



Universidad de Oriente
Facultad de Construcciones
Departamento de Ingeniería Hidráulica
Trabajo de Diploma

Tesis en opción al título de Ingeniero Hidráulico.

*Título: Herramienta de cálculo para la
prevención hidrológica en el embalse
Gilbert.*

Diplomante: Leyanis Oliva Hechavarria.

Tutora: Msc. Ing. Guadalupe Bermúdez Diéguez.

Santiago de Cuba, Julio 2019.

"Año 64 de la Revolución"

Pensamiento.

“La cuestión suprema de una obra, es saber; de qué profundidad de vida surge.”



James Jones

Dedicatoria.

Dedico este trabajo de diploma.

- ✓ *A mis padres Oslaida Hechavarria Borrero por ser más que una madre, una amiga que ha sido capaz de apoyarme en cada momento de mi vida y a mi padre Geovanis Oliva.*
- ✓ *A mi abuela Isis Borrero Salfran por estar presente en mi vida y por cuidar de mí siempre.*
- ✓ *A mi hermano: Geovanito al que quiero mucho y aunque no tenemos mucho tiempo junto la distancia no nos separa.*
- ✓ *A mi tía: Yolaida que siempre se han preocupado por mis estudios y me ve como un ejemplo a seguir para sus hijas.*
- ✓ *A mi esposo: Frank Elías por ser mi apoyo en todo momento, nunca dejar de preocuparse por mí, y a toda su familia.*
- ✓ *A: Mis compañeros de aula que me han acompañado en todo el trascurso de la carrera, en especial a Antón, Sarai, Nadieska, Rosana, Yania y Raidel, en general a todos los que siempre estuvieron atentos en mi paso por la Universidad, a mis profesores, a todos ustedes...*

Muchas Gracias.

Leyanis Oliva Hechavarria.

Agradecimientos.

Agradecimientos.

Quiero agradecer a todas las personas que de una forma u otra han sido parte de mi formación profesional en estos años de universidad:

- ✓ A mi madre Oslaida, a mi abuela Isis, a mi hermano Geovanito, a mis tíos y mis primos.
- ✓ A una persona que es súper especial en mi vida Frank Elías Rodríguez Legra por su inagotable paciencia, que ha estado a mi lado en todos momentos, malos y buenos sin dejar de apoyarme ni un solo instante, siempre dándome y buscando las fuerzas que creía a veces no tener. A ti, mi amor, te agradezco por creer en mí y darme el apoyo que muchas veces necesité.
- ✓ A mi tutora Guadalupe por estar siempre ahí cuando la necesité y por la confianza en mí depositada.
- ✓ A todos los profesores del departamento de Ingeniería Hidráulica que formaron parte de mi formación profesional.
- ✓ A mis amigos Antón, Sarai, Rosana, Nadieska, que me ofrecieron su amistad a pesar de todos mis defectos y siempre me ayudaron cuando los necesité.
- ✓ A mis compañeros de aula en estos cinco años de complicidad y de lucha continua.

A todos ustedes...

Muchas gracias.

Leyanis Oliva Hechavarria.

Resumen.

Resumen.

Los Sistemas de Prevención de Inundaciones son una serie de búsqueda que da la posibilidad de brindar información al Consejo de Defensa Provincial, en cuanto al pronóstico de los niveles de los ríos en las distintas zonas de inundación, en correspondencia con las precipitaciones registradas en equipos pluviómetros seleccionados convenientemente para alertar con tiempo suficiente al órgano rector, en ocasiones de presentarse avenidas producto a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos de gran magnitud, lo que permitirá la evacuación inmediata para evitar pérdidas humanas y daños a la economía.

Dado el corto lapso de tiempo ante las fases que se decretan el presente trabajo de diploma tiene como objetivo automatizar con ayuda de EXCEL una herramienta de trabajo buscando una vía fácil, ágil y confiable para la prevención hidrológica en el embalse Gilbert e informar a las entidades correspondientes y a la Defensa Civil.

Abstract.

Abstract.

The Flood Prevention Systems are a series of search that gives us the possibility of providing information to the Provincial Defense Council, regarding the forecast of the levels of the rivers in the different flood zones, in correspondence with the rainfall registered in equipment. Rain gauges conveniently selected to alert the governing body with sufficient time, sometimes to present avenues product to the occurrence of large-scale meteorological phenomena, which will allow immediate evacuation to avoid human losses and damage to the economy.

Given the short period of time before the phases that are decreed the present diploma work aims to automate with the help of EXCEL a work tool looking for an easy, agile and reliable way for hydrological prevention in the Gilbert reservoir and inform the entities corresponding to Civil Defense.

Índice.

ÍNDICE.

Contenido	Páginas
INTODUCCION.....	2
CAPITULO 1. ESTADO DEL ARTE.....	9
1.1 Cuencas hidrográficas.....	9
1.2 Inundaciones.....	11
1.3 Prevención hidrológica.....	16
1.4 Modelos hidrológicos.....	28
CAPITULO 2. PREVENCIÓN HIDRLOGICA EN LA ESTACION HIDROMETICA LAS COLORADAS.....	38
2.1 Caracterización de la cuenca del río Cauto.....	38
2.1.1 Tipos de inundaciones.....	40
2.1.2 Áreas fluviales susceptibles a inundaciones.....	42
2.2 Localización de la Estación.....	45
2.3 Prevención hidrológica en la estación hidrométrica Las Coloradas.....	47
2.3.1 Lamina de lluvia.....	49
2.4 Análisis de la prevención hidrológica en la estación Las Coloradas.....	50
CAPITULO 3. PREVENCIÓN HIDROLOGICA EN EL EMBALSE GILBERT.....	52
3.1 Características generales del embalse Gilbert.....	52
3.2 Prevención hidrológica en general.....	57
3.3 Calculo de la prevención hidrológica en el embalse Gilbert.....	58
Conclusiones.....	62
Recomendaciones.....	64
Bibliografía.....	66
Anexos.....	69

Introducción.

Introducción.

En la antigüedad los grandes ríos fueron la fuente donde se desarrollaron las civilizaciones que imprimieron un nuevo curso a la historia de la humanidad, llamada por los historiadores como “civilizaciones fluviales”. Estos ríos, lagos y tierras húmedas del mundo proporcionan la mayor cantidad de agua que se utiliza para el consumo humano, la agricultura, el saneamiento y la industria, así como para la vida de plantas y animales.

El estudio minucioso de las cuencas hidrográficas permite establecer una serie de consideraciones acerca de los componentes físicos geográficos que integran el paisaje y que inciden en ella de forma directa o indirecta, así como evaluar la diversidad de procesos que puedan convertirse en riesgos para la supervivencia de los asentamientos humanos localizados en las áreas aledañas. Se conoce como cuenca hidrográfica, al área delimitada por un sistema acuático, donde el agua superficial y/o subterránea vierte formando uno o varios cauces, que los conducen a un río principal.

Cuba, en su condición de isla larga y estrecha, no cuenta con condiciones favorables para el desarrollo de grandes sistemas hídricos, y solamente se delimitan ocho como las más importantes, están caracterizadas por una densa red de más de 2200 ríos y arroyos de cursos cortos y de pequeños a medianos caudales que se deprimen sustancialmente durante la época de seca hasta convertirse muchos de ellos en corrientes fluviales intermitentes.



Figura N. 1 Rio Cauto

La provincia de Santiago de Cuba, por su situación geográfica es frecuentemente azotada por fenómenos meteorológicos, los daños producidos por estos son cuantiosos dada la alta vulnerabilidad a los eventos climáticos extremos, lluvias intensas y crecidas. Las inundaciones son unos de los aspectos más significativos, estas afectan directamente las corrientes superficiales. En la actualidad se presta especial atención y se le dedica grandes esfuerzos a la protección de estas, la prevención hidrológica es uno de los métodos que se utiliza, este ha diseñado una red de monitoreo en correspondencia con las necesidades principales para la protección y manejo de los recursos hidráulicos en las cuencas. Además es el encargado de dar partes a la Defensa Civil en diferentes horarios acerca de los cambios que sucedan en los embalses evitando la ocurrencia de daños mayores.

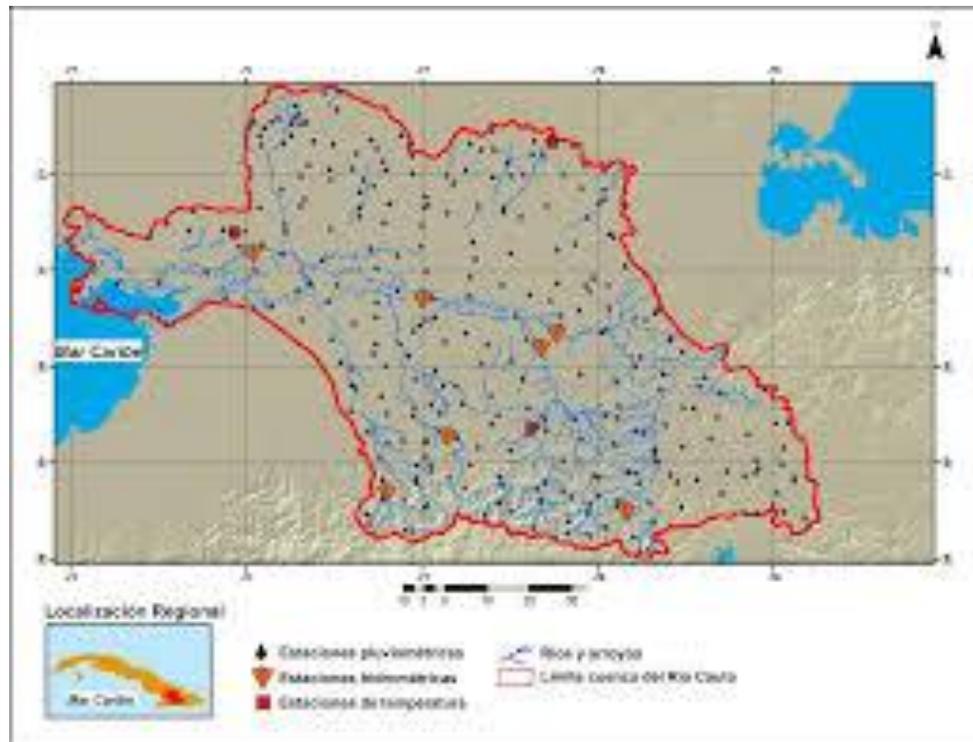


Figura. 2 Cuenca del río Cauto.

El río Cauto es el más largo, y el único del país que abarca un área de cuatro provincias, está localizado en el extremo oriental del territorio cubano, cuenta con una longitud de 343 km. Su nacimiento ocurre en las estribaciones de la Sierra Maestra, en la loma La Estrella a una altura de 760 m snm, en la provincia de Santiago de Cuba. Esta cuenca en nuestra provincia ocupa una superficie de 3107 km² que representa el 50.4 % del territorio total de la provincia (6227.79 km²), así como el 32.3 % de la superficie total de la cuenca a nivel territorial (9 624.36 km²). Se distribuye en el territorio de 7 municipios, de ellos ocupan un área total los municipios de Tercer Frente, Contramaestre, Palma Soriano y Mella, así como parte del territorio de los municipios San Luis, Santiago de Cuba y Songo La Maya. La misma cuenta con 6 embalses que forman un sistema de cascada, ellos son: (Gilbert, Charco Mono, Gota Blanca, Protesta de Baraguá, Hatillo y Céspedes).

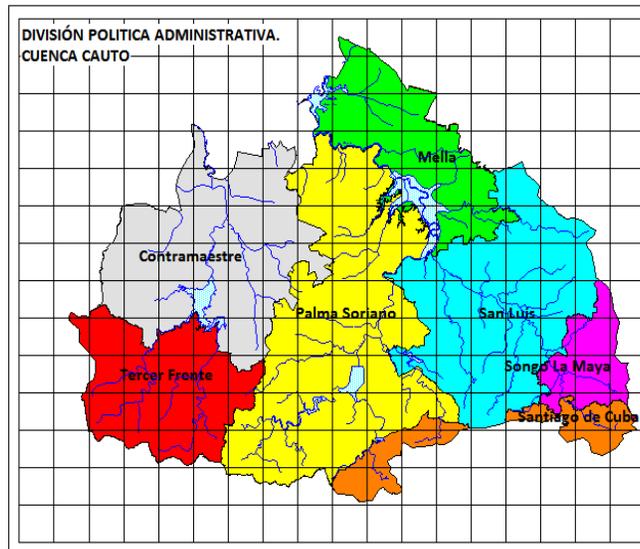


Figura. 3 División política administrativa de la cuenca Cauto.

Gilbert se encuentra ubicada en el municipio Palma Soriano entre las coordenadas 164.16 Norte y 579.15 Este. Cuenta con un área de 144Km², tiene como río principal el Cauto, es una presa mixta de categoría 3 con un revestimiento rocoso y regulación hiperanual. Fue creada en el año 1967 tiene un nivel de aguas máximo de 196.70m y el nivel de aguas muero es de 170.0m. Presenta dos aliviaderos uno de ellos principal y el otro secundario, estos permiten un mejor funcionamiento del embalse. Existen tres usuarios conectados directamente al Embalse Gilbert el primero es la potabilizadora El Cobre que suministra agua al popular poblado de la provincia santiaguera, el segundo se corresponde con consumos industriales asociados al sistema mientras que el tercer consumidor es la Potabilizadora Quintero que se encarga del abasto de agua a la Ciudad de Santiago de Cuba.

Por las características de la geografía santiaguera y la ubicación de nuestros embalses en las diferentes cuencas realizaremos la prevención hidrológica ante intensas lluvias, ciclones y frentes fríos que también aportan sustancialmente láminas de lluvias considerables llegando a ser altamente dañinos si no estamos preparados. Contribuir el Sistema de Prevención Hidrológica que como elemento consustancial del Plan de Manejo Ambiental de los Recursos Hídricos (superficiales y subterráneos) permita detectar las anomalías en el régimen y calidad de las aguas superficiales y subterráneas y consecuentemente, ayude a adoptar las acciones de que correspondan para aislar, anular o mitigar los efectos no deseados.

Los Sistemas de Prevención de Inundaciones son una serie de búsqueda que nos da la posibilidad de brindar información al Consejo de Defensa Provincial, en cuanto al pronóstico de los niveles de los ríos en las distintas zonas de inundación, en correspondencia con las precipitaciones registradas en equipos pluviómetros seleccionados convenientemente para alertar con tiempo suficiente al órgano rector, en ocasiones de presentarse avenidas producto a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos de gran magnitud, lo que permitirá la evacuación inmediata para evitar pérdidas humanas y daños a la economía.

Los Sistemas de Prevención de Inundaciones son una serie de búsqueda que nos da la posibilidad de brindar información al Consejo de Defensa Provincial, en cuanto al pronóstico de los niveles de los ríos en las distintas zonas de inundación, en correspondencia con las precipitaciones registradas en equipos pluviómetros seleccionados convenientemente para alertar con tiempo suficiente al órgano rector, en ocasiones de presentarse avenidas producto a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos de gran magnitud, lo que permitirá la evacuación inmediata para evitar pérdidas humanas y daños a la economía.

A pesar de todos los esfuerzos realizados en aras de garantizar esta prevención aún no se cuenta con todas las herramientas necesarias para informar rápidamente a la defensa civil.

Diseño de la investigación

Problema de investigación: Carencia de una herramienta de trabajo que agilice el procesamiento de la variable hidrológica en caso de intensas lluvias y crecidas e información en tiempo real a la defensa civil.

Objeto de estudio: Prevención hidrológica en el Embalse Gilbert

Campo de acción: Precipitaciones

Objetivo general: Programar la tabla en Excel como herramienta para agilizar el trabajo

Objetivos Específicos: Proponer acciones y soluciones para prevenir y/o mitigar las pérdidas de vidas humanas y objetivos económicos.

Hipótesis de la investigación: Si se conocen los valores de precipitaciones máximas, el volumen de avenidas y las afectaciones aguas abajo del embalse entonces se podrá avisar en tiempo a la defensa civil para la toma de decisiones necesarias.

Tarea de la investigación.

Búsqueda y revisión bibliográfica relacionada con el tema de tesis.

Análisis de los resultados de estudios de Prevención Hidrológica.

Automatizar el Excel para el cálculo.

Aportes de la investigación. Dejar plasmado el Excel como una herramienta que agiliza el trabajo de prevención hidrológica.

Capítulo 1.

CAPITULO 1. ESTADO DEL ARTE

1.1 Cuencas hidrográficas.

Las cuencas hidrográficas representan la unidad fundamental empleada en Hidrología y son sistemas abiertos cuyo estudio minucioso permite establecer una serie de consideraciones acerca de los diversos componentes físico- geográficos que en ellas se sintetizan, y con los cuales se mantiene en un proceso constante de intercambio energético. Ellas constituyen uno de los rasgos principales del paisaje. (Angelina y Eumelia).

Históricamente la población asentada cercana a las cuencas hídricas se ha preocupado casi exclusivamente por incrementar la utilidad económica, tratando de reducir las amenazas derivadas de los movimientos freáticos que son reflejo tanto las sequías como de las inundaciones; los objetivos principales se han dirigido hacia la mejora del drenaje de las áreas aledañas y el control de su caudal, para garantizar un suministro de agua suficiente, destinado al riego y la industria así como para aumentar la extensión de suelos aptos para el cultivo con fines económicos. (Angelina y Eumelia). La falta de protección y de prevención acerca del mantenimiento de los acuíferos será la causa de los llamados “ecoconflictos”, que se producirán en este milenio, fundamentalmente en los países del Tercer Mundo, y que se extenderá a las restantes áreas del mundo, lo cual tendrá consecuencias impredecibles. Actualmente la atención a la situación ambiental de las cuencas constituye una de las principales preocupaciones de la mayoría de los países del mundo, que conocen y aplican políticas ambientales.

Cuba, por su condición de isla, larga y estrecha no favorece el desarrollo de amplias redes hídricas. En total existen 632 cuencas hídricas de dimensiones superiores a los 5 Km², La longitud de la corriente superficial es inferior a los 40 Km de ahí la importancia que ellas tienen como indicador en la conservación del ambiente.

En 1997, por la importancia que tienen los acuíferos se creó en el país el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas cuyo objetivo fundamental es la restauración de las cuencas con acciones encaminadas a la reforestación, la recuperación de las fuentes hídricas y la reducción de la carga contaminante.

Algunos de los aspectos y características esenciales para el estudio y conocimiento de las cuencas como áreas representativas de nuestra superficie territorial es incluir información acerca de la situación presente en la cuenca principal de la provincia Santiago de Cuba una de la más afectadas actualmente en el país: El Cauto, el cual contiene en su curso por esta provincia 6 embalses.

La cuenca: es el área de la superficie terrestre drenada por un único sistema fluvial, cuyos límites están formados por las divisorias de aguas que la separan de las áreas o zonas adyacentes pertenecientes a otras cuencas fluviales; la amplitud y forma de una cuenca está determinada generalmente por las condiciones geológicas y geomorfológicas del terreno y por las características climatológicas del territorio. (Angelina)

De igual forma cada área aledaña a un afluente es una subcuenca, las que en su conjunto conforman una cuenca hidrográfica que es toda el área territorial con los restantes componentes físicos geográficos: la topografía, el suelo, la vegetación y la fauna del terreno que regula y da salida a las aguas que recibe a través de un mismo cauce situado en la parte más baja de dicha área.

Cuba no cuenta con condiciones favorables para el desarrollo de grandes sistemas hídricos, y solamente se delimitan ocho como las más importantes. La alimentación es pluvial, y el agua se distribuye entre la absorción de las plantas, la evaporación, la transpiración de las plantas y la escorrentía que incrementa el caudal superficial de las corrientes libres y hacia los canales y embalses naturales o artificiales. Atendiendo al cauce que siguen las aguas las cuencas se pueden clasificar en: cuencas de drenaje y en cuencas colectoras.

Cuencas de drenaje: se forman como resultado de la convergencia de la red fluvial de una cuenca que conducen las aguas del escurrimiento hasta el cauce principal. De acuerdo con la protección de los suelos y la contaminación de las aguas son las de mayor prioridad por cuanto la red fluvial que forman la cuenca y subcuenca trasladan considerables volúmenes de suelo, que varían en relación con el uso del suelo, características del relieve, y el clima del lugar. De ahí que para establecer medidas de conservación de suelo sea necesario valorar cada una de las características de la red fluvial.

Cuencas colectoras: son las que reciben las aguas infiltradas hacia el interior o manto freático de los suelos. Su localización y preservación adquiere en la actualidad una importancia vital para la planificación económica de cualquier país. (Angelina y Eumelia)

1.2 Inundaciones.

Es de creencia general que la Cuenca del Río Cauto posee extensas áreas sujetas a inundaciones de origen pluvial, debido a la situación geográfica y las peculiaridades geomorfológicas que posee, sin embargo el resultado obtenido muestra que sólo el 14 % del área total de la cuenca se encuentra ante peligros Alto y Muy Alto. Por otra parte, casi el 60 % del área total de la cuenca son territorios que no ofrecen peligro de inundación pluvial. Es significativo apuntar la inexistencia de extremos de peligro (Alto y Bajo) en la provincia de Santiago de Cuba, así como un alto por ciento de ausencia de peligro por inundación pluvial en la misma, debido a que la zona de la provincia interesada en la cuenca es precisamente parte de la zona montañosa aunque existen zonas de peligro muy bajo en la Sierra Maestra, que coinciden precisamente con los valles intramontanos. (Sánchez Celada)



Figura.1 Inundaciones pluviales.

Los Fenómenos Naturales, como manifestación de los procesos que ocurren en nuestro Planeta, pueden transformarse en desastres en la medida que no conozcamos adecuadamente la amenaza que constituyen para nosotros y de la susceptibilidad que presenta el entorno ante ellos. Los impactos reales y potenciales de los fenómenos naturales y antrópicos están adquiriendo tal importancia y un alcance tal, que se debe

prestar más atención a las actividades de planificación, de prevención y de mitigación; esto es, porque los efectos de los fenómenos naturales deben analizarse no sólo desde el punto de vista humanitario y social en general, sino también desde el punto de vista económico, De ahí la importancia de realizar estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en los territorios. (Batista Silva)



Figura.2 Fenómeno natural extremo.

Las inundaciones en Cuba están asociadas a problemas tales como: modificaciones del terreno producidas por prácticas agrícolas inadecuadas, tala de árboles, incendios, urbanización y otras intervenciones impropias en el medio ambiente o las combinaciones de ellas. El conocimiento y la representación espacial de los territorios propensos a inundarse tienen una amplia extensión, puesto que la información obtenida podrá ser utilizada por las instituciones encargadas de la Protección Civil, lo cual permite tomar las medidas correspondientes en cada caso y mitigar las consecuencias, a veces desastrosas, y no esperar que ocurran los eventos adversos. Pequeños arroyos y ríos aumentan su caudal de forma súbita y producen inundaciones en el territorio de sus cuencas fluviales. De continuar las lluvias, el terreno anegado se extiende, y en lugares con poca pendiente del terreno, a veces se unen varias corrientes formando extensas zonas inundadas. (Sánchez Celada)

Los ríos y arroyos pueden tener un cauce muy largo, sobre todo en Cuba oriental, de manera que, llueve torrencialmente en las cabeceras, hasta que la corriente aumenta y ocurren las crecidas, pueden transcurrir algunas horas, o hasta un día. Las crecidas tienen lugar cuando la cantidad de agua que proviene de las cabeceras del río es

mucho mayor de la que puede acomodar el cauce. Esto puede ocurrir de forma inesperada. Lo más importante son: el cauce, el lecho de avenida, y la llanura de inundación. El cauce es por donde corre o corrió el río o arroyo. Las aguas corren por los lechos de avenida cada vez que ocurren precipitaciones fuertes, con un caudal que el cauce no puede acomodar. Estas crecidas pueden ocurrir después de cada lluvia. La llanura de inundación es bastante más extensa, y se extiende lejos de los cauces sobre todo cuando los ríos son caudalosos. Esta llanura se inunda cuando ocurren fuertes y prolongados aguaceros, durante las tormentas pluviales y huracanes. (Angelina y Eumelia)

Una inundación ocurre cuando las aguas naturales ocupan zonas bajas, ya sea por desbordamiento de ríos, lagunas y embalses artificiales o por elevación del nivel del mar. En Cuba las inundaciones pueden ocurrir cada año, sobre todo durante temporada ciclónica. Las mismas son inevitables, y pueden ocurrir cada año, una o varias veces. Por eso es importante saber hasta qué altura llegaron las aguas en el pasado, para estar preparados en el futuro. La prevención es la única manera de protegernos. (Costa J y Matarredona E 1989).



Figura.3 Inundaciones en Cuba

Las inundaciones son el desastre natural número uno en la nación el cual puede ocurrir en tierra, costas y por las regiones de todo el país. Aunque piense que su comunidad tiene un poco o no está en riesgo de inundaciones, la realidad es en cualquier lugar que llueve puede ser inundado. De hecho, aproximadamente el 25 por ciento de todos los reclamos al seguro contra inundaciones son presentadas en áreas de bajo a moderado riesgo de inundación. Es importante tener presente que los riesgos de

inundación no se basan solamente en la historia de su comunidad, hay una variedad de factores tales como las precipitaciones, topografía, flujo de los ríos e información sobre las mareas y cambios debido a construcciones nuevas en la comunidad. Estos tienen parte importante en los riesgos de inundaciones que usted pueda enfrentar. (Katia Alarcón)



Figura.4 Inundación en Cuba.

Se conoce como peligro de inundación a las consecuencias o los daños causados por desbordamientos de corrientes naturales, así como al aumento del área de espejo de embalses y los terrenos anegados por roturas de presas. Una crecida o avenida es el resultado del escurrimiento producido por la lluvia en cantidades tan grandes que no pueden alojarse en los cauces de las corrientes para niveles bajos. 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 anegan campos que en ocasiones producen pérdidas de las cosechas y dificultan la aplicación de las técnicas agrícolas. En zonas urbanizadas la aglomeración de edificios y otros objetivos dispuestos por el hombre hacen que sean mayores las probabilidades de inundaciones, por lo cual aumentan también las probabilidades de pérdidas de vidas humanas y de destrucción de bienes. Representar espacialmente los territorios potencialmente inundables en la Cuenca del Cauto requiere, en primer término la selección y el análisis de los elementos indicadores que intervienen en la formación del anegamiento del terreno; En segundo término, una

herramienta que permita superponer los mapas escogidos para representar espacial y temporalmente las zonas inundables: un Sistema de Información Geográfica (SIG). Por último una base conceptual que posibilite la aplicación práctica de los conceptos de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo. (Wikipedia)

Inundaciones: Fenómeno natural que se presenta cuando el agua en superficie sube el nivel de los ríos, lagunas, lagos y mar que cubren espacios que normalmente son secos y cuyas consecuencias son los daños.

Las inundaciones, dependiendo del régimen de precipitación que las originen, se pueden clasificar en dos tipos: crecidas (o avenidas) y mantiforme (INET, 2005). Estas últimas son más frecuentes en zonas de llanura, con la consecuente formación de grandes áreas anegadas. Por lo general, se originan en combinación con la disminución en la profundidad del nivel freático, debido a los grandes volúmenes de agua recargados hacia el acuífero.



Figura.5 Embalse vertiendo ante una avenida

Teniendo en cuenta que un mapa de peligro por inundación puede tener varias facetas, es necesario disponer de una información razonablemente confiable, de manera que los resultados a obtener también puedan ser considerados seguros. En este caso, se obtiene teniendo en cuenta criterios de influencia integrada y la correlación de los principales factores físico geográficos que provocan las inundaciones del terreno; Para determinar y representar espacialmente el peligro que producen las inundaciones en la Cuenca del Río Cauto, se han seleccionado varios indicadores físico-geográficos

inherentes a esta cuenca, a partir de la superposición de mapas de litología, tipos de suelos, pendiente y altura del terreno.

Uno de los requisitos principales para que una zona se inunde, es la inexistencia de suficiente gradiente para que el agua escurra superficialmente y además, en el estancamiento de las aguas influye considerablemente la topografía, pues, es natural que los terrenos bajos se inunden más rápidamente que los altos, entonces escogemos la pendiente del terreno y la hipsometría. Teniendo estas condicionantes aceptadas se pasa a la siguiente en importancia: otro requisito para que ocurra la inundación en el territorio, es que ésta no se infiltre; Para ello la superficie sobre la que se deposite debe ser impermeable, por tanto es imprescindible ponderar las características del suelo. Los descritos anteriormente no constituyen todos los elementos que condicionan la formación de inundaciones, es necesario tener en cuenta también la superficie subyacente, donde puede ocurrir la inundación, por ello es necesario introducir otro indicador más: la litología.

Los indicadores señalados (Altura, Pendiente, suelos y Litología) son características propias de la cuenca que, en su integralidad, constituyen el escenario natural donde se producirá o no una inundación, la cual anegará, en mayor o menor grado el territorio, en dependencia, fundamentalmente de la cantidad de precipitaciones a ocurrir. Por tanto, una precipitación máxima diaria del 1% de probabilidad o tiempo de recurrencia de 100 años, podría ocasionar una inundación de esa probabilidad y es además, un indicador importante. (Sánchez Celada)

1.3 Prevención hidrológica.

Las prevenciones hidrológicas son de gran interés en todo el mundo. El tema fundamental es la organización de un servicio de aviso de las crecidas y el estudio de la posibilidad de su prevención. En una segunda etapa y después de una recopilación de estadísticas suficientes, se puede lograr una prevención más o menos aceptable así con un conocimiento perfecto de los factores condicionales del fenómeno hidrológico en cuestión.

Según su objetivo, se puede hablar de prevenciones relativas a las aguas superficiales y a las subterráneas. En nuestro caso solo trataremos las prevenciones relacionadas

con el primer caso. Las que están relacionadas a aguas superficiales estudian en los cursos de agua el nivel, caudal y su aportación total, en un periodo dado, en los lagos y embalses que estudian sus niveles.

Las condiciones de las prevenciones hidrológicas son:

1. El conocimiento lo más exacto posible sobre las relaciones de causa y efecto que caracterizan al fenómeno hidrológico a prevenir.
2. La validez en el momento de la prevención, de las relaciones establecidas.

El conocimiento de los datos de observación que caracterizan la situación existente en el momento de la prevención.

Importancia de la prevención de crecidas.

Son conocidos los grandes daños producidos por las crecidas, que no solo se producen a perjuicios económicos, sino que frecuentemente afectan a vidas humanas si se producen inesperadamente.

Pueden reducirse los daños económicos y evitarse con seguridad la pérdida de vidas humanas, si se dispone de medios para poder predecir con días, o al menos con horas de anticipación, los caudales que han de pasar por el tramo de un río o los niveles que ha de alcanzarlas aguas, lo que es posible estimar en ríos de suficiente extensión de cuenca, siempre que se disponga aguas arriba de la sección en la que se intente la prevención, de varias estaciones limnigráficas y pluviográficas enlazadas telefónicamente con el centro de control, al que han de enviar periódicamente los datos sobre los de agua en las secciones controladas y precipitaciones recogidas en los diversos intervalos de tiempo.

En ríos con aprovechamiento hidráulicos en explotación de cierta importancia, tiene gran interés la prevención de los caudales de crecidas aunque sean corto plazo, con el objetivo de poder utilizar adecuadamente los caudales previsibles y manejar anticipadamente las compuertas de los aliviaderos y los volúmenes de descargas del embalse, con la finalidad de que los caudales aguas debajo de dicho embalse, si es compatible la explotación, sea amortiguado y en ningún caso por falta de maniobras, puedan provocar caudales superiores a los que normalmente hubiesen circulado. Tiene especial importancia la prevención de los caudales de crecidas, cuando en la cabecera de una cuenca existan embalses destinados al control de crecidas, pues los

caudales que estos embalses han de evacuar en cada momento deben coordinarse con los caudales circulantes por los tramos de río controlados, de modo que en los tramos inferiores no se produzcan caudales superiores a los que se consideran admisibles para evitar daños catastróficos por inundaciones.

En la realización de un estudio de prevención en un embalse el objetivo fundamental es establecer un sistema de prevención hidrológica que permita realizar pronósticos de fácil obtención y ágiles en su ejecución cuando se esté en presencia de fenómenos meteorológicos generalizados. Los elementos hidrológicos que se deben analizar son: lluvias máximas, gastos y volúmenes, así como el tiempo de concentración de las avenidas para diferentes probabilidades de cálculo.

La distribución territorial de las lluvias en Cuba es muy variable. En esta distribución existe una ley principal, la cual consiste en que las lluvias aumenten con el incremento de la altura, ocasionando que la exposición de las laderas tenga una gran importancia en la variabilidad de estas por zonas, esto se observa claramente en las provincias más orientales de la Isla, donde el relieve es muy variable.

Actualmente las defensas contra las inundaciones son muy avanzadas en los países desarrollados. Los sistemas de prevención se basan en diques, motas, barreras metálicas, embalses reguladores y mejora de la capacidad de desagüe de los cauces fluviales. También los sistemas de alerta ante situaciones peligrosas están muy desarrollados por medio de la predicción meteorológica, la observación de los aforos fluviales que determinan una alerta hidrológica.



Figura.6 Instalación de equipos de medición.

Las inundaciones se encuentran entre las amenazas naturales que más daño producen en el mundo, causando gran cantidad de muertes y pérdidas económicas (CEOS, 2003). Estos eventos extraordinarios plantean serios riesgos cuando sus efectos se encuentran interrelacionados con el hombre o las actividades que él desarrolla, produciendo impactos económicos, sociales y/o ambientales negativos (Paoli y Giacosa, 2003). Esto hace que el monitoreo de este fenómeno y el análisis de sus causas y efectos sea un tema relevante en el desarrollo de las regiones que pueden verse afectadas por este tipo de eventos. Su evaluación constituye una herramienta básica para la planificación, no solo de los recursos productivos sino también de la infraestructura social (Aguglino, 1998). Es por esto que el monitoreo y cuantificación de inundaciones durante las tres etapas del evento antes, durante y después constituyen una herramienta imprescindible para mitigar los impactos sobre el ambiente y las actividades humanas.

Estas son el tipo más común de desastre en todo el mundo. Se estima que constituyen 40% de éstos. En los últimos 25 años, y según publicación de la revista Stop Disasters, los fallecidos por inundaciones representan 8.6% del total de muertos y 80% de los heridos producidos por todos los desastres naturales. Las mismas son un factor que sucede periódicamente en diversas regiones del país, provocando situaciones que

afectan a la población como: pérdidas económicas, aislamientos entre las zonas urbanas y rurales, pérdidas de cultivos, problemas de salud (epidemias), daños y pérdidas sobre la infraestructura en general, pérdidas de vidas humanas etc., y estos problemas se desencadenan en periodos del año donde las precipitaciones son particularmente fuertes.

La presencia de tormentas tropicales de notable capacidad pluvial, que frecuentan el área del Caribe entre los meses de mayo y noviembre, ejercen una notable influencia sobre el sistema hidrológico de Cuba, donde el régimen de las corrientes superficiales se comporta con arreglo a la distribución de la lluvia: en el período lluvioso se producen las mayores avenidas, casi siempre relacionadas con las tormentas tropicales. Además, las inundaciones en Cuba también están asociadas a las modificaciones del terreno producidas por prácticas agrícolas inadecuadas, tala de árboles, incendios, urbanización, malas prácticas constructivas y otras intervenciones inapropiadas para el medio ambiente o las combinaciones de éstas (Dorticós et al, 2012).

En Cuba, los daños producidos por estos fenómenos también son cuantiosos. La inundación más significativa en Cuba, fue la provocada por el ciclón Flora en octubre de 1963 que se caracterizó por sus altas precipitaciones y afectó a todo el oriente del país, conmoviendo al pueblo cubano con las terribles pérdidas de vidas humanas (más de 1000 vidas) y bienes materiales. En fecha más reciente, en el 2008, se produjeron severas afectaciones por los huracanes Gustav y Ike en amplias regiones del país provocando una elevada pérdida a la economía nacional (Pacheco, 2011).

Afortunadamente, y como respuesta al impacto de este huracán, comenzó el desarrollo de un eficiente Sistema de Defensa Civil que preserva las vidas humanas contra estos desastres naturales. Se reconoce internacionalmente que en Cuba las muertes en estas circunstancias son mínimas, casi siempre debidas a actos irresponsables de las víctimas.

Dada la alta vulnerabilidad a los eventos climáticos extremos, lluvias intensas y crecidas, en Cuba se presta especial atención, y se le dedica grandes esfuerzos, a la prevención hidrológica. En este sentido, el INRH de la República de Cuba está dando los primeros pasos en la automatización de los Sistemas de Prevención Hidrológica y Alerta Temprana en cuencas altamente vulnerables a los embates de eventos

extremos y con condiciones de elevada potencialidad de inundaciones, en las que se compromete a la población y a importantes recursos materiales. Se prevé que estos sistemas incluyan la automatización de la medición de las variables del ciclo hidrológico (se ha diseñado una red de monitoreo en correspondencia con las necesidades principales para la protección y manejo de los recursos hidráulicos en las cuencas); la transmisión de datos en tiempo real; el procesamiento de los datos; la modelación hidrológica e hidráulica; la operación de hidromecanismos, todos dirigidos para brindar apoyo a la toma de decisiones (Dorticós et al, 2012).



Figura.7 Medidas de prevención en Cuba.

Prevención: Actividades tendentes a evitar el impacto adverso de amenazas, y medios empleados para minimizar los desastres ambientales, tecnológicos y biológicos relacionados con dichas amenazas (UNISDR, 2009).

Mitigación: Medidas estructurales y no-estructurales emprendidas para limitar el impacto adverso de las amenazas naturales y tecnológicas y de la degradación ambiental (UNISDR, 2004).

La prevención, atenuación o mitigación de avenidas a causa de lluvias intensas en Cuba sigue siendo un problema a resolver, la cual se inicia con la modelación hidrológica de la causa climatológica del fenómeno, o sea, la precipitación, y del efecto, el escurrimiento, a partir de una metodología apoyada sobre bases científicas y tecnológicas actuales. La modelación hidrológica es una tarea difícil debido a que

depende de muchos factores, que deben determinarse a partir de un gran volumen de información, que en la mayoría de las cuencas cubanas se carece o no está completa (Estrada, 2011).

En el artículo de prevención meteorológica de inundaciones escrito por Rafael Armengot Serrano del INM, Centro Meteorológico Territorial de Valencia se expresa que a partir 1982, la prevención en España de lluvias intensas desde el punto de vista meteorológico ha experimentado un gran progreso, que se puede desglosar en tres vertientes: renovación tecnológica del Instituto Nacional de Meteorología (INM), adecuación de sus estructuras a la predicción y vigilancia permanentes, y relación con los organismos de protección civil. Aquí se analiza la renovación tecnológica, y remarcando los aspectos positivos y las dificultades surgidas.





Figura 8-9-10. Defensa civil en el cumplimiento de su deber.

Desde el punto de vista meteorológico, las precipitaciones intensas pasaron en España de una situación de casi olvido a un primer plano a raíz de dos episodios singulares: el de Octubre de 1982 en la Comunidad Valenciana, que precipitó en su núcleo máximo 1000 milímetros, derrumbó la presa de Tous e inundó la Ribera del Júcar; y el de Agosto de 1983 en el País Vasco, que produjo como hecho más sobresaliente el desbordamiento del río Nervión y la inundación del casco antiguo de Bilbao.

En los años 80 se produce, a nivel mundial, una revolución tecnológica que modifica radicalmente los métodos de observación y análisis de las precipitaciones y, de forma destacada, de los procesos de lluvia intensa. Antes de dicha revolución, la observación y análisis estaban basados en la cartografía elaborada a partir de los mensajes sinópticos ordinarios en tierra y mar, los sondeos aerológicos y los primeros balbuceos de modelos de análisis y predicción numéricos, muy frenados en sus posibilidades por sus grandes exigencias de potencia y velocidad de cálculo que chocaban con las limitaciones de la tecnología informática.

En paralelo a la incorporación de todos estos nuevos instrumentos tecnológicos, surgió el reto de que el INM se dotara de una estructura de predicción y vigilancia operativa las 24 horas del día y los 365 días del año, apta para alertar y hacer un seguimiento en tiempo real de aquellos fenómenos susceptibles de crear situaciones de riesgo. Entre ellos destacan los fuertes vientos, las nevadas y, muy especialmente, las precipitaciones intensas.

En 1996, con la puesta en marcha del "Plan General de Avisos de Fenómenos Meteorológicos Adversos", el INM varió la filosofía anterior. Dicho Plan posee adaptaciones para cada una de las 17 Comunidades Autónomas: dichas adaptaciones matizan los umbrales y protocolos de actuación. Este Plan se aplica también a otros fenómenos como el viento o la nieve y tiene vigencia durante todo el año aunque, lógicamente, su incidencia mayor en el tema de inundaciones se produce durante el otoño en el ámbito mediterráneo. Se establecen umbrales de aviso para precipitaciones horarias y acumuladas.

Han sido numerosas las ocasiones en los últimos años en que estos procedimientos se han puesto a prueba. Cabe citar entre las más recientes las inundaciones en Biescas (Agosto de 1996), Alicante (Septiembre de 1997), Badajoz (Noviembre de 1997). El sistema de alerta meteorológica y las actuaciones consiguientes funcionaron de modo desigual, con éxitos parciales pero mostrando la gran dificultad de predecir con exactitud la localización exacta de estos fenómenos.

En resumen, desde la simple inexistencia de estructuras de predicción y vigilancia meteorológica, y de organismos y planes de protección civil (situación existente en 1982) hemos pasado a una estructura del Instituto Nacional de Meteorología

completamente renovada tecnológicamente y en sus estructuras de predicción y vigilancia, a unas instancias de Protección Civil en general eficaces y bien coordinadas, y a unos planes de actuación que en principio garantizan una disposición permanente para la resolución de cualquier problemática relacionada con las precipitaciones intensas. Frente a este panorama alentador se pueden contraponer algunos defectos estructurales y de coordinación: duplicidad de organismos, ansia de protagonismo de algunas instancias en detrimento de otras, y una notable desigualdad en la operatividad entre unas Comunidades Autónomas y otras. Son éstos unos defectos inherentes a la juventud de estos organismos y procedimientos, que sin duda se irán corrigiendo en los próximos años.

En un estudio que se realizó en México por el Sistema para la prevención de riesgos hidrológicos de la cuenca Chiapas se seleccionó la cuenca del río Coapa, en la Costa de Chiapas, para generar recomendaciones sobre el uso y manejo de laderas y su estabilización, que permitan minimizar riesgos a la población e infraestructura productiva, ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos. Así, se utilizó el software Arc View 3.2 para realizar el diagnóstico sobre erosión hídrica que existe en la cuenca del río Coapa. Generar recomendaciones para el uso y manejo de laderas y su estabilización, que permitan minimizar riesgos a la población e infraestructura productiva, ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos.

En 1998 hubo grandes inundaciones con avalanchas de sedimentos por toda la Costa de Chiapas, causando la desaparición de caseríos con las inundaciones de lodo, a consecuencias de una combinación de eventos, como fueron los incendios durante la primavera del mismo año en las cuencas altas, asociados a una secuencia de precipitaciones extraordinarias durante el verano: la destrucción de las masas forestales por los incendios, la falta de una cobertura vegetal y la alteración de la estructura del suelo por el fuego, el sellamiento del suelo para la infiltración; y después la secuencia ininterrumpida de varios eventos de precipitación de origen ciclónico podrían ser la razón de estos hechos.

A finales de 2005 otra vez hubo pérdidas de vidas y de innumerables viviendas en gran parte de la Costa de Chiapas por cauces extremos, inundaciones y hasta cambios de

cursos de ríos. Se llegó a la conclusión de que para resolver la problemática general de los ríos y prevenir futuros desastres, se deben hacer de manera indispensable labores de conservación de suelos en las laderas de la parte alta de las cuencas, así como intervenir a nivel de cauce con estructuras reguladoras del flujo torrencial (diques escalonados). Enseguida se propone un conjunto de prácticas de conservación para prevenir el aporte de sedimentos por erosión hídrica de las parcelas hacia el resto de la cuenca. Es importante hacer notar que para implementar las prácticas señaladas se debe asegurar tanto los materiales vegetativos, los recursos humanos capacitados y la participación institucional que propicie las condiciones para desarrollar una cultura más conservacionista entre los campesinos de la cuenca alta, por ejemplo otorgando los beneficios de los programas actuales a quien introduzca las prácticas señaladas.

Entre 1863 y 1917 el Servicio de creación y anuncio de crecidas en España puso en práctica el proceso de previsión y anuncio de crecidas, en relación a otros estados europeos, fue más complejo y tardío. A ello contribuyeron diversas causas, entre las cuales destacan las notorias limitaciones de la red hidrográfica y la relevancia de las crecidas súbitas torrenciales. No obstante, a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX hubo iniciativas de la administración para alertar ciudades especialmente vulnerables a las crecidas fluviales. En 1914 se creó oficialmente el servicio de previsión y anuncio de crecidas en las diferentes divisiones hidráulicas. Los anuarios de sus actividades en 1915-1916 y 1916-1917 reúnen una valiosa información del régimen de crecidas de los mayores ríos peninsulares antes del inicio de las obras de regulación fluvial.

Durante el último cuarto del siglo XIX y primeros años del siglo XX, la ciudad de Sevilla fue escenario de diversas inundaciones extraordinarias que dieron lugar a una serie de ante- proyectos de defensa

Las Instrucciones del Servicio Central Hidráulico señalaban los criterios para la localización de los puntos de observación, prescribían los trabajos de los encargados de las estaciones, indicaban los medios de transmisión de los boletines hasta la división hidráulica, señalaban los pasos para el cálculo y la redacción de las previsiones y sugerían la instalación de estaciones pluviométricas en corrientes muy torrenciales. Al mismo tiempo, prescribía que los ingenieros de las divisiones hidráulicas debían reunir otros datos pluviométricos para la previsión de crecidas. Una

vez redactada la previsión, las Instrucciones indicaban los procedimientos para la inmediata transmisión del anuncio a las distintas autoridades gubernativas claramente especificadas a quienes correspondía su difusión a la población. De otra parte, las Instrucciones del Servicio Central Hidráulico también ordenaban que en cada una de las divisiones se elaborase una memoria anual de las actividades desarrolladas por el servicio de previsión y anuncio de crecidas.

Orlando Mauricio Quiroz y un equipo del Instituto de Geología de costas y de Cuaternario realizaron una investigación en el sector sudeste de la provincia de Buenos Aires se encuentra la llanura interserrana bonaerense, limitada por los sistemas serranos de Tandilla y Ventania, dedicada casi exclusivamente a la producción agrícola. La alta productividad de la zona está ligada fuertemente a la disponibilidad de agua, tanto en forma superficial como subterránea, por lo que las variaciones climáticas tienen un fuerte impacto en la producción y el desarrollo de la región. En este documento se analizan las últimas tres inundaciones ocurridas en la cuenca del río Quequén Grande, correspondientes a los años 1980, 1998 y 2002. Para esto se utilizaron datos de precipitación, caudal e imágenes de satélite, todo enmarcado dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se estableció el comportamiento de la lluvia y los caudales antes y durante los eventos de inundación, tiempos de respuesta y datos estadísticos relevantes. Con las imágenes de satélite y utilizando técnicas clásicas de procesamiento digital se obtuvieron mapas de áreas inundables para los años 1998 y 2002, logrando la cuantificación de las zonas afectadas en cada evento. Se generó además un modelo de zonas con mayores probabilidades de anegamiento utilizando información de suelos, espesor de zona no saturada, pendiente y orientación del terreno. Cada una de estas coberturas fue rasterizada y reclasificada según su potencial aporte a la acumulación de agua en superficie, asignado valores altos a aquellas zonas con mayor potencialidad de anegamiento. Una multiplicación entre las diferentes coberturas y una reclasificación final permitió establecer el mapa de mayor probabilidad de anegamiento. Este último mostró una importante similitud con el mapa de áreas inundadas, por lo que puede ser considerado como una buena aproximación en la determinación de dichas áreas. Por

último, se dan recomendaciones sobre las estaciones que deben instalarse para el monitoreo y prevención de este tipo de eventos en la zona.

Iliana Amat Almaguer (Mayo 25, 2018), especialista de la delegación de Recursos Hidráulicos en Holguín, indica que la presa Mayarí exhibe el mayor índice de derramamiento, con un gasto de 46,1 metros cúbicos por segundo.

Debido a la prevención hidrológica la presa Moa es sometida a un proceso de desembalse, con el objetivo de evitar, de continuar las lluvias como indican los pronósticos, que su vertimiento afecte los núcleos poblacionales aguas abajo. Se trata de una de las medidas que se aplican en la provincia de Holguín, junto a la vigilancia hidrometeorológica, revisión de las obras hidráulicas y el estado de las comunicaciones de acceso, entre otras, para prevenir eventos como las inundaciones. En el transcurso del actual mes de mayo el territorio holguinero ha recibido una lámina de lluvia de 164, 7 milímetros (mm), cantidad superior al promedio histórico para el período equivalente al 101,8 por ciento.

Los acumulados más significativos se localizan en la presa Limoncito, con 61,5 mm reportados durante la jornada del miércoles; el municipio de Banes, con 54, 7 mm y Antillas con 77 mm.

La capacidad total de llenado de los embalses de la provincia es de 89,9 por ciento, cantidad que se incrementa en comparación con el inicio de este mes cuando el agua almacenada representaba el 87 por ciento del volumen total.

La presa Moa, de las de mayores posibilidades de acopio muestra ahora el 84, 9 por ciento de agua en su vaso, mientras las que abastecen a la capital provincial acopian el 83,4 por ciento, la Güirabo; Gibara posee el 65, 4 y Cacoyugüín alivia junto a otras siete de la provincia.

1.4 Modelos hidrológicos.

La modelación hidrológica es una de las manifestaciones de la revolución científico-técnica contemporánea ampliamente generalizada en países desarrollados. El desarrollo actual permite el empleo de tecnologías de avanzadas entre las que dicha modelación ocupa un lugar destacado como herramienta para el análisis y operación de los recursos hídricos. En la actualidad los modelos matemáticos son los más

difundidos y utilizados en la práctica hidrológica internacional ya que permiten el funcionamiento de un sistema en situaciones que no se han producido y mejora la visión de estas, (González et al, 2000). En la década del 60, en el campo de la Hidrología al igual que en otras ramas de la ciencia y la técnica, se experimentó un auge muy importante en la modelación matemática debido fundamentalmente a la potencia y rapidez de las computadoras y a los avances de las investigaciones matemáticas. La aplicación de las tecnologías relacionadas con la modelación matemática de las cuencas contribuye a mejorar el conocimiento de las disponibilidades de los recursos hídricos y a desarrollar políticas racionales de administración de los recursos hidráulicos que garanticen el desarrollo sustentable.

Simular el comportamiento de una cuenca hidrológica con la ayuda de un modelo matemático cobra sentido cuando la información obtenida con el mismo resulta imprescindible para lograr un objetivo difícilmente alcanzable por otros medios menos costosos. Los modelos facilitan la manipulación de las variables que intervienen en el proceso de conversión lluvia-caudal, aportando datos sobre la distribución espacial de la escorrentía superficial y mejorando la calidad de la cartografía temática sobre zonas inundables y zonas con riesgo de inundación (Triviño et al, 2004). El análisis de la escorrentía y de sus consecuencias, entiéndase principalmente avenidas e inundaciones, se puede realizar mediante la utilización de modelos hidrológicos existentes que pueden ser aplicados en cuencas de Cuba. Habitualmente para trabajar con estas cuencas, en general pequeñas y sin estaciones de aforos, se emplean modelos agregados que partiendo de unas condiciones geomorfológicas y climáticas fácilmente observables, consideran que la lluvia es uniforme y las variables hidrológicas globales y constantes durante el hidrometeoro.

Los modelos de suceso suelen situarse dentro de los denominados de proyecto, utilizados, entre otras cosas, para el dimensionamiento de obras o el análisis de la extensión de las zonas inundables. Por su parte, los modelos continuos se sitúan más cerca de los conocidos como modelos predictivos, más enfocados hacia la estimación a corto y mediano plazo a partir de datos observados, pudiendo incluir así mismo predicciones meteorológicas como datos de entrada (Olaya, 2004).

La división de mayor relevancia es, sin duda, la establecida en función del tratamiento que se dé a las diferentes unidades en que se divide la zona objeto de análisis y las características de dichas unidades (Olaya, 2004). Los modelos agregados consideran las cuencas y subcuencas como unidades de trabajo, mientras que en los distribuidos las unidades, además de tener generalmente menor tamaño y estar definidas de forma regular, no tienen un significado hidrológico tan definido ni representan elementos hidrográficos concretos. La estructura de los MDT y mallas de datos adicionales, así como de las imágenes aéreas o procedentes de sensores remotos, todas ellas ya divididas en unidades mínimas (celdas o píxeles), hace que resulte natural el emplear estas mismas unidades también como unidades hidrológicas, existiendo por tanto una tendencia natural a plantear sobre dicha estructura modelos de tipo distribuido.

A diferencia de los modelos de parámetros agregados, los distribuidos prestan mayor atención a la distribución espacial de los datos en la cuenca, pero no sólo a los asociados con el escurrimiento superficial del agua sino también a factores climáticos como las precipitaciones. Con ellos se supera la escala de trabajo habitual de los modelos hidráulicos, los cuales se ciñen casi exclusivamente al cauce como consecuencia de la utilización de las secciones transversales de los ríos para realizar los cálculos. Los modelos hidrológicos distribuidos se aproximan mucho más a la realidad al aceptar que la escorrentía es una respuesta hidrológica continua en el espacio y en el tiempo que afecta de distinta manera a toda la superficie de la cuenca. Estos modelos simulan la escorrentía en un lugar concreto considerando la influencia del espacio adyacente, es decir, las zonas que directa o indirectamente intervienen en él vertiendo y drenando el agua precipitada (Triviño et al, 2004). Además ofrecen varias posibilidades tanto para el tratamiento de la precipitación como para la génesis de la escorrentía y la traslación de la misma sobre la cuenca con el fin de sintetizar el hidrograma del evento. Las posibilidades del tratamiento de la precipitación son múltiples, habiéndose desarrollado rutinas que permiten tanto el tratamiento agregado como distribuido de la misma. Para la génesis de la escorrentía directa se ha planteado la aplicación distribuida.

Los modelos de parámetros distribuidos de una cuenca ofrecen una ventaja física ya que representan la variabilidad espacial de factores que controlan el escurrimiento y

refuerza el proceso de la predicción hidrológica. Ellos evitan promediar parámetros y entradas para representar más fielmente las características de la cuenca. Cualquier modelo distribuido orientado a la simulación de eventos hidrológicos debe tratar tres problemas básicos:

1. La distribución de la precipitación total sobre la cuenca.
2. La síntesis de lluvia neta en cada punto a partir de la precipitación total y de las características de la cuenca.
3. La traslación de la lluvia neta desde cada celda hasta la salida de la cuenca, para generar el hidrograma del evento.

Por todo lo estudiado sobre los métodos se puede decir que la Hidrología está sujeta en gran medida a tener que usar modelos matemáticos que reflejen el menor o mayor grado la realidad en función de los objetivos del estudio. Sería interminable hacer un resumen completo de los modelos matemáticos en Hidrología e imposible listar todos los casos en que han sido utilizados. Los principales casos en que es común utilizar los modelos matemáticos son:

1. En el estudio del desarrollo de los recursos hídricos de una región.
2. En el planteamiento, diseño y operación del sistema de explotación de los recursos hídricos.
3. En el diseño hidrológico de las obras hidráulicas.
4. En la previsión y mitigación de desastres.
5. En la valoración del impacto ambiental que provoca la actividad humana sobre el sistema hidrológico.

En la modelación hidrológica de eventos extremos, se necesita analizar y procesar variables hidrológicas máximas tanto de lluvia como caudal, con el fin de adecuarla a los objetivos que se persigue en la modelación. En el procesamiento de la información no se utilizan todos los datos registrados, sino los eventos de magnitudes más grandes o críticas, los cuales forman una serie estadística con una secuencia conveniente de datos. Esta serie está formada por los eventos máximos registrados en cada año de registro. El tratamiento estadístico de dicha serie se realiza de la misma manera que

establecen los libros de hidrología con el fin de obtener la curva de mejor ajuste de probabilidad a los valores observados.

El procesamiento de la información se ha tornado un poco más fácil con la mayor accesibilidad y popularidad de las computadoras. Las hojas de cálculo en **EXCEL** presentan una serie de alternativas de procesamiento y análisis de la información. Por otra parte, los programas de manejo de base de datos tipo DBASE, FOXPRO, ACCESS permiten realizar muchas manipulaciones con la información. Los programas estadísticos tipo AFMULTY, STATGRAF, **PQMAX**, **HMS** y **HEC**, pueden ser utilizados en el análisis de probabilidad de las variables hidrometeorológicas máximas. Actualmente este procesamiento se hace más fácil aun cuando se cuenta con estaciones automáticas, las cuales realizan un pre-procesamiento de los datos, los cuales son recopilados de forma automática en archivos de texto.

En esta sección se presentan las principales variables hidrometeorológicas que intervienen en el proceso de modelación de avenidas, destacando las técnicas e instrumentos de medición de dichas variables, así como su recopilación, y procesamiento primario.

Cada una de las **variables hidrometeorológicas** que intervienen en el modelación de avenidas tiene múltiples aspectos que deben ser analizados cuidadosamente para interpretar correctamente su influencia en la cuenca de estudio. La precipitación está directamente influida por: los vientos; la topografía del área; presión atmosférica; presencia de frentes y la temperatura. En cambio el caudal, está directamente influido por: la precipitación sobre la cuenca; las características geológicas, edafológicas y topográficas de la cuenca y la cobertura vegetal.

Los datos básicos o registros de las observaciones de las precipitaciones máximas se obtienen mediante la red pluviométrica o pluviográfica de la cuenca. En estas hay un observador, supervisado por la Oficina de Hidrología de los Complejos Hidráulicos, que es el encargado del tratamiento primario de los datos.

La definición de lluvia máxima depende no solo de la cantidad total de agua caída, sino también de su distribución temporal y su valor areal en el lugar de estudio; lluvias que en algunas regiones del mundo constituyen lluvias torrenciales en otros son valores medios normales (González, 2000).

Las lluvias máximas se deben caracterizar por la cantidad, duración y frecuencia de ocurrencia. La cantidad de lluvia es la precipitación total ocurrida en milímetros en toda la duración de la tormenta; la frecuencia se expresa por el período de retorno de la lluvia o su intervalo de recurrencia, que tiempo promedio en años en el cual el evento puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio (Campos, 1984 y 1987; y Ayllon, 2003).

Los pluviómetros registran las láminas diarias (mm) de lluvia caída, a partir de las cuales se estiman las láminas máximas diarias (en 24 horas) mensuales y anuales, respectivamente. Los pluviómetros son recipientes que se utilizan para medir la lluvia caída en una cierta localidad. Existen muchos tipos y formas de pluviómetros y en realidad cualquier recipiente de área superficial conocida sirve para el propósito, sin embargo, para poder hacer comparaciones válidas, su forma se ha estandarizado. La figura 1.3 muestra un pluviómetro estándar que posee un área de captación de 200 cm².



Figura 11-12 Pluviómetros convencionales.

Según Gonzáles (2000), para un estudio de lluvias máximas en una cuenca la información necesaria de los equipos que forman la red pluviométrica es: Coordenadas y altura de instalación de los equipos, periodo de observación de cada equipo, láminas máximas diarias en N años, registros pluviográficos en N años.

El tratamiento de los datos de lluvias es complejo, pues en la mayoría de los casos la información es deficiente, tanto en extensión (años) como en el área de estudio (cantidad de equipos); o bien, la calidad de los datos no es la mejor, pues hay datos faltantes o presencia de errores sistemáticos y/o accidentales en la información recopilada.

Para los modelos hidrológicos de gastos máximos es necesario estimar la forma del hietograma de la tormenta de diseño como variable de entrada al modelo. El hietograma de una tormenta es la gráfica que representa la distribución de la lámina o intensidad de lluvia en el tiempo (t) o duración de la tormenta.

González (2000), partiendo de un análisis de la distribución temporal de numerosas tormentas realizada por otros investigadores, resume, sobre su comportamiento general, los siguientes aspectos:

- Se producen variaciones muy importantes de unos episodios lluviosos a otros.
- Las variaciones en la distribución temporal son sensiblemente mayores que las existentes respecto a la duración, el periodo de retorno y el tamaño de la tormenta.
- No existen importantes diferencias entre los resultados puntuales y areales.

Todo ello, conduce a que sea habitual considerar una determinada forma del hietograma que se modifica según la magnitud de las lluvias (Ferrer, 1993). El hietograma de una tormenta real es una transformación de su curva de masa, en la que ésta es dividida en intervalos de tiempo. Sin embargo, el hietograma de diseño para un periodo de retorno es el estimado: por el análisis estadístico de diversos hietogramas de aguaceros reales expresados en forma adimensional o por las curvas IFD definiendo un intervalo de tiempo para la variación de las intensidades y una duración total para la tormenta (González, 2000).

Para definir la lluvia a considerar para la tormenta de diseño se trabaja con las láminas máximas en 24 horas registradas por los pluviómetros o con las láminas y duraciones registradas por pluviógrafos para estimar intensidades, o cuando no hay suficiente registro de lluvias, con transposición de tormentas de cuencas con condiciones climáticas análogas o modelos de tormentas típicos.

En la modelación de avenidas, la pluviografía es muy importante ya que permite definir la variación temporal de la lluvia. Pero no todas las zonas del territorio nacional, correspondientes a la red pluviométrica, tienen pluviógrafos en funcionamiento o se cuenta con las descargas de las cartas pluviográficas de los aguaceros que generaron las principales avenidas. En ausencia de ella, es necesario acudir a las lluvias diarias observadas en la red pluviométrica para llevar a cabo dicha modelación. Una vez recopilada la serie de lluvia diaria anual por cada equipo, realizar un análisis de probabilidad de lluvia máxima para conocer la probabilidad de las lluvias diarias que originaron las avenidas seleccionadas.

Según Estrada et al. (2011), la lluvia diaria se lee a las 8 am y debe anotarse el día que se leyó, así, hay que dilucidar en que día cayó la mayor parte de la lluvia que provoca una avenida, para ello es necesario analizar la pluviometría de conjunto con la pluviografía cuando existe, el tiempo de concentración de la cuenca (T_c), el tiempo promedio de desfasaje del pico (T_{dp}) en caso que se conozca, y el tiempo de ocurrencia del pico del hidrograma (T_p).

Para mitigar las consecuencias de estas dificultades, Estrada et al. (2011) propone recopilar la lluvia diaria varios días antes y después (5 y 3) de los días que duró cada avenida, y realizar un análisis lógico particularizado por equipo del comportamiento de los parámetros del hidrograma con el fin de realizar una adecuación temporal de la lluvia que provocó cada avenida estableciendo el día real de ocurrencia de dicha lluvia. A partir de las recomendaciones realizadas por Estrada et al. (2011) y las experiencias de los autores en la modelación de eventos extremos máximos de lluvia y escurrimiento, se propone el siguiente procedimiento para obtener los hietogramas de la lluvia en 24h en función de la disponibilidad de datos en la cuenca de estudio A continuación se describe el procedimiento:

- Si los datos de lluvia son medidos con pluviógrafos. Recopilar las descargas de los aguaceros que generaron las avenidas, o buscar las cartas pluviográficas que están aún sin interpretar en los archivos pasivos de las empresas del INRH para realizar el procesamiento de las mismas, a fin de obtener el hietograma real de la lluvia que provocó la avenida. Para introducir dicho hietograma real

en el modelo de simulación hay que convertirlo en Δt constante con ayuda de un software de análisis de curva como el TableCurve 2D v 5.01.05.

- Si los datos de lluvia son medidos con pluviómetros. Recopilar los datos de lluvia diaria varios días antes y después (5 y 3) del día que se produce el caudal máximo, y realizar un análisis lógico particularizado por equipo del comportamiento de los parámetros del hidrograma (**tiempo al pico (Tp)**, **tiempo promedio de desfasaje del pico (Tdp)**, **tiempo de concentración de la cuenca, Tc**), con el fin de realizar una adecuación temporal de la lluvia que provocó cada avenida estableciendo el día real de ocurrencia de dicha lluvia y determinar la lluvia media diaria. Una vez obtenida la lluvia media diaria, transformarla en lluvia por intervalos a partir de la Curva de Acrecentamiento de la Lámina para la Región Montañosa de Oriente (Trusov 1986) en función de la probabilidad de la avenida o por el patrón del comportamiento del SCS (Chow et al, 1994).

Capítulo 2.

CAPÍTULO 2. PREVENCIÓN HIDROLÓGICA EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA LAS COLORADAS.

2.1 Caracterización de la cuenca del río Cauto.

El río Cauto es el más extenso de Cuba. Sus finas aguas nacen desde el lugar conocido como La Estrella, ubicado en el Consejo Popular Las Coloradas, específicamente en la finca "La Fortuna" en la Sierra Maestra a una altitud de 600 metros sobre el nivel del mar.

Este ente natural corre en dirección sur-norte y desemboca en el Golfo de Guacanayabo. Su longitud total es de 343 kilómetros. Los Ríos Caney, Mefán Caña, Yarayabo y varios arroyos como Los Guaos y Las Tusas son afluentes por este municipio. La cuenca del Río Cauto tiene un territorio de 9540 km² y alberga una población superior al millón cien mil personas de la zona oriental que incluye a las provincias de Santiago de Cuba, Las Tunas, Holguín y Granma. El territorio de la cuenca del río Cauto cuenta con 358 asentamientos, que representan el 57 % del total provincial (628 asentamientos), de ellos 17 son urbanos (5%) y 341 son rurales (95%). La densidad es de 0.115 asentamientos/km² y del total de asentamientos 105 son de montaña (29.3 %). La población total de la cuenca es de 419 319 habitantes que representa el 40 % del total de población de la provincia (1047181 habitantes), de los cuales un 49.9 % son varones y un 50.1 % son hembras (según datos del anuario estadístico 2010).

Esta cuenca en la Provincia de Santiago de Cuba ocupa una superficie de 3107 km² que representa el 50.4 % del territorio total de la provincia (6227.79 km²), así como el 32.3 % de la superficie total de la cuenca a nivel territorial (9 624.36 km²). Se distribuye en el territorio de 7 municipios, de ellos ocupan un área total los municipios de Tercer Frente, Contramaestre, Palma Soriano y Mella, así como parte del territorio de los municipios San Luis, Santiago de Cuba y Songo La Maya.

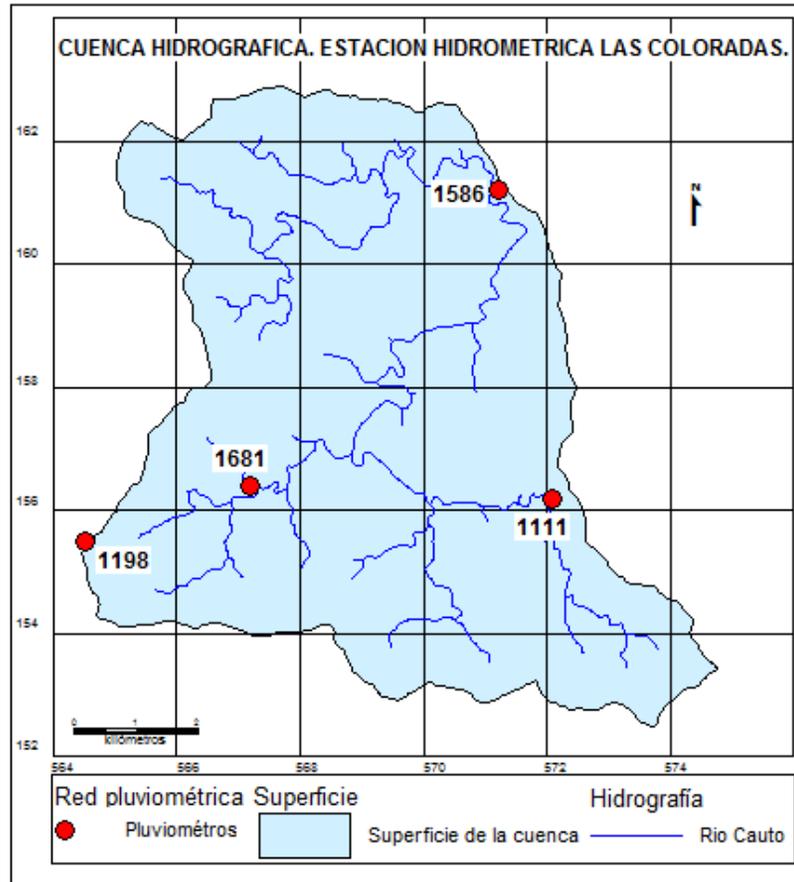


Figura 1. Cuenca hidrográfica El Cauto: ubicación y características.

La provincia Santiago de Cuba tiene un área de 6 159.69 km² y en ella predomina un meso relieve montañoso, donde se destaca la cuenca del río Cauto, el cual es a su vez la cuenca más importante de Cuba no solamente por su extensión, sino por su complejidad económica, social y ambiental, de ahí la importancia que se le concede a la situación de deterioro de los recursos naturales que se integran en su entorno. La cuenca tiene las siguientes características:

- La superficie total de la cuenca es de 9613.2 km² con una población de aproximadamente 1 186 100 que representa el 10.6 % del territorio nacional, distribuido entre cuatro provincias orientales (Santiago de Cuba, Granma, Holguín, Las Tunas).
- El área sirve de asentamiento a una población de 167 400 habitantes aproximadamente

- El origen de la cuenca se localiza en la Maestra, específicamente en la serranía El Cobre en Santiago de Cuba y se desplaza de sur hacia a norte y luego de este a oeste.

La cuenca del río Cauto, que forma parte de la provincia Santiago de Cuba, se localiza al Centro y al Oeste de la provincia, formando parte de la vertiente Norte de la Sierra Maestra. La misma limita al Norte con la provincia de Holguín, al Sur con los municipios de Santiago de Cuba y Guamá, al este con los municipios Songo La Maya y parte del territorio de San Luis, al oeste con la provincia de Granma. Dentro de este territorio se localizan gran número de ríos que son afluentes del Cauto, siendo los más importantes el Guaninicún, Contramaestre, Río Grande, Yarayabo, El Naranjo, Bio. La misma representa la cuenca hidrográfica del río Cauto en los municipios Palma Soriano, Mella, Contramaestre, Tercer Frente y una parte de San Luís, Songo La Maya y Santiago de Cuba. Es una cuenca de interés nacional donde se encuentran las principales fuentes abastecedoras a la ciudad de Santiago).

El río Cauto es una constituye una de las ocho cuencas priorizadas del país, ocupa cuatro provincias del oriente del país. Uno de los fenómenos naturales que tiene incidencia en las cuatro provincias son las inundaciones terrestres, causadas por intensas lluvias. Las lluvias caídas en las provincias de Las tunas, Santiago de Cuba y Holguín, en las partes altas de la cuenca, drenan sus aguas hacia la provincia de Bayamo, que es la más afectada por las intensas lluvias y las inundaciones provocadas.

2.1.1 Tipos de inundaciones

La morfología y el relieve de la cuenca del rio Cauto, hace que las inundaciones ocurran tanto en las llanuras como en las montañas. Es por esto que suceden inundaciones súbitas sobre los cauces de avenidas de los ríos, en las llanuras y en las alturas y en las submontañas de la cuenca y en la llanura ocurran fundamentalmente de forma areal y temporales.

Las principales inundaciones ocurren en las llanuras bajas y medias hasta la cota de los 55 m, que coincide con el curso inferior de la cuenca. Aquí la inundación ocurre en siguiente zonas de la cuenca y con esta distribución:

Para el análisis de las inundaciones se dividen la red fluvial en ríos de:

- Llanuras
- Alturas y submontañas y montañas.

En los que las inundaciones son del tipo.

- Súbita lineal por el cauce de avenida de los ríos de toda la cuenca. Tanto en los ríos de llanuras, alturas y submontañas
- Areales y temporales en los ríos de llanuras (permaneciendo un tiempo más largo en dependencia del gasto alcanzado por el río, en función de la lluvia máxima caída en 24 horas y de acuerdo a la permeabilidad de los suelos y la roca).

Las inundaciones en la cuenca ocurren según el orden que se muestra

- Cauce de los ríos, de llanuras, alturas y submontañas
- Cuenca del Naranjo
- Meandros abandonados de los ríos
- El interfluvio entre los ríos Salado y el Cauto
- Zona del humedal
- Zona de los depósitos terrígenos, entre la zona de humedal y la zona de los depósitos cuaternarios fluviales clásticos.

El modelo de funcionamiento de las inundaciones es el siguiente:

- Primero se inundan los cauces de los ríos en las alturas y en la submontañas que escurren hacia la llanura
- La llanura se inunda por las lluvias que caen directamente sobre el río
- Una cuenca importante es la del río Naranjo que aporta un importante caudal hacia la llanura.
- Se inundan los diferentes niveles de los meandros abandonados
- Se inunda el interfluvio entre el río Cauto y el Salado
- Se inunda la zona situada antes del humedal y situada aguas debajo de la llanura fluvial
- Se inunda la zona del humedal

2.1.2 Áreas fluviales susceptibles a las inundaciones.

Las áreas que se describen a continuación, se corresponden en gran medida con la distribución de los depósitos cuaternarios y con los diferentes cauces que ha tenido el río durante su evolución fluvial. Se reconocieron tres paleocauces (cauces antiguos), los cuales están bien expresados morfológicamente en el relieve y la presencia de meandros enanos abandonados y en ocasiones a niveles superiores al cauce actual del río.

Los escenarios de peligros de las inundaciones provocadas por intensas lluvias están en correspondencia con las zonas fluviales del relieve. Se reconocieron las siguientes unidades:

Zona de inundación de la llanura fluvial y marino- deltaica plana, parcialmente cenagosa.

Coincide con el área de la desembocadura y el delta del río y con dos niveles de terrazas marinas y fluviales en los intervalos de altura entre los 2-3 m, y los 5-7m. Las inundaciones son del tipo areal, desarrolladas sobre el primer plano de inundación. En esta área, ocurren inundaciones sobre la facie marina, aumentando el espesor del agua dulce en aproximadamente 0,25 m. El aumento del nivel de las aguas produce sistemas de corrientes marinas locales entre las lagunas que componen el humedal.

El río del Cauto tiene dos desembocaduras que drenan el escurrimiento de la cuenca, el donde ocurre además el desbordamiento de la avenida en esta parte de la cuenca, también y que también aumenta el nivel de las aguas, existe una amplia zona de humedal donde se ubican tres lagunas, un estero y dos cayos que facilitan la ocurrencia de las inundaciones aumentando el nivel de las aguas del humedal.

Aquí se nota la morfología del relieve que alcanza hasta los 7 m hacia el Norte, esta poco desmembrado y se nota bien el cauce del río y como va aumentando la pendiente aguas arriba, en conclusión la poca altura y las bajas pendientes facilita la ocurrencia de inundaciones

Zona de cauce actual y meandros abandonados.

Esta zona está formada por meandros enanos según la definición de (Derrau, 1970) ubicados en diferentes paleocauces del río. Según esta definición, ellos responden a patrones locales de agrietamientos jóvenes en el sistema litoestructural.

Los meandros abandonados se inundan completamente son planos, de poca profundidad anchos Las dimensiones (largo y ancho) de cada sistema de nodos morfoestructurales, controlan las dimensiones que tiene cada meandro.

El gasto del río, que permitió la formación de estos meandros determina el escurrimiento máximo permisible, que se puede drenar por cada meandro. Un aumento en el volumen del escurrimiento fluvial, propicia que se rebosen los límites hidrológicos máximos en el valle del río, por lo que ocurrirá un rebose de las aguas de este valle, comenzando a ocupar los límites más bajos del primer plano de inundación. En esta zona se han reconocido tres niveles de meandros enanos, que se corresponden con igual número de paleocauces abandonados. Cada uno de ellos refleja que el río ajustó su nivel de equilibrio en igual número de oportunidades.

El segundo nivel de paleocauces con sus meandros enanos, es ocupado en un segundo momento, es en este instante donde la inundación se transforma en areal y se pierden estos dos cauces, quedando bajo el nivel de las aguas de las inundaciones. El tercer nivel del río se alcanza cuando el volumen de escurrimiento de las aguas del mismo no puede ser drenado por el segundo nivel y sus meandros. Entonces la inundación ocupa los tres paleocauces del río, quedando todos los meandros bajo el nivel máximo de la inundación.

Zonas de los planos de inundación entre los niveles de 10 a 30 m y de 30 a 60 m de altitud.

La morfología de estas áreas, su pendiente y alturas del relieve, están fuertemente controladas por la estructura grabens Nipe Guacanayabo y las oscilaciones del nivel del mar del pleistoceno, lo que determinó el perfil de equilibrio del río y la formación y existencia de al menos los tres paleocauces reconocidos en el mismo. La alimentación del escurrimiento fluvial de estas zonas provienen principalmente de las subcuencas fluviales, que ocupan las alturas y submontañas de las vertientes norte y sur de la cuenca, sin descartar la componente del aporte que pueda representar la lluvia caída directamente sobre ellas.

En este perfil se ven los numerosos meandros del río, la ruptura de las pendientes a lo largo del valle y en cada sector entre meandros, en el relieve la pendiente es de 25 m y teniendo en cuenta el nivel de los valles, la disección es de 35 m.

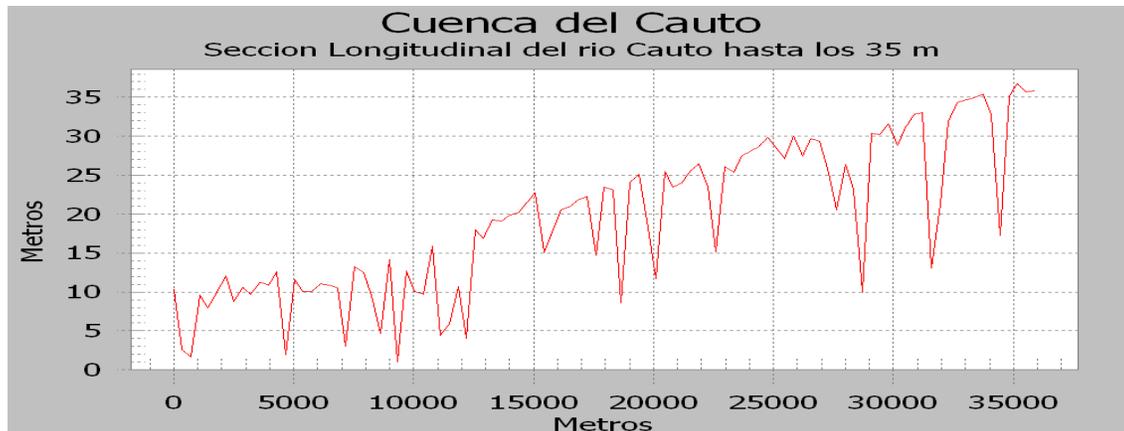


Figura. 2 Sección longitudinal del río Cauto hasta la cota 35 m.

Zonas fluviales de la vertiente norte.

Se reconocen las zonas de los ríos que drenan la llanura de articulación abrasiva acumulativa ligeramente ondulada y plana con altura entre los 10 – 30 m. Estos ríos son Naranjo, Majabacoa, La Rioja Cacocúm. En estas zonas se presentan siete segmentos de cauces que alimentan directamente a la llanura del río.

En la zona más occidental del tipo erosiva- fluvial que drena el escurrimiento del río Naranjo se presentan los dos tipos de inundaciones. En la superficie más alta, la inundación es del tipo lineal y súbita sobre el cauce de avenida.

En la superficie más baja, hasta los 20 m, la inundación ocurre en el plano de inundación, que tiene una morfología alargada y con buena expresión en el relieve.

En las zonas de los ríos La Rioja y Cacocúm, las inundaciones son del tipo lineal y súbita, la morfología de los valles es alargada y son relativamente profundos, por lo que el escurrimiento de avenida no sobrepasa el cauce de avenida de los ríos.

La distancia entre la subcuenca del río Salado, sus afluentes y pendientes favorables al río Cauto es muy corta, esto facilita que el escurrimiento superficial alimente el caudal del río cauto rápidamente.

Zonas fluviales en la vertiente Sur. En la vertiente Sur se conocen las zonas fluviales de los ríos Bayamo, Cautillo y Contramaestre, que drenan cinco segmentos de cauces directamente a la llanura del río.

El río Cauto es de corriente permanente en toda su extensión, es largo con una longitud de 28.6 Km y nace en la cota 820 de abundante caudal y en ocasiones suele tener frecuentes avenidas.

En Cuba, el Servicio Hidrológico Nacional del INRH tiene una red pluviométrica, distribuida bastante uniforme en todo el territorio, compuesta por 61 pluviómetros. El 90 % de estos equipos fueron instalados a partir del inicio de la década del 60. Debido a esto puede contarse con un volumen de información importante para estudios de precipitación.

La cuenca Cauto con sus embalses en sistema de cascada (Gilbert, Charco Mono, Gota Blanca, Protesta de Baraguá, Hatillo y Céspedes),

2.2 Localización de la estación

La estación se encuentra situada sobre el río Cauto en el municipio Palma Soriano. Es accesible por la carretera Central, continuando el camino que conduce a la Candelaria a unos 10 km de Dos Palmas. Camino de terraplén accidentado con curvas rasantes pronunciadas. Hay que detenerse frente a la vivienda del observador y a la izquierda entrar por un camino entre cafetales con pendientes considerables hasta cruzar el río Cauto y luego por toda la margen izquierda del río hasta la estación unos 800 mts.

El tramo del río es aproximadamente de 100 m teniendo la margen izquierda una altura de 4.82 m y la derecha 5.90 m siendo la constitución del suelo arcilloso arenoso, con una vegetación compuesta por hierbas finas con pequeños arbustos escasos que no ofrecen obstáculos en las observaciones y el curso de las corrientes, producto de sus laderas abruptas no hay desbordamiento por ninguna de las márgenes.

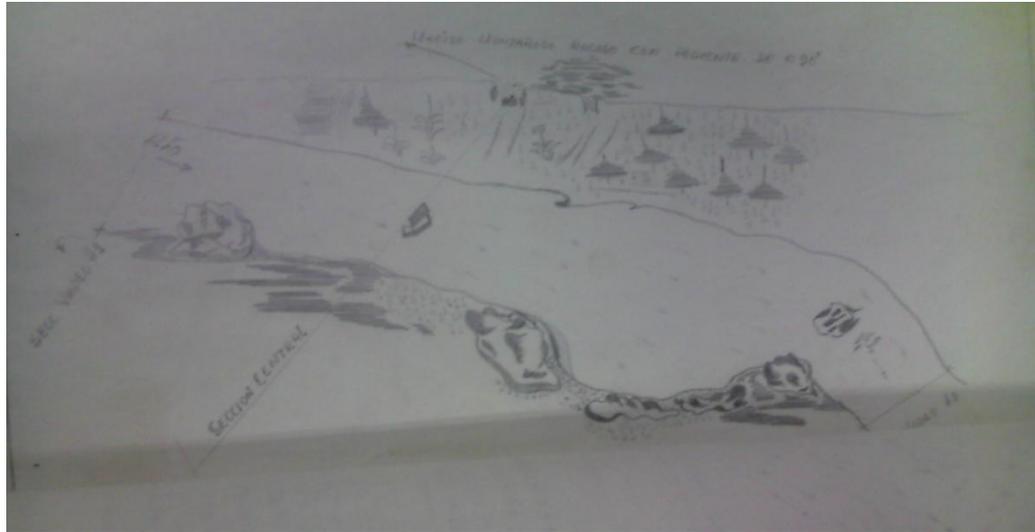


Figura. 18 Esquema del tramo de las observaciones en la estación Las Coloradas.

La cuenca de la estación hidrométrica Las Coloradas se localiza al Centro y al Oeste de la provincia, la misma limita al Norte con los ríos Grandes y Caney, al Sur con los nacimientos de los ríos de montaña en las estribaciones de la Sierra Maestra (Quivjan, Cativar, Cabagán y Aserradero) del municipio Guamá, al Este con la presa Gilbert y el río Marianao y al Oeste con los afluentes de la margen derecha del río Contraamaestre. La misma cuenta con 4 equipos pluviométricos.



Figura. 19 Hidrografía y Pluviométrica de la estación hidrométrica las Coloradas.

Esta tiene como objetivo controlar el régimen hidráulico de forma sistemática y el Balance Hídrico de la Presa Gilbert, adamas el régimen del río, la variación de niveles y el comportamiento hidrológico con el fin de tener un estudio lo más detallado posible del agua para su uso en la agricultura y otros fines.

Los parámetros físico geográficos obtenidos se brindan en la tabla No 1 calculados de hojas cartográficas a escala 1:50 000 (4, 12)

Tabla N. 1 Parámetros de la estación las Coloradas

Parámetros de las estación Hidrométrica	
Área de la Cuenca	64
Altura Media del Río	501
Pendiente media de la cuenca ‰	347
Longitud del río	17.4
Pendiente media del río ‰	24.3
Máximo nivel histórico Cota 223.13 m.s.n.m. 25/5/1970 224.49 m.s.n.m. 20-21 5/1972	

A_c - Área de la cuenca

H_m - Altura Media

Y_c - Pendiente de la cuenca

L_r - Longitud del río

Y_r - Pendiente del río

D_d – Densidad de drenaje

2.3 Prevención hidrológica en la estación hidrométrica de las Coloradas.

Para el análisis de la prevención se creó una base de datos de los valores de lluvias máximas en un rango de 24 horas observadas en cada uno de los equipos pluviométricos que representan la cuenca, se realizaron correlaciones ortogonales con el objetivo de conocer el grado de correlación que existe entre ellos, obteniendo en general, resultados que son permisibles para prolongar series, ya que casi todos presentan un coeficiente de correlación por encima de 075.

Después que las series con datos faltantes fueron completadas, se procedió a realizar un análisis estadístico mediante el software EXCEL.

Los errores medios cuadráticos para cada uno de los equipos pluviométricos fueron calculados, ellos están dentro del rango permisible. Sus cálculos fueron realizados mediante la utilización de las siguientes formulas:

$$\xi_{x_0} = \pm C_v/n^{1/2} * 100\% = \pm 9.19-13.35$$

$$\xi_{c_v} = [(1+C_v^2)/2n]^{1/2} * 100\% = \pm 12.13-13.05$$

Donde:

ξ_{x_0} - Error medio cuadrático de la media

ξ_{c_v} –Error medio cuadrático del coeficiente de variación

n –Cantidad de valores de la muestra

Se llevó a cabo el control de la calidad de los datos de las series de observación de los valores extremos de lluvia con el uso de la aplicación del software DEPURA una de las pruebas de homogeneidad paramétricas: Fisher, Studens y Cremer, y no paramétricas: Helmer, Secuencias y Mann-Whitney. La mayoría de ellas mostraron que las series son homogéneas y tienen buena autocorrelación.

Luego, a dichas series se le aplicaron varias curvas de probabilidad contempladas en los software Pqmax y AFM, ellas son Log Normal, Gumbel, Krinsky y Menkel, Log Gauss, GEV, Pearson III, Log Pearson, Exponencial y Wakeby. Todas ellas tuvieron buen ajuste con las observaciones empíricas.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la aplicación de diferentes curvas de probabilidades, consideramos que los parámetros estadísticos de las lluvias máximas para la cuenca de estudio deben ser caracterizados mediante el uso de la curva GEV (Valores Extremos Generalizados), por cuanto muestra los mejores resultados en los errores.

Para conocer las lluvias máximas para las diferentes probabilidades de ocurrencia en la cuenca, se procedió a su cálculo mediante el método de las líneas Isoyéticas.

2.3.1 Lámina e Intensidad de las lluvias.

El cálculo de las intensidades promedio de lluvias máximas fue realizado mediante el ejemplo de las curvas de reducción obtenidas para la región de estudio, utilizando láminas de la lluvia máxima diaria para las diferentes probabilidades obtenidas para la cuenca colectora.

Se tuvieron en cuenta y se analizaron los siguientes métodos, Ing. Berdón Kochiashvili, Creager, Curvas envolventes del año 1945, Formula de la intensidad extrema de G. A. Alexeev y Racional CIA, este último fue aplicado teniendo en cuenta las características fisicogeográficas de la cuenca y el entorno de la misma, utilizando el software HIDROL, y tomando consideraciones pertinentes en el valor del coeficiente de escurrimiento y el valor del tiempo de concentración de las avenidas tal y como lo recomienda el Ing. Pedro Luis Dorticós. La fórmula empleada es la siguiente:

$$Q_{1\%}=16.67CIA$$

Donde:

$Q_{1\%}$ – Gasto máximo para un periodo de retorno de 100 años.

C – Coeficiente de escurrimiento

I – Intensidad de la lluvia

A – Área de la cuenca colectora

Por situarse en el entorno y para estar del lado de la seguridad el método seleccionado fue el Racional y con los resultados obtenidos se mostrara un ejemplo de prevención hidrológica desde la estación.

Tabla 2. Resultados de la prevención Hidrológica en la estación Las Coloradas

Río	Cierre	Elementos	Probabilidad			
			1 %	5%	10%	20%
Cauto	Las Coloradas	Láminas de lluvias (mm)	309	249	220	187
		Intensidad mm/min	5.9	2.8	4.0	3.5
	Gilbert	Gasto m ³ /s	1160	638	498	336
		Volumen hm ³	33.9	22.4	16.9	12.5
		Tiempo horas	4.04	4.72	5.30	5.57

2.4 Análisis de la prevención hidrológica en la estación hidrométrica Las Coloradas

La lluvia de 390 mm que corresponde al 1% de probabilidad y una intensidad de 5.9 mm/min generando un escurrimiento de 1160 m³/s, más los escurrimientos de los tributarios (2.34 hm³) en la cuenca complementaria entre la estación hidrométrica Las Coloradas aguas arriba del embalse Gilbert y la cola de dicho embalse y suponiendo que en el área del espejo del agua estuviera lloviendo igual o con la misma magnitud que lo registrado en la cabecera del río entonces llegaría al vaso del embalse 36.24 Hm³ en 4 horas y 4 minutos.

Capítulo 3.

CAPÍTULO 3: HERRAMIENTA DE CÁLCULO PARA LA PREVENCIÓN HIDROLÓGICA EN EL EMBALSE GILBERT.

3.1 Características generales del embalse Gilbert:

El embalse Gilbert se encuentra ubicado en el curso del río Cauto en las coordenadas N 164.217 y E 579.180 a unos 12.0 km en la dirección Suroeste desde la ciudad de Palma Soriano. Cuenta con regulación hiperanual del río Cauto para abastecer la ciudad de Santiago de Cuba. La cortina es heterogénea compuesta por arcilla, balasto y rocas, con un filtro en el talud seco formado por arena y grava, tiene enroscamiento semiacomodado como revestimiento del talud mojado y enroscamiento a mano en el talud seco. El aliviadero esta hormigonado tipo trinchera lateral con una longitud de 135.0m y un gasto de 1520.0m³/s. la obra de toma tiene un gasto de 1.62m³/s. Este se encuentra ubicado en el Municipio Palma Soriano, limita al Norte con el río Caney al sur con las Etribaciones de la Sierra Maestra, al Este con el embalse Charco Mono y al Oeste con el río Contramaestre.



Figura.1 Embalse Gilbert.

La cuenca como tal posee 144 km² se encuentra muy diseccionada por una red fluvial bien definida cuya densidad es de 0.94 km/km². Dentro de sus afluentes principales se encuentra, La Cubana, El Marianao, El Solis, Campo Rico y Río Grande.

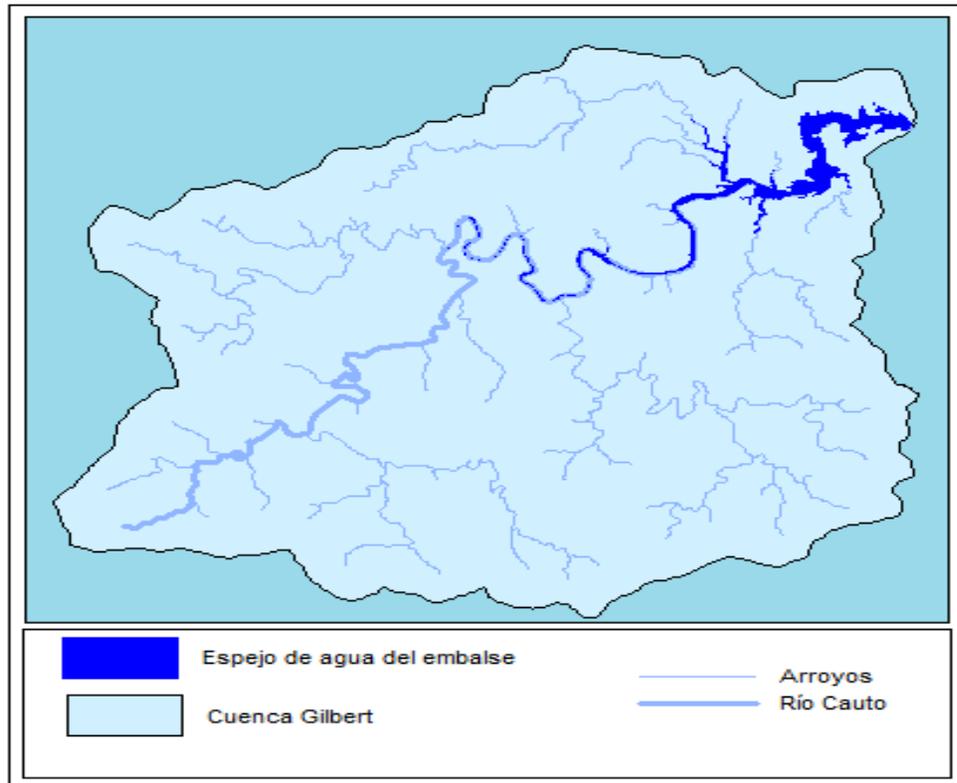


Figura.2 Cuenca del embalse Gilbert.

El relieve de la zona es montañoso y pre montañoso, exilando sus alturas entre 820 m suavizándose hasta los 160 m. En la parte sur está representado por la Sierra Maestra, la altura media de la cuenca es de 397 m.s.n.m.

El relieve como puede observarse ejerce una influencia decisiva en la cuenca, toda vez que es fuertemente accidentado, lo que provoca un gradiente pronunciado tanto del Cauto como de sus afluentes, lo cual favorece la implantación de pequeñas Micro y Mini hidroeléctricas.

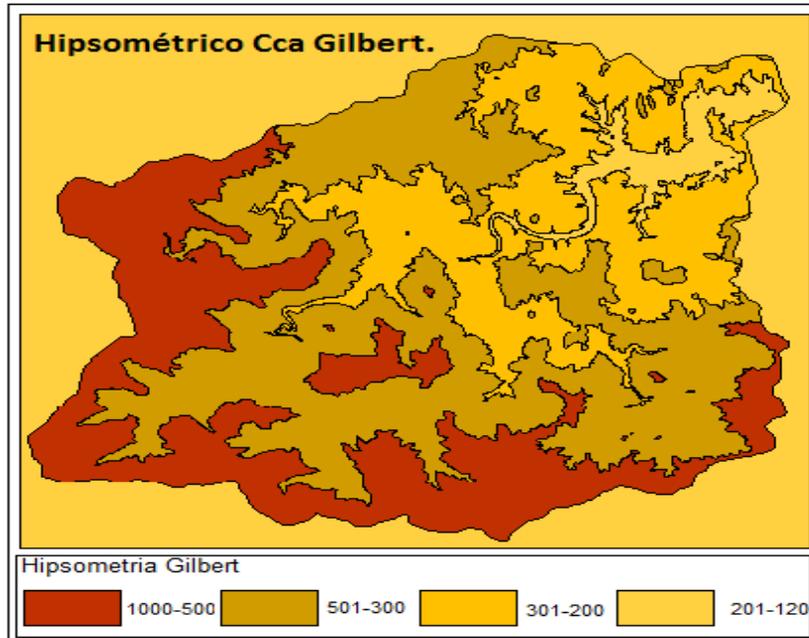


Figura.3 Relieve de la cuenca del embalse Gilbert.

El río Cauto es de corriente permanente en toda su extensión, es largo con una longitud de 28.6 km, de abundante caudal y en ocasiones suele tener frecuentes avenidas. El relieve ejerce influencia decisiva en la cuenca, toda vez que es frecuentemente accidentado, los que provocan un gradiente pronunciado tanto del Cauto como de sus afluentes.

Esas características de la cuenca, donde se conjuga el relieve accidentado con la red fluvial bien desarrollada, una litología geológica conformadas por rocas duras, con abundantes precipitaciones y tiempos de concentración cortos, condicionan el escurrimiento superficial sea predominantes con avenidas impetuosas de gastos máximos considerables.

Esas características de la cuenca, donde se conjuga el relieve accidentado, una red fluvial bien desarrollada, una litología geológica conformada por rocas duras, con abundantes precipitaciones y tiempos de concentración cortos, condicionan que el escurrimiento superficial sea predominante con avenidas impetuosas de gastos máximos considerables.

En dicha cuenca se construyó el embalse de la Presa Gilbert desde 1967, el cual introdujo determinadas modificaciones ambientales y paisajistas a la misma.



Figura.4 Construcción del embalse Gilbert.

La presa comenzó su construcción en la década del 60, se dio por terminada en 1967 con un volumen de 42.5 Hm³ posteriormente fue recrecida en los primeros años del 70 donde adquirió el volumen actual.

Datos climatológicos según la Estación del Embalse Gilbert

Temperatura media anual 24,7 °c

Velocidad del viento 2,9 m/s

Humedad relativa 82 %

Evaporación 1965 mm

Tabla 4. Parametros del embalse Gilbert

N	E	Volumen Total (Hm ³)	Volumen Útil (Hm ³)	Volumen Muerto (Hm ³)
164.100	579.100	64.67	59.67	5.0

Nivel de Agua Máxima	196.70 m
Nivel de Agua Normal	194 .000
Nivel Muerto	170.00
Área del Embalse (NAN)	6.03 Km ²
Ancho de la corona)	5.75 m
Altura Máxima	43 m
Longitud de la corona	315 m
Escurrimiento medio	64.7 Hm ³
Gasto del aliviadero	1520 m ³ / seg.
Cota de la corona	197.89 m
Cota de la corona	197.89 m
Avenida de diseño	2100 m ³ /seg
Entrega neta garantizada	95 % 40.8 Hm ³
Tipo de cortina: Rocoso con núcleo de arcilla	
Gasto de operación de la toma de agua 0 -25 %	

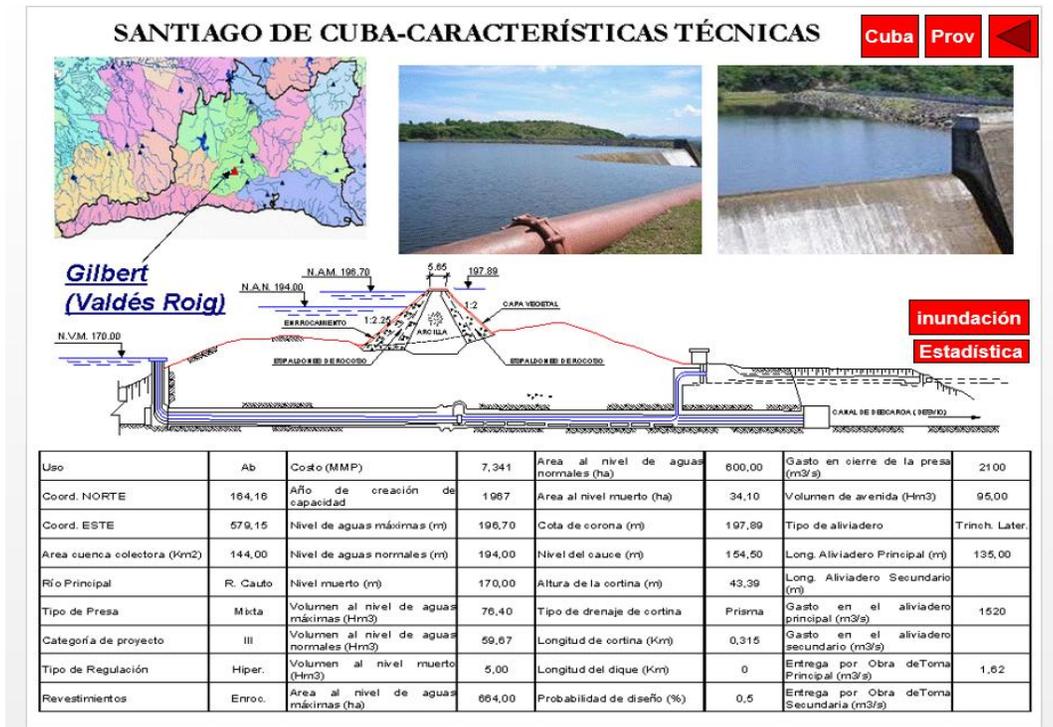


Figura.5 Esquema del embalse Gilbert.

3.2 Sistema de Alerta Temprana en los embalses de la provincia.

En los últimos tiempos las proyecciones en cuanto a potenciar las redes de monitoreo en tiempo real han permitido realizar proyectos con otros países que han donado el equipamiento necesario para ello.

En el caso del Cauto se realizó a través del proyecto “Fortalecimiento de la alerta temprana hidrometeorológicas para los territorios más afectados por el huracán Sandy”. Esto permitió que en la actualidad estén automatizados los 6 embalses de la cuenca Cauto con equipos de comunicación radiofónica VHF (10 plantas de 2 metros) e identificación de especificaciones técnicas de ubicación y montaje, para estaciones automáticas de observación hidrológica. Estos informan en tiempo real los datos de la lluvia que se está precipitando y de niveles como parte del Sistema de Alerta Temprana.

Acciones que se realizaron para la instalación de los equipos de la Alerta Temprana.

Embalse Gilbert



Figura3. Sitio para la instalación de estación automática. 1- pluviómetro. 2-gabinete y panel solar.

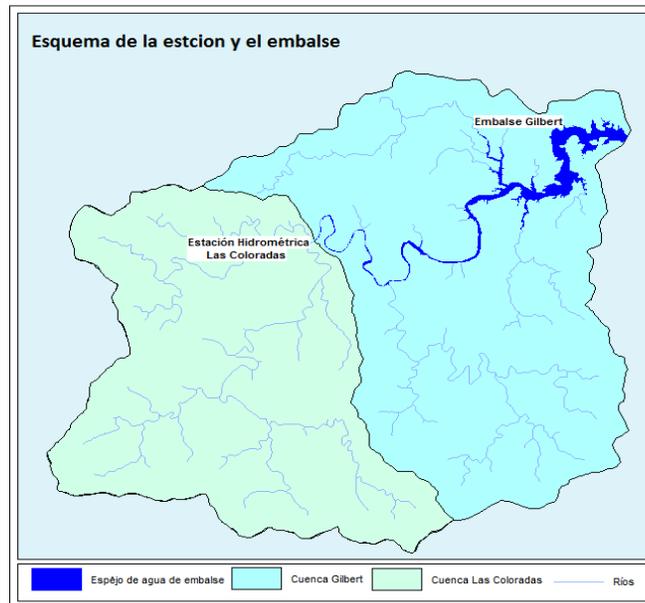
Figura 4. Sitio para emplazamiento de caseta y panel solar.

3.3 Cálculos de la prevención hidrológica en el embalse Gilbert.

Por las características de la geografía santiaguera y la ubicación de nuestros embalses en las diferentes cuencas realizaremos la prevención hidrológica ante intensas lluvias, ciclones, vaguadas y frentes fríos que también aportan sustancialmente láminas de lluvias considerables llegando a ser altamente dañinos si no estamos preparados.

La estación hidrométrica Las Coloradas se encuentra aguas arriba del embalse Gilbert por lo que se realizó en el capítulo 2 un análisis de las variables implicadas en la

prevención hidrológica que avisara en cuanto y en qué tiempo llegaría los volúmenes de escurrimiento al embalse Gilbert.



Análisis de los resultados de la prevención en el embalse.

Partiendo del análisis de los resultados de la prevención hidrológica y sobre la base de la situación actual cierre 5 de junio del 2018 Gilbert se encontraba al 89.2 % de su capacidad de llenado, con un volumen de almacenamiento de 53.208 hm³ de 59.670 hm³ para el nivel de aguas normales (NAN), faltando solo 6.46 hm³ para estar al 100 %. Con los escurrimientos antes mencionados en 4 horas y 4 min estaría vertiendo habiendo alcanzado los 6.46 hm³ para un llenado total en 5 horas y seguiría transitando por el vaso 36.24 hm³ registrados en la estación más 2.34 hm³ por aporte de los tributarios y el aliviadero comenzaría verter 4.13 hm³ trabajaría normalmente, para que este no evacuara correctamente tendría que ser una lluvia con una probabilidad mayor del 1 % para que superara el gasto de evacuación del aliviadero de 1520.0 m³/s.

Por encontrarse en un sistema de cascada estaría entregando a Gota Blanca por concepto de vertimiento 4.13 hm³ más los tributarios con 6.14 hm³.

Dado el corto lapso de tiempo ante las fases que se decretan los especialistas de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico decidieron automatizar con ayuda de EXCEL

buscando una vía de prevención fácil y confiable para informar a las entidades correspondientes y a la Defensa Civil.

Para la realización de este trabajo nos apoyamos en los siguientes materiales: Base Cartográfica 1: 25 000, Capas temáticas de relieve, carreteras, puentes, asentamientos poblacionales y otros, estudios de inundación por roturas y vertimientos, estudios de prevención hidrológicas, el Anuario de la ONEI entre otros.

Se confeccionaron mapas de las áreas de inundación por rotura y vertimiento de los 11 embalses de la provincia y auxiliándonos de la capas temáticas se trató de identificar las afectaciones aguas abajo y aguas arriba de nuestras presas, no obstante se nos hizo muy difícil dado que la cartografía con que contábamos no estaba actualizada ni con la calidad requerida al igual que las capas, por ello se tomó la decisión de tener contacto con el jefe de la Defensa Civil para colegiar por cada municipio un levantamiento de las afectaciones.

Se tomaron los estudios de prevención hidrológica que tienen un resultado tabulado que muestra las lluvias máximas por intervalos de 10 mm y se creó una base de datos digital (Ver Tabla No 1),

Este estudio se realizará sobre la base del estado de llenado actual de nuestros embalses luego de las fuertes lluvias que acontezcan por ello se decidió automatizar la tabla No 1 en EXCEL. El presente estudio ejemplifica las lluvias acontecidas el 7 de junio de 2018 que fueron favorables para nuestras cuencas y por supuesto a los embalses. (Ver anexos)

Obviamente ante el evento extraordinario que provoca inundaciones, crea afectaciones para ello se hizo un levantamiento en el espacio de trabajo donde se pudo constatar las siguientes afectaciones ante intensas lluvias y cito:

- Se afectan 104 viviendas en la Calle 4^{ta} hasta el Panteón, aguas abajo de la presa a razón de 816 habitantes
- Un Policlínico
- Una Sala de Rehabilitación
- Seminternado de primaria Poblado de Dos Palmas con 4 702 habitantes.

Conclusiones.

Conclusiones.

- 1) El presente trabajo cumplió con el objetivo propuesto ya que se logró automatizar el EXCEL agilizando el procesamiento de la información.
- 2) Como resultado de la revisión bibliográfica, se brinda de forma detallada en el cuerpo del trabajo toda la fundamentación teórica que pueda ser de importancia para el lector, así como especificaciones en algunos aspectos esenciales.
- 3) Se proporcionó una vía más fácil y ágil de prevención en los embalses lo que nos posibilita informar a la defensa civil y evitar grandes pérdidas tanto económicas como de vidas humanas garantizando la sostenibilidad de la economía.
- 4) Este trabajo constituye un valioso material de estudio y análisis que puede ser utilizado por el INRH ya que ayuda a agilizar el trabajo de prevención hidrológica en caso de eventos meteorológicos extremos

Recomendaciones.

Recomendaciones.

- 1) Que las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico se interesen en este trabajo al igual que el INRH y las Delegaciones Provinciales de Recursos Hidráulicos.
- 2) Poner en conocimiento a la Defensa Civil de lo novedoso del trabajo facilitando una respuesta rápida en función de las fases decretadas permitiendo resultados certeros.

Bibliografia.

Bibliografía.

- 1) Bernardo Lora Borrero Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos Dirección de protección de cuenca y calidad de las aguas. Catálogo de cuencas hidrográficas (río cauto), Cuba.
- 2) Delegación Provincial INRH Reevaluación del estudio Hidrológico del embalse Gilbert.
- 3) Ing. Guadalupe Bermúdez Diéguez, Especialista en Desarrollo y Manejo de los Recursos Hídricos, Agosto 2016 Determinación ambiental e hidrológica de la cuenca Cauto.
- 4) Ing. Msc. Guadalupe Bermúdez Diéguez 5 de junio de 2018. Análisis de las áreas de inundación por Intensas lluvias en los embalses de la provincia Santiago de Cuba.
- 5) Jerez de la Frontera, 2 de octubre de 2014 La prevención y gestión del riesgo de inundación en la cuenca del Guadalete.
- 6) Joan F. Mateu Bellés Universidad de Valencia (1863-1917) El servicio de prevención y anuncio de crecidas en España.
- 7) Jorge Oleína Cantos Antonio M. Rico Amorós Instituto Universitario de Geografía - Universidad de Alicante (1982-1999) Estudios sobre lluvias torrenciales e inundaciones en la provincia de Alicante.
- 8) M.O. Cotilla Rodríguez, E.C. González Clemente, C.C. Cañete Pérez, J.L. Díaz Comesañas and R. Carral Chao Source julio-diciembre 2003 Revista Geográfica, No. 134 La red fluvial de Cuba y su interpretación morfoestructural.
- 9) Msc. Miguel Sánchez Celada. Dr. José Luis Batista Silva Instituto de Geografía Tropical de Cuba, Evaluación del peligro y vulnerabilidad ante la ocurrencia de inundaciones. Cuenca del Cauto. Cuba.

- 10) Msc. Sara Fernández Cruz, MSc. Frank Ocaña Borrego, MSc. Carmen Rosa Zayas Red de Monitoreo Ambiental de las aguas interiores en la camaronera "Guajaca", Frank País. Holguín.
- 11) Orlando Mauricio Quiroz Londoño, Sebastián Iván Grondona, Héctor Enrique Massone, Marcelo Farenga, Gustavo Martínez y Daniel Emilio Martínez .Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de buenos aires como caso de estudio.
- 12) Rafael Armengot Serrano INM, Centro Meteorológico Territorial de Valencia La prevención meteorológica de inundaciones.
- 13) Sergio Paul Pérez Bayas Quito, 2017 Diseño de un sistema de alerta temprana para la prevención de la población frente a inundaciones en el Cantón Babahoyo.

Anexos.

Anexos.

Tabla No 1 Prevención Hidrológica

Embalse			
P (mm)	W1% (Hm ³)	Q (m ³ /s)	Tc (horas/min)
40	0.50	10	3.17
50	0.60	25	3.08
60	0.70	40	3.15
70	0.80	55	3.00
80	0.90	70	2.92
90	1.00	85	2.80
100	1.10	100	2.72
110	1.20	115	2.67
120	1.30	130	2.58
130	1.40	145	2.47
140	1.50	160	2.45
150	1.60	175	2.32
160	1.70	186	2.30
170	1.80	198	2.28
180	1.90	205	2.27
190	2.00	215	2.25
200	2.10	225	2.23
210	2.20	235	2.20
220	2.30	247	2.17
230	2.40	260	2.13
240	2.50	270	2.08
250	2.60	280	2.05
260	2.70	295	2.03
270	2.80	305	2.02
280	2.90	315	2.00
290	3.00	330	1.98
300	3.10	337	1.97
310	3.20	345	1.95
320	3.30	355	1.93
330	3.40	365	1.92
340	3.50	373	1.90
350	3.60	380	1.88
360	3.70	390	1.87
370	3.80	398	1.85
380	3.90	408	1.83
390	4.00	418	1.82
400	4.10	426	1.80
410	4.20	435	1.78
420	4.30	446	1.77
430	4.40	458	1.75
440	4.50	468	1.73
450	4.60	478	1.72
460	4.70	489	1.70
470	4.80	502	1.68
480	4.90	514	1.67
490	5.00	526	1.65
500	5.10	540	1.63

Tabla No. 2. Automatización de Excel para la prevención hidráulica.

P (mm)	W1% (Hm³)	Q(m³/s)	Tc (horas/min)	Volumen (Hm³)	Nivel actual de pronostico	EVALUACION CUALITATIVA DEL ESTADO DEL EMBALSE
50	5.70	100	12.42	55.70	193.762	NO VERTIMIENTO
60	6.70	140	11.83	55.70	193.944	NO VERTIMIENTO
70	7.80	170	11.50	57.80	194.141	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
80	9.00	210	11.00	59.00	194.351	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
90	10.00	250	10.58	60.00	194.523	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
100	11.00	290	10.17	61.00	194.693	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
110	11.90	320	9.83	61.50	194.843	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
120	13.30	370	9.42	63.20	195.073	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
130	14.50	410	9.08	64.50	195.266	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
140	15.70	450	8.75	65.70	195.456	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
150	16.70	480	8.58	65.70	195.612	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
160	17.70	530	8.25	67.70	195.765	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
170	19.00	570	8.08	69.00	195.961	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
180	20.00	610	7.92	70.00	196.110	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
190	21.00	650	7.67	71.00	196.257	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
200	22.50	690	7.50	72.50	196.473	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
210	23.50	740	7.42	73.50	196.615	PELIGRO DE INUNDACION POR VERTIMIENTO
220	24.40	780	7.33	74.40	196.741	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
230	25.20	820	7.20	75.20	196.852	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
240	26.70	880	7.12	75.70	197.057	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
250	27.70	900	7.03	77.70	197.191	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
260	29.00	950	7.00	79.00	197.364	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
270	30.00	1000	5.92	80.00	197.495	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
280	31.00	1050	5.83	81.00	197.624	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
290	32.20	1090	5.75	82.20	197.777	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
300	33.40	1140	5.67	83.40	197.929	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
310	34.40	1180	5.58	84.40	198.053	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
320	35.70	1240	5.53	85.70	198.213	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
330	36.70	1290	5.45	85.70	198.314	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
340	37.80	1340	5.38	87.80	198.466	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
350	39.00	1390	5.33	89.00	198.608	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
360	40.00	1430	5.28	90.00	198.725	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
370	41.00	1480	5.23	91.00	198.840	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
380	42.20	1530	5.18	92.20	198.978	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
390	43.20	1570	5.15	93.20	199.091	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
400	44.30	1620	5.10	94.20	199.214	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
410	45.50	1670	5.05	95.50	199.347	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
420	46.50	1720	5.00	95.50	199.456	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
430	47.50	1750	5.95	97.50	199.565	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
440	48.80	1810	5.90	98.80	199.704	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
450	50.00	1850	5.87	100.00	199.831	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
460	51.30	1900	5.83	101.30	199.967	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
470	52.30	1950	5.80	102.30	200.071	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
480	53.30	2000	5.77	103.30	200.173	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
490	54.30	2050	5.73	104.30	200.275	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA
500	55.50	2150	5.70	105.50	200.396	PELIGRO DE CO_LAPSO DE LA OBRA

VOLUMEN ACTUAL DE EMBALSE, hm³ 50

LEYENDA

- Nivel < NAN
- NAN < Nivel < NAM
- NAM < Nivel <Cota Corona
- > Cota corona

PARAMETROS TECNICOS

TIPC DE CORTINA: MATERIALES LOCALES, CON NUCLEO DE ARC

COTA DE CORONA: 197.85 msnm
 COTA NAM: 196.70 msnm
 COTA NAN: 194.00 msnm
 COTA NVM: 170.00 msnm

VOLUMEN (NAM): 76.40 hm³
 VOLUMEN (NAN): 59.57 hm³
 VOLUMEN (NVM): 5,00 hm³

Ecuación de mejor ajuste de la curva de Area y Capacidad
 $y = 156.77x^{0.3527}$
 $R^2 = 0.9986$