



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



*Tesis en opción al título de Ingeniera
Hidráulica*

*Título: Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas
del río Guamá*

Autora: Laritza Lonaida Cobas Frómeta

Tutores: MSc. María Teresa Durand Silveira

Ing. Alain Paneque Martínez

Junio/2019

Santiago de Cuba

Año 61 de la Revolución

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

PENSAMIENTO

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá



El hombre que sea capaz de resolver los problemas del agua es merecedor de dos premios nobel, uno por la paz y el otro por la ciencia.

Fidel Castro

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

DEDICATORIA

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

A la memoria de mi abuela paterna, Rita Lonaida Mediacejas Calderín que siempre anheló este momento y donde quiera que esté siempre va estar orgullosa de mí.

A mi madre, Lugmila Lezziel Frómeta Díaz por acompañarme en todo momento de la vida y así poder regalarle este éxito, sin ella no lo hubiese logrado.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

AGRADECIMIENTOS

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

A mi madre, por todo su esfuerzo y dedicación.

A mi padrastro, por todo su apoyo.

A mi abuela materna, por su comprensión.

A mi abuelo paterno, por sus consejos.

A mi abuela Caridad, por su presencia.

A mi hermana, por su existencia.

A mi novio Aláin, por su paciencia.

A mi suegra, por su empeño.

A mi amiga Rachel, por su ayuda desinteresada.

A mi amiga Dainarella, por estar presente en todo momento.

A mi amiga Alesyani, por su compañía.

A toda mi familia, por apoyarme.

A mis tutores, por su dedicación y colaboración desmedida para la realización de este trabajo.

A mis compañeros de aula, por haberme acompañado y ayudado en estos años de esfuerzo.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

Al claustro de profesores, que me acompañó en toda esta etapa, por haber ayudado en mi formación.

A todos los que de una forma u otra ayudaron en la realización de este trabajo.

A todos muchas gracias.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

RESUMEN

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

Resumen

El escurrimiento es el componente más importante del ciclo hidrológico, ya que desde el punto de vista del aprovechamiento de los recursos hidráulicos de una región o del país, el escurrimiento de una corriente, constituye la disponibilidad para ser derivada y utilizada inmediatamente, en el riego y/o el abastecimiento de agua a las poblaciones, o bien, para ser almacenada en los embalses y empleada posteriormente en diversos fines, por lo que el objetivo fundamental de esta investigación es la obtención del potencial hídrico o el escurrimiento medio hiperanual de 11 sub cuencas del río Guamá, que permitirán un mejor desarrollo a la economía del territorio en cuanto a riego, abastecimiento a la población y generación de energía, mejorando la calidad de vida de los moradores. Para obtener estos resultados se realizó un profundo análisis de las precipitaciones como variable principal que interviene en el escurrimiento, así como los coeficientes de escurrimiento.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

ABSTRACT

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

Abstract

The glide is the most important component in the hydrological cycle, since from the point of view of the use of the hydraulic resources of a region or domestic, the glide of a current, constitutes the readiness to be derived and used immediately, in the watering and the supply of water to the populations, or, to be stored later on in the reservoirs and employee in diverse ends, for what the fundamental objective of this investigation is the obtaining of the hydric potential or the glide half hyper-years of 11 sub basins of the Guamá river, that will allow a better development to the economy of the territory as for watering, supply to the population and energy generation, improving the quality of the residents' life. To obtain these results he was carried out a deep analysis of the precipitations like main variable that it intervenes in the glide, as well as the glide coefficients.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE	6
1.1. Cuencas Hidrográficas	6
1.2. Precipitaciones	9
1.2.1. Métodos para el cálculo de las precipitaciones media.	15
1.3. Escurrimiento	23
1.4. Coeficiente de escurrimiento	29
CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	30
2.1. Ubicación de la cuenca del río Guamá	31
2.2. Clima y Geología.....	33
2.3. Hidrografía	37
2.4. Características de las variables del ciclo hidrológico	39
CAPÍTULO 3: POTENCIAL HIDRICO DE LAS SUBCUENCAS.....	39
3.1. Obtención de las precipitaciones	40
3.2. Coeficiente de Escurrimiento	43
3.3. Cálculo del escurrimiento	44
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El potencial hídrico define las reservas totales de agua con que cuenta un territorio específico a partir de aquella parte de las lluvias que escurre a través de los cauces naturales de los ríos, arroyos y cañadas y los volúmenes de agua que se infiltran y forman las reservas de agua subterráneas.

El potencial total corresponde a las reservas totales calculadas para el territorio en cuestión, a partir de la suma del escurrimiento medio hiperanual de las corrientes fluviales, medido en la desembocadura del río, en el mar, en la laguna o sumidero, más las reservas explotables de las aguas subterráneas.

Las cuencas hidrográficas son la base para el manejo del recurso hídrico, en ellas ocurre la observación del ciclo hidrológico, se evalúan sus potencialidades y se define el desarrollo hidráulico, se establecen las medidas de alerta y prevención contra las inundaciones, el uso del agua para riego, para el consumo humano, Hidroenergía.

El ciclo hidrológico (fig. #1) se define como la secuencia de fenómenos, por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y a la sublimación (paso directo del agua sólida a vapor de agua). La cantidad de agua movida, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante con relación a las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina evapotranspiración. El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1,000 km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitaciones. Éstas pueden ocurrir en la fase líquida (lluvia) o en la fase sólida (nieve o granizo). El agua precipitada en la fase sólida se presenta con una estructura cristalina, en el caso de la nieve, y con estructura

granular, regular en capas, en el caso del granizo. La precipitación incluye también, el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (rocío), por congelación del vapor (helada) y por interceptación de las gotas de agua de las nieblas como son nubes que tocan el suelo o el mar (Pereyra et al).

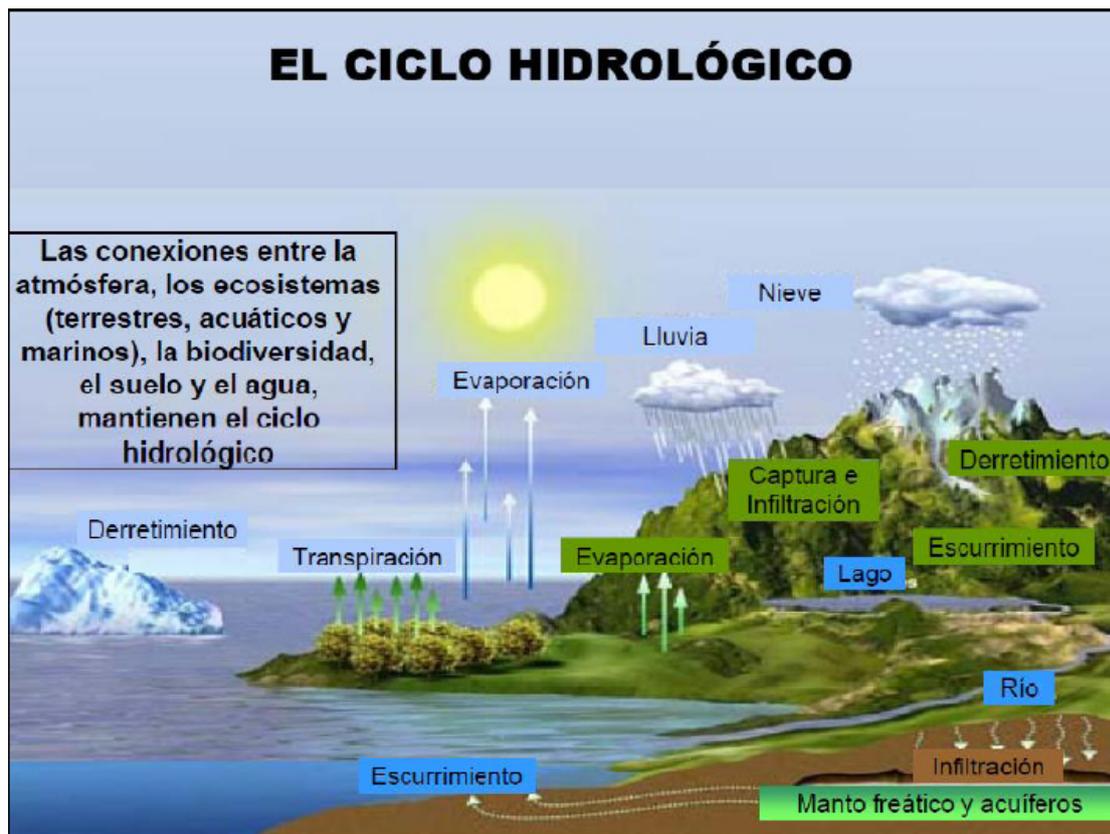


Figura 1: Esquema del Ciclo Hidrológico Natural.

La actualización del potencial hídrico o escurrimiento de dicha cuenca se realizará utilizándose para la determinación de las precipitaciones medias hiperanual la última versión del Isoyético aprobada por el INRH a partir de enero del 2007 para el período 1961-2000 titulado Nuevo Estudio de la Pluviosidad en Cuba (Resolución 4/2007).

El agua es un recurso de vital importancia en la vida y el hombre la requiere para sus necesidades básicas, usos recreativos, para transformarla en energía, para los procesos de manufactura y para la agricultura. Como consecuencia del incremento

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

de la población mundial y del mejoramiento de sus condiciones de vida, se ha originado un aumento extraordinario en la demanda del agua. Pero no siempre es posible satisfacer las necesidades humanas y con frecuencia su escasez no permite disponer de la cantidad necesaria y otras veces, su exceso produce inundaciones originando graves daños materiales y algunas veces pérdidas de vidas humanas. (Campos Aranda).

La irregular distribución espacial y temporal de las aguas ha obligado a construir grandes obras de protección y drenaje, y de regulación, capaces de compensar, estas últimas, la escasez y el exceso de las aguas. El desarrollo de tales proyectos no puede llevarse a cabo sin los estudios básicos necesarios para asegurar la mejor utilización racional de los recursos hidráulicos disponibles o para evitar las desastrosas consecuencias de su almacenamiento incontrolado o inseguro, además de prevenir contra los proyectos absurdos y costosos y en este caso vale resaltar que el río Guamá es de interés municipal de gran importancia para el desarrollo hidráulico y económico del municipio, donde evaluar su potencial hídrico o el escurrimiento define el desarrollo futuro.

En este trabajo se plantea un análisis para estimar el escurrimiento en cada subcuenca del río Guamá, actualmente se conoce el potencial hídrico de la cuenca completa, no siendo así de los afluentes y subcuencas. Este trabajo aborda el estudio general del componente más importante del ciclo hidrológico, el escurrimiento, ya que desde el punto de vista del aprovechamiento de los recursos hidráulicos de una región o país, el escurrimiento de una corriente, constituye la disponibilidad para ser derivada y utilizada inmediatamente en todas las aristas de la hidráulica y empleada posteriormente en diversos fines, inclusive retenida para su control, con el objeto de reducir los daños que provoca su abundancia. (Campos Aranda).

Las características de las cuencas del municipio Guamá se pueden considerar complejas por su naturalidad, ríos cortos, con pendientes muy abruptas, ocasionando

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

en su curso grandes inundaciones ante intensas lluvias y sequía en el período seco , acrecentándose en los últimos años, (fig.# 2) como se observa el comportamiento de las precipitaciones en el municipio Guamá se encuentra muy por debajo de la media histórica del municipio desde 1958 y hasta el 2018 solo cinco años superan o igualan este promedio que esto se debe por la ausencia de estaciones pluviométricas en las zonas altas de las cuencas, mayormente la red de observación se encuentran en las zonas bajas .

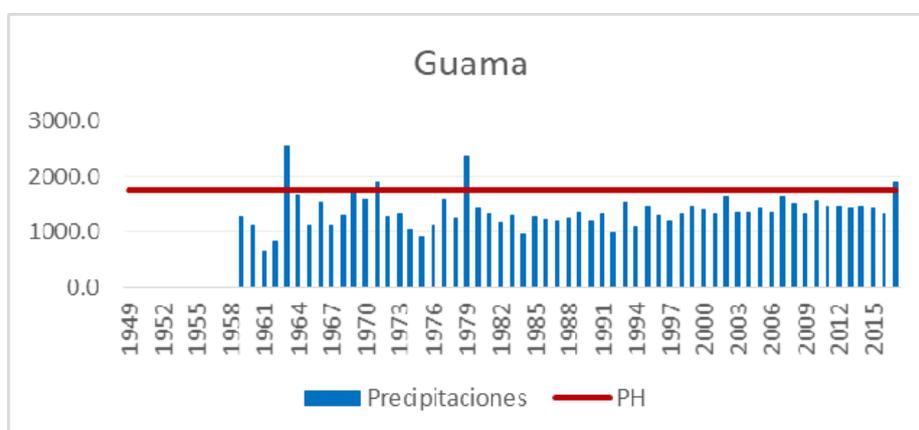


Figura 2:Comportamiento de las precipitaciones en el municipio Guamá

Fuente: (Durand 2018)

La cuenca del río Guamá es de interés municipal, deberá ser atendido por el Consejo de Cuencas del Municipio Guamá (CCM) que por su importancia, ubicación, población y desarrollo territorial es necesario conocer la evaluación del escurrimiento de las subcuencas para planes futuros según el Programa Hidráulico Nacional por lo que el objetivo fundamental de este trabajo es la determinación del escurrimiento de las subcuencas del río Guamá, ubicada en el municipio del propio nombre del río. (Fig. # 3)



Figura 3:Cuenca del río Guamá.

Diseño de investigación

Situación Problemática: Se desconoce los escurrimientos(o potencial hídrico) de las subcuencas del río Guamá para el desarrollo territorial.

Problema de la Investigación: Actualmente se desconoce el escurrimiento superficial de las subcuencas del río Guamá.

Objetivo General: Determinar el escurrimiento superficial de las subcuencas del río Guamá.

Objetivos específicos:

- 1) Análisis teórico conceptual.
- 2) Determinar las principales características morfométricas de cada subcuenca.
- 3) Determinar los parámetros del escurrimiento medio para cada subcuenca.

Objeto de estudio: Escurrimiento de las subcuencas hidrográficas.

Campo de acción: Subcuencas del río Guamá.

Hipótesis: Si se contara con la estimación de los valores del potencial hídrico de las subcuencas del río Guamá, permitiría un mejor aprovechamiento de sus recursos hídricos.

Tareas de investigación:

1. Revisión bibliográfica referente al tema.
2. Determinación de las principales características morfométricas de las subcuencas de estudio.
3. Evaluación de las precipitaciones del área de estudio.
4. Análisis y procesamiento de la información preliminar.

Aporte: La determinación del escurrimiento en las subcuencas del río Guamá.

Resultados esperados:

Conocer el potencial hídrico en cada subcuenca y crear el expediente técnico de la cuenca para iniciar los informes evolutivos de los sub-programas de la rehabilitación de la cuenca.

CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE

Según (Londoño, *et al.*, 2014), una de las primeras etapas que debe desarrollarse dentro de una investigación es la construcción de su estado del arte, pues permite determinar la forma, cómo ha sido tratado el tema, cómo se encuentra el avance de su conocimiento en el momento de realizar una investigación y cuáles son las tendencias existentes, en ese momento cronológico, para el desarrollo de la temática o problemática que se va a tratar.

1.1. Cuencas Hidrográficas

Se acercará primariamente al concepto de cuenca hidrográfica desde una perspectiva eminentemente hidrológica, definiendo que es el lugar o espacio-geográfico donde por sus características, se capta, almacena, escurre, infiltra y se evapora el agua proveniente de las precipitaciones, formando las redes interconectadas de pequeñas corrientes, arroyos, ríos, permanentes o intermitentes,

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

comúnmente denominada red hidrográfica, que en la mayoría de las ocasiones desemboca en el mar. (Fig. # 4)

En su desarrollo, el concepto de una cuenca hidrográfica se fue inicialmente apropiando de una visión hidrológica desde sus orígenes y por su uso, le daba predominio y casi exclusividad a las aguas superficiales y a la red hidrográfica, en detrimento de las complejas y variadas interacciones entre el escurrimiento superficial, la recarga y la infiltración de las aguas, las que alimentan y forman los recursos subterráneos.

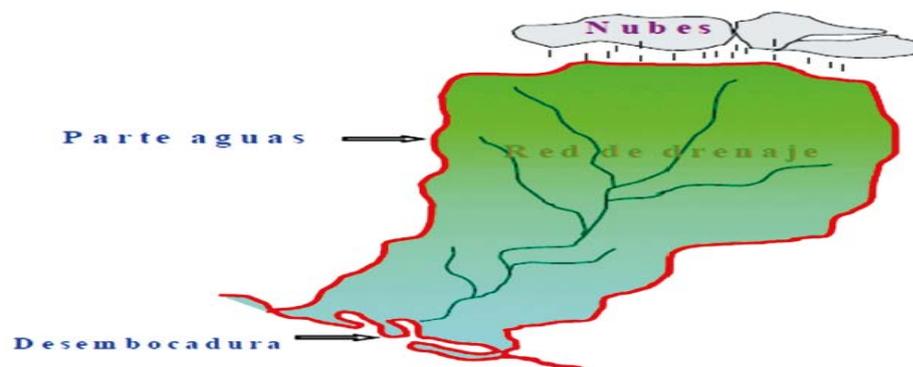


Figura 4: Cuenca hidrográfica atendiendo a la división de las aguas superficiales.

La definición de cuenca hidrográfica que se trata de promover, divulgar y emplear en el que hacer técnico nacional y a través de los medios de comunicación, es la siguiente:

Área geográfica delimitada por la divisoria de las aguas que conforman un sistema hídrico constituido por aguas superficiales y subterráneas, que las conduce a un río principal, lago, zona de infiltración o costas. Los límites de la división de las aguas superficiales y subterráneas no siempre coinciden, por lo que pueden ser extendidos hasta incluir los acuíferos o tramos subterráneos, cuyas aguas confluyen hacia la cuenca en cuestión, de importancia los efectos de realizar el balance hidrológico.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

Constituyen un espacio territorial de planificación y gestión, donde se localizan e integran los recursos naturales y el medio ambiente, con el desarrollo económico y social (Fig. # 5). (Cuencas Hidrográficas).



Figuras 5: Subsistemas de una cuenca hidrográfica.

Para un mejor entendimiento de las definiciones de las áreas se detallan los principales conceptos (Fig. # 6).

Subcuencas: es el área de un afluente secundario que tributa al río principal.

Microcuenca: como el área de un afluente terciario que tributa al río principal de una subcuenca.

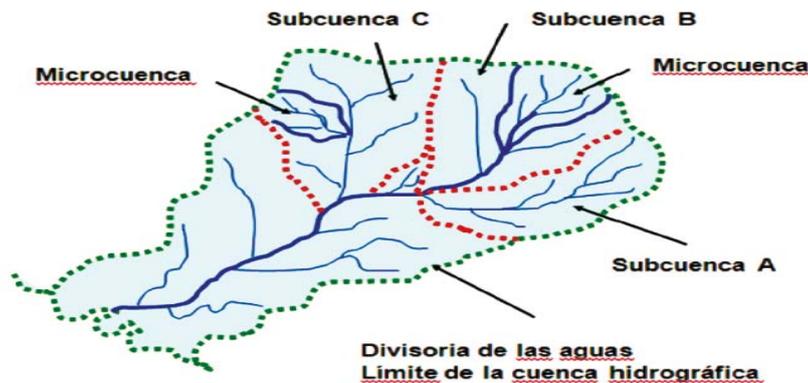


Figura 6: Partes de una Cuenca Hidrográfica

El origen de la cuenca hidrográfica lo distingue ante todo la línea divisoria de las aguas, o parte-aguas que la delimita. Una línea divisoria de aguas marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos.

Como causa fundamental de la situación meteorológica están las escasas precipitaciones ocurridas y su efecto negativo en el comportamiento de los recursos hídricos en los embalses superficiales y su influencia en las cuencas hidrográficas que de una forma u otra afectan el ecosistema, la economía nacional, el abasto a la población y otros. (Cuencas Hidrográficas)

1.2. Precipitaciones

Según UNESCO (1982), “a pesar de la importancia de la precipitación en el balance hídrico, esta no puede ser estimada con exactitud, ya que su evaluación se ve afectada por el error en la medida puntual (por ejemplo, funcionamiento de los instrumentos de medición) y el error en la evaluación espacial de la precipitación caída sobre una gran superficie, a partir de valores puntuales (relacionado a la red de observación). Por consiguiente, la problemática del conocimiento de las cantidades precipitadas y su análisis espacial es de inmensa importancia, ya que trata de

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

establecer las relaciones existentes entre los valores puntuales, registrados en diferentes estaciones, y los factores que los determinan. Esto se consigue a través de métodos de distribución espacial, permitiendo así extrapolar la información puntual de una estación meteorológica a un espacio más extenso, con el fin de obtener la precipitación de aquella superficie.”

Sánchez (2008) plantea que el estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico regional, para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal (en general la única) entrada de agua a una cuenca. También es fundamental en la previsión de avenidas, diseño de obras públicas, estudios de erosión, etcétera.

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

Las precipitaciones constituyen la única fuente de agua en el archipiélago cubano, como recurso natural renovable anual. Es un recurso estratégico limitado, finito e imprescindible para el desarrollo sostenible del país.

Es la lluvia el elemento de mayor variabilidad, tanto espacial como estacional, en el clima de Cuba. Se reconocen dos estaciones bien definidas: lluviosas, de mayo a octubre, donde ocurren el 75%-80% del total anual y poco lluvioso o seco, de noviembre a abril, donde precipita el resto espacialmente se definen distintas regiones con condiciones desiguales de precipitación, como se refleja en la fig. # 7.

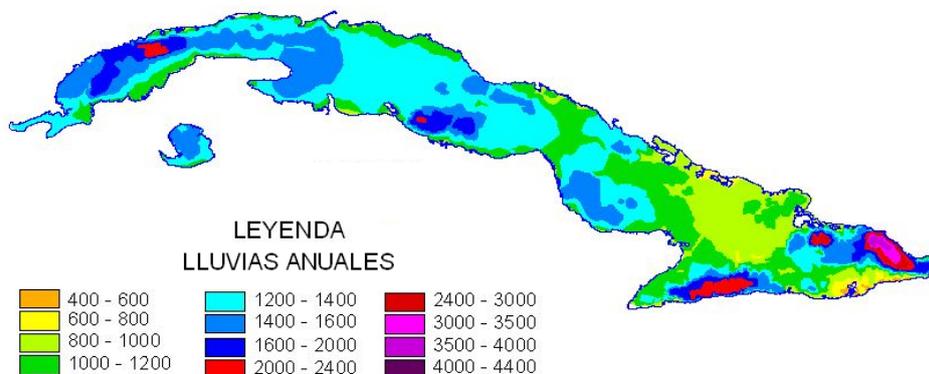


Figura 7: Láminas medias de lluvias históricas de Cuba

Normalmente se registra como altura de lluvia alcanzada en (mm) en una diversidad de pluviómetros o pluviógrafos diseminados por la cuenca en estudio. A partir de esta información puntual, el hidrólogo ha de estimar como se ha producido la lluvia a lo largo y ancho de la cuenca, en posición y magnitud, es decir, se ha de estimar su distribución espacial, una superficie representativa de lluvia caída sobre la cuenca. Aunque este esquema de trabajo es el más habitual debe señalarse que también existen otras técnicas como el manejo de información procedente de radar y satélite que, con ciertos ajustes, permiten obtener directamente esa distribución espacial (Durand, 2002).

Precipitación: es el elemento climático de más importancia para el escurrimiento, debido a que depende de ella. Varios de los aspectos de este elemento son importantes para el conocimiento del escurrimiento.

a) Forma de precipitación. Si la precipitación es en forma líquida, el escurrimiento se presenta con relativa rapidez; si es en forma sólida no hay ningún efecto, a menos que la temperatura permita la rápida licuefacción.

b) Intensidad de la precipitación. Cuando la precipitación es suficiente para exceder la capacidad de infiltración del suelo, se presenta el escurrimiento superficial y cualquier aumento en la intensidad repercute rápidamente en dicho escurrimiento.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

c) Duración de la precipitación. Entre más dure la precipitación mayor será el escurrimiento, independientemente de su intensidad. Una lluvia prolongada, aun cuando no sea muy intensa, puede causar gran escurrimiento superficial, ya que con la lluvia decrece la capacidad de infiltración.

d) Distribución de la precipitación en el espacio. Generalmente la lluvia nunca abarca toda la superficie de la cuenca; para cuencas pequeñas, los mayores escurrimientos superficiales resultan de tormentas que abarcan áreas pequeñas, y para cuencas grandes, resultan de aguaceros poco intensos que cubren una mayor superficie.

e) Dirección del movimiento de la precipitación. La dirección del centro de la perturbación atmosférica que causa la precipitación tiene influencia en la lámina y duración del escurrimiento superficial.

Si la tormenta se mueve dentro del área de la cuenca, el escurrimiento será mayor que si únicamente la atraviesa. Por otro lado, si el temporal avanza en sentido contrario al drenaje, el escurrimiento será más uniforme y moderado que si se mueve en el sentido de la corriente.

f) Precipitación antecedente y humedad del suelo. Cuando el suelo posee un alto contenido de humedad, la capacidad de infiltración es baja y se facilita el escurrimiento.

Uno de los instrumentos más utilizados para la medición de las precipitaciones son los pluviómetros (fig. # 8). Estos se utilizan para calcular la cantidad de lluvia que cae en una zona concreta durante un período de tiempo determinado. Los primeros registros pluviométricos de los que se tiene constancia datan de la Grecia Clásica, hacia el 500 a.C. Unos cien años después, en la India, se utilizaban cuencos para registrar la cantidad de lluvia caída.



Figura 8: Pluviómetro y pluviógrafos.

La medida de la precipitación es realmente importante prácticamente es la única que proporciona los aportes de agua. Sus medidas deben ser lo más correctas y precisas posibles para así obtener valores adecuadamente representativos, ya que, por alguna causa, casi siempre se va a captar menos precipitación de la que realmente cae y ésta es precisamente la característica a estudiar, con la constante amenaza, además, de su enorme variabilidad, lo que puede resultar desalentador, máxime, si se tiene en cuenta que las superficies medidoras son miles de millones de veces inferiores a la superficie a analizar.

Para poder evaluar correctamente las características objetivas del clima, en el cual la precipitación, desempeña un papel muy importante, las precipitaciones mensuales deben haber sido observadas por un período de observación largo.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

La variación estacional de las precipitaciones, en especial de la lluvia, define el año hidrológico. Este da inicio en el mes siguiente al de menor precipitación media de largo período. En Cuba, este abarca desde el mes de mayo hasta octubre.

Según el mapa de pluviosidad de Cuba el promedio histórico de la provincia es de 1353mm. El cual está fundamentado y aprobado por la Resolución 4/2006, para una mejor reorganización de los organismos de la administración central del estado, esta resolución se crea para dictar en el límite de sus facultades y de su competencia, reglamentos, resoluciones, y otras disposiciones de obligatorio cumplimiento para las entidades estatales, el sector cooperativo, el mixto, el privado y la población, además con esta resolución se pone en vigor el Mapa Isoyético de la República de Cuba, versión 1961-2000 donde resulta imprescindible para la adecuada evaluación y la utilización racional de los recursos hídricos en el contexto del desarrollo sostenible. Es orientado en la gaceta oficial el uso de este mapa para la obtención de las precipitaciones en todo el país.

Tabla 1. Promedio histórico de las precipitaciones en la provincia de Santiago de Cuba

PROVINCIA	PROMEDIO HISTÓRICO(mm)
Contramaestre	1097.0
Julio A. Mella	1104.0
San Luis	1237.0
Segundo Frente	1563.0
Songo La Maya	1235.0
Santiago de Cuba	1168.0
Palma Soriano	1267.0
Tercer Frente	1816.0
Guamá	1760.0
Provincia	1353.0

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

La variable precipitación es un componente por excelencia de aporte para el Balance Hidrológico de una zona. Para determinar las lluvias medias de una zona se requiere de una amplia búsqueda bibliográfica, que permita estudiar, analizar los libros y artículos científicos que conlleven a una mejor determinación, así como expresar o representar objetivamente dichos cálculos, para que tengan veracidad y alto grado de validez en correspondencia con la realidad. Como refiere la tabla # 1, se puede observar que para el municipio Guamá precipitan 1760mm, donde para el estudio y determinación del área de estudio se debe determinar teniendo en cuenta este mapa nacional

1.2.1. Métodos para el cálculo de las precipitaciones media.

Los métodos de mayor uso en la práctica de la ciencia hidrológica son: Thiessen, Isoyético, Aritmético y el Mapa Isoyético Nacional.

Método de Thiessen.

Trata de tener en cuenta la no uniformidad en la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos. Las estaciones se colocan en un mapa y se dibujan líneas que las conecten unas con otras. Las mediatrices, o perpendiculares bisectrices de estas líneas, forman polígonos alrededor de cada estación. Los lados de cada polígono son los límites del área efectiva que se considera para cada estación. El área de cada polígono se determina utilizando un planímetro y se expresa como un porcentaje del área total. (González, S.L.Jorge Pedreira. Martínez, R.B, Marrero. N).

El promedio ponderado de lluvias para el área total se calcula multiplicando la precipitación en cada estación por su porcentaje de áreas asignado y sumando estos valores parciales. Los resultados son por lo general más exactos que aquellos

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

obtenidos por un simple promedio aritmético. (González, S.L. Jorge Pedreira. Martínez, R.B, Marrero. N).

La mayor limitación del método de Thiessen es su poca flexibilidad, puesto que se requiere un nuevo diagrama cada vez que hay un cambio en la red. El método tampoco tiene en cuenta influencias orográficas. En realidad, el procedimiento de Thiessen simplemente supone una variación lineal de la precipitación entre las estaciones y asigna un segmento de área a la estación más cercana (Fig. demostrativa # 9). Su expresión es la siguiente:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Dónde:

P_i: Valor de precipitación del pluviómetro en mm

A_i: Área de influencia del pluviómetro sobre la cuenca en Km²

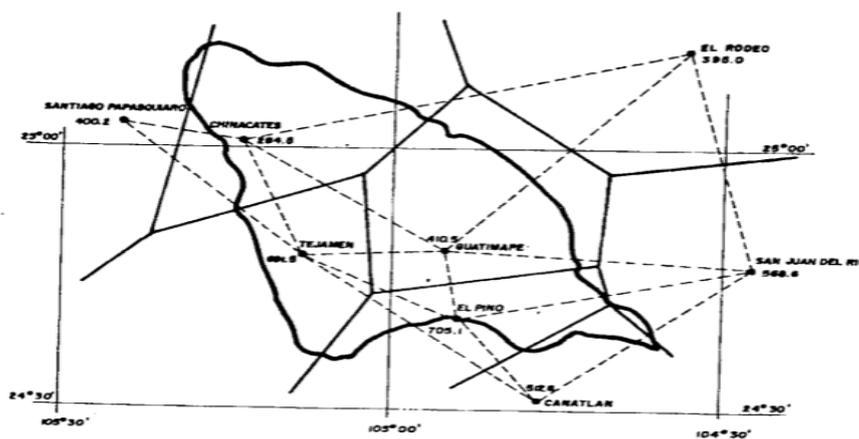


Figura 9: Método de Thiessen

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

Ventajas:

1. Conduce a resultados usualmente más exactos que los obtenidos con el promedio aritmético, cuando se usan un buen número de estaciones.
2. Permite utilizar redes pluviométricas con distribución no uniforme.
3. Es adaptable al procesamiento automático de datos.
4. Pluviómetros localizados a poca distancia del parte aguas de la cuenca pueden ser utilizados.
5. Es relativamente fácil de usar cuando los polígonos han sido cuantificados.

Desventajas:

1. No toma en cuenta las influencias topográficas, pues considera variación lineal de la lluvia entre pluviómetros.
2. Todos los polígonos deben ser nuevamente evaluados cuando la red cambia.
3. Implica más trabajo que el método aritmético.

El esquema para establecer los polígonos es el siguiente:

1. Se divide la cuenca en triángulos uniendo los pluviómetros con los adyacentes mediante líneas rectas. Se consideran también los pluviómetros situados fuera de la cuenca, en sus alrededores.
2. Se trazan las mediatrices de las rectas que unen los pluviómetros. Los segmentos que se forman al cortarse estas alrededor de los pluviómetros son los lados del polígono de influencia de cada pluviómetro.
3. Se miden las áreas de los polígonos de influencia para cada subzona del interior de la cuenca en la cuenca.

Método de las Isoyetas.

Es el método más exacto, la localización de las estaciones y las cantidades de lluvia se grafican en un mapa adecuado y sobre éste se dibujan las líneas de igual precipitación. (González, S.L.Jorge Pedreira. Martínez, R.B, Marrero. N).

La precipitación promedio para el área se calcula ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas (por lo general tomando el promedio de dos valores de las isoyetas) por el área de las isoyetas, totalizando estos productos y dividiendo por el área total. (González, S.L.Jorge Pedreira. Martínez, R.B, Marrero. N).

El método de las isoyetas permite el uso y la interpretación de toda la información disponible y se adapta muy bien para discusión. En la construcción de un mapa de isoyetas, el analista puede utilizar todo su conocimiento sobre los posibles efectos orográficos y la morfología de la tormenta; en este caso el mapa final debe representar un patrón mucho más real de la precipitación que aquel que se puede obtener utilizando únicamente las cantidades medidas. La exactitud del método de las isoyetas depende en gran parte de la habilidad del analista. Si se utiliza una interpolación lineal entre estaciones, el resultado será esencialmente el mismo que se obtiene utilizando el método de Thiessen. Además, un análisis inadecuado puede conducir a errores considerables. (Fig. ilustrada # 10) (González, S.L.Jorge Pedreira. Martínez, R.B, Marrero. N).

La fórmula para el cálculo de este método es la siguiente:

$$P = \sum \left(\frac{A_i}{A} \cdot P_i \right)$$

Donde:

Ai: Área entre cada dos isoyetas. (Km²).

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

A: Área total de la cuenca (Km²).

Pi: Precipitación media entre cada dos isoyetas (mm).

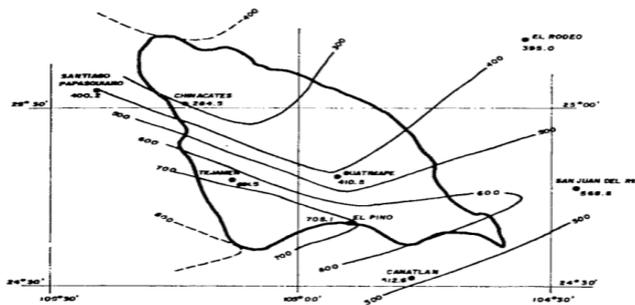


Figura 10: Método de las Isoyetas

Procedimiento:

1. Se localizan las estaciones sobre un mapa de la cuenca. En cada estación se marca el valor de su precipitación y a la altura que está ubicado.
2. Se encuentran los puntos de igual precipitación con base en los valores registrados en las estaciones. Para ello:

Se dibujan las líneas de igual precipitación, interpolando linealmente los valores de medición entre cada uno de los pares de estaciones. Y se unen los puntos de igual precipitación interpolados.

3. Se mide el área entre isoyetas y se multiplica por su precipitación promedio.

Ventajas:

1. Teóricamente es el método más exacto.
2. Permite realizar una evaluación visual de la extensión y distribución de la precipitación.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

3. Los pluviómetros localizados a corta distancia de la cuenca pueden ser utilizados.
4. Es adaptable para uso en grandes cuencas con red pluviométrica dispersa.

Desventajas:

1. Es el método más laborioso.
2. Depende enormemente de la práctica y habilidad de la persona que realiza el análisis.
3. Diferentes personas pueden obtener resultados distintos para los mismos datos.

En el trazado de las Isoyetas es fundamental la experiencia del analista. Por ello, existen unas series de recomendaciones para su trazado, que son de obligatorio estudio para el personal inexperto, el que además requerirá de una profundización en los conocimientos de la Meteorología, así como, de un entrenamiento complementario, a continuación se brinda un resumen de estas recomendaciones:

- Las Isoyetas resultan, por sus líneas suavizadas, la descripción más a fin al proceso natural (moderado y aleatorio) de distribución espacial de la lluvia.
- Las primeras comprobaciones que deben realizarse antes de comenzar el trazado líneas Isoyetas en zonas montañosas son la calidad del dato de partida y la orientación de la “sombra pluviométrica”.
- Es incorrecto suponer iguales proporciones de la lluvia con altura para las vertientes de barlovento y sotavento.
- No se olvidará que en ningún rango de escala cartográfica pueden ser precisados valores muy locales.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

- Al concepto tradicional del término de isoyetas se le debe especificar la unidad de tiempo. De tal forma, puede decirse que es la línea que une los puntos de igual lámina de lluvia, referida a un mismo intervalo de tiempo.
- No se evitará la definición de Isoyetas cerradas para valores inferiores a los circundantes.
- Podrán escogerse diferentes intervalos para las llanuras y las montañas o para las temporadas secas y húmedas.
- Si luego de concluido el trazado de las Isoyetas, subsisten grandes áreas sin especificaciones (lo mismo por falta de datos, que porque los existentes fluctúan todos entre cero y el valor del intervalo de cálculo) es muy útil delinear una nueva curva, que ofrezca más detalles sobre el comportamiento de la variable en esas zonas.
- Al dibujar Isoyetas, estas no deben seguir estrictamente el contorno de las curvas de nivel, pues el frente del aguacero no sigue rígidamente una curva de nivel determinada, o grupo de curvas, sino la orientación general de las mismas.
- Mientras mayor sea el tiempo de cómputo y más reducidas resulten las escalas vertical y horizontal de estas elevaciones, tanto más reducidas será la influencia orográfica.

Método Aritmético.

Es el método más simple para obtener la precipitación media sobre un área, efectuando un promedio aritmético de las cantidades de lluvia medidas en dicha área. Las mediciones se realizan a partir de la revisión de la lámina contenida en una serie de pluviómetros ubicados en los lugares más significativos de la cuenca objeto de estudio.

Este método es eficiente en regiones llanas y con lluvias ciclónicas. Es lógico que el número de pluviómetros tenga que ser elevado y estar distribuidos uniformemente dentro de la cuenca.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

En las llanuras de Cuba el cálculo de la lámina media, que utiliza la red básica, no ofrece mayores dificultades cuando se promedian aritméticamente los datos anuales, pero no es recomendable cuando el tiempo computado es inferior al año y si el territorio es bastante extenso.

Ventajas:

1. Método de simple uso.
2. Rinde buenos resultados en terrenos montañosos, si la red de pluviómetros es densa y uniforme.
3. Se puede adaptar al procesamiento automático de datos.
4. Rinde resultados consistentes cuando los cálculos son realizados por diferente personal.

Desventajas:

1. Conduce a malos resultados si los pluviómetros son pocos y están mal distribuidos.
2. Los pluviómetros localizados fuera de la cuenca son difíciles de tomar en cuenta.
3. Requiere una red densa para alcanzar la misma precisión de otros métodos.

La expresión utilizada por este método para el cálculo de las precipitaciones medias es:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Donde:

P_{med} = Precipitación media de la zona o cuenca.

P_i = Precipitación de la estación.

n = Número de estaciones dentro de la cuenca.

Método del Mapa Isoyético Nacional

Este método se aplica con la ayuda del software MapInfo superponiendo el área de la cuenca sobre el mapa Isoyético nacional, para así realizar los cálculos correspondientes similares al método Isoyético.

1.3. Escurrimiento

Los estudios hidrológicos tienen diferentes fines, pero en la gran mayoría de ellos el estudio del escurrimiento superficial (o escorrentía superficial) de un río es fundamental, como componente del escurrimiento total de este.

El escurrimiento superficial es el agua que discurre sobre la superficie del terreno hasta el cauce. Es el flujo de agua que por gravedad se mueve en la superficie del suelo, según la pendiente del terreno, y ha escapado de la filtración, de la evaporación y del almacenaje superficial. Parte del agua que cae como lluvia en la tierra fluye sobre la superficie del suelo como escurrimiento superficial, pero puede transcurrir un largo plazo entre el instante en que las primeras gotas de un aguacero caen en un punto dado de la cuenca vertiente y aquel en que se observa un aumento del caudal a la salida de ella, esto es debido a que no se produce escurrimiento superficial hasta que la intensidad de la lluvia no sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo.

La magnitud del componente “escurrimiento superficial”, en el escurrimiento total, depende principalmente de la naturaleza (geomorfología) de la cuenca, de su estado de humedad inicial al momento de la lluvia, así como del tipo de precipitación. Una lluvia breve de baja intensidad que caiga en un suelo permeable y muy seco puede

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

no dar lugar a escurrimiento superficial, mientras que si esa misma lluvia cae en un terreno impermeable puede producir un escurrimiento superficial considerable.

Se define como **escurrimiento superficial** al exceso de precipitación que se desplaza sobre la superficie del terreno por gravedad, formando una red hidrográfica sobre el terreno, hacia un punto de salida del Área de Drenaje de la cuenca.

Específicamente, se define como Flujo o Escurrimiento Virgen, el de una corriente no afectada por derivaciones artificiales, almacenamientos u otras obras construidas por el hombre, en los cauces o en la cuenca de drenaje.

El escurrimiento, el cual también se conoce como gasto de un cauce, descarga de su corriente, rendimiento de la cuenca o aportación líquida, normalmente se expresa en las tres formas siguientes:

- ✓ En unidades de gasto, es decir, como un volumen en la unidad de tiempo. Usualmente se expresa en m^3/s o en $Hm^3/año$.
- ✓ En unidades de gasto unitario, o sea en $m^3/seg/Km^2$ o $Hm^3/Km^2/año$.
- ✓ En lamina o tirante equivalente sobre la cuenca, en milímetros por día, por mes o por año. Estas unidades son particularmente útiles al comparar la precipitación y el escurrimiento.

De acuerdo a la posición de la superficie terrestre en la que se origina el escurrimiento, este se puede dividir en:

Escurrimiento superficial, Escurrimiento subsuperficial y Escurrimiento subterráneo.

El escurrimiento total proveniente de una cuenca típica heterogénea tiene 4 componentes: precipitación en los cauces, flujo sobre el terreno, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo. Sin embargo con fines prácticos el escurrimiento total se clasifica generalmente en Escurrimiento directo y Escurrimiento base, el primero integrado por los tres primeros componentes y el segundo constituido por el escurrimiento subterráneo y el superficial de lento drenaje.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

Campos Aranda refiere que la confiabilidad de los parámetros estadísticos calculados a partir de un registro histórico de escurrimientos anuales, es directamente dependiente del número de años de la serie. Por otra parte, el número de años de registro requerido es función de la variabilidad de los datos y consecuentemente variará con el clima y las características físicas de la región.

El escurrimiento es la parte de la precipitación que fluye por gravedad por la superficie del terreno, o en el interior del mismo. Otra definición mas completa, indica que el escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes superficiales, sean estas perennes, intermitentes o efímeras y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera, es el deslizamiento virgen del agua, que no ha sido afectado por obras artificiales hechas por el hombre. Chow, (1964). En el siguiente diagrama se muestra las diferentes partes en las que ocurre el escurrimiento (fig. # 11) De acuerdo con ellas, éste se puede dividir en:

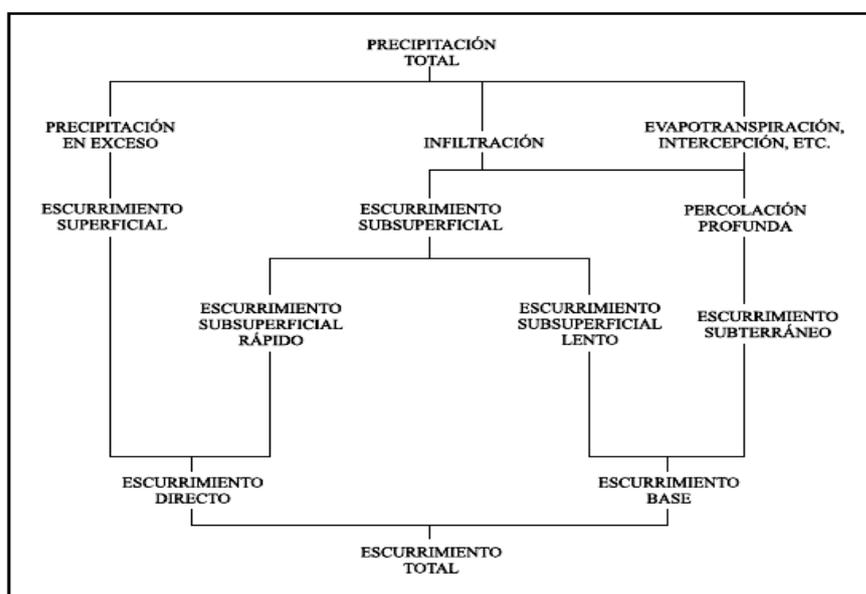


Figura 11: Diagrama del escurrimiento

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

La experiencia de la Unión Soviética ha conducido a establecer los períodos de registro que se indican en la tabla # 2, para determinar con aproximación los parámetros estadísticos del escurrimiento.

Tabla # 2. Períodos de registro del escurrimiento necesarios para estimar con aproximación sus parámetros estadísticos.

Tipo de zona o región	Número de años
De bosque	> 25
De estepa	35
Montañosa	40
Semiárida	50

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

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

González considera que debido a su simpleza, las fórmulas empíricas tienen gran difusión pero pueden conducir a grandes errores, ya que el proceso de escurrimiento

es mucho más complejo como para simplificarlo en una expresión algebraica de tipo directo, en la que se implican el área de la cuenca y el coeficiente de escurrimiento.

Fuentes *et al.*, citados por González, mencionan que debido a la existencia de una gran variedad de modelos precipitación-escurrimiento, conviene agruparlos en diferentes categorías a efecto de escoger el más adecuado para cada caso particular. Una manera de clasificarlos es de acuerdo con la información que se requiere para su calibración; de esta manera, los modelos precipitación-escurrimiento se dividen en tres grandes grupos:

a) Modelos que requieren únicamente las principales características físicas promedio de la cuenca de estudio, a estos modelos les corresponden fórmulas empíricas.

b) Modelos para los que es necesario contar con registros simultáneos de precipitación y escurrimiento, a estos se les conoce como modelos de caja negra.

c) Modelos para los que se debe disponer (además de los registros simultáneos de precipitación y escurrimiento) de las características físicas detalladas de la cuenca, estos pertenecen a modelos que a partir de la información detallada de las características físicas de la cuenca y de la aplicación de las fórmulas fundamentales de la Hidráulica, pretenden simular el proceso de escurrimiento en toda la cuenca.

González señala que para calcular el escurrimiento con datos de lluvia y de infiltración se necesita hacer la evaluación de las pérdidas sufridas por evaporación del agua superficial, transpiración, infiltración profunda, almacenamiento de agua en el perfil del suelo, que está influido por la humedad anterior y el almacenamiento superficial de tipo temporal y permanente.

Debido a su simplicidad, los modelos empíricos tienen gran difusión, pero como se ha indicado anteriormente, pueden producir grandes errores, ya que el proceso de lluvia-escurrimiento es mucho más complicado como para reducirlo en una fórmula de tipo directo, en la que se involucran simplemente el área de la cuenca y el coeficiente de escurrimiento. (González)

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

Aparicio citado por González, puntualizan que los métodos envolventes no son muy confiables ya que sólo consideran el área de la cuenca; aunque no son métodos que examinen propiamente la relación lluvia-escorrentamiento, se aplican por ser de enorme utilidad en los casos en que se requieren sólo hacer estimaciones burdas de los gastos máximos probables, o bien cuando se carezca casi por completo de información.

Según Ordoñez la ecuación de continuidad, o de balance hidrológico, es la ley más importante en Hidrología, y aunque su expresión es muy simple, la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de mediciones directas en campo y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (a acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca. Como respuesta a estas dificultades, generalmente se admiten dos asunciones:

- a. Supone que las pérdidas profundas son despreciables (se considera, por tanto, que la cuenca es impermeable)
- b. Admite que las variaciones del agua almacenada en la cuenca son despreciables para un período suficientemente largo (normalmente un año).

La II Variante de José Luis Batista es una de las más utilizadas en el país, obteniéndose la variable normalizada de las precipitaciones y que está ajustada para períodos de estiaje y de corrientes permanentes, también existen las expresiones por regiones en el país.

En 1991, el ingeniero José Luis Batista propuso un método basado en la recopilación de los gastos líquidos de 58 estaciones hidrométricas por toda Cuba por un período de 25 años, comprendidos entre los años 1964 y 1988, a este método se le conoce como la III Variante de José Luis Batista, para este período concluyó que era suficiente puesto que dentro de estos años habían ocurrido años secos, medios y húmedos. En esta etapa el autor dedujo un sistema de ecuaciones para el cálculo del

escurrimiento medio anual, dichas formulaciones las fraccionó por regiones (Occidental, Central y Oriental).

Existen diferentes métodos para determinar el escurrimiento medio (W_o) hiperanual en los ríos sin registros de observaciones, entre ellos se pueden mencionar algunos de mayor uso tradicionalmente en Cuba: "Mapas de Isolíneas del Escurrimiento", I Variante Ing. José Luis Batista, II Variante Ing. José Luis Batista, III Variante José Luis Batista, Abel Alfonso, Nadir Fernández, Métodos Genéticos, Balance Hídrico, Fórmula Clásica, Analogía y Modelos Matemáticos e Hidrológicos, este último se encuentra en procesos y aplicaciones investigativas con resultados satisfactorios en cuencas muy específicas. (Durand)

Existen muchos más métodos por diferentes autores que dan respuesta al escurrimiento, entre ellos se encuentran: Heras, Langbein, Becerril, Temez, Turc, Coutagne, Smhit, entre otros.

1.4. Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento depende de las características de la cuenca y condiciones del suelo, varios autores manifiestan expresiones para la obtención del mismo, siempre teniendo en cuenta la cantidad de precipitación que finalmente llega a la superficie del terreno, de la naturaleza y la cobertura artificial (casas, edificios, estacionamientos, carreteras con pavimentos, etc.). La cobertura, natural de la densidad de la cubierta vegetal (si existe).

Se puede concluir que el escurrimiento proviene directa o indirectamente de la precipitación y de una u otra forma aparece siempre en los cauces de los ríos o arroyos por lo cual para su estudio y conocimiento es indispensable el estudio de la precipitación y de las corrientes naturales. (Campos Aranda)

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica del río Guamá se ubica en el municipio del propio nombre, situado en la parte occidental y sur de la provincia de Santiago de Cuba. (Fig. # 12)



Figura 12: Extensión territorial de la zona Municipio Guamá.

Este municipio surgió en 1976 con la nueva división político-administrativa, con su capital en el poblado de Chivirico. Anteriormente este vasto territorio formaba parte del término municipal de El Cobre. Conformada por una estrecha franja costera, que a su vez comprende una buena porción de la Sierra Maestra, macizo montañoso más importante de Cuba. El municipio tiene un relieve montañoso, donde sobresalen las siguientes elevaciones, Pico Real del Turquino con una altura de 1974m, Pico Cuba con altura 1872m, Pico Suecia con altura 1734m, Pico Martí con altura 1722 m y Pico Maceo con altura 1720m y en la (fig. # 13) se muestra la elevación más alta.

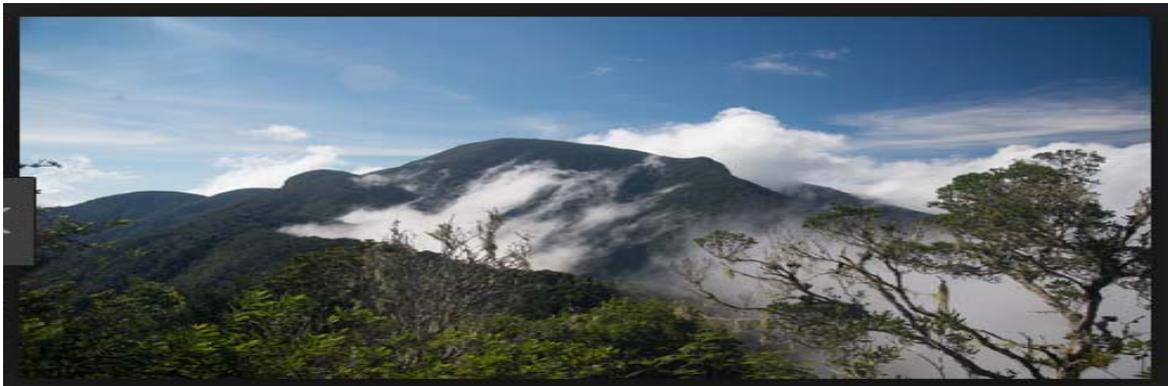


Figura 13: Pico Real del Turquino.

2.1. Ubicación de la cuenca del río Guamá

La cuenca del río Guamá desemboca en las coordenadas Norte 145 000 m y Este 542 000 m, limita al Norte con la provincia de Granma, al Sur con el Mar Caribe, al Este con el río Sevilla y al Oeste con la cuenca de río Grande y Papayo. (Fig. #14)



Figura 14: Ubicación de la cuenca Guamá

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

Es uno de los ríos más grandes en extensión y longitud del municipio. Ante intensas lluvias abre considerablemente sus márgenes y las manchas de inundaciones aumentan hacia la costa.

Este río es considerado por el consejo de cuencas nacional como cuenca de Interés Municipal, donde por su ubicación e importancia debe dársele seguimiento por los subprogramas que controla el consejo de cuenca provincial.

En el área de estudio existen 3 minihidroeléctricas, donde en estos momentos está funcionando una sola que es Alcarraza, y los dos restantes no están trabajando como son Sonador y Codillo, están propuesta para estudio, las que se mencionan a continuación: Chivirico I, Chivirico II, Guamá I, Guamá II, Guamá IV, Guamá V; Alcarraza II, Guamá afluente 2 y Guamá afluente 3. (Fig. # 15)



Figura 15: Minihidroeléctrica

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

Entre las principales características se encuentran:

- Área de la cuenca: Ac-83 Km²
- Altura media de la cuenca: Hm-591m
- Longitud del río: Lr-24.9 Km
- Cota del nacimiento del río: H₁-1040msm
- Cota de la desembocadura del río: H₂-0 msm
- Pendiente del río: Yr-41.8 0/00
- Pendiente de la cuenca: Yc-484 0/00
- Densidad de drenaje: Dd-0.97 Km/Km²
- Clasificación: Permanente

Principales parámetros del escurrimiento.

Y_o:862 mm M_o:27.3 L/s/km² Cv: 0.43

W_o:71.5 hm³ Q_o:2.27 m³/s

2.2. Clima y Geología

El clima es tropical, aunque al estar situado al sur de la Sierra Maestra, predominan en buena parte de su territorio condiciones de sequedad. La más extensa serranía cubana sirve de barrera natural a los vientos alisios que vienen cargados de humedad desde el Océano Atlántico. Al encontrarse con estas montañas, se ven obligados a elevarse, por tanto se condensan y se precipitan en su ladera norte, y al descender secos por la ladera sur, lugar donde se encuentra el municipio, propician mayores condiciones de sequedad.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

También se debe recordar que la ladera sur de la Sierra Maestra está todo el año frente al sol, y acentúa esas condiciones de escasa humedad. A ese sitio se le nombra como la solana, mientras que la norte, más fresca y húmeda se conoce como umbría.

La mayor parte del año, la humedad relativa media anual en las zonas llanas es del 73 al 79 %, que llega a alcanzar el 90 % al aumentar la altura en las montañas. Los vientos que predominan en verano, pueden durar varios días y son húmedos. Se observan 2 tipos de nieblas:

- **Nieblas Catabáticas.** Se observan en los valles interiores, en las primeras horas del día, fundamentalmente donde hay ríos permanentes.
- **Nieblas Orográficas:** estas se presentan fundamentalmente en horas de la tarde.

Este clima es tropical y húmedo y se distinguen dos épocas; destacándose un período lluvioso de mayo a octubre, donde se acumula el 80% del total de lluvia anual, y otro poco lluvioso, que abarca los meses de noviembre a abril, con el 20% restante. La temperatura media anual en el municipio de Guamá es de 24 °C, alcanzando valores de 26-27 °C en los meses de julio y agosto y de 21-22 °C en los meses de enero y febrero.

Por su ubicación geográfica y sus características topográficas, se observa una aridez que va disminuyendo lentamente en la medida en que se avanza en latitud, en dirección Sur-Norte, con una extrema variabilidad de las precipitaciones entre un año y otro; y con anomalías negativas en el régimen o acumulados de lluvia con respecto al promedio histórico. Las precipitaciones históricas en el municipio de Guamá alcanzan un promedio anual de 1760 mm y en la tabla 3 se muestran la distribución por meses.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

Tabla 3: Distribución mensual de las precipitaciones

Municipio	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Guamá	62	64,7	98,7	110,5	228,2	198,5	144,9	190,7	224	241,2	129,6	67	1760

El régimen de viento es de brisa y terral, debido a la cercanía a la costa. Los vientos del Norte son debidos a la actividad eólica de la gran masa de aire polar que se deja sentir en la Sierra Maestra, especialmente de noviembre a marzo, soplando como vientos fríos del Norte, su actividad es continua día y noche.

Los valores de vientos registrados muestran velocidades medias muy variables, oscilando entre 14 y 19 Km/h en los meses del período poco lluvioso (noviembre-abril), y en el período lluvioso oscilan entre 10 y 14 Km/h. Es necesario conocer que este municipio se encuentra bajo la influencia del efecto Foehn por su configuración geográfica.

Relieve

En el relieve del área de estudio predomina la presencia de la Sierra Maestra y, dentro del municipio, la existencia del Pico Turquino. Esto configura pendientes muy inclinadas, más de 15°, denotando un relieve de montaña predominante, según la clasificación se corresponde con la metodología descrita por Lamadrid-Marón y Horta-Carballal (1984) y Lugo-Hubp; este relieve está intercalado por estrechos valles intramontañosos originados por la presencia de grandes fallas tectónicas por la que corren ríos como el Guamá, y otros arroyos que pueden tener agua solo en tiempos de lluvia. Los valores de las costas del terreno aledaño al área de estudio y dentro de esta, oscilan entre 654.2m y 0.0m al nivel del mar.

En la cuenca el relieve es el componente más importante del sistema natural y tiene una influencia directa en la producción agrícola, el predominio de fuertes pendientes, influyen decisivamente en las posibilidades de mecanización, los costos de

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

producción, las condiciones de trabajo, las limitaciones de las maquinarias agrícolas, los sistemas de irrigación y los costos de explotación.

En este macizo montañoso el ángulo promedio de las pendientes es muy elevado, pues llega a los 20 y 30°, además se destaca una franja costera que comprende una serie de llanuras, donde la pendiente no supera los 3°.

Suelos

La secuencia general de las capas del suelo, rocas y de otros materiales allí existentes es la siguiente:

Capa 1: Depósitos aluviales gruesos en el cauce de ríos y arroyos; con tamaños entre 0.02-0.50m; los bloques y gravas están semiredondeadas, con poca arena y limo.

Capa 2: Arcillas arenosas plásticas, color pardo rojizo, como cubierta en zonas de alteración, aparecen en las zonas con menos pendientes donde se ha logrado mantener sin una gran erosión que las aguas pluviales las arrastraran y redepositarán.

Capa 3: Tobas estratificadas, intercaladas con arenisca y aglomerados; hay presencia de cuerpos intrusivos de dioritas y granodioritas con diferentes grados de intemperización. Estas tobas son rocas duras, en algunos lugares está muy intemperizada, agrietada y tectonizada, con presencia de fallas y buzamientos con rumbo Norte-Noroeste, predominantemente. Están cruzados a lo largo del trazado de la conductora por planos de fallas y con la presencia de cuerpos intrusivos constituidos por pórfido tonalítico, andesita, diorita y granodiorita.

Evolución geológica

Al igual que el resto de Cuba, el río de Guamá surgió del fondo de los mares, a través de un proceso de formación que duró millones de años. El origen de la mayor serranía cubana, se debió al levantamiento de un gran bloque, mientras que hacia el sur se hundía otro bloque, que formó la profunda Hoya de Bartlett, y la conocida Fosa de Oriente con sus seis mil metros de profundidad, situada exactamente frente al pico Turquino.

El desnivel que se formó entre la parte más alta de la sierra y la profundidad de la fosa, es de unos ocho mil metros, casi similar al Pico Everest o Chomolugma, por lo que forma uno de los mayores desniveles de la corteza terrestre.

De acuerdo con la historia geológica cubana la mayor parte del río de Guamá está formado por depósitos del Paleoceno-Eoceno con sedimentos volcanógenos y sedimentarios correspondientes al Paleógeno, con pequeños afloramientos de rocas ígneas ácidas (basaltos) correspondientes al Cenozoico, así como formaciones aisladas, sobre todo hacia la costa, correspondientes al Cretácico con rocas volcanógenas y sedimentarias. El territorio está recorrido por diferentes fallas.

Resulta interesante el afloramiento de rocas volcánicas al oeste de la desembocadura del río Guamá, totalmente diferente al resto de las rocas que lo rodean.

2.3. Hidrografía

La corriente principal se corresponde al propio río, además existen otras corrientes fluviales intermitentes. Cuenta con 11 afluentes: Sonador, Guayabo, Alcarraza, Limoncito, Guamá 2, las otras restantes como aparecen sin nombre en el cartográfico, se les identificó con el nombre de los pueblos más cercanos. (Tabla 4 y figura 16)

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

La corriente fluvial alimenta las aguas subterráneas localizadas en el depósito aluvial grueso que se ubica en la desembocadura del mismo en el Mar Caribe.



Figura 16: Hidrografía de la cuenca del río Guamá.

Tabla 4: Principal morfometría de las subcuencas

N/O	Nombre	Área (Km ²)	Longitud del río (Km)
1	Sonador	6.12	1.7
2	Guayabo	3.54	0.8
3	Alcarraza	16.5	5.8
4	S/N Guineita	5.7	1.1
5	S/N	2.3	0.2
6	Limoncito	4.2	1.0
7	S/N Achotal	1.9	0.3
8	Guamá 2	0.39	0.2
9	S/N Guamá 3	1.7	0.7
10	S/N Manacal Arriba	2.4	1.2
11	S/N Manacal Abajo	4.7	0.8

Vegetación

La vegetación en la cuenca está formada por las de tipo semicaducifolia sobre suelos calizos, semicaducifolia sobre suelos ácidos, monte nublado, plumisilva de montaña, etc.

2.4. Características de las variables del ciclo hidrológico

En el área de estudio se carece de estaciones que observen las variables hidrológicas tales como: estaciones hidrométricas, climatológica, hidrometeorológica, solo se cuentan con estaciones pluviométricas (fig. # 17).



Figura 17: Estaciones pluviométricas de la cuenca

Se observa que existe uniformidad en las ubicaciones de las estaciones pluviométricas en la cuenca, no siendo así por subcuencas.

CAPÍTULO 3: POTENCIAL HIDRICO DE LAS SUBCUENCAS

El conocimiento del potencial hídrico o escurrimiento es de gran importancia porque permite el desarrollo económico y social de un territorio. Como se ha mostrado en el

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

Estado del arte existen diferentes métodos y vías para la obtención de este potencial, que se emplean en dependencia de la disponibilidad de información.

En esta investigación se decide emplear el método de la Fórmula Clásica, ya que tiene una amplia aplicación internacionalmente y tiene la siguiente expresión:

$$W = \frac{C * P * A}{1000}$$

Donde:

C: Coeficiente de escurrimiento

P: Precipitación de la lluvia en mm

A: Área de la cuenca en Km²

Wo: Volumen de escurrimiento hm³

3.1. Obtención de las precipitaciones

Para el estudio de las precipitaciones y la identificación con las redes del ciclo hidrológico se pueden utilizar como apoyo los Sistemas de información Geográficos (SIG), que son una poderosa herramienta que permite mostrar las representaciones gráficas de la cuenca entre ellas, MapInfo y ArcGis.(Fig. # 18)

Se emplea el Mapa Isoyético de la República de Cuba, versión 1961-2000, por el Mapa de Pluviosidad, y en la tabla # 5 se muestran los cálculos para cada una de las subcuencas.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá



Figura 18: Mapa Isoyético de la República de Cuba, versión 1961-2000

Tabla 5: Resultados del cálculo de las precipitaciones.

N/O	Nombre de la subcuenca	Curva (m)	Área entre curva (Km ²)	Diferencia entre curva (m)	Área Diferencia x	Precipitación (mm)
1	Sonador	1500-1700	0,7	1600	1120	
		1700-1900	1,4	1800	2520	
		1900-2200	1,6	2000	3200	
		2200-2400	0,8	2300	1840	
		2400-2600	1,5	2500	3750	
	Σ		6		12430	2071

2	Guayabo	1600-1800	0,4	1700	680	
		1800-2000	0,7	1900	1330	
		2000-2200	1,1	2100	2310	

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

		2200-2400	0,6	2300	1380	
		2400-2600	0,2	2500	500	
	Σ		3		6200	2066
3	Alcarraza	1800-2000	1,1	1900	2090	
		2000-2200	1,3	2100	2730	
		2200-2400	2,3	2300	5290	
		2400-2600	10,1	2500	25250	
	Σ		14,8		35360	2389

4	S/N Guineita	2000-2200	0,9	2100	1890	
		2200-2400	2,3	2300	5290	
		2400-2600	2,3	2500	5750	
	Σ		5,5		12930	2350

5	S/N	2000-2200	0,2	2100	420	
		2200-2400	0,9	2300	2070	
		2400-2600	1	2500	2500	
	Σ		2,1		4990	2376

6	Limoncito	2000-2200	0,4	2100	840	
		2200-2400	1,8	2300	4140	
		2400-2600	1,3	2500	3250	

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

	Σ		3,5		8230	2351
--	----------	--	-----	--	------	------

7	S/N Achotal	2400-2600	3,4	2500	8500	2500
---	-------------	-----------	-----	------	------	------

8	Guamá 2	2400-2600	0,4	2500	1000	2500
---	---------	-----------	-----	------	------	------

9	S/N Guamá 3	2400-2600	1,7	2500	4250	2500
---	-------------	-----------	-----	------	------	------

10	S/N Manacal Arriba	2000-2200	2,3	2100	4830	2100
----	--------------------	-----------	-----	------	------	------

11	S/N Manacal Abajo	1600-1800	0,5	1700	850	
		1800-2000	3	1900	5700	
		2000-2200	1,4	2100	2940	
	Σ		4,9		9490	1936

3.2. Coeficiente de Escurrimiento

En 1975 la dirección general de obras hidráulicas para el desarrollo rural de la S.A.R.H., concentró en su Instructivo de Pequeños Almacenamientos, sus experiencias relativas a la evaluación del coeficiente de escurrimiento anual, apoyándose en la clasificación de tipos de suelos y coberturas o usos del mismo, del U.S. Soil Conservation Service. Según dichas experiencias el coeficiente de escurrimiento anual (C) se evalúa con las fórmulas siguientes:

Cuando $k < 0.15$

Cuando $k > 0.15$

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

$$C = k \left(\frac{P-250}{2000} \right)$$

$$C = k \left(\frac{P-250}{2000} \right) + \left(\frac{k-0.15}{1.5} \right)$$

Donde:

C – Coeficiente de escurrimiento anual, adimensional.

P – Precipitación anual, en mm.

k – Parámetro que depende del tipo y uso o cubierta del suelo.

Se determinó el coeficiente de escurrimiento hallando una media, ya que cada subcuenca tiene los diferentes tipos de suelo que se presentan, haciéndose un minucioso trabajo lográndose los resultados que se muestran en la tabla 6.

$$C = k \left(\frac{P - 250}{2000} \right) + \left(\frac{k - 0.15}{1.5} \right)$$

Tabla 6: Cálculo del coeficiente de escurrimiento

N/O	Precipitación (mm)	Área (Km ²)	Ce
1	2071	6,12	0,28
2	2066	3,54	0,29
3	2389	16,5	0,36
4	2350	5,7	0,36
5	2376	2,3	0,36
6	2351	4,2	0,36
7	2500	1,9	0,38
8	2500	0,39	0,38
9	2500	1,7	0,38
10	2100	2,4	0,29
11	1936	4,7	0,27

3.3. Cálculo del escurrimiento

A partir de los resultados de los coeficientes se realizó el cálculo del escurrimiento por la (fórmula 1), mostrándose en la tabla 7 los resultados:

De ella se derivan los siguientes parámetros:

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

$Q_0 = W_0/t$ - gasto medio en (m³/s)

$M_0 = Q_0 * 1000/A$ - Modulo del escurrimiento en (l/s/km²)

$Y_0 = (W_0/A) * 100$ - Lámina de escurrimiento en (mm)

$C_v = 0.95 - 0.36 * (\log M_0)$

Tabla 7: Parámetros hidrológicos

N/O	Nombre	Coordenadas		W ₀ (hm ³)	Y ₀ (mm)	Q ₀ (m ³ /s)	M ₀ (l/s/Km ²)	C _v
		X	Y					
1	Sonador	541.600	149.600	3.54	578	0.11	17.9	0.4
2	Guayabo	541.600	150.700	2.12	598	0.06	16.9	0.5
3	Alcarraza	542.400	152.800	14.19	860	0.44	26.7	0.4
4	S/N Guineita	541.600	154.500	4.82	845	0.15	26.3	0.4
5	S/N	542.600	155.300	1.96	852	0.06	26.1	0.4
6	Limoncito	543.600	155.800	3.55	845	0.11	26.2	0.4
7	S/N Achotal	543.900	158.500	1.81	952	0.05	26.3	0.4
8	Guamá 2	544.100	158.600	0.37	948	0.01	26.5	0.4
9	S/N Guamá 3	544.800	158.300	1.61	947	0.05	29.4	0.4
10	S/N Manacal Arriba	543.500	155.300	1.46	608	0.04	16.7	0.5
11	S/N Manacal	542.500	152.300	2.45	521	0.07	14.8	0.5

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

	Abajo							
--	-------	--	--	--	--	--	--	--

CONCLUSIONES

1. Se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva del tema.
2. Se determinaron los principales parámetros morfométricos de las subcuencas.
3. Se visualizaron y se describieron los métodos de cálculo de las precipitaciones, empleándose el Mapa Isoyético de la República de Cuba, versión 1961-2000 por la falta de estaciones pluviométricas
4. Se obtuvo el potencial hídrico de 11 subcuencas previo análisis del coeficiente de escurrimiento.

RECOMENDACIONES

- 1) Construir una estación hidrométrica en la cuenca.
- 2) Mejorar la red de observación pluviométrica
- 3) Utilizar los resultados de esta investigación en el Consejo de Cuenca Municipal.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pereyra-Díaz, D., J.A.A. Pérez-Sesma, M.R. Salas-Ortega, (2010). Hidrología. Capítulo en: Atlas del patrimonio Natural, Histórico, Cultural de Veracruz, E. Florescano, J. Ortiz-Escamilla (coordinadores).
2. Campos, D. F., (1998). Procesos del ciclo hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S. L. P., México.
3. Fuente: Analisis de las precipitaciones en Santiago de Cuba (Durand 2018).
4. Londoño Palacio, O. Lucía. Maldonado Granados, L. Facundo. Calderón Villafañez, L. Catalina "Guía para Construir Estados del Arte", Bogotá, 2014.
5. La Gestión de Cuencas Hidrográficas en Cuba. La Habana, Cuba
6. Noviembre 2015. Dr. C.T. Jorge Mario García Fernández, Lic. Joaquín B. Gutiérrez Díaz
7. UNESCO, ROSTLAC, "Guía Metodológica para la Elaboración del Balance Hídrico de América del Sur", Oficina Regional Ciencia y Tecnología, Unesco para América Latina y el Caribe, Montevideo, Uruguay. 130 p, 1982.
8. Sánchez Martínez, F. Javier, " Cálculo de la precipitación areal mediante sistemas de información geográfica ", 2008.
9. Durand, T. María, "Curvas de caudales clasificados y su generalización en la provincia Santiago de Cuba" Tesis en opción al grado de MSc. en ingeniería hidráulica, Centro de investigaciones hidráulicas, Granma, 2002.
10. Batista Silva, J. L. (1991): Cálculo del escurrimiento medio anual sin observaciones hidrométricas. Revista Voluntad Hidráulica No.85, ISSN 0505-9461, pp. 2-7.
11. Gonzáles, F. H., & E., R. S. (2010). Hidráulica para ingenieros civiles.
12. Gonzales, J. P. (1997). Hidrología para Ingenieros. Habana.

Determinación del Potencial Hídrico de las subcuencas del río Guamá

13. González, S. L, Jorge Pedreira, Martínez, R. B, Marrero, N, " Hidrología Superficial para Ingenieros" C.I.H, ISPJAE, Habana, 2000.
14. Chow, Ven Te, "Hidrológica Aplicada", 1994
15. Aparicio, M. F, (2007). Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, México. 303 pp.
16. Ordoñez. J.J. Gálvez (2011), Balance hídrico superficial
17. Tecnología de Tierras y Aguas I - Escurrimiento Superficial
18. Archivo de la delegación provincial de los Recursos Hidráulicos, Santiago de Cuba.
19. Mapa Isoyético de la República de Cuba, versión 1961-2000
20. Software MapInfo Profesional. Versión 10.5.
21. Revista Voluntad Hidráulica, Habana, 2017. No-121/ ISSN 0505-9461. Durand (2017).