones, herramientas de

geoprocesamiento, etc., que sean capaces de interactuar y generar nuevas informaciones para la toma de importantes decisiones.

4. **Salidas de Datos:** se realizan las operaciones que muestran al usuario los propios datos del SIG y los resultados de los análisis realizados sobre ellos. Permiten obtener mapas, gráficos, tablas numéricas y otro tipo de resultados en papel, pantallas gráficas, además de poder diseminarlos por una intranet (Tabla 1).

Tabla 1. Salidas de datos en los SIG

SALIDAS	EXPRESIÓN	TIPO	DESTINO
SALIDAS	EXPRESIÓN	TIPO	DESTINO
Digitales	Gráficas	Gráficos, esquemas, mapas.	Otros SIG o sistemas automatizados, cliente.
Digitales	Gráficas	Gráficos, esquemas, mapas.	sistemas automatizados, cliente.
Impresas	Alfanuméricas	Textos, tablas,	cliente.
Impresas	Alfanuméricas	Gráficos, tablas, esquemas, mapas.	Cliente, usuarios.
	Gráficas	Gráficos, esquemas, mapas.	Cliente, usuarios.
	Servidores de	mapas.	
Intranet o Internet	mapas, gráficas, imagen, gráficas, alfanuméricas.	Textos, tablas gráficos, esquemas, mapas.	Cliente, usuarios.
Intranet o Internet	mapas, gráficas, imagen, alfanuméricas.	Textos, tablas gráficos, esquemas, mapas.	Cliente, usuarios.
	alfanuméricas.		

Las estructuras de codificación de los datos geográficos pueden ser vectorial y ráster figura 4:

- **Vectorial:** utiliza los puntos, líneas y polígonos para representar los datos geoespaciales. Ejemplo de SIG son: ESRI ArcGis, MapInfo, ArcView. etc.
- **Ráster:** se basa en la unidad fundamental llamada píxel; es decir un mapa es un arreglo de columnas y filas de píxeles, que van a tener información de determinada temática.

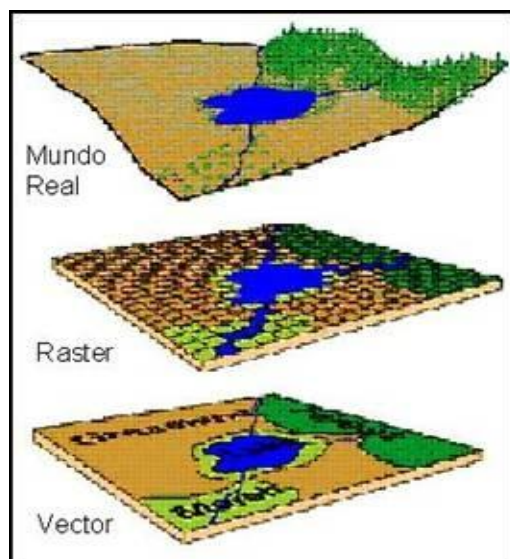


Figura 4. Imagen que muestra las diferencias entre mapas ráster y vectoriales en un SIG

De esta manera se pueden identificar algunas de las capacidades los SIG como herramienta en los procedimientos de gestión.

Un SIG permite:

- Realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas, transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de bases de datos.
- Consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema.
- Realizar pruebas analíticas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial.
- Comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (análisis temporal).
- Efectuar algunos análisis, de forma rápida que hechos manualmente resultarían largos y molestos.
- Integrar en el futuro, otro tipo de información complementaria que se considere relevante y que esté relacionada con la base de datos nativa u original.

En el caso de Cuba, en la primera mitad de la década de 1980 comienza progresivamente en el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC) la creación automatizada del Catastro Rural, mediante el cálculo de superficie con el coordinatógrafo rectangular, el procesamiento mediante las tarjetas u

perforadas y el almacenamiento en las bandas magnéticas. Posteriormente con el empleo de las mesas digitalizadoras y planímetros digitales, se continuo el procesamiento y llevado a formato digital no solo la base catastral, sino además los levantamientos topográficos a diferentes escalas (Alvares Portal, 2012).

El Instituto Cubano de Hidrografía (ICH) a partir del año 1990 desarrolla el producto TeleMap, una plataforma para la confección e implementación de Sistemas de Información Geográfica y, paralelamente se desarrolla el producto GEOINFO por el ICGC. Estos dos productos continúan su desarrollo y modernización por el Grupo Empresarial GEOCUBA, surgido en el año 1995, de la fusión de los dos institutos mencionados anteriormente.

En el año 1994 se crea el mapa topográfico digital 1: 250 000 de la República de Cuba con la combinación de diferentes sistemas (software), que sienta las bases para la confección de otras escalas en años posteriores, como fueron el 1:500 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000 (Pérez Rodríguez, 2008).

Además del TeleMap, también se desarrollaron otros sistemas para la creación de Cartografía digital y SIG como fueron el XInfo, CityManager, CartoSIG, GEOINFO y numerosas implementaciones a sistemas conocidos internacionalmente como AutoCAD Map, MicroStation, MapInfo, IDRISI, ILWIS, ArcView, ARGIS, QGIS, entre otros (Pérez Rodríguez, 2008).

Desde hace varios años, el Software MapInfo es uno de los sistemas de que más auge ha tomado en Cuba, empleándose por muchas instituciones. En GEOCUBA, sobre este software y, a partir de las bases cartográficas digitales creadas anteriormente, se ha desarrollado distintas implementaciones del SIG, entre estas: la Guía Turística de Ciudad de La Habana, implementaciones para el manejo turístico a nivel nacional, para el manejo de las provincias habaneras, para la caracterización de los recursos naturales de una región montañosa, para el desarrollo de la espeleología, entre otras. También este software se emplea por otras instituciones estatales como el CITMA para estudios de medio ambiente, por el Ministerio del Transporte para tareas de ubicación y control en tiempo real del equipamiento automotriz, por el Ministerio de Salud Pública para el establecimiento de un sistema de control epidemiológico, por el Instituto de Planificación Física (IPF), entre otras instituciones (Rodríguez Hernández, 1997).

De todos los relacionados, GEOCUBA ha sido líder en la variedad y complejidad de diseño de aplicaciones SIG y de software como plataforma para SIG. Otros ejemplo de ello son los SIG para el MINAZ en el cálculo del índice de población cañera y, uso y vocación de los suelos; los SIG de la OBE de Granma y de Sancti Spíritus, los SIG Territorial de Manicaragua, de Yaguajay y del municipio Playa, los de Uso y Tenencia de la Tierra de Pinar del Río, los de Vialidad en esta misma provincia y el SIG de Catastro Urbano de Cienfuegos, entre otros (Pérez Rodríguez, 2008).

Es extensa la lista y variedad de usuarios, clientes y autores de SIG en la actualidad cubana, al incorporarse los centros politécnicos y universitarios de todo el país, con gran despliegue de personal capacitado vinculados a unidades productivas y de servicios.

Internacionalmente, la metodología más representativa y usada por los servicios geológicos, agencias para la atención a emergencias y desastres o defensa civil en la mayoría de los países desarrollados como los Estados Unidos, Reino Unido, Japón, Canadá, varios países europeos y latinoamericanos, para la evaluación del peligro ante inundaciones acompañada de un SIG de igual nombre, es la Metodología HAZUS. Esta metodología fue diseñada por la Federal Emergency Agency (FEMA, 2002) de los Estados Unidos que puede ser descargada desde internet. La deficiencia fundamental de esta metodología (y de otras a nivel internacional y nacional) está en la determinación de las inundaciones costeras totales con consideración de la interacción de la penetración del mar por efecto de la surgencia marina con la inundación de los ríos en las costas.

Cuba, apoyada en un marco legal, a través del Sistema de la Defensa Civil, ha desarrollado instrumentos y herramientas que permiten determinar el peligro de desastres, accionar en su prevención y dar una respuesta eficaz antes los peligros naturales. La directiva No.1, actualizada y perfeccionada en el 2010, orienta la planificación, organización y preparación del país para situaciones de desastres, establece la estrategia de la gestión de riesgos y el carácter obligatorio de los estudios de reducción de riesgo de desastres, como elementos de partida para la elaboración de los planes económicos y de los proyectos de inversión de los territorios.

Los estudios de peligros, vulnerabilidad y riesgos de desastres en Cuba son organizados y coordinados por el Grupo de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo de la Agencia de medio Ambiente del CITMA, con la participación de especialistas e instituciones científicas del país, de conjunto con el Estado Mayor de la Defensa Civil. Los mismos constituyen un proceso de investigación, identificación, caracterización, estimación cuantitativa y cualitativa del peligro, la vulnerabilidad de los elementos expuestos y el riesgo, los mismos se realizan a nivel territorial con vista a que posibiliten la gestión del riesgo, para ello se han establecidos requisitos, entre los que están:

- La existencia de metodologías.
- La utilización de SIG.
- Los estudios deben basarse en un enfoque ecosistémico.
- Los resultados se expresen en mapas e informes elaborados con un lenguaje asequible a todos los actores sociales.

En Cuba existen varias metodologías para estudio de peligros realizados en zonas específicas, como el caso del estudio realizado para elaboración del Mapa de peligro por inundación de la cuenca del río Mayarí (Fernández Cruz, et al, 2014), el Mapa de riesgo de desastres para la Zona Priorizada del Centro Histórico de Camagüey (Leon Herrera, 2016), el desarrollado por Olivera Acosta con el uso de los SIG y la evaluación multicriterio (EMC) para la determinación de escenarios de peligros de inundaciones en cuencas fluviales de Guanabo (Olivera Acosta, et al, 2011), la metodología empleada para el Mapa de peligrosidad por inundaciones costeras de la provincia Santiago de Cuba en el año 2010 (Colectivo de autores), entre otras.

Otro ejemplo significativo, fue la metodología elaborada para el estudio realizado por la empresa GEOCUBA, del Oriente Sur en el año 2014 (Marinos A, 2014), que logra para el proyecto Herradura (Parque eólico en la provincia Las Tunas), una aproximación al cálculo de las inundaciones costeras por el método hidráulico, que emplea el Software Surfer. En este proyecto se determina el área de inundación que suma el volumen de agua que penetra a la costa; por el fenómeno de la surgencia, con el volumen por escorrentía; producto de las precipitaciones. El volumen total es sumado para luego determinar el área total que ocupa este en la región de interés.

La metodología más empleada a nivel gubernamental es la implementada por la Agencia del Medio Ambiente (AMA) que orienta como se ha de realizar el estudio individual de aquellos peligros que con mayor frecuencia azotan el archipiélago cubano (AMA, 2014). Para el desarrollo de esta investigación y considera que los objetivos que se persiguen con este estudio se tendrán en cuenta y se adaptarán algunos criterios e indicadores de ésta y otras metodologías y estudios realizados por otros autores del tema.

Varios autores entre ellos Batista y Sánchez; Rodríguez y Marrero (Rodríguez López, et al, 2010), entre otros, consideran para la mayoría de las metodologías las intensidades de lluvias máximas registradas entre las 24 y 72 horas .Esto significa que este criterio se constituye en el factor disparador más empleado para la modelación de las inundaciones.

En el año 2018 Galbán y Rodríguez idearon otra nueva metodología para modelar las inundaciones con el Empleo de los SIG, la cual combina en las costas tanto las inundaciones por surgencia marina como las fluviales, constituyéndose en la más reciente metodología diseñada al respecto, la cual considera el factor de densidad del agua para evaluar la sobreelevación que ocurre en las costas a chocar el agua del mar con el agua terrestre.

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO - GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS REGIONALES Y DEL ÁREA DE ESTUDIO.

1.1 Introducción

En el presente capítulo se describen los principales rasgos físicos-geográficos geológicos, geomorfológicos, tectónicos, climáticos e hidrogeológicos del área de estudio, para conocer las generalidades del área de estudio.

1.2 Ubicación geográfica del área de estudio

La investigación se realiza en la subcuenca del río Cabaña, ubicada en el Noreste de la provincia Holguín, limitado al Norte con el océano Atlántico, al Sur con el municipio de Yateras, al Este con el municipio de Baracoa y al Oeste con los municipios de Sagua de Tánamo y Frank País (ver Figura 5). El área de estudio abarca 465 Km² y según el sistema de coordenadas Lambert se localiza entre las coordenadas. X: 680 000 – 719 250; Y: 207 000 – 229 00

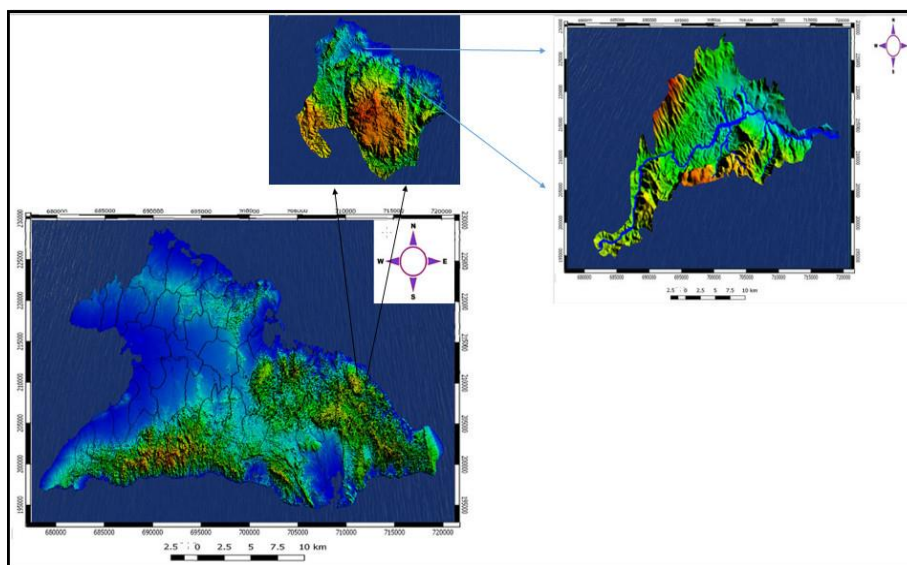


Figura 5. Imagen de ubicación del área de estudio

1.3 Características socioeconómicas regionales

El municipio Moa se caracteriza por la complejidad de los procesos geológicos - geomorfológicos que le dieron origen. En él existen extensas cortezas de meteorización, que permite el desarrollo de la minería y metalurgia en la región y por ende su crecimiento económico, social y cultural. En 1963 se crea el municipio de Moa perteneciente a la región minera de la provincia de Oriente y en 1976 por división política administrativa, pasa a la provincia de Holguín. Hoy, Moa cuenta con varios centros de enseñanza, hospitales, hoteles, un aeropuerto

y otras instalaciones que favorecen el desarrollo económico, social y cultural en el municipio. Cuenta además con las plantas procesadoras de níquel Comandante Pedro Sotto Alba y Ernesto Guevara de la Serna.

1.4 Particularidades climáticas de la región

El clima de la zona de estudio es tropical con abundantes precipitaciones, está estrechamente relacionadas con el relieve montañoso y la dirección de los vientos alisios provenientes del océano Atlántico cargado de humedad.

1.4.1 Precipitaciones

El comportamiento de las precipitaciones en la región de Moa no coincide con las del resto del territorio nacional, los mayores promedios anuales se reportan de noviembre-febrero considerado para Cuba como período seco, siendo en Moa la época de mayores precipitaciones con valores de 2 300 - 2 600 mm y son unas de las mayores pluviometrías del país, con una media histórica de 2 600 mm /año (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos I.N.R.H).

El estudio pluviométrico para la subcuenca del río Cabaña (ver Figura 6), se realiza a partir del análisis de una serie temporal de datos en el periodo comprendido de 2014 -2018 (5 años) correspondiente a los pluviómetros UEB Moa, Derivadora, Cayo Grande y Presa Moa; distribuidos de forma irregular con influencia en el área de estudio.

Se identifican dos períodos de lluvia (mayo-junio) y (octubre-febrero) y dos de sequías (marzo-abril) y (julio-septiembre). En el verano las lluvias tienen carácter de aguaceros y en el invierno son menos intensas, pero más permanentes.

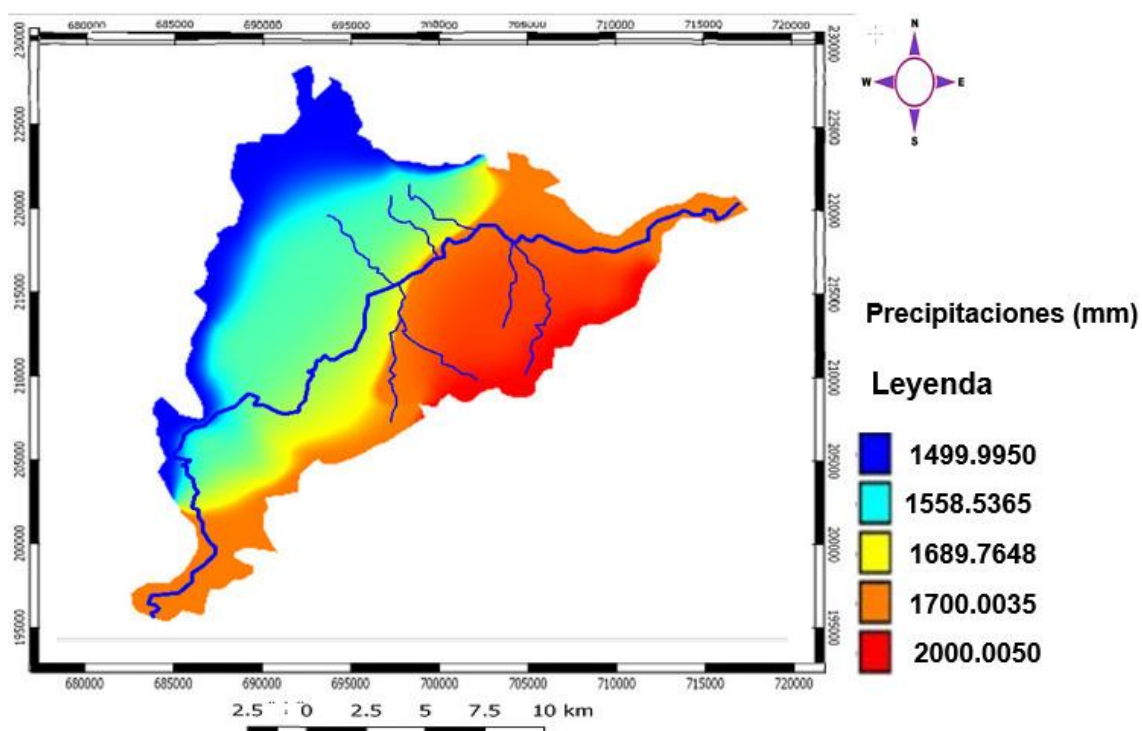


Figura 6. Mapa de precipitaciones anuales correspondiente a la subcuenca del río Cabaña.

De acuerdo a los datos históricos de los análisis pluviométricos perteneciente a la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de la provincia Holguín, en las Figuras 7, 8 ,9 y 10. Se muestran los promedios de las precipitaciones mensuales para la serie temporal analizada que corroboran la existencia de dos máximas, una principal correspondiente a los meses de octubre a enero y una secundaria en el mes de mayo. Para las mínimas, la principal ocurre en el período de marzo a abril y la secundaria de junio a septiembre.

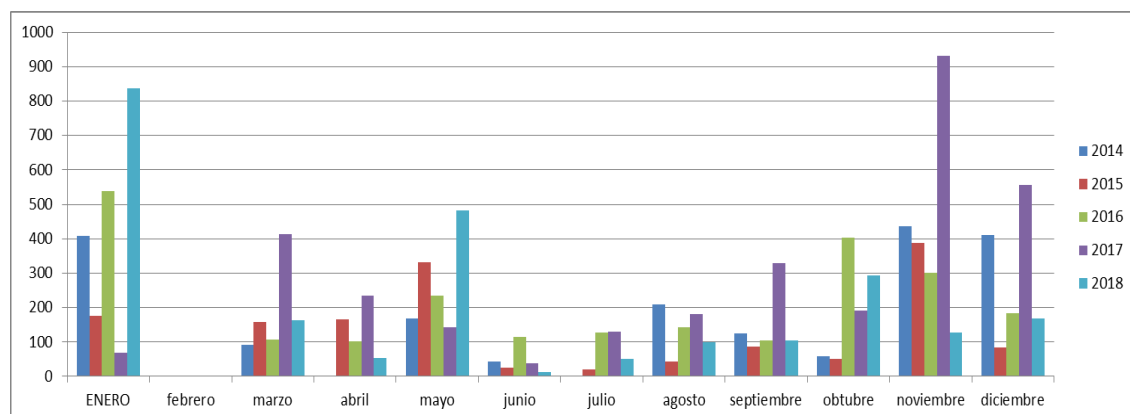


Figura 7. Promedios mensuales de precipitaciones (Pluviómetro Derivadora Moa)

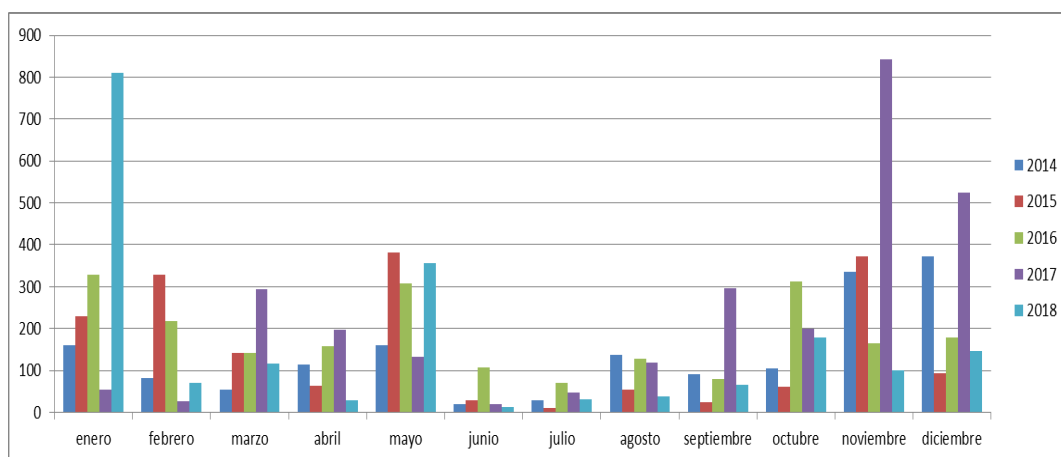


Figura 8. Promedios mensuales de precipitaciones (Pluviómetro UEB Moa)

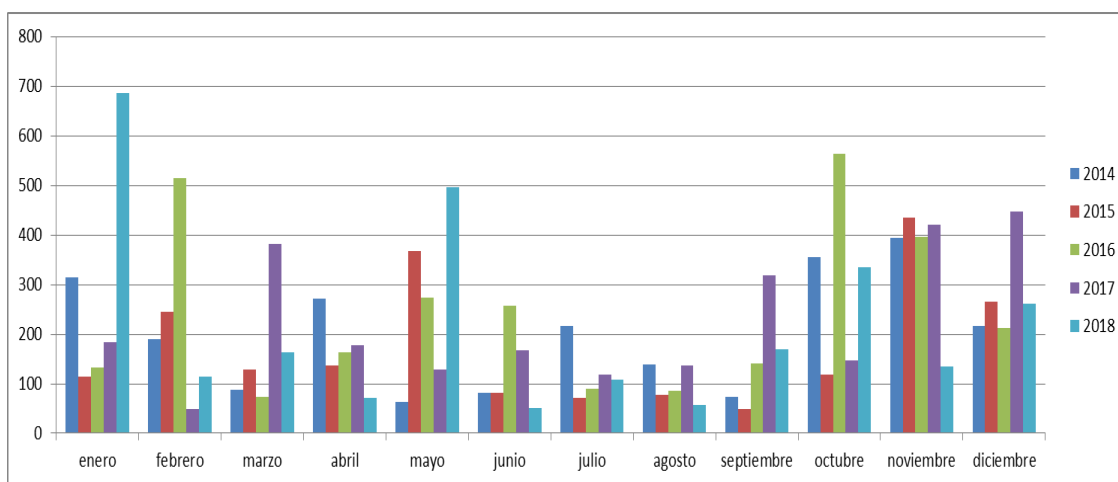


Figura 9. Promedios mensuales de precipitaciones (Pluviómetro Presa Moa)

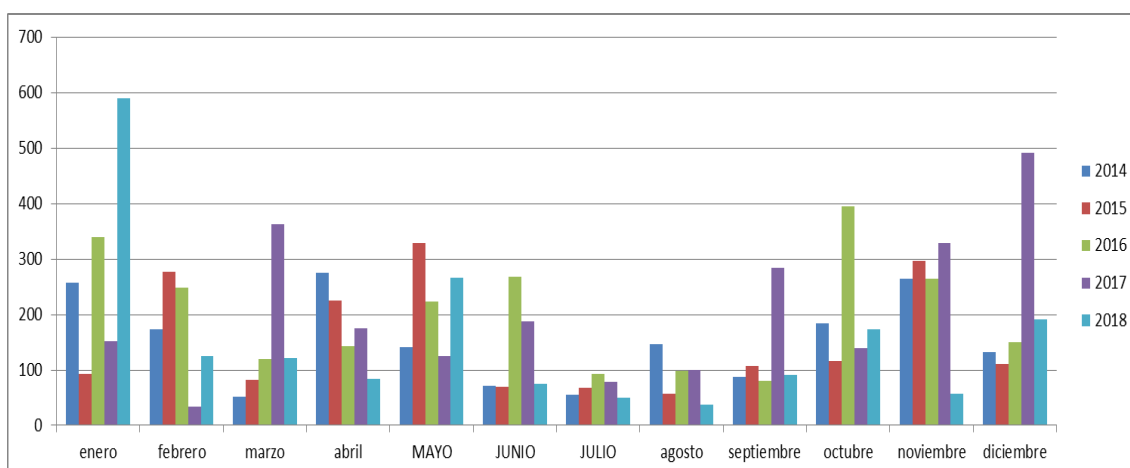


Figura 10. Promedios mensuales de precipitaciones (Pluviómetro Cayo grande)

1.4.2 Humedad y evaporación

La humedad relativa media anual es de 85 %, los meses de mayor humedad son diciembre con un 94 %, noviembre con un 86 % y octubre con un 90 %. Siendo estos tres meses el período de mayor humedad relativa del territorio. La evaporación anual presenta valores entre 2200 - 2400 mm; los meses de julio y agosto son los más secos (Viltres Milán, 2010).

1.4.3 Vientos

Los vientos son de moderada intensidad, en superficie presentan dirección noreste - este fundamentalmente. La distribución frecuencial anual de la dirección e intensidad del viento durante el año muestra que el sur es la más notable, con un 37,41 %, seguido de los vientos de sentido norte - este con 32,52 %, mientras que el resto de las direcciones poseen una frecuencia inferior al 10 %, siendo la dirección oeste la de menor ocurrencia, con un 0,41 % (Viltres Milán, 2010).

1.4.4 Temperaturas y presiones atmosféricas

La temperatura media anual oscila entre 22,6°C–30,5°C, en el verano se alcanzan valores de 30°C hasta 32°C y en el invierno de 22°C a 26°C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los fríos de enero a febrero. Las presiones atmosféricas presentan una media anual de 1017,3 hPa (Hectopascal), siendo la media máxima mensual de 1022,2 hPa en el mes de septiembre (Viltres Milán, 2010).

1.5 Geomorfología regional

Orográficamente el territorio moense se caracteriza por una alta complejidad, con predominio del relieve de montaña hacia la parte este, con cota máxima de 1139 m sobre el nivel del mar (El Pico Toldo); y ondulado hacia el norte, zona correspondiente a la región costera. La zona montañosa se caracteriza por valores de pendientes que sobrepasan los 450 m y valores máximos de isobasitas de 900 m en el segundo orden y 800 m en el tercero (Polanco Almaguer, 2012).

En el territorio aparecen diversas formas del relieve, en el que tiene mayor relevancia la zona de llanuras (ver Figura 11). El área de estudio se encuentra

enmarcada en las zonas geomorfológicas de llanuras fluviales erosivas acumulativas cuya formación está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominan los procesos fluviales y marinos. Presenta un relieve ligeramente ondulado de tipo erosivo denudativo, con cotas que varían desde 8.0 hasta 19.0 m.s.m, desarrollado sobre las rocas de la Asociación Ofiolítica, en este caso sobre serpentinitas y peridotitas serpentinizadas.

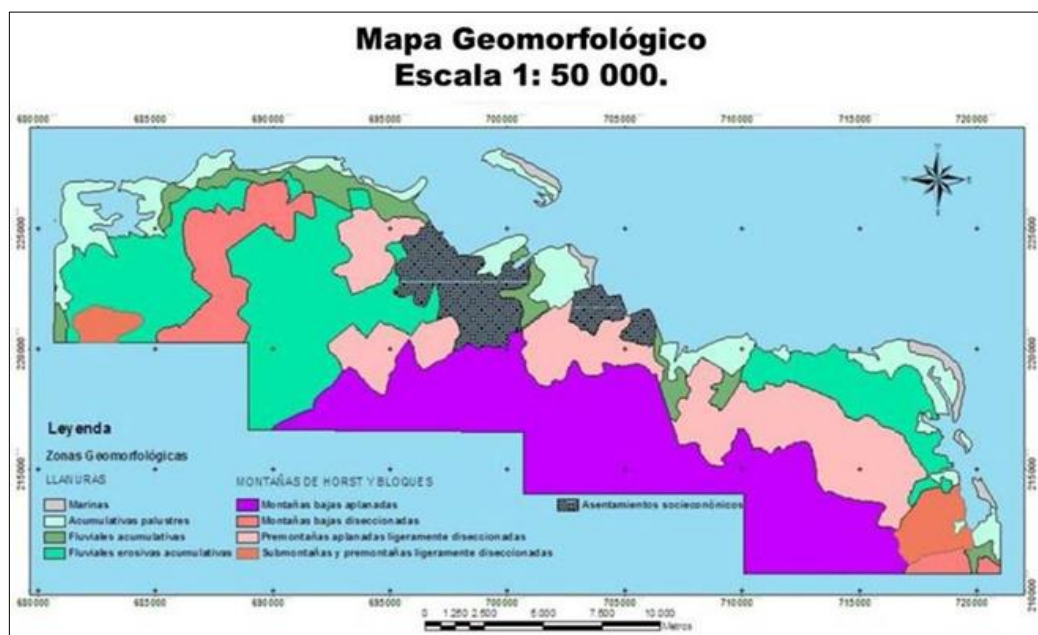


Figura 11. Mapa geomorfológico de Moa. Tomado de (Polanco Almaguer, 2012).

1.6 Geología regional y local

El municipio Moa se encuentra ubicado en el complejo ofiolítico Mayarí - Baracoa, el cual se localiza en el extremo oriental de la Isla de Cuba. En este macizo se pueden distinguir diferentes mantos de cabalgamiento, en los que se aprecian espejos de fricción y escamas tectónicas de diferentes espesores.

La estructura geológica del archipiélago cubano es extraordinariamente compleja y tiene características de faja móvil de carácter lineal. El rasgo principal de la constitución geológica de Cuba es la presencia de las Asociaciones Estructuro- Formacionales (AEF), que se distinguen por su estructura, composición facial e historia de su desarrollo que permite considerarlos como originados en diferentes condiciones paleotectónicas, lo cual constituye una nueva concepción acerca de la zonación estructural en Cuba.

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos transcurridos en un tiempo geológico dado, lo cual justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas (ver Figura 12).

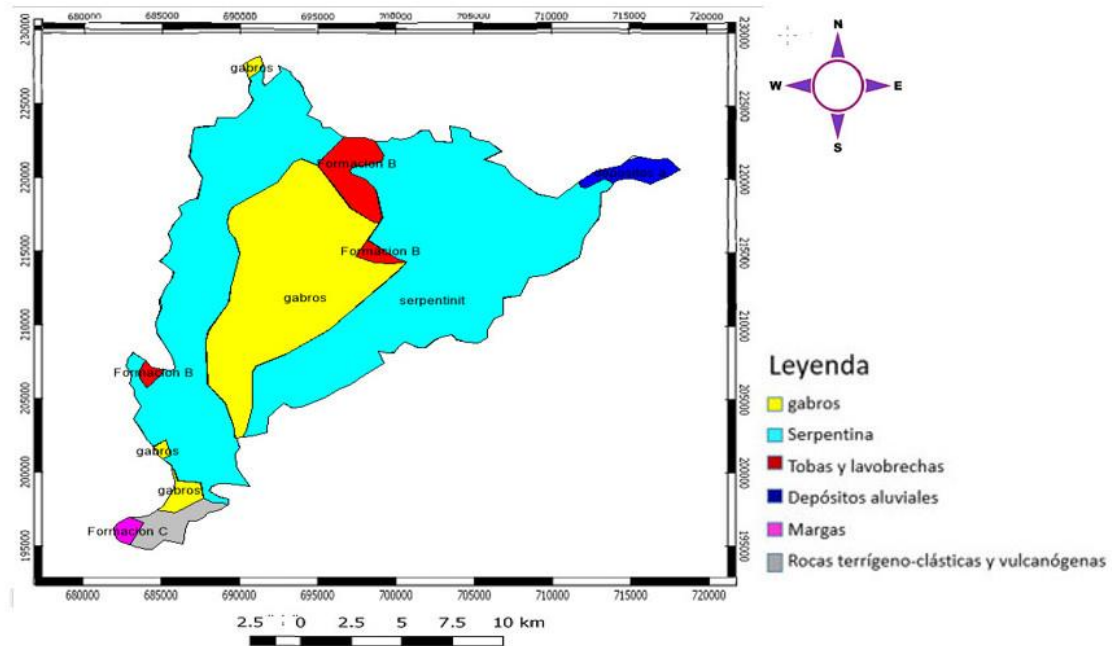


Figura 12. Esquema geológico del área de estudio. Escala original 1:100 000.

Formación Río Macío (Holoceno): está integrada por materiales aluviales de las terrazas de los ríos Moa, Cabañas y Cayo Guam, aparecen ocho capas de estrato. Está formada por sedimentos arenosos, areno - arcillosos y conglomerados, estos últimos conforman fragmentos de rocas ultramáficas serpentinizadas (peridotitas y harzburgitas). Mineralógicamente, se pueden describir por la presencia de óxido e hidróxido de hierro y aluminio. Los minerales de hierro son hematita, goethita, magnetita y de aluminio principalmente gibbsita. Las arcillas están representadas por montmorillonita. En la parte superior del perfil aparecen materiales orgánicos.

Formación Jutía (Pleistoceno - Holoceno): depósitos de pantanos, de mangles, limos y limos arenosos.

Formación Jaimanitas (Pleistoceno Superior): calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas que contiene principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una fina mezcla carbonato -

arcillosa ferruginosa de color rojo ladrillo. Pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas y a veces contienen intercalaciones de margas. La cementación es variable. La coloración predominante es blancuzca o amarillenta.

Formación Yateras (Oligoceno Inferior - Mioceno Inferior parte baja): alternancia de calizas biotriticas y detriticas y calizas biógenas de grano fino a grueso, estratificación fina a gruesa o masivas, duras, de porosidad variable, a veces aporcelanadas que frecuentemente contienen grandes *Lepidocyclinas*. Coloración por lo general blanca, crema o rosácea y con menos frecuencia carmelitas.

Formación Sierra de Capiro (Eoceno Superior): constituida por areniscas, aleurolitas y margas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados finos compuestos por cantos de serpentinitas, calizas arrecifales, cristaloclastos de piroxenos y cuarzo y rocas volcánicas. Hacia la base de la formación se localizan olistostromas de bloques de serpentinitas muy alteradas y diabasas. En muchos lugares se observa una clara gradación de conglomerados y areniscas.

Formación Castillo de Los Indios (Eoceno Inferior - Medio): margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limolitas y tobas.

Formación Bucuey (Cretácico): tobas y lavobrechas, tufitas, argilitas, limolitas, lavas, conglomerados y calizas.

Rocas Serpentinizadas del Complejo Ofiolítico: constituidas por harzburgitas y peridotitas. Se han datado con una edad de Jurásico - Cretácico Temprano. Se considera que estas rocas serpentinizadas poseen un espesor superior a los 1000 m, se presentan en forma de escamas tectónicas muy fracturadas.

Gabros del Complejo Ofiolítico: los cuerpos de gabros forman grandes bloques y diques incluidos en el macizo ofiolítico, cuyos contactos con los otros tipos litológicos son generalmente tectónicos, las dimensiones de los cuerpos de gabros varían de 1 a 3 km de ancho y de 10 a 15 km de longitud. Se estima que presentan un espesor medio de 500 m. Muchas veces los cuerpos de gabros están cubiertos por las rocas ultramáficas fundamentalmente peridotitas.

1.7 Tectónica regional

Desde el punto de vista geotectónico, en el área existen cuatro sistemas principales de fallas (Rodríguez Infante, 1998). El sistema más antiguo de los reflejados actualmente en la superficie tiene su origen asociado al cese de la subducción que generó la colisión entre el arco insular y el margen continental, que origina el emplazamiento del complejo ofiolítico, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites de los cuerpos máficos y ultramáficos dentro del complejo.

Un ejemplo de estas estructuras es la falla ubicada al sur de Quesigüa, al este del río de igual nombre, que pone en contacto las serpentinitas ubicadas al norte con los gabros que afloran al sur, así como las fallas que en El Lirial Abajo, Peña y Ramírez y Caimanes Abajo ponen en contacto a las serpentinitas con las rocas de las formaciones La Picota, Mícara y Quibiján respectivamente.

Estas fallas en su mayoría se encuentran pasivas lo que se demuestra por su pobre reflejo en el relieve, que puede notarse su presencia fundamentalmente por el contacto alineado y brusco entre litologías diferentes. Excepción de lo anterior lo constituye la falla ubicada al sur de Quesigüa que aún se refleja a través de un escarpe pronunciado arqueado, con su parte cóncava hacia el norte que sigue la línea de falla, lo que consideramos está asociado a la actividad geodinámica actual del sector, que es considerado uno de los más activos dentro del territorio (Rodríguez Infante, 1998).

El segundo sistema y de mayor importancia en el territorio está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte - noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre sí, constituido por las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que indistintamente afectan todas las litologías presentes y son a su vez los límites principales de los bloques morfoTECTÓNICOS. Su origen se encuentra asociado al proceso de colisión del Arco Volcánico del Cretácico sobre el Paleomargen de Bahamas en el Eoceno Medio. Las principales estructuras representativas de este sistema son las fallas Los Indios, Cayo Guam, Moa, Cabaña, Quesigüa, Miraflores y Maquey (ver Figura 13).

Falla Los Indios: se extiende desde la parte centro meridional del área al oeste de Cayo Chiquito, que atraviesa hacia el norte la Bahía de Cananova y reflejándose dentro de la zona nerítica marina a través del desplazamiento de la barrera arrecifal y los depósitos litorales. En varios puntos esta estructura aparece cortada y desplazada por fallas de dirección norte - noreste. Su trazado es en forma de una línea curva cóncava hacia el oeste - sudoeste con un rumbo que oscila entre los 10° y 30° oeste en los diferentes tramos que la conforman.

Falla Cayo Guam: con una dirección N15°W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Al igual que la falla Los Indios, esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.

Falla Moa: dentro del territorio es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este con el arco mayor en la zona de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de N48°E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N25°W.

En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N35°E denominado La Vigía y el otro de rumbo N74°E nombrado La Veguita, el que atraviesa la zona marina perilitoral, hasta cortar la barrera arrecifal a la cual limita y afecta, pues en el bloque oriental de la falla, la barrera como tal desaparece, y queda reflejada sólo como un banco de arenas, lo que constituye un indicador del sentido de los desplazamientos.

Falla Cabaña: se extiende desde el extremo centro occidental del área, al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, corta la barrera arrecifal y limita el extremo oriental de Cayo Moa Grande. En su parte meridional presenta una orientación N70°E hasta la zona de Zambumbia donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales, aflora nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova y toma una orientación N56°E la que mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.

Falla Quesigüa: se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, y se mantiene en su parte septentrional, donde su trazo es más recto un rumbo N10°E y en la meridional, N40°W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo.

Falla Miraflores: se extiende en forma de arco cóncavo hacia el este - noreste con un trazo casi paralelo a la falla Moa, con un rumbo N25°W desde el límite sur del área hasta Cayo Chiquito y desde aquí hasta Punta Majá con una orientación N35°E. Su límite meridional al parecer lo constituye la falla Moa al sur del área de trabajo.

Falla Maquey: limita y contornea las estribaciones septentrionales de la Sierra del Maquey. Aflora desde la zona de Hato Viejo hacia el sur de La Colorada, que asume un rumbo N65°E por más de 7 km hasta Calentura abajo donde se cruza con las fallas Moa y Caimanes. En su parte más occidental mantiene una orientación N78°E que es cortada y desplazada por estructuras de orientación noroeste.

El tercer sistema de estructuras está constituido por dos fallas de tipo strike - slip denominadas Cananova y El Medio. Por la posición que ocupan, orientación y componentes fundamentales de los desplazamientos no tienen similitud con las fallas antes mencionadas y su origen corresponde al Mioceno medio, cuando se inician los movimientos hacia el este de la placa del Caribe a través de la falla Oriente, lo que desarrolla un campo de esfuerzo que provoca la compresión del bloque oriental cubano en la zona de sutura de éste con la Plataforma de Bahamas, lo que originó la ruptura y el reacomodamiento de la corteza.

Falla Cananova: presenta un rumbo predominante N53°W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas que corta.

Falla El Medio: con un rumbo aproximado de N40°E. Al igual que la falla Cananova, origina un alto cizallamiento de las rocas a través de todo su trazo.

El cuarto sistema de fracturas corresponde a estructuras sublongitudinales que aparecen en toda el área pero que tienen su máxima expresión en las zonas

periféricas de los sectores de máximo levantamiento, como por ejemplo las fallas a través de las cuales corren algunos tributarios como el arroyo La Veguita del río Moa, el arroyo La Vaca, arroyo Colorado al oeste del Cerro Miraflores y la de mayor envergadura que se encuentra al sur de Caimanes, lo cual permite considerar su origen asociado a procesos de descompresión o expansión de bloques al disminuir las tensiones horizontales que mantienen cohesionado los macizos rocosos debido a los movimientos verticales diferenciales, lo que justifica la ausencia de desplazamientos geológicos y geomorfológicos apreciables. La edad de este sistema es considerado post Mioceno, cuando se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba oriental.

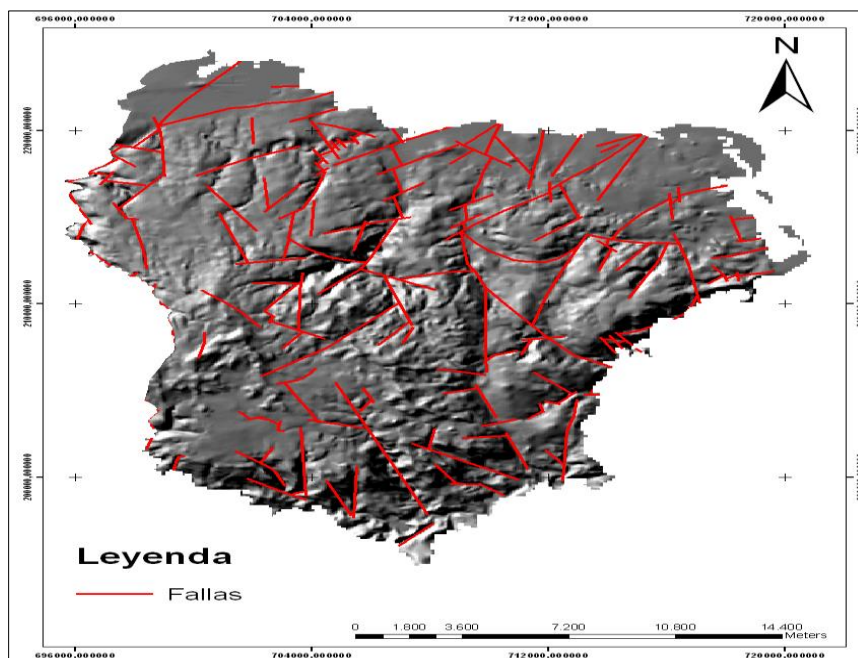


Figura 13. Mapa de fallas del sector este del municipio Moa. Escala 1: 100 000.
Tomado de (Viltres Milán, 2010).

El área de estudio se encuentra afectada por las fallas Moa y Cananova y se localiza en el bloque morfotectónico (figura 14):

Bloque Cabaña. Sub-bloque Norte

Situado al este del bloque Miraflores, con orientación noreste desde la localidad de Zambumbia hasta Cayo Moa Grande, y en su porción meridional, en la zona Cayo Grande-Caimanes Abajo, mantiene una dirección noroeste.

Geológicamente el basamento sobre la cual se sustenta la morfología de este bloque está conformado por las rocas del complejo ofiolítico y sedimentos parálicos y fluviales en la zona aledaña al litoral. El relieve es de llanuras erosivas

y erosivo-acumulativas las que hacia el sur transicionan a submontañas ligeramente diseccionadas con divisorias de configuración arborescente. El drenaje es de densidad moderada a alta. Los valores morfométricos que para este bloque se comportan con gran variabilidad evidencian una intensidad mínima de levantamiento relativo respecto a los bloques laterales con una disección vertical máxima de 100 m/km^2 en la parte centro - septentrional, disminuyendo hasta 90 m/km^2 hacia el norte y 40 m/km^2 hacia el sur. Para el bloque los valores máximos del nivel de base de erosión para el segundo y tercer orden se alcanzan hacia el sur con 200 m y 150 m respectivamente, formándose cierres de isobasas de carácter muy local hacia el norte, en la zona de Playa la Vaca.

Al igual que el bloque Miraflores, este bloque se encuentra cortado por la falla Cananova que presenta valores morfométricos diferenciados entre el sub-bloque norte y sur, desplazándose el sub-bloque norte según el plano de fractura en dirección noroccidental.

La actividad tectónica ha traído como consecuencia el intenso agrietamiento y fracturación del macizo rocoso evidenciado en los testigos recuperados en la perforación, donde fueron observadas abundantes discontinuidades, consistentes en fracturas, grietas y venillas con inclinación variable.

Se observó que la inclinación predominante es la vertical e inclinada hasta 45 grados, aunque también aparecen en abundancia discontinuidades horizontales y subhorizontales separadas escasos cm.

Las fracturas en su mayoría presentan superficies planas y pulidas y planas y rugosas, casi siempre cubiertas por un espesor de relleno de 2-3 mm preferentemente compuesto por magnesita y minerales del grupo de la serpentinita. Las grietas por lo general aparecen selladas por el mismo tipo de relleno y se presentan con diferentes espesores, que abunda las de 1-2 cm y venillas de 1-2 mm.

La presencia de estas discontinuidades ha favorecido la intensidad de los procesos de meteorización y ha provocado que la calidad del macizo rocoso clasifique como mala, según los índices de calidad determinados como el RQD y RMR

Bloque Moa.

Ubicado en la parte central del área, al oeste del bloque El Toldo con el cual contacta a través de la falla Moa, extendiéndose de norte a sur en forma de franja cóncava hacia el este. Está subdividido en dos sub-bloques: Caimanes y Aeropuerto. La componente fundamental de los desplazamientos horizontales está orientada al nordeste.

En este bloque afloran las rocas del complejo ofiolítico en el mayor por ciento de su superficie. Geomorfológicamente para el bloque es predominante el relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas lo que junto a las condiciones litológica permite, que en el sector exista un intenso desarrollo y conservación de las cortezas de meteorización lateríticas, que a su vez condicionan la densidad del drenaje que sólo aumenta en las laderas abruptas, que coincide con las alineaciones tectónicas. Los cursos de agua permanentes van a presentar cauces en forma de barrancos profundos y estrechos.

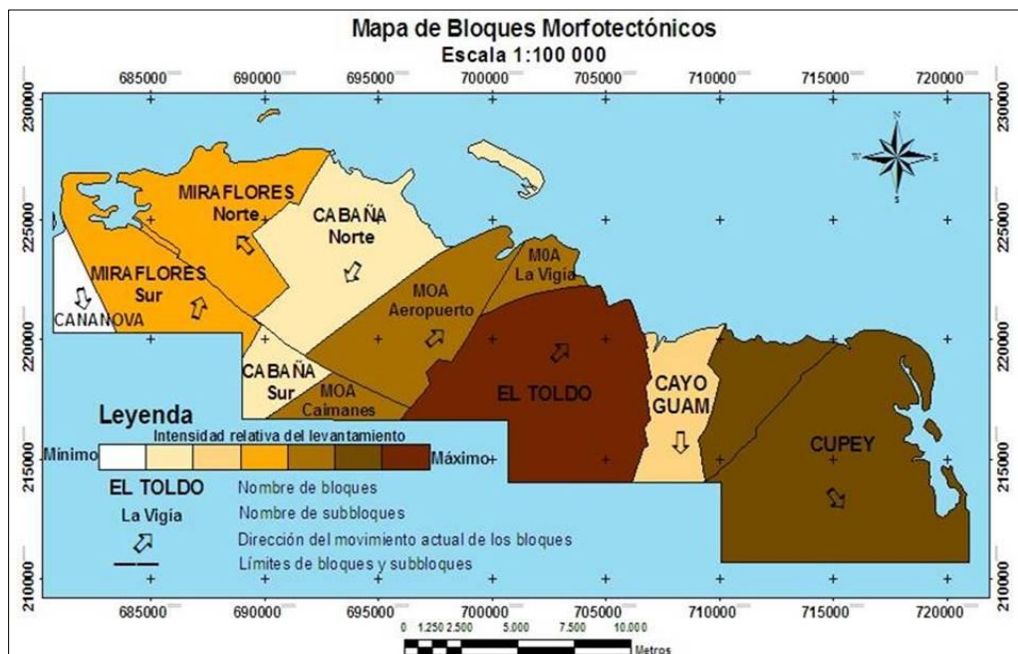


Figura 14. Mapa de bloques morfotectónicos del municipio Moa. Tomado de (Polanco Almaguer, 2012).

1.8 Características hidrográficas regionales

La abundancia de precipitaciones, combinada con el relieve y las características del clima, favorece la existencia de una red hidrográfica bien desarrollada, fundamentalmente del tipo dendrítica, que corre de sur a norte, aunque en algunos casos se observa la red subparalela. Está representada por numerosos ríos y arroyos entre los que se destacan: Yamanigüey, El Medio, Semillero, Quesigüa, Cayo Guam, Punta Gorda, Yagrumaje, Moa, Cabañas y Aserrío (ver Figura 15), los cuales son de carácter permanente, drenan en el mismo sentido que presenta la red. Estos ríos desembocan en la Bahía de Moa, forman deltas cubiertos de mangles, apreciándose en ellos una zona de erosión y otra de acumulación. Forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan numerosos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en las zonas montañosas, mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas. Son alimentados por las precipitaciones atmosféricas y tienen su origen en las zonas montañosas del grupo Sagua - Baracoa. Los mismos sobrepasan los 1,5 m/s (metros por segundo) de velocidad y los gastos oscilan entre 100 y 200 L/s (litros por segundo) algunos pueden tener gastos inferiores. El nivel de los ríos cambia en dependencia con las precipitaciones, los niveles más bajos se observan en el período de seca, correspondiente a los meses de julio a septiembre y los más elevados en la época de lluvia, la cual está comprendida entre los meses de octubre a enero (Viltres Milán, 2010).

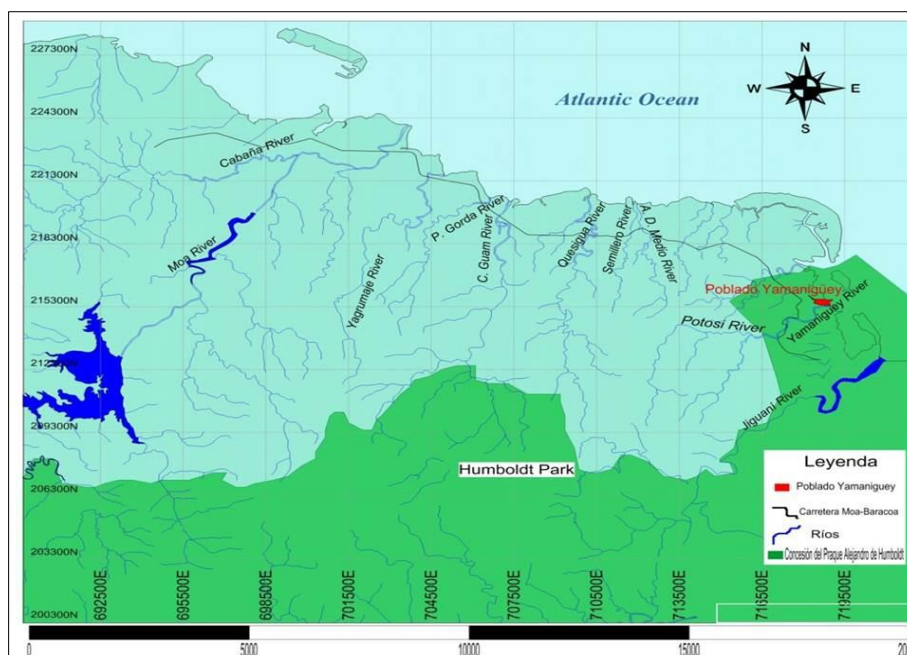


Figura 85. Mapa de red fluvial. Tomado de (Crespo Lambert, 2018).

Según a la extensión superficial de las cuencas hidrográficas los ríos más importantes son el río Moa, con un área de 156 km² y los ríos Cayo Guam, Cabañas, Quesigüa, Yagrumaje, Yamanigüey y Punta Gorda con cuencas hidrográficas muy inferiores, pues ninguna supera los 100 km².

Debido al régimen de precipitaciones, particularidades hidrogeológicas regionales, características de las rocas acuíferas y parámetros hidrogeológicos existentes en el territorio, se considera como una zona de elevada complejidad hidrogeológica, con la existencia de cinco complejos acuíferos fundamentales, a partir de la caracterización del tipo de rocas presentes y de su capacidad para el almacenamiento de aguas subterráneas (Viltres Milán, 2010), que se describen a continuación:

Complejo acuífero de las ofiolitas: se extiende en dirección noroeste - sudeste, al oeste del río Moa. Litológicamente se encuentra constituido por serpentinitas alteradas, peridotitas serpentinizadas y piroxenitas. La capacidad acuífera ha sido poco estudiada; su profundidad de yacencia es de 1,3 - 12 m. El coeficiente de filtración (K) oscila entre 1 - 14,7 m/día, el gasto de aforo (Q) entre 1,2 - 4 L/s.

Complejo acuífero de los sedimentos costeros: se extiende por casi todo el norte del área, y forma una franja estrecha que presenta dimensiones de 1 - 2 km. de ancho. El relieve es costero con cotas de 0 - 2 m sobre el nivel del mar; su edad se corresponde con el cuaternario. Su composición litológica integrada

por depósitos arcillosos contiene fragmentos angulosos de composición múltiple. Las rocas acuíferas se asocian a calizas organógenas, en menor escala sedimentos no consolidados, así como, depósitos arcillo - arenosos con fragmentos angulosos de composición variada. Predominan aguas cársticas y de grietas y en algunos casos intersticiales. Por lo general tienen interrelación hidráulica con el agua de mar. A una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m yace el nivel freático. El coeficiente de filtración (K) de estas rocas alcanza valores hasta los 268,4 m/días, el gasto (Q) es aproximadamente de 14 L/s.

Complejo acuífero de los sedimentos aluviales: se extiende en dirección norte -sur que forma una franja ancha en su parte inferior y estrecha en la superior, que ocupa prácticamente la totalidad de las terrazas de los ríos más importantes, así como, los valles de sus afluentes. Constituido por gravas, arenas, cantos rodados y arenas arcillosas, con 15 m de potencia aproximadamente, estos sedimentos son de edad cuaternaria y se caracterizan por su alta capacidad para el almacenamiento de agua. El coeficiente de filtración (K) varía de 13 - 290 m/días, mientras que su gasto de aforo (Q) oscila entre 2 - 57 L/s. Estas aguas yacen a una profundidad comprendida entre los 1 - 5 m.

Complejo acuífero de las lateritas: se extiende por casi toda la zona de Moa que ocupa gran parte del área. Su composición litológica se corresponde con potentes cortezas de intemperismo, que representa a un acuitardo, debido al predominio de aguas capilares y de potencias considerables de lateritas que alcanzan los 30 m, con un marcado desarrollo de procesos de capilaridad, donde los ascensos capilares de las aguas pueden alcanzar alrededor de 20 m. Las precipitaciones atmosféricas son la fuente principal de alimentación de estas aguas.

Complejo acuífero de los sedimentos terrígenos – carbonatados: aparece este complejo sólo en una pequeña porción al norte del poblado de Cañete. Constituido geológicamente por margas estratificadas, calizas compactas, depósitos brechosos de carácter tanto tectónico como sedimentarios, aleurolitas y conglomerados. Las rocas acuíferas se corresponden con los conglomerados brechosos y las calizas y en menor medida, las margas estratificadas.

1.9 Vegetación regional

El municipio forma parte del sistema montañoso Moa – Baracoa, el mismo representa la zona de mayor biodiversidad del país con un 68 % de especies autóctonas y está ubicado dentro del distrito fitogeográfico Moaense. Éste se destaca por ser uno de los más ricos en cuanto a la diversidad florística del archipiélago cubano, reconocido por la gran cantidad de especies endémicas del mismo, con un total de 976, de ellas 373 que solo crecen en este distrito (Reyes & Del Risco, 1993).

El área sur del municipio queda englobada dentro de una reserva de la biosfera declarada por la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) en el año 1998. La vegetación presente en el área es variada, se encuentran formaciones vegetales tales como: pinares, bosque en galería, arbustivo xeromorfo subespinoso (charrascal) y vegetación secundaria. En estos suelos se desarrolla el pino cubensis (Pino de Moa) y plantas latifolias (ver Figura 16), muchas de ellas endémicas de esta región, forman bosques típicos sobre las laderas.



Figura 16. Vegetación típica desarrollada en subcuenca del río Cabaña

En el municipio de Moa existe una situación particular, es la vegetación muy característica, por lo que ha evolucionado una flora muy típica que comprende el 33 % de todos los endemismos cubanos, en la cual se encuentran pinares, pluvisilvas charrasco y bosques de galerías. La vegetación de estos suelos se

mantiene por la elevada humedad y por los mecanismos de conservación de los nutrientes que los mismos han desarrollado.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA Y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

2.1 Introducción

El presente capítulo, contiene la metodología empleada para la determinación del peligro por inundaciones en la subcuenca del río Cabaña, a través de tres las etapas fundamentales de investigación geológica:

Etapas I. Recopilación de la información y revisión bibliográfica.

Etapas II. Procesamiento de la información.

Etapas III. Trabajo de gabinete.

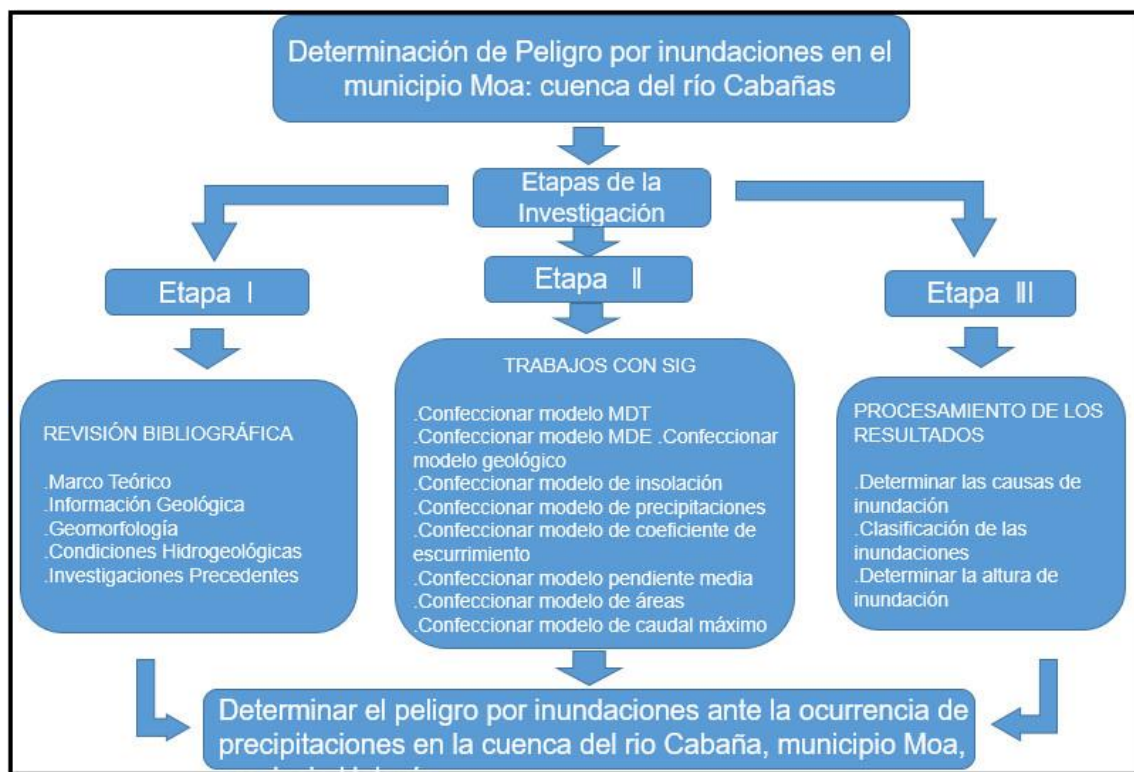


Figura 17. Flujograma de la investigación.

2.1 Etapa I: Recopilación y revisión de la información existente.

En esta etapa se realiza el análisis de la bibliografía existente de la región y área de estudio, de la cual se revisa y recopila la información útil para la investigación. Se hacen búsquedas en el centro de información del ISMM, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diploma, tesis de maestría y doctorales,

además de búsquedas en Internet. Como resultados se obtuvo información referente a la descripción regional desde el punto de vista geológico, ingeniero geológico, de bloques Morfotectónicos, tectónico, geomorfológico y el Modelo Digital del Terreno (MDT) 1:25000. En esta etapa se confecciona el marco teórico conceptual de la investigación.

2.2 Etapa II: Procesamiento de la información.

El Modelo Digital del Terreno constituye la información inicial para los estudios geomorfológicos y topográficos; y es una herramienta fundamental en la interpretación geológica, por ello constituye el primer resultado a obtener que sirve de base a las siguientes actividades a realizar muy importante para los estudios sobre inundaciones que dependen del relieve y de las precipitaciones que se registran en el área de estudio.

La precipitación en los estudios hidrológicos es un componente de gran importancia ya que, en cierto sentido, desata el resto de los procesos del Ciclo Hidrológico. Desde el punto de vista de la subcuenca es la precipitación la variable que entra al sistema y se reparte en el resto de los procesos (Durand, 2002).

Existen varios métodos para calcular la lluvia media caída sobre un área conocida, dentro de los cuales están los siguientes: El cálculo de las precipitaciones está dado por la aplicación de diferentes métodos, de ellos se encuentran entre los más utilizados a nivel mundial: Aritmético, Polígonos de Thiessen, Curvas Isoyetas y el Mapa Isoyético confeccionado para cada país.

El método Aritmético es de simple uso, rinde buenos resultados en terrenos montañosos si la red de pluviómetros es bastante densa y uniforme. El mismo se puede adaptar al procesamiento automático de datos. Además, garantiza resultados consistentes cuando los cálculos son realizados por diferente personal. Sin embargo, conduce a malos resultados si los pluviómetros son pocos y están mal distribuidos. Los pluviómetros localizados fuera de la cuenca son difíciles de tomar en cuenta y requiere una red densa para alcanzar la misma precisión de otros métodos.

Este método es el más simple pero el más inseguro de todos, que da unos buenos estimativos en áreas planas, si los pluviómetros están distribuidos

uniformemente y el valor captado por cada uno de los pluviómetros no varía mucho a partir de la media. Estas limitaciones se pueden prever si las influencias topográficas y la representatividad del área se consideran en la selección de los sitios en los cuales se van a ubicar los pluviómetros.

El método de Promedio Aritmético, consiste sencillamente en igualar la precipitación media caída sobre una cuenca al promedio aritmético de las lluvias registradas en los pluviómetros de la zona, o mejor dicho como su nombre lo indica, es el resultado obtenido al dividir la suma de las profundidades de agua caída de los registros de todas las estaciones pluviométricas, por el número de estaciones.

Por lo tanto, se deben considerar los valores de precipitación pluvial de las estaciones dentro y en límite de un área analizada o de una cuenca y no tomar en cuenta los valores de las estaciones circundantes que no caigan dentro del área considerada.

Si las estaciones están uniformemente distribuidas en la cuenca y la lluvia varía de una manera regular, el resultado obtenido por este método no difiere gran cosa del resultado obtenido por otro cualquiera. Sin embargo, como esta condición rara vez se cumple, el uso de este método no se recomienda, excepto para cálculos muy preliminares.

Por lo anterior, este método solo es aplicable a zonas planas donde las estaciones presenten una distribución uniforme y donde las lluvias registradas por cada pluviómetro no difieran mucho entre sí. También se necesitan condiciones homogéneas, donde no haya variabilidad de altura y diferencias de precipitaciones significativas. La fórmula general de éste método, es la siguiente:

$$Pm = \frac{P1+P2+\dots.Pn}{n}$$

Donde:

Pm = Precipitación Media

P1, P2, Pn = Precipitación de los pluviómetros

n = Cantidad de pluviómetros con lecturas.

El método Isoyético teóricamente es el más exacto. Permite realizar una evaluación visual de la extensión y distribución de la precipitación. Los pluviómetros localizados a corta distancia de la cuenca pueden ser utilizados. Es adaptable para uso en grandes cuencas con red pluviométrica dispersa. No obstante, es el método más laborioso, depende enormemente de la práctica y habilidad de la persona que realiza el análisis. Diferentes personas pueden obtener resultados distintos para los mismos datos y no es adaptable al procesamiento automático de datos.

Este método consiste en trazar curvas de igual precipitación para un periodo elegido. Los intervalos de profundidad de precipitación y de incremento de tiempo se toman de acuerdo a la necesidad del problema.

Las curvas isoyetas son líneas que unen puntos de igual cantidad de lluvia. Estas líneas se trazan con la interpolación de los datos puntuales dados por los distintos pluviómetros con una técnica similar a la utilizada en topografía, y de acuerdo a las condiciones locales de la cuenca.

El trazado de las isoyetas debe considerar la variación de la precipitación con la altura y las condiciones sinópticas de la zona. Por medio de la planimetría se determina el área entre dos curvas isoyetas contiguas, y se multiplica por el valor de la isoyeta intermedia que define la cantidad de lluvia entre las dos isoyetas contiguas. La precipitación media para el área se calcula con la ponderación de la precipitación media, para el área se calcula ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas (por lo general se toma el promedio de dos valores de las isoyetas) por el área de las isoyetas, y se totalizan estos productos y se divide este por el área total.

El cálculo de las áreas como ya se indico puede realizar con el planímetro o con el paso de franjas de papel o con la superposición del mapa a un papel milimetrado (método de la cuadrícula).

Para trazar las isoyetas, se recomienda superponer la cuenca a un mapa con curvas de nivel, para tener en cuenta el efecto de la orografía, pues de otra forma no se diferencia mayormente de recurrir a interpolaciones lineales, sobre todo cuando se trabaja en zonas montañosas. Este método es el más preciso cuando el análisis de las curvas se hace debidamente.

El método de las isoyetas permite el uso y la interpretación de toda la información disponible y se adapta muy bien para discusión. En la construcción de un mapa de isoyetas, el analista puede utilizar todo su conocimiento sobre los posibles efectos orográficos y la morfología de la tormenta: en este caso el mapa final debe representar un patrón mucho más real de la precipitación que aquel que se puede obtener con la utilización únicamente de las cantidades medidas. La exactitud del método de las isoyetas depende en gran parte de la habilidad del analista. Si se utiliza una interpolación lineal entre estaciones, el resultado será esencialmente el mismo que se obtiene con la utilización del método de Thiessen. Además, un análisis inadecuado puede conducir a errores considerables.

El método Polígonos de Thiessen conduce a resultados usualmente más exactos que los obtenidos con el promedio aritmético, cuando se usa un buen número de estaciones. Permite además utilizar redes pluviométricas con distribución no uniforme. El mismo es adaptable al procesamiento automático de datos. Los pluviómetros localizados a poca distancia del parte aguas de la cuenca pueden ser utilizados. Resulta este método relativamente fácil de usar cuando los polígonos han sido cuantificados. Presenta como deficiencia que todos los polígonos deben ser nuevamente evaluados cuando la red cambia y no toma en cuenta las influencias topográficas, pues considera variación lineal de la lluvia entre pluviómetros. Implica más trabajo que el método aritmético.

Estos métodos dan un resultado que puede ser expresado en mm, cm o pulgadas de lluvia caída por un área específica, mm la dimensional más usada en los países latinoamericanos.

Este método es aplicable a zonas con una distribución irregular de estaciones y donde los accidentes topográficos no jueguen un papel importante en la distribución de las lluvias.

El método de Thiessen trata de tener en cuenta la no uniformidad en la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos. La precipitación media se determina como sigue:

- a) Se dibuja la zona en estudio con la ubicación exacta de las estaciones que contiene las circunvecinas.

b) Se trazan las mediatrices (líneas perpendiculares bisectrices a las líneas de unión) de todos los lados, con lo que se formarán unos polígonos alrededor de cada estación se mide el área de otro método, y se expresa como un porcentaje del área total y su relación con el área total produce un coeficiente de ponderación para cada estación. Para el trazo de las mediatrices, existe una regla: “Tienen prioridad las mediatrices de las líneas de unión más cortas”, por lo tanto, las mediatrices de las líneas de unión más largas se consideran a veces.

c) La lluvia media resulta de la sumatoria de los productos de las lluvias registradas en cada estación por el coeficiente de ponderación correspondiente, o como un promedio aritmético ponderado de acuerdo a las Áreas (A_i) de cada polígono, dándose por las siguientes formulas:

$$P_m = \frac{(P_1 * A_1) + (P_2 * A_2) + (P_3 * A_3) + \dots + (P_n * A_n)}{AT}$$

Simplificando:

$$P_m = \frac{P_i * A_i}{AT}$$

$i=n, i=1$

Donde:

P_m = Precipitación media

P_i = Precipitación de cada estación contenida en un polígono.

A_i = Áreas parciales de cada polígono

AT = Área total de la cuenca

La superficie de cada uno de estos polígonos, forman los factores A_i de ponderación de la formula y se mantienen invariables para una determinada cuenca mientras todas las estaciones aporten ininterrumpidamente sus datos. De esta manera se facilita el cálculo, pues basta multiplicar la precipitación caída durante un cierto intervalo de tiempo en un punto por el factor de ponderación de este punto o estación y sumarla a las estaciones restantes con la división final de la suma de estos productos por la superficie total de la cuenca. Para la determinación de los polígonos se aprovechan también las estaciones que están fuera de la cuenca, pero cerca de ella. Cuando en este caso se extienden los

polígonos fuera del área considerada, se ocupa solo la parte del polígono que queda dentro de la cuenca.

Los resultados son por lo general más exactos que aquellos obtenidos por un simple promedio aritmético. La mayor limitación del método de Thiessen es su poca flexibilidad, puesto que se requiere un nuevo diagrama cada vez que hay un cambio en la red. El método tampoco tiene en cuenta influencias orográficas. En realidad, el procedimiento de Thiessen simplemente supone una variación lineal de la precipitación entre las estaciones y asigna un segmento del área a la estación más cercana.

De acuerdo con la disponibilidad o carencia de datos, se han desarrollado diferentes tipos de métodos para el cálculo del escurrimiento máximo. Estos métodos son:

- Métodos estadísticos.
- Métodos hidrológicos.
- Formulas y métodos empíricos
- Método hidráulico de huellas máximas.
- Curva envolvente de los gastos máximos (Q_{max}).

El coeficiente de escurrimiento es un valor adimensional que establece la relación fija entre la tasa de lluvia para la cuenca de drenaje y el escurrimiento superficial y subsuperficial, depende de las características y condiciones de las cobertura del suelo, de la intensidad de la lluvia, proximidad del nivel freático, el grado de compactación del suelo, entre otras.

Debido al proceso complejo de conversión de la lluvia en escurrimiento superficial, se ha dado lugar a que se desarrolle una gran cantidad de métodos para calcular los escurrimientos a partir de lluvias. Los principales parámetros que intervienen en este proceso de conversión son: área de la cuenca, altura total de precipitación, características generales o promedio de la cuenca (forma, pendiente, vegetación, etc.), distribución de la lluvia en el tiempo, distribución en el espacio de la lluvia y de las características de la cuenca (Fuentes et al.; Aparicio; González).

Según Batista en los últimos 20 años el cálculo del escurrimiento medio anual para un período largo de tiempo se ha efectuado con la utilización de datos de observaciones hidrométricas cuando éstas existen, y en los casos de no disponer de la información necesaria, mediante la conocida ecuación del balance hídrico adaptada a las condiciones de Cuba, así como por fórmulas y ecuaciones deducidas a partir de los datos hidrológicos.

González considera que debido a su simpleza, las fórmulas empíricas tienen gran difusión pero pueden conducir a grandes errores, ya que el proceso de escurrimiento es mucho más complejo como para simplificarlo en una expresión algebraica de tipo directo, en la que se implican el área de la cuenca y el coeficiente de escurrimiento.

Pereyra y Hernández citados por González, indican que los modelos empíricos se basan en ecuaciones empíricas obtenidas en otros sitios, que relacionan las características más representativas de las tormentas, de las cuencas y de los hidrogramas de las avenidas, por ejemplo, relacionan el gasto máximo o gasto de pico del hidrograma con la intensidad media de la tormenta, el área de la cuenca, la pendiente media del cauce, etc., y se recomienda usarlos sólo cuando no sea posible utilizar métodos estadísticos o métodos hidrometeorológicos. Sobre el cálculo del escurrimiento, caudal o gasto máximo, Fundora (1989) expresa que es una de las tareas más complicadas y de mayor responsabilidad de la hidrología

Según Flores et al., se reportan diversas metodologías para la evaluación del escurrimiento superficial y con el avance tecnológico de las computadoras y software, como SWAT, SWRRWB, ANSWER, WEPP, AGPNS, QUAL2E, PROUTE, se han generado modelos hidrológicos que estiman con bastante precisión los procesos involucrados en una cuenca. En países subdesarrollados, sin embargo, la aplicación de estos modelos hidrológicos es muy limitada por la falta de datos, tanto para calibrarlos, como en su validación.

Wisler precisaba que el uso de fórmulas empíricas debe estar precedido de una investigación sobre su origen, de una familiarización con los datos en los que se fundamentan, de un conocimiento de las condiciones bajo las que se intenta hacer uso de ellas y de las áreas a las que se aplican, así como, comprender las limitaciones que los usos de estas fórmulas han hecho sus autores. En la

actualidad existen una gran variedad de métodos y fórmulas empíricas, pero el principal problema es la aplicación correcta de estas. (Hierrezuelo, 2016)

Método racional

Wisler (1966) confirma que la formula racional es una de las más viejas y conocidas que ha sido utilizada en el diseño de conductos de aguas pluviales. La expresión de esta fórmula ha sufrido cambios en dependencia de las unidades de medida en que se ha expresado sus términos. La normas Cubana (CEN, 1984a) la expresa como:

$$QP = 166.67 * C * IP * A$$

Donde:

C: Coeficiente de escurrimiento (adimensional).

IP: Intensidad de precipitación, para la probabilidad dada (mm/min).

A: Área de la cuenca (Ha).

QP: Gasto o caudal para la probabilidad dada (l/s).

Se obtiene el valor del coeficiente de escurrimiento (C), de la tabla 3 de acuerdo con los tipos de suelos, uso del suelo y pendiente. Cuando el área de drenaje presenta diferentes tipos de suelos, vegetación y pendiente media. El coeficiente de escurrimiento (C), se obtendrá para cada área parcial y posteriormente se calculará el promedio ponderado para aplicarlo en la ecuación.

Tabla 2. Tabla sobre usos del suelo y pendiente del terreno.

Uso del suelo y pendiente del terreno	Textura del suelo		
	Gruesa	Media	Fina
Bosque			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (11-30% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Plano (0-5% pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (6-10% pendiente)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (11-30% pendiente)	0.22	0.42	0.60
Terrenos cultivados			
Plano (0-5% pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (6-10% pendiente)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (11-30% pendiente)	0.52	0.72	0.82

Método de las curvas numéricas o del SCS (USA)

Para estimar el escurrimiento medio por evento y el máximo instantáneo se utiliza el método de las curvas numéricas, el cual utiliza los datos de precipitación por evento o la precipitación máxima para un periodo de retorno deseado y el máximo potencial de retención del agua del suelo como se presenta en la ecuación 4-3.

$$Q = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + (0.8 S)} \quad (4-3)$$
$$Q > 0 \text{ si } 0.2 S \leq P$$
$$\text{si no } Q = 0$$

Dónde:

Q = Escurrimiento medio (mm).

P = Precipitación por evento (mm).

S = Retención máxima potencial (mm)

Como el potencial máximo de retención de agua del suelo (S) depende de las condiciones del suelo, vegetación y manejo del cultivo, entonces es factible relacionarlo con las curvas numéricas, las cuales son función de los factores antes mencionados.

Método de las isócronas. Según expresa González (2000) el método de las isocronas se basa en el comportamiento del escurrimiento en una cuenca como repuesta a la ocurrencia de un aguacero. El escurrimiento llega a un punto o al cierre de una cuenca en instantes diferentes, cuando procede de lugares distintos de la cuenca de drenaje. El agua que aparece primeramente en la crecida de la corriente proviene de un área próxima al punto de concentración o cierre. El agua que proviene de las áreas más extensas, de la parte más central de la cuenca, llega más tarde, y finalmente llega el agua que proviene de las partes más alejadas de la misma. En consecuencia, el área de la cuenca puede dividirse en zonas de las que llega el agua, sucesivamente, al punto de concentración. Las líneas que separan estas zonas se denominan isocronas, que no son más que líneas de igual tiempo de concentración (etc.). El método

de las isocronas permite tener en cuenta una distribución no uniforme de lluvia cuando existen suficientes pluviómetros en una cuenca como para delinear una configuración de lluvia que sea confiable. Esto significa una ventaja sobre el hidrograma unitario, en el cual la distribución relativa de escurrimiento se calcula para crecidas individuales, causadas por distribuciones uniformes o típicas de la lluvia para una duración específica (González 2000). El método de la isocronas, para estimar las ordenadas del hidrograma de una avenida producto de una lluvia que ocurra en la cuenca, necesita los datos siguientes:

Un plano cartográfico con curvas de nivel.

El histograma de intensidades de la lluvia neta.

Características físicas de las cuencas

La ecuación básica para hallar el componente de gasto (Q_i , producto de una intensidad de lluvia neta (I_n) en un área determinada (A_i), será:

$$Q_i = I_n \cdot A_i$$

Para aplicar el método necesario descomponer la superficie de la cuenca en un cierto número de zonas ($A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$) limitadas por las isócronas, de forma que una gota de agua que caiga en esas zonas tarde en llegar a la salida de la cuenca tiempos sucesivos de valor $t, 2t, 3t, \dots, nt$, es t la unidad de tiempo considerada. La distribución de las áreas entre isócronas (distribución área-tiempo) se considera constante para una cuenca dada y para todos los hidrogramas de crecidas. En relación con el cálculo de dicha distribución se hace determinar, o en su defecto asumir, un tiempo medio de recorrido (t_r) o una velocidad media del flujo de la corriente.

Se considera un tiempo medio de recorrido, se calcula desde diferentes zonas el tiempo que demora el agua en llegar al cierre y de esa forma se llena el área de la cuenca de puntos con tiempo de recorridos conocidos. Se logra hallar a si el tiempo que tarda en llegar al agua al cierre estudiado, desde una serie de puntos con los que, a semejanza de las curvas de nivel de un levantamiento topográfico, se dibujan las curvas isócronas. (González, 2000).

Recomendaciones prácticas para el trazado de las curvas isócronas:

Seleccionar un plano cartográfico con curvas de nivel, con escalas entre 1:2000 hasta 1:50000, según el área de la cuenca.

Delimitar el sistema fluvial de la cuenca con consideración que el cauce principal y sus afluentes, o en caso de drenaje urbano, el recorrido del agua por la ciudad.

Estimar el tiempo de concentración de la cuenca por algunas de las ecuaciones descritas por el método racional.

Las isócronas se trazan sobre un mapa de la cuenca de acuerdo con la velocidad media de la corriente en el curso de agua o con el tiempo medio de recorrido.

Para definir puntos por toda la cuenca con estimados de tiempo medio de recorrido, se determina el tiempo de recorrido por los cauces desde varios puntos de la cuenca hasta el cierre, con el uso de algunas fórmulas de tiempo de concentración. Se pueden incorporar también puntos intermedios ubicados fuera de los cauces.

Escoger un intervalo Δt , submúltiplo del tiempo total de concentración de la cuenca, para el trazado de las curvas. En cualquier caso, el intervalo del tiempo separación entre isocromas debe calcularse de forma tal que el número de formas delimitadas sea mayor de cinco, como mínimo.

Las isócronas cortan ortogonalmente a los cauces, que presenta su concavidad hacia abajo, y las divisorias que forman ángulos agudos hacia arriba.

Si una isócrona llega a una divisoria parcial o total, sigue por la divisoria hasta encontrar la misma isócrona de la cuenca vecina, si antes no tiene que cortar a otra isócrona; en caso contrario, sigue por la divisoria hacia aguas abajo hasta encontrar la inmediata superior.

El trazado de las curvas isócronas define la distribución tiempo-área de la cuenca y es definitoria del hidrograma para lluvia uniforme de duración unitaria (Δt), es esta la diferencia de tiempo entre isócronas.

Determinación de las ordenadas de gasto del hidrograma.

En el caso de que el hidrograma de la lluvia neta sea compuesto, o sea, formado por periodos de lluvia de intensidades diferentes, las ordenadas de gasto del hidrograma de avenida se estiman por la ecuación general:

$$Q_i = I_1 \cdot A_i + I_2 \cdot A_{i-1} + I_3 \cdot A_{i-2} + [\dots] + I_i \cdot A$$

Donde:

A_i : Áreas parciales entre curvas isócronas.

I_k : Intensidades de la lluvia neta o lluvia en exceso, a la probabilidad de diseño, ocurrida en un intervalo de tiempo específico de simultaneo en toda la cuenca. Se determinan por el hiteograma de lluvia neta.

Donde:

I_p : Intensidad de la precipitación para a probabilidad dada en (mm/h).

A : Area de la cuenca (km²).

Q_p : Gasto o caudal para la probabilidad dada (m³/s).

Por lo que, sobre la base de la ecuación anterior, se puede definir como una ecuación particular para estimar las ordenadas de gasto del hidrograma de avenida, la siguiente:

Donde:

I_k : Intensidades de la lluvia neta o lluvia en exceso, a la probabilidad de diseño (mm/h).

A_i : Áreas parciales entre curvas isocronas (km²).

Q_i : Gasto o caudal para la probabilidad dada (m³/s).

Para obtener las informaciones necesarias que garantizan el cumplimiento del objetivo de la investigación se realizan visitas al área de estudio con el objetivo de precisar el trazado de los perfiles y la metodología a seguir para la medición del caudal en diferentes sectores representativos del perfil del río.

Una de las herramientas que se utilizó para el desarrollo del trabajo fue Mapinfo Profesional es una potente herramienta de Sistemas de Información Geográfica que le permite realizar diversos y complejos análisis geográficos ideales para facilitar la toma de decisiones: Captura, Consulta, Edición, Análisis y Reportes de Información Geográfica dinámicamente relacionada con Bases de Datos. Tiene un entorno amigable, fácil de usar, compatible con Microsoft Windows 9X y con Office. Permite realizar análisis geográficos complejos tales como zonificar, conectarse con bases de datos remotas, arrastrar e insertar objetos de mapa en

otras aplicaciones, crear mapas temáticos para realzar tendencias y relaciones existentes en los datos alfanuméricos. Gestión de mapas de alto detalle que permiten observar relaciones y tendencias de una manera fácil y clara dentro de la complejidad y abundancia presente en sus bases de datos, sin necesidad de hacer un extenso análisis sobre las posibles relaciones entre los datos alfanuméricos.

Además se trabajó también con el Global Mapper que es más que solo un utilitario, que fue construido con funcionalidad para cálculos de distancia y área, este poderoso software posibilita raster blending, flecos, análisis espectral y ajuste de contraste, consulta de elevación, cálculos de vista, recortar y llenar cálculos de volumen, así como capacidades avanzadas como rectificación de imágenes, generación de contornos de nivel a partir de datos de superficie, análisis cobertizo (incluyendo Fresnel) con datos de superficie, comparación capa por capa de terreno (incluyendo la diferenciación) y triangulación y gridding de datos 3D. Las tareas repetitivas se puede realizar con el uso del lenguaje script disponible o la funcionalidad de conversión global de lote. Sus archivos de datos se pueden cargar como capas, por ejemplo un Modelo Digital de Elevación (DEM) se puede cargar con un mapa topográfico escaneado para crear una visualización en 3D del mapa. Una imagen aérea digital puede ser cubierta en la superficie junto con el mapeo de vector para crear un contorno impresionante y gráficas informativas. Los resultados pueden ser impresos, o el área de trabajo puede ser exportada para una imagen raster de alta resolución para uso en una presentación o un informe.

Para la presente investigación se sigue un procedimiento a través del uso de métodos indirectos para la determinación del potencial hídrico superficial, conformado por los pasos siguientes:

2.2.1 Identificación y caracterización físico-geográfica general de la subcuenca hidrográfica río Cabaña.

Las características físicas, geomorfológicas de la cuenca dependen de su estructura geológica, del relieve de la superficie terrestre, el clima, el tipo de suelo, la vegetación y, cada vez en mayor medida, de las repercusiones de la acción humana en el medio ambiente de la cuenca. Las principales características físicas geográficas se describen son:

- **Divisoria de aguas:** La divisoria de aguas o parte aguas es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico que sirve para delimitar la cuenca hidrográfica y/o separar una cuenca de las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria de aguas desemboca generalmente en ríos distintos. La divisoria de aguas de la cuenca se puede trazar si se indica la longitud y latitud de los puntos más altos a lo largo de ésta, y asume que entre ellos la línea que los une es una línea recta
- **Perímetro de la cuenca:** El perímetro de la cuenca se refiere a la longitud de la divisoria de aguas. Es característico para cada cuenca, pues su magnitud será diferente aun cuando su área sea igual a otra.
- **Área de la cuenca:** El área de la cuenca está definida como la proyección horizontal de toda la cuenca delimitada por la divisoria de aguas, conocida también como área de recepción o drenaje. Se expresa en hectáreas si la cuenca es pequeña o en kilómetros cuadrados cuando es mayor, generalmente se trabaja con una sola cifra decimal. Para el cálculo de las áreas se utilizaba el planímetro; sin embargo actualmente se usan más las computadoras para hallar este parámetro apoyados en fotografías satelitales
- **Río principal:** El río o corriente principal de una cuenca se define como el curso que pasa por la salida de la misma, el de mayor caudal (medio o máximo), o bien el de mayor longitud o mayor área de drenaje. Estos conceptos son más bien arbitrarios y solamente aplicables a cuencas exorreicas.
- **Afluentes:** Las corrientes tributarias o afluentes son los ríos secundarios que desaguan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada sub-cuenca. Entre más afluentes tenga una cuenca, es decir, entre mayor sea el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación.
- **Longitud de la cuenca:** La longitud de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del curso del río principal entre la desembocadura (estación de aforo) y un punto aguas arriba de la naciente

donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca (divisoria de aguas).

- **Subcuencas y microcuencas:** La división en subcuencas y microcuencas es importante en los estudios hidrológicos detallados, debido a que permite la obtención de los distintos parámetros objeto de estudio en ellas.
- **Relieve de la cuenca:** El relieve de una cuenca consta de los valles principales y secundarios, con las formas de relieve mayores y menores y la red fluvial que conforma una cuenca. Está formado por las montañas y sus flancos; por las quebradas o torrentes, valles y mesetas. Es muy importante ya que puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma misma de la cuenca e influye en la determinación de las pendientes.
- **Curva hipsométrica:** La curva hipsométrica es un parámetro relativo al relieve de la cuenca que representa la variación entre la altitud o cota y el área drenada por debajo o por encima de dicha altitud. La curva hipsométrica se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km² o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros.

2.2.2 Selección del método para determinar el potencial hídrico superficial (escurrimiento superficial) en la cuenca hidrográfica, subcuencas y microcuencas objeto de estudio.

La determinación del potencial hídrico superficial en la región en estudio específicamente, se realiza por los métodos hidrológicos y su selección dependerá de las condiciones e informaciones básicas disponibles, entre ellos están los siguientes:

- Método racional
- Método de las curvas numéricas.
- II Variante de José Luis Batista.
- III Variante de José Luis Batista.
- Fórmulas Clásicas.
- Fórmulas Hidrometeorológicas.

- Método de las isócronas.

El valor del escurrimiento superficial máximo representa las inundaciones máximas en la cuenca hidrográfica por lo que es importante su selección correcta y oportuna.

2.2.3 Determinación y representación espacial de los parámetros que sirven como base para los cálculos del potencial hídrico superficial.

Para la determinación del potencial hídrico superficial, los métodos exigen los siguientes parámetros:

- Determinación de cierres óptimos
- Determinación de las lluvias netas en los cierres seleccionados
- Determinación del área de las cuencas
- Longitud del perímetro
- Longitud del río principal y sus afluentes
- Determinación de las pendientes medias
- Factor de rugosidad de los suelos
- Coeficiente de escurrimiento, entre otros.

En el caso de los SIG, al obtener el mapa topográfico digitalizado, se puede a través de herramientas internas modelar el relieve y obtener el Modelo Digital de Elevación (MDE), que consecutivamente permite obtener el Modelo Digital de Pendientes (MDP). (Figura 18)

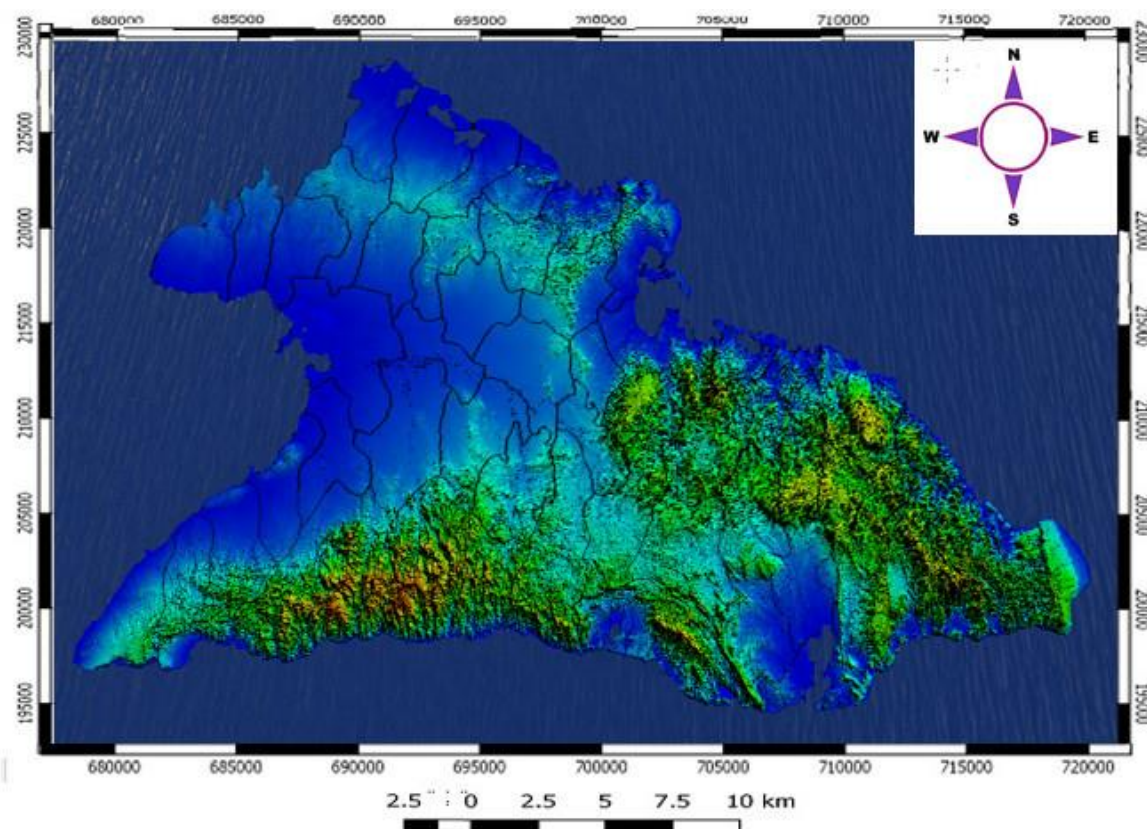


Figura 18. Imagen del modelo digital de elevación de la Región oriental Cuba a escala 1:25000.

Actualmente para delimitar las cuencas, las subcuencas y microcuencas se emplea el Modelo Digital de Elevación, que permite mayor facilidad y confiabilidad al trazar la línea perimetral. Consecutivamente los SIG, una vez delimitada la cuenca determina el área total delimitada y la longitud del perímetro de forma automatizada, con el incremento de la veracidad de los resultados y disminuyendo el tiempo de trabajo de los especialistas. (Figura 19)

Para la determinación y representación espacial de las lluvias en los cierres seleccionados, se utilizan los métodos

- Método Aritmético,
- Método Isoyético,
- Método de Polígonos de Thiessen, entre otros.).

De igual forma se emplean los datos aportados por el mapa isoyético nacional, rectificado con los datos de estaciones pluviométricas cercanas a la cuenca correspondiente a un periodo temporal determinado. (Figura 20)

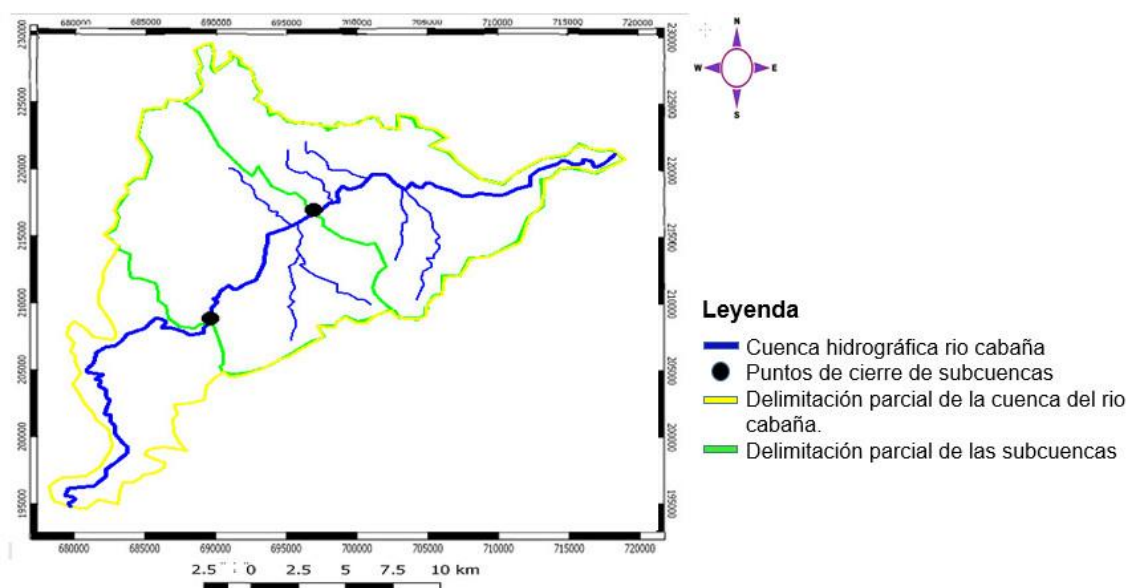


Figura 19. Ejemplo de delimitación en Subcuencas del río Cabaña, Moa con el empleo de un SIG

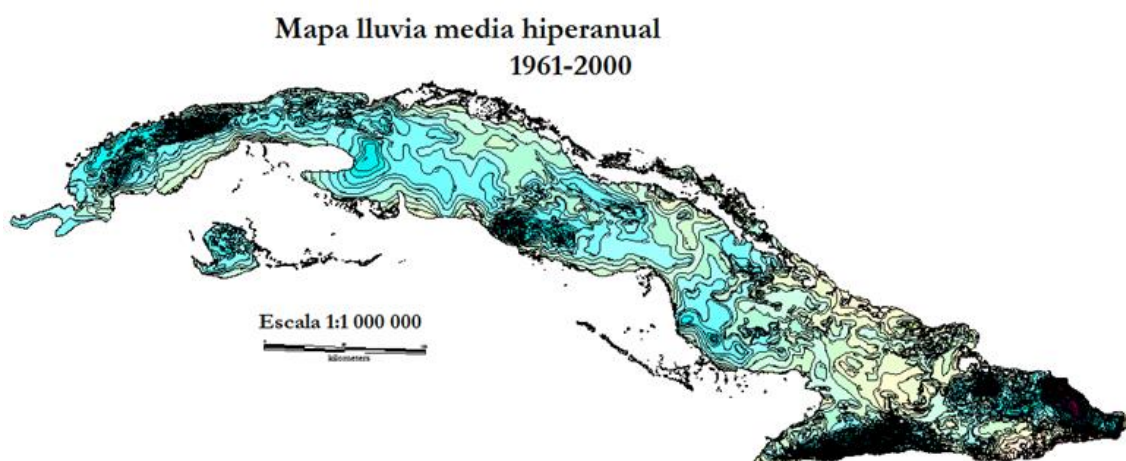


Figura 20. Imagen del Mapa isoyético nacional de Cuba. Fuente: CITMA, 2002.

La identificación y representación espacial del factor de rugosidad de los suelos y el coeficiente de escurrimiento de la cuenca se obtiene de distintas informaciones básicas, entre ellas: la geología, el mapa de suelos agrícolas digitalizado, de uso de suelos y mapa de vegetación. Se determinan los valores combinados con los elementos que brinda cada cartografía y por último se le asigna un valor a cada área analizada según las proposiciones realizadas por los distintos especialistas.

2.2.4 Representación espacial del potencial hídrico superficial en la cuenca o subcuencas seleccionadas con el uso de un SIG.

Con la representación espacial de los parámetros básicos, se procede a la representación espacial del potencial hídrico superficial de la cuenca o escurrimiento superficial. Para ello los SIG sustituyen los valores de las formulaciones originales por los nombres de las capas o mapas obtenidos con la representación espacial de los parámetros básicos, y a través del comando aceptar la calculadora procesa y emite un mapa resultante con los potenciales hídricos superficiales detallados en cada punto del río o de la subcuenca (ver Figura 21). De este mapa en cualquier momento y punto se puede conocer el valor del escurrimiento superficial que le corresponde (ver Figura 22).

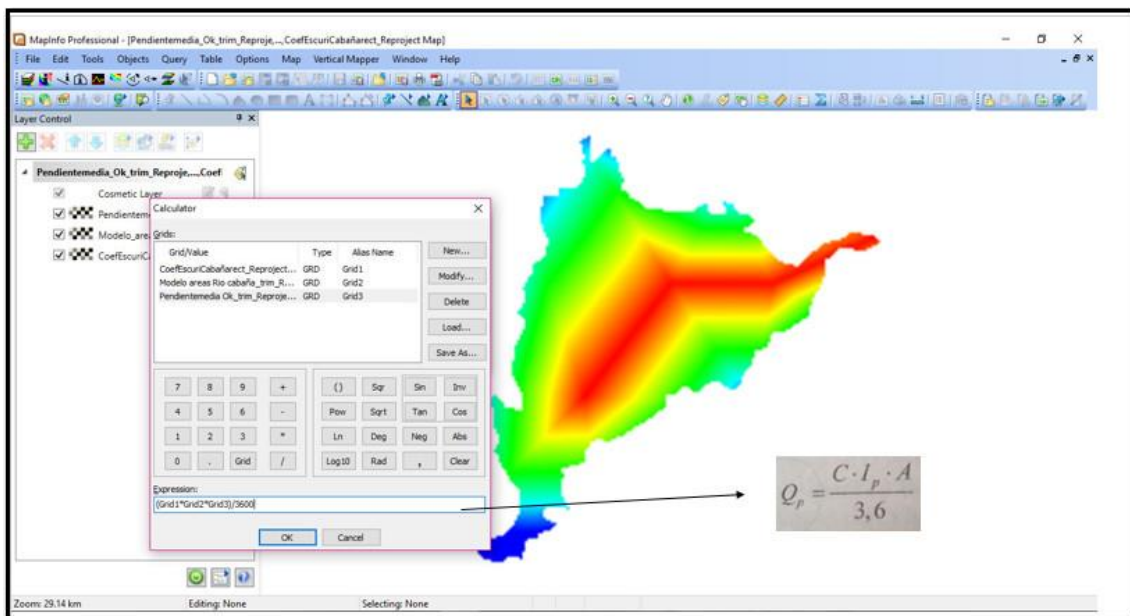


Figura 21. Imagen de las calculadoras de capas o mapas en un SIG. En este caso de la herramienta SIG Mapinfo.

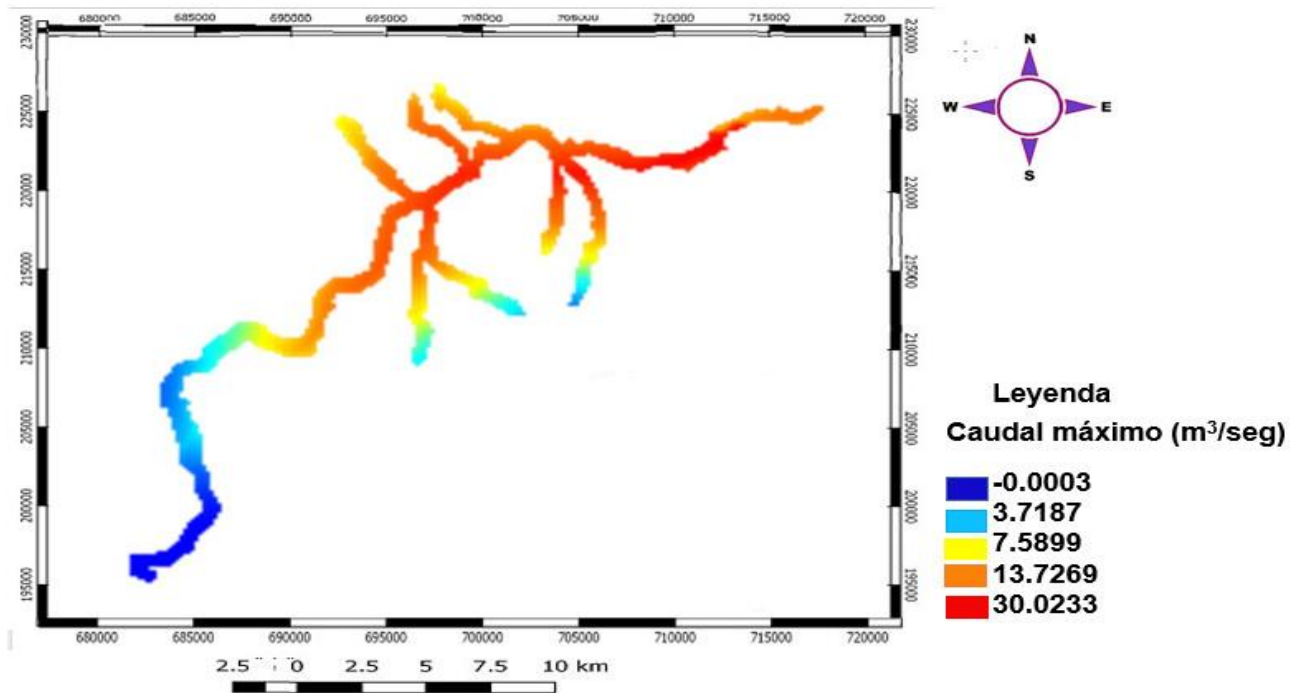


Figura 22. Imagen del modelo de caudal máximo (escurrimiento superficial máximo) en la subcuenca hidrográfica de río Cabaña

2.2.5 Determinación y representación espacial de la altura máxima de inundación en un SIG.

Con el valor del caudal máximo o escurrimiento superficial máximo de un río durante los períodos de intensas lluvias, que caracteriza las inundaciones fluviales; se calculan las áreas que resultaran inundadas con ese caudal. Esto depende de la geometría del cauce.

La herramienta empleada para este objetivo es el programa HEC-RAS, aunque es conveniente realizar un cálculo aproximado, de la siguiente manera:

$$\begin{array}{ccc}
 & \text{Caudal} & \text{Sección} \\
 \text{Caudal} \longrightarrow (\text{Fórmula}) \longrightarrow \text{Velocidad} \longrightarrow & & \text{Sección} \longrightarrow \\
 & \text{=Altura} & \\
 & \text{Velocidad} & \text{Ancho}
 \end{array}$$

Finalmente, a partir de la altura o cota de inundación máxima se evalúa el área inundable que une las secciones seleccionadas a lo largo del río. Esto se determina desde la base de la sección con la suma de la altura hasta obtener la cota topográfica final.

El paso más complejo es calcular la velocidad a partir del caudal. Depende de la **geometría del cauce** o canal, del **tipo de superficie** del mismo y de la **pendiente**. La geometría de la sección queda reflejada en el radio hidráulico (R), que es la relación entre la **sección** y el **perímetro mojado** (en los dibujos siguientes el perímetro mojado aparece en trazos rojos). (Figura 23)

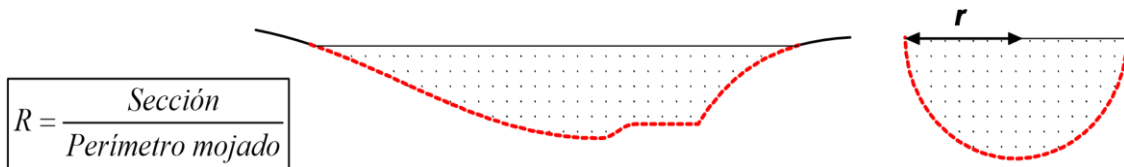
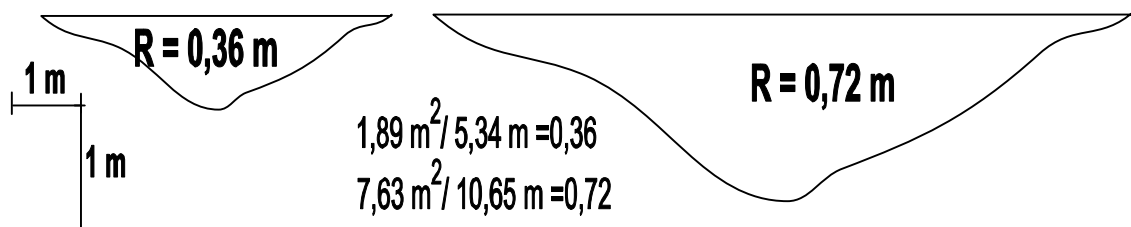


Figura 9. Representación aproximada de una sección de canal de un río.

En un cauce natural (izquierda) presentará diversos valores, mientras que en un canal semicircular (dibujo derecha), el cálculo de sección/perímetro mojado se puede hacer fácilmente $((\pi r^2/2)/\pi r)$, y se obtiene que el radio hidráulico (R) **no** es el radio del canal r , sino $r/2$.

El radio hidráulico depende de la **forma** del canal, pero principalmente, **del tamaño**. Si aumentamos al doble el dibujo de una sección, el radio hidráulico aumenta en la misma proporción (la sección aumentaría x4, el perímetro aumentaría x2, así que el cociente sección/perímetro aumentaría x2)



Para canales rectangulares de poca profundidad (anchura/profundidad >20) el radio hidráulico es aproximadamente la profundidad media del cauce o canal. En los SIG es necesario seleccionar perfiles a lo largo del río para obtener de forma automática según la huella del nivel de aguas normales del río.

La **fórmula de Chézy** calcula la velocidad del agua en una sección de un cauce o canal. Fue desarrollada por el ingeniero francés Antoine de Chézy, y establece que:

$$v = C R * J \quad (1) \text{ donde:}$$

$$v = \text{velocidad media del agua (m/s)}$$

R = radio hidráulico (m)

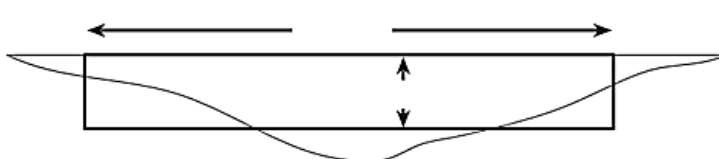
J = pendiente de la línea de agua (m/m)

C = coeficiente de Chézy

Para evaluar la altura que alcanzará el agua, utilizamos la expresión:

$$\text{Caudal} = \text{Sección} * \text{velocidad}$$

Despejando la sección:

$$\text{Sección} = \frac{Q}{\frac{1}{n} \sqrt{R^{4/3}} * J}$$


De igual manera pueden emplearse otras formulaciones más sencillas que depende de la forma del cauce, pues a veces puede entenderse como una función rectangular, semicircular o de un paralelogramo.

Para facilitar los trabajos, se elabora una tabla contentiva de los cálculos necesarios, mediante el Excel de Microsoft Office Windows para programar los resultados automáticamente, como se muestra a continuación:

Tabla 3. Tabla utilizada para el cálculo de la altura de inundación realizada en Excel.

Zonas de perfiles	Coord X	Coord Y	Coef Escurrim	Radio hid (m)	Coef Mannin g	Velocidad Corriente (Km/h)	Pendiente de línea de agua %	Área de la sección del canal del río (Semicircular)	Altura inundación max (m)
1									
2									
3									
4									
5									

2.3 Etapa III: Interpretación de los resultados.

Con los datos procesados en la etapa anterior se procede a interpretar los resultados que determinan el peligro por inundaciones en la subcuenca objeto de estudio, se delimitan las áreas con alturas máximas de inundaciones y se proponen medidas para su prevención o mitigación.

CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DEL PELIGRO POR INUNDACIONES EN LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO CABAÑA DEL MUNICIPIO MOA.

Introducción:

El municipio de Moa, ubicado en la provincia Holguín ha sido afectado por las inundaciones fluviales con frecuencia, al estar ubicado dentro del área geográfica que mayor nivel de precipitaciones históricas registra en Cuba. Particularmente para la aplicación de la metodología antes expuesta se seleccionó la subcuenca hidrográfica del río Cabaña. Esta desarrolla determinación del peligro por inundaciones y su representación mediante el SIG MapInfo v12.2, su herramienta de modelación y análisis espacial Vertical Mapper v3.0

No todo evento natural es peligroso para el ser humano. Por lo general se convive con los eventos naturales porque forman parte de nuestro medio ambiente. Por ejemplo, las lluvias de temporada, los pequeños temblores, la crecida de ríos, los vientos fuertes, etc. Existen ecosistemas con más fragilidad que otros, donde los efectos de eventos naturales extremos pueden ocasionar con más probabilidad peligros.

Algunos eventos, por su tipo, y por lo sorpresivo de su ocurrencia, constituyen un peligro; Las lluvias, las consecuencias de un huracán, prolongadas sequías, etc., pueden ser consideradas peligrosos debido a lo imprevisto de sus consecuencias.

En el caso de la zona de estudio, los peligros más frecuentes son las inundaciones, producidas por precipitaciones, que producen el desborde de las corrientes superficiales y el anegamiento de las zonas bajas.

En la presente investigación se determina que las causas de las inundaciones en la subcuenca del río Cabaña son debidas a la acumulación de agua en la superficie terrestre, tanto por la ocurrencia de fenómenos naturales, como por causas antrópicas. Dentro de las causas naturales se encuentran:

- Lluvias Intensas
- Ciclones tropicales, huracanes.
- Bajas extratropicales
- Tormentas Locales Severas

- Los Deslizamientos de tierra.

Por las causas artificiales la principal es:

La urbanización que modifica la respuesta hidrológica frente a una determinada lluvia, debido a las zonas antropizadas por el hombre que aumentan la impermeabilización. El efecto de ésta impermeabilización hace que la lluvia ya no se infiltra y por lo tanto el volumen de escurrimiento se incrementa, la superficie es más lisa, y transporta más eficientemente el flujo y existe menos almacenamiento.

Ahora bien estas inundaciones que se producen en la subcuenca del río Cabaña se clasifican en:

Inundaciones fluviales. El agua se desborda del río por los volúmenes de agua de precipitaciones registradas por diferentes pluviómetros en la Subcuenca tributaria como muestra la Figura 23 .y un caudal en diferentes puntos de la subcuenca (Tabla 4)

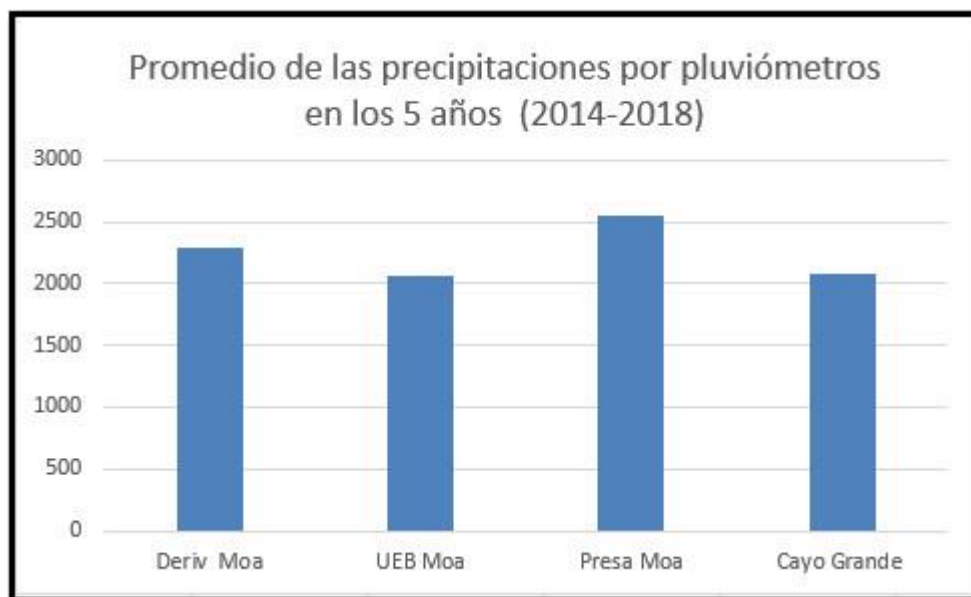


Figura 23. Promedio de precipitaciones por pluviómetros en 5 años (2014-2018).

Tabla 4. Promedio de las precipitaciones por pluviómetros en los últimos 5 años (2014-2018)

Promedio de las precipitaciones por pluviómetros en los 5 años (2014-2018)	
Derivadora Moa	2290.54
UEB Moa	2068.66
Presa Moa	2543.76
Cayo Grande	2082.62

Inundaciones repentinas. Que se producen en áreas de la subcuenca Cabaña donde es poca la vegetación o nula por las actividades humanas.

Inundaciones de larga duración. Estas se localizan en zonas bajas y extensas de la cuenca, se originan por el volumen acumulado de precipitación pluvial durante varios días o semanas manifestadas en el reparto 5 de diciembre, así como en la zona donde ubica el Sector Militar de Moa. No son causantes de pérdidas humanas, pero sí de importantes pérdidas económicas.

Encharcamiento. Tiene lugar en los sectores bajos con pendiente menores de 5 grados, causado por la saturación del suelo y en área urbana donde se observa la presencia de láminas delgadas de agua sobre la superficie del suelo en pequeñas extensiones y por lo general, presente en zonas moderadamente onduladas o planas. El fenómeno puede durar desde pocas horas hasta unos pocos días.

En la subcuenca, como se aprecia en la tabla 5 las alturas máximas que pueden alcanzar las inundaciones para un valores de precipitaciones de entre 1400-2000 mm en diferentes puntos de la subcuenca varia de 11, 6 metros a 42,3 metros lo que depende del coeficiente de escurrimiento, pendiente del terreno y caudal del agua en las secciones del río donde se trazaron los perfiles. La Figura 24 muestra la ubicación de los perfiles.

Tabla 5. Realizada en el Excel para el cálculo de la altura máxima en cada perfil.

Zonas de perfiles	Coord X	Coord Y	Coef Escurrim	Radio hid (m)	Coef Manning	Velocidad Corriente (Km/h)	Pendiente línea de agua %	Área de la sección del canal del río (Semicircular)	Altura inundación max (m)
1	699110.762	222139.458	0.35	27	0.016	232.281	24.58	1144.53	42.39
2	697503.945	221499.654	0.35	23.5	0.016	193.69875	23.55	867.0325	36.895
3	693497.841	221658.528	0.6	8.97	0.0225	103.76496	19.28	126.323613	14.0829
4	689913.967	218030.522	0.6	7.11	0.0225	99.31248	23.28	79.366797	11.1627
5	688332.042	217117.793	0.6	10.85	0.03	115.878	17.8	184.824325	17.0345

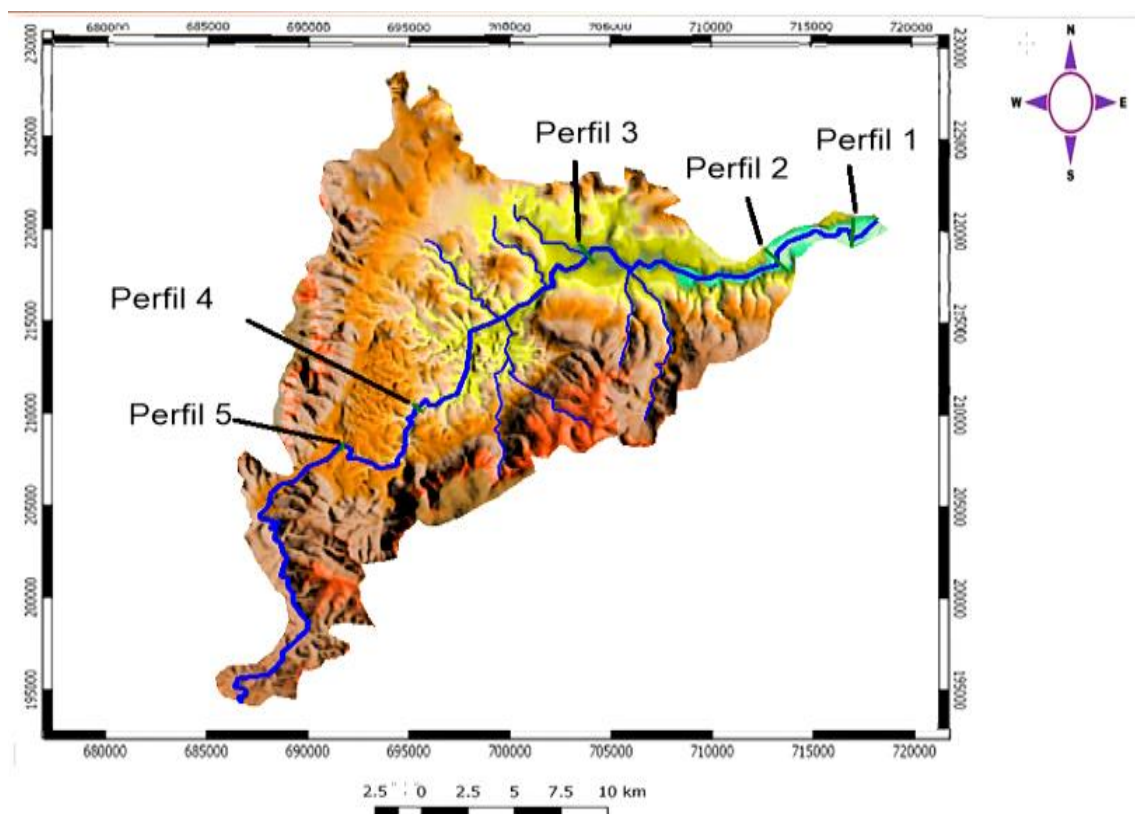


Figura 24. Mapa de ubicación de los perfiles en la subcuenca del río Cabaña.

3.1 Resultados de la modelación de peligro ante inundaciones fluviales en la subcuenca hidrográfica del Río Cabaña

La obtención del escenario susceptible a inundación mediante los submodelos descritos en el capítulo II y el peso asignado (en función de su nivel de significación en la ocurrencia de inundaciones) permiten obtener como resultado lo siguiente:

El coeficiente de escurrimiento en la subcuenca varía de 0.3 a 0.6 con los valores mayores hacia la zona central de la subcuenca (ver Figura 25), debido a la intensidad y extensión de las precipitaciones, se determina el área que ocupa la misma (ver Figura 26) y el modelo de precipitaciones anuales correspondiente a la subcuenca del río Cabaña.

a (ver Figura 27).

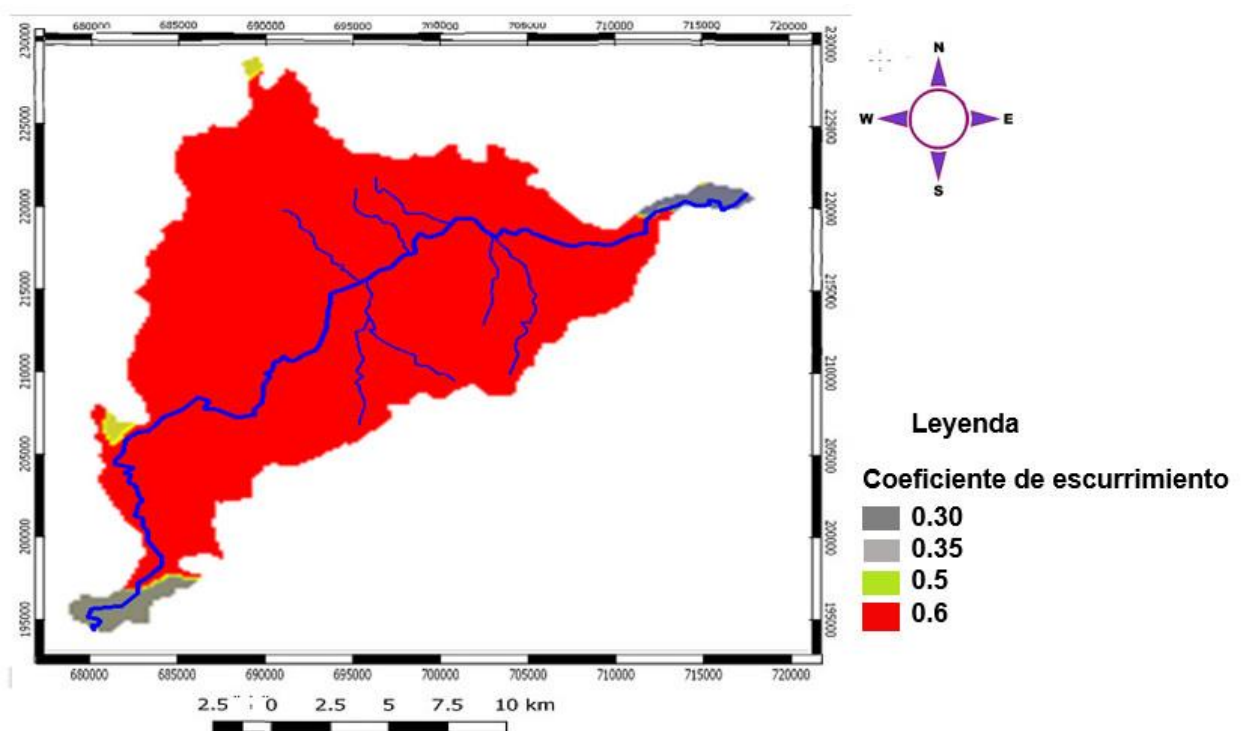


Figura 25. Modelo del coeficiente de escurrimiento en la subcuenca Cabaña.

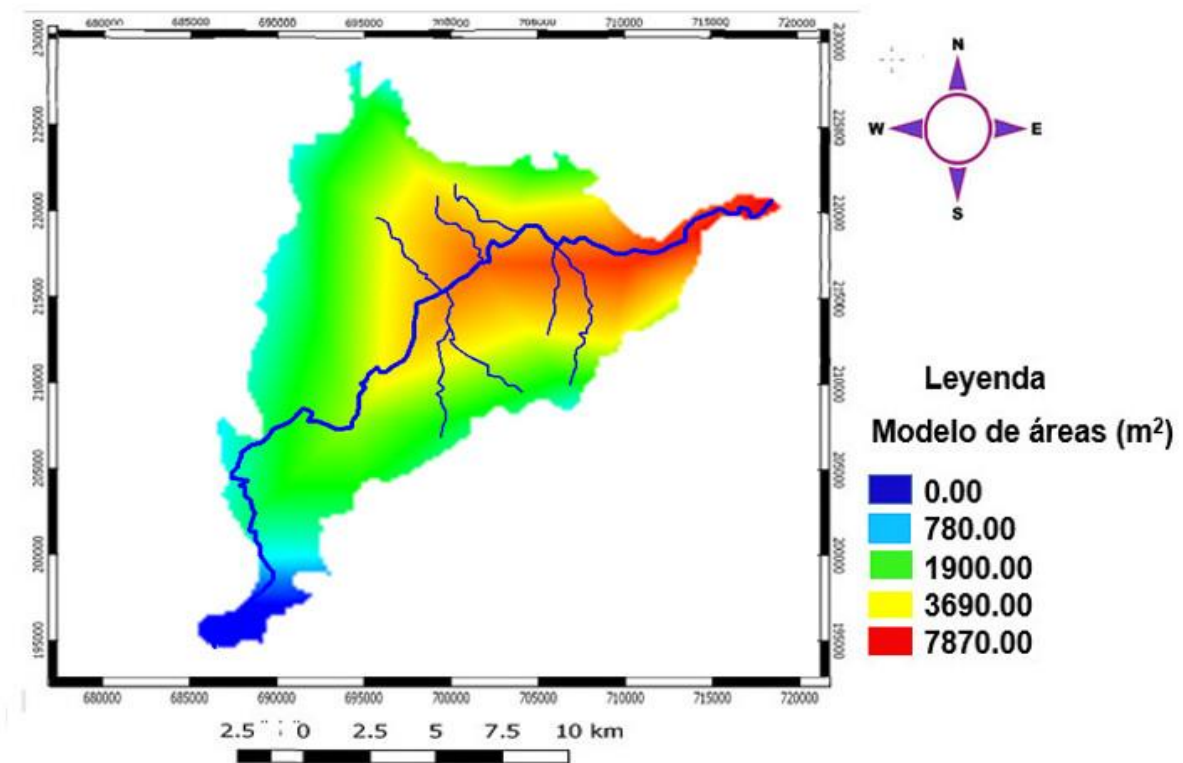


Figura 26. Modelo de áreas de la subcuenca Cabaña.

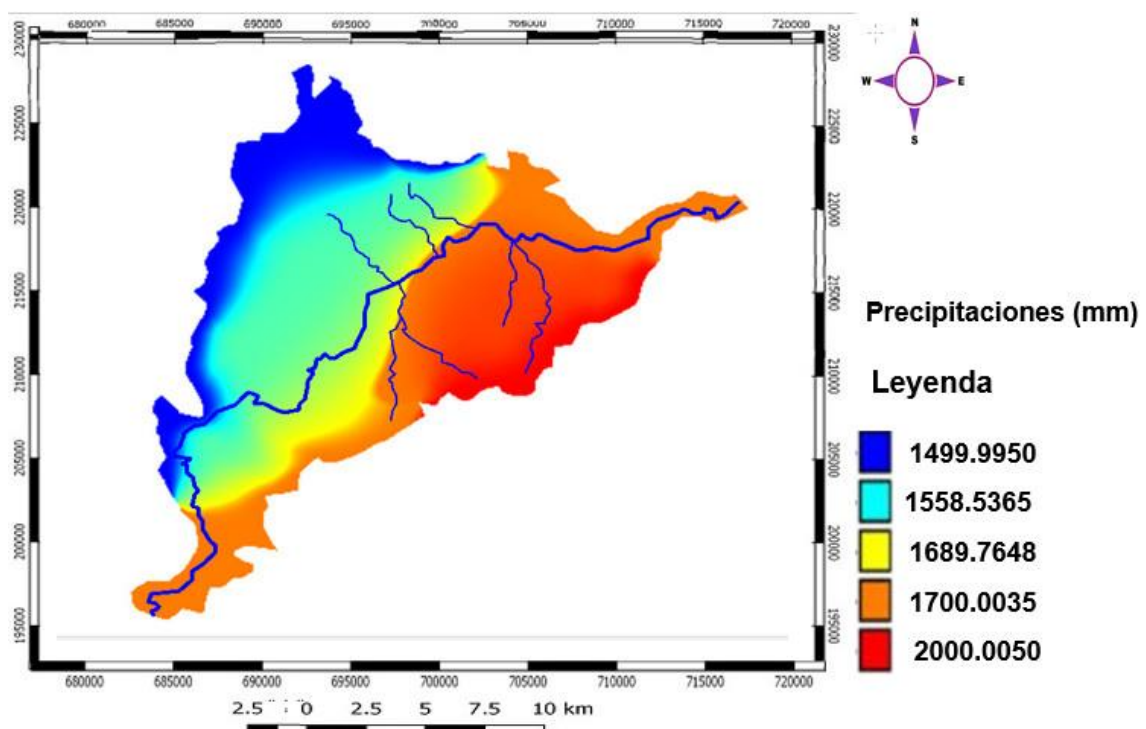


Figura 27. . Mapa de precipitaciones anuales correspondiente a la subcuenca del río Cabaña.

El caudal máximo de la subcuenca Cabaña (Figura 28) muestra que los mayores valores coinciden con la parte central de la misma debido a las escorrentías de

los partes de agua de los afluentes del río principal. En el caso del caudal determinado en puntos del cauce del río durante todo su trayecto (figura 29) y según los perfiles trazados representados anteriormente se observa que los mayores caudales coinciden con la zona baja del río hacia la confluencia con el río Moa, pues incrementa todo el volumen de agua que le aporta la subcuenca desde su nacimiento por medio de sus tributarios lo cual hace que aumente también la altura y la distribución espacial del agua en la llanura de inundación (Figura 30) y por ende el perfil del río quede dividido en diferentes escenarios de peligro por inundaciones (Figura 31) correspondiendo el mayor peligro a la zona de confluencia con el río Moa que afecta la zona urbana (Figura 32) causado por el hombre que contribuye a la erosión hídrica acelerada o la deforestación irracional, que descubre totalmente el suelo cuando se incorporan nuevas tierras al cultivo o urbanizaciones con la destrucción consiguiente de las condiciones naturales en este caso el tapiz vegetal, se remueve el suelo y modifica la estructura de la parte superior del horizonte, facilita de tal manera el movimiento del agua y el arrastre de las partículas del suelo.

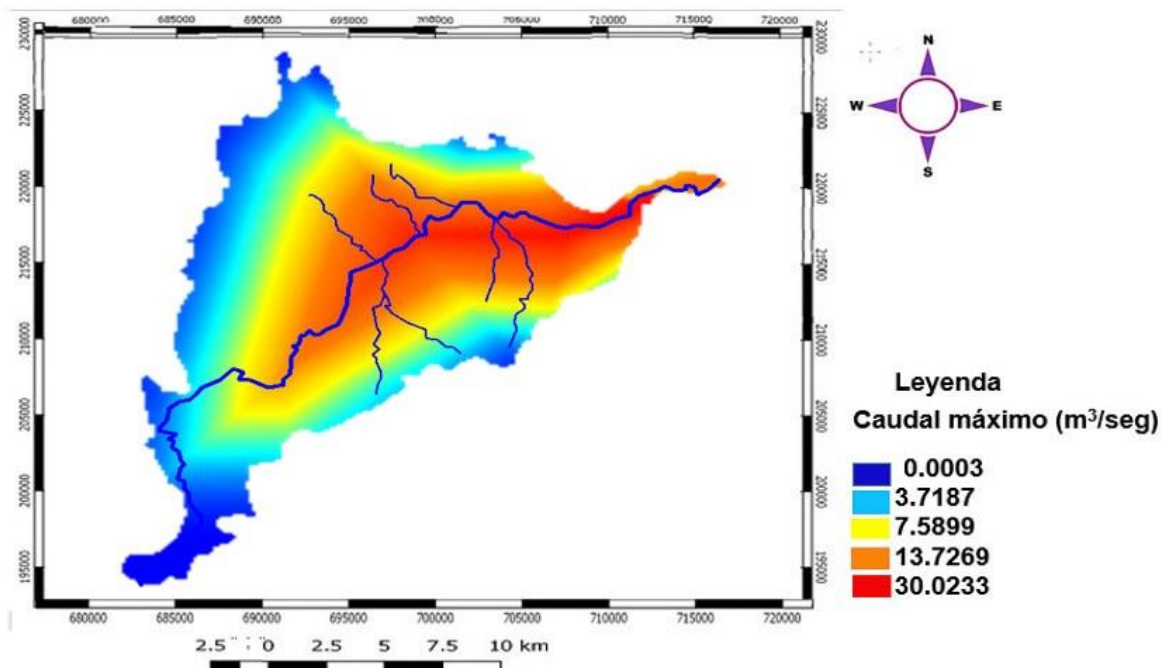


Figura 28. Modelo del caudal máximo de la subcuenca del río Cabaña

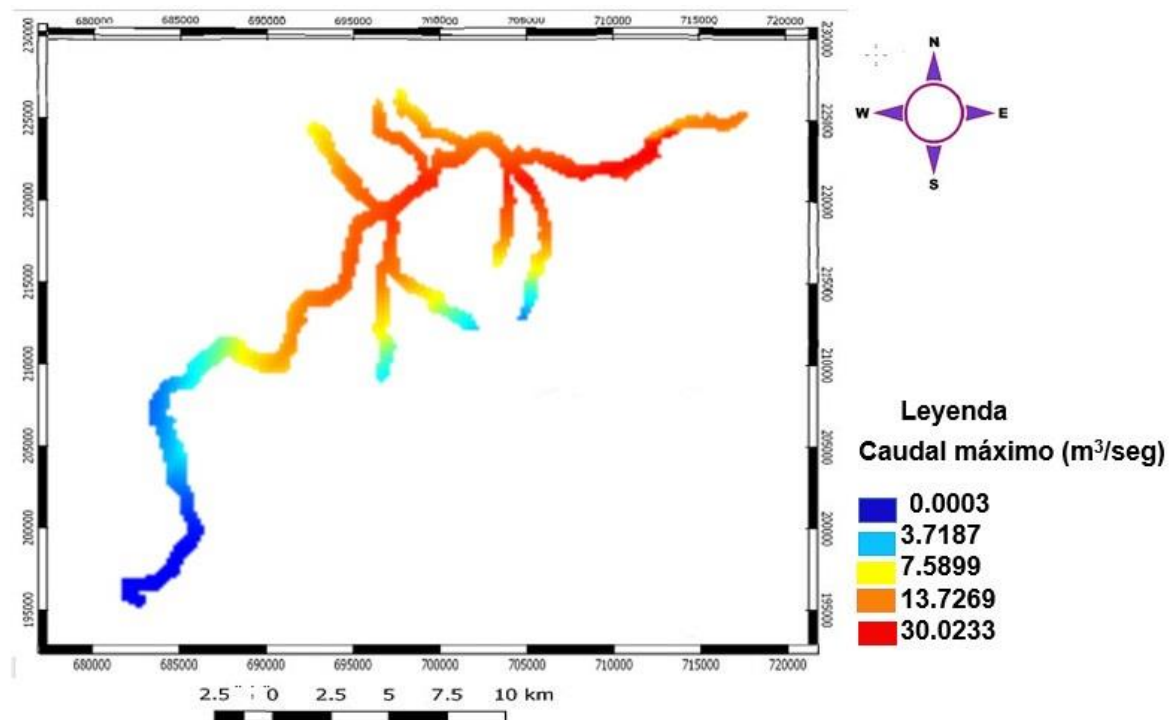


Figura 29. Modelo del caudal máximo del río Cabaña en el área delimitada de la subcuenca.

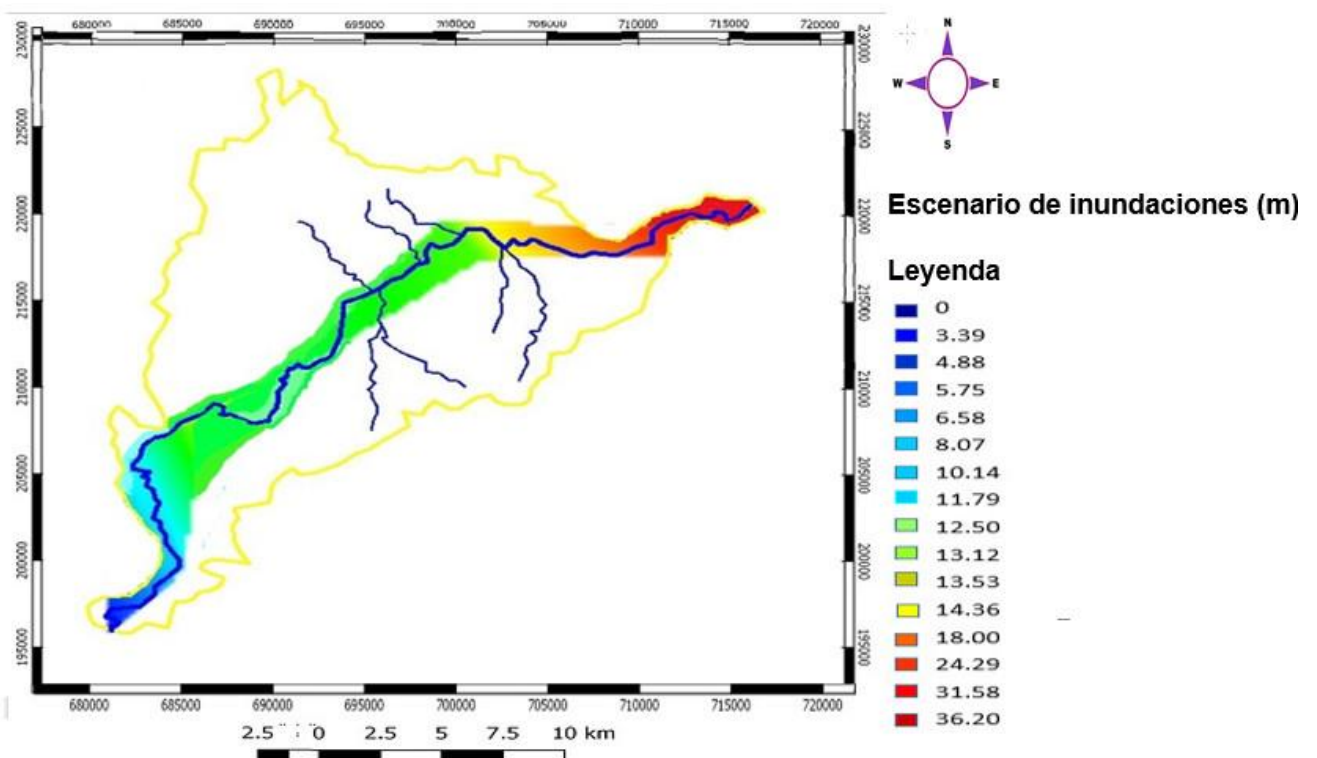


Figura 30. Modelo de inundaciones fluviales en el cauce del río Cabaña.

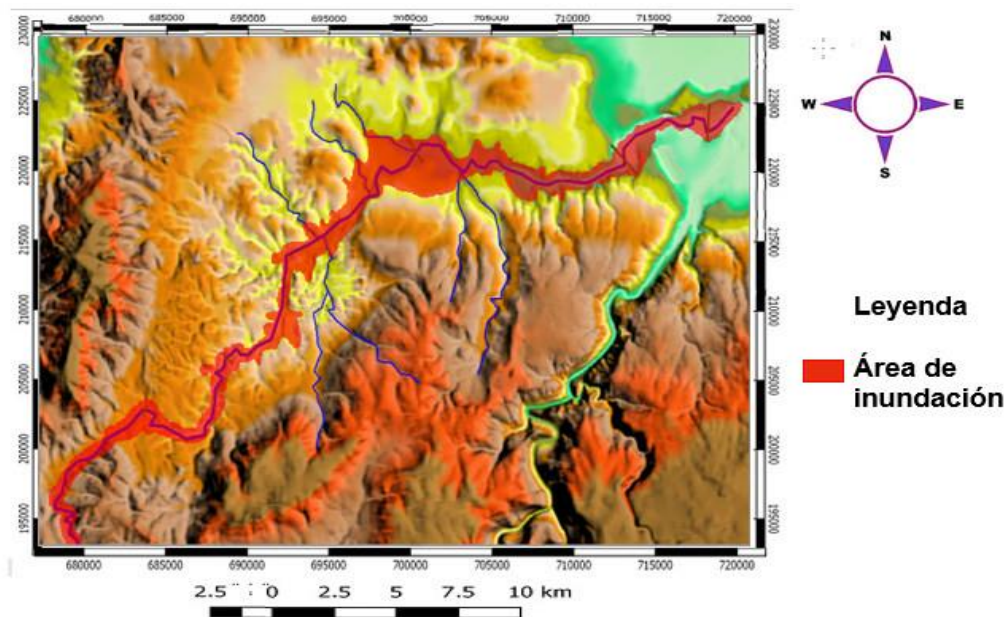


Figura 31. Mapa de peligro de inundaciones fluviales de la subcuenca hidrográfica del río Cabaña.



Figura 32. Mapa de peligro de inundaciones fluviales de la subcuenca hidrográfica del río Cabaña referente a la zona más urbanizada.

El modelo de comportamiento del nivel de inundaciones en el río Cabaña obtenido refleja inicialmente y como una primera aproximación, el nivel máximo de inundación que puede ser alcanzado si ocurriera una lluvia máxima en el área de estudio como las registradas por el mapa isoyético nacional para la zona alta

de la región; este comportamiento es reflejo de las condiciones naturales pero las inundaciones son un proceso climático que se desencadena con la actitud del hombre, por ello es que para que el río deje de ser para nosotros una amenaza, se debe dejar de amenazar; es decir, dejar de ocupar áreas que le pertenecen, hay que incorporar pautas de convivencia más adecuadas al lugar que habitamos; sólo así tenemos la posibilidad de alcanzar un equilibrio entre las dinámicas de lo natural y lo construido.

3.2. Plan de medidas de prevención y mitigación ante inundaciones en la subcuenca del río Cabaña.

Para minimizar los efectos de las inundaciones en la subcuenca hidrográfica del río Cabaña, se deben tomar medidas de prevención. La protección contra las inundaciones incluye, tanto los medios estructurales, como los no estructurales, que dan protección o reducen los riesgos de inundación. Las medidas estructurales son medidas que intentan modificar el medio natural. Consiste en la construcción de estructuras pensadas para mantener o almacenar los caudales extraordinarios dentro de límites que no supongan un peligro para la población, las infraestructuras y los bienes, incluyen:

- Diques, terraplenes o muros de contención.
- Defensas ribereñas,
- Depresiones para desbordamiento,
- Cauces de alivio y,
- Obras de drenaje.

La forma y el material empleado en su construcción varía, fundamentalmente en función de:

- Los materiales disponibles localmente
- El tipo de uso que se da a las áreas aledañas. Generalmente en áreas rurales se usan diques de tierra, mientras que en las áreas urbanas se utilizan diques de hormigón.

Las medidas no estructurales, tienen el objetivo de prohibir o regular el desarrollo de la zona aluvial, o la cuenca hidrográfica, o proteger las estructuras existentes, a fin de reducir la posibilidad de que sufran pérdidas debido a la inundación. Al igual que toda medida preventiva, son menos costosas que el tratamiento (es decir, la instalación de las medidas estructurales necesarias para controlar las inundaciones). Esencialmente, las medidas no estructurales son beneficiosas, porque no tratan de regular el modelo natural de inundación del río. La filosofía actual de muchos planificadores y fomentadores de políticas, es que es mejor mantener los terrenos aluviales sin desarrollo, como áreas naturales de desbordamiento. Sin embargo, si existe desarrollo en la zona aluvial, se deberá utilizar control no estructural, conjuntamente, con las medidas estructurales.

Estas medidas en general persiguen modificar el comportamiento de la población a través de:

- El control del uso de los terrenos aluviales mediante zonificación,
- Los reglamentos para su uso,
- Las regulaciones sanitarias y de construcción,
- La reglamentación del uso de la tierra de las cuencas hidrográficas.
- Reforestación, control y restauración de suelos.
- Descharcamiento y drenaje de zonas inundadas
- Identificar el peligro.

La zonificación efectuada en esta investigación es un medio efectivo para controlar el desarrollo del terreno aluvial.

Dado que las inundaciones representan un fenómeno natural que comúnmente se presenta es de particular importancia estar preparados para enfrentarlas y responder adecuadamente con la toma de medidas personales e institucionales para preservar la vida y los recursos económicos.

CONCLUSIONES

1. las causas de las inundaciones en la subcuenca del río Cabaña son: lluvias Intensas, ciclones tropicales, huracanes, bajas extratropicales, Tormentas Locales Severas, Deslizamientos de tierra y la urbanización.
2. Las inundaciones que se producen en subcuenca del río Cabaña se clasifican en: Inundaciones fluviales, Inundaciones repentinas, Inundaciones de larga duración y encharcamiento.
3. El modelo de peligro por inundaciones fluviales en la subcuenca hidrográfica del río Cabaña del municipio Moa confirma las áreas modeladas y reportadas con inundaciones durante eventos meteorológicos extremos en la zona de estudio, aspectos novedosos que actualizan los mapas de inundaciones del municipio.
4. Se proponen un conjunto de acciones para mitigar el efecto de las inundaciones en la región de estudio.

RECOMENDACIONES

- 1- Entregar los resultados de esta investigación al Centro municipal y provincial de gestión y reducción de riesgos de Moa y Holguín para su aplicación en situaciones de desastres.
- 2- Entregar a todas las instituciones y programas de la provincia Holguín interesadas en los resultados de esta investigación (Planificación física, INRH, MINAGRI, Salud Pública, Proyectos asociados a la Tarea Vida, CITMA provincial).

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, F. (2004). SIG aplicados al análisis y cartografía de riesgos climáticos. II Curso de verano de la Asociación Española de Climatología. Métodos y técnicas de análisis de riesgos climáticos, Universidad de Murcia.

Álvarez Portal, R. (2012). Apuntes sobre la historia de la Cartografía. La Habana, Grupo empresarial GEOCUBA.

AMA (2014). Metodologías para la determinación de riesgos de desastres a nivel territorial. La Habana, Cuba, Manual editado por la Oficina Nacional de Programa Riesgo y Desastre.

Barbosa, V., R. S. Borges, et al. (2008). Decision Making Support in Emergency Response. Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies. F. Adam and P. Humphreys Ed. Hershey-New York, Information Science Reference: 184-191.

Batista Silva, J. L. and M. Sánchez Celada (2006). "Riesgos por inundaciones pluviales en Cuba". Rev. Observatorio geográfico de América Latina. Consultado en julio 2017. https://www.google.com/search?q=lluvias+m%C3%A1ximas+registradas+en+Cuba&client=firefox-b&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKEwjWrMHKmvDVAhUI3IMKHc7KBaIQ_AUICSgA&biw=1024&bih=635&dpr=1#.

Bedell, R. (1998). "Los desastres naturales y la salud." Editorial científica, MINSAP. 45. ISBN:978-959-212-548-3.

Bosque Sendra, J. (1992). Sistemas de Información Geográfica. Madrid, España, Ediciones Rialp, SA.

Bosque Sendra, J. (2004). Propuesta metodológica para caracterizar las áreas expuestas a riesgos tecnológicos mediante SIG. Aplicación en la comunidad de Madrid. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. Número 3, Madrid, España: 35.

CODEN (2009). Glosario. Selección de Términos sobre Seguridad y Defensa Nacional, Colegio de Defensa Nacional (CODEN). República de Cuba.

D. Buzau, G. and D. J. Robinson (2010). *Sistemas de Información Geográfica en América Latina (1987-2010). Un análisis de su evolución académica basado en la CONFIBSIG*. Argentina, Universidad Nacional de Luján: 70.

Dec. Ley 212/1999. Reglamento para la compatibilización del desarrollo económico-social del país con los intereses de la defensa. La Habana. Cuba.

Denis Martínez, M. L. (2008). Personalización del Sistema “NEVA” para la creación del Mapa Topográfico Digital a escala 1:25 000 de la República de Cuba. Tesis de maestría en Geomántica, Cátedra de Hidrografía y Geodesia. Academia Naval “Granma”.: 129. La Habana, Cuba.

Díaz, J., O. Chuquisengo, et al. (2005). *Gestión de Riesgo en los Gobiernos Locales*. Lima, Soluciones Prácticas - ITDG. ¿Internet????

Diez, A. and J. A. Pérez (2003). Los SIGs en el Plan de Protección Civil de Ámbito Local ante el riesgo de inundaciones de Navaluenga. Seminario Euromediterráneo sobre Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Gestión de Desastres. Foro Euromediterráneo sobre Prevención de Catástrofes. Ávila, España: 4-6.

Directiva No. 1/2010 del Presidente del Consejo de Defensa Nacional para la planificación, organización, y preparación del país para las situaciones de desastres: 12. La Habana. Cuba.

EMNDC (2002). *Glosario de Términos de Defensa Civil*. La Habana, Cuba, Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (EMNDC).

Fernández Cruz, S. and J. L. O. Osorio (2014). Mapa de peligro por inundación de la cuenca del río Mayarí. 3er Taller Nacional de Prevención y Mitigación de Desastres. Holguín, Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales y Tecnológicos: 9.28. Fernández García, F. (1999). *Manual de climatología aplicada, Clima Medio Ambiente y Planificación*. La Habana. Cuba

Fukuzono, T., T. Sato, et al. (2006). Participatory Flood Risk Communication Support System (PafriCS). A better integrated management of disaster risks: Toward resilient society to emerging disaster risks in mega-cities. T. F. S. Ikeda, and T. Sato, TERRAPUB and NIED: 199–211.

Galbán Rodríguez, L. (2012). Geología básica aplicada. Elementos básicos de la ingeniería geológica aplicados a la ingeniería civil e hidráulica. Editorial Académica Española. Madrid. España.

Galbán Rodríguez, L. (2014). Procedimiento para la gestión y reducción de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba. Tesis de doctorado en Ciencias geológicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico: 100, Moa, Holguín, Cuba.

Galbán Rodríguez, L. and R. Guardado Lacaba (2016). "Modelación del peligro a deslizamientos en el Municipio Santiago de Cuba considerando el peso de las variables determinantes." Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales. No18, ISSN: 1514-5158.

Galbán Rodríguez, L., I. N. Vidaud Quintana, et al. (2012). Indicadores más comunes en la evaluación de riesgos geológicos. Indicadores cualitativos y cuantitativos para la evaluación de peligro, vulnerabilidad y riesgos geológicos. A. Española. Madrid. España.

Galbán Rodríguez, L., V. Q. I. N, et al. (2013). Risk assessment and management. Capítulo: "Theoretical considerations on geological risk management Z. Z. E. A. Publish. Estados Unidos, Publishing Services LLC, Massachussets.

González, A. and S. V. Rodríguez-Hernández (2010). Sistema de Información Geográfica para el Centro de Gestión de Riesgo del municipio Pinar del Río. Manual de Usuarios SIGCRR. Pinar del Río, GEOCUBA.

Hernández, I. (2003). Monografía sobre peligros y desastres naturales. La Habana: 94.

Keinberger, S. (2005). Sapital vulnerability assessment. Methodology for community and district level applied to floods in Búzi, Mozambique. Z_GIS - Centre for Geoinformatics Edmundsburg, Salzburg University. PhD.

León Herrera, I. (2016). Mapa de riesgo de desastres para la Zona Priorizada del Centro Histórico de Camagüey, Cuba. Revista de conservación del patrimonio cultural. Camagüey, Cuba, Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz. 4: 16.

Lewis, A. y. J. H. (2006). Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo, Desastres, Prevención. Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil. La Habana, Cuba.

Escrito por Rachel Kolar ; última actualización: February 01, 2018
<https://www.geniolandia.com/13140267/como-medir-la-intensidad-de-una-inundacion>

Colectivo de autores. "SIG de la Base nuevo Atlas Nacional de Cuba, escala 1:100 000". CITMA. 2002.

Colectivo de Autores. "Mapa de peligrosidad por inundaciones costeras provincia Santiago de Cuba". Taller de trabajo para establecer los límites de las áreas por inundaciones costeras, por penetración del mar e inundaciones por intensas lluvias en los municipios costeros Guamá y Santiago de Cuba. MEGACEN - IDICT - CIES – CENAIIS – CITMA Santiago de Cuba, Dirección Provincial de Planificación Física, GEOCUBA Oriente Sur, Inst. Pedagógico Frank País García. 2010.

Carrillo, D.; Echavarría, B.; Castellanos, E.; Triff, J.; Núñez, K. "Léxico Estratigráfico de Cuba". Instituto de Geología y Paleontología. 2009.

Cabrera Castellanos, M; Santos Hernández, R.M. "Mapa Geomorfológico del territorio marino y costero de Cuba a escala 1:1000 000". Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2007. Memorias en CD - ROM, ISBN: 978-959-7117-16.2

Iturralde Vinent, M. et al. "Geología de Cuba para todos". Editorial Científico Técnica. La Habana. Cuba. 2009. ISBN 978-959-05-0517-3.

Iturralde Vinent, M...; González Raynal, B.E.; Chuy Rodríguez, T.J. "Riesgos naturales de origen geológico". 2006.
www.medioambiente.cu/upnatgeo/index1.htm.

Iturralde-Vinent, M. (Ed). "Compendio de Geología de Cuba y del Caribe". Segunda Edición., DVD-ROM. Editorial CITMATEL, Dic. 2012. ISBN 9-789592-572863.

Directiva NO 1/2010 del Vicepresidente el Consejo de Defensa Nacional "Para la planificación, organización y preparación del país para las situaciones de desastres". 2010. www.medioambiente.cu/revistama/10_04.asp.

Geocuba Oriente Sur. “Modelo digital de elevación de la región oriental de Cuba a escala 1:25 000”. 2010