

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ UREÑA

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Civil

Comportamiento Hidrológico e Hidráulico del Río Nigua con Fines de Construcción de un
puente en el tramo de la sección Boruga en Hato Damas San Cristóbal, República
Dominicana.



Trabajo de grado presentado por:

Erick L. Doñé Miliano

Gabriel L. Cedeño

Para la obtención del grado de Ingeniero civil

Asesora:

Sandra E. José Clases

Santo Domingo, D.N.

2018

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I:EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Justificación.....	4
1.3 Preguntas de la Investigación	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Antecedentes.....	6
1.6 Alcances y Limitaciones	8
CAPÍTULO II: DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	9
2.1 Marco Teórico.....	9
2.1.1 Que es la hidrología.....	9
2.1.2 Ciclo hidrológico y sus principales componentes	9
2.1.3 La cuenca hidrográfica.....	14
2.1.4 Enfoque sistémico de la cuenca hidrográfica.....	16
2.1.5 Funciones de una cuenca	16
2.1.6 Parámetros morfométricos y fisiográficos de una cuenca hidrográfica	17
2.1.7 Parámetros de relieve.....	22
2.1.8 La precipitación atmosférica	23
2.1.9 Los ríos	27
2.1.10 Curva de Descarga.....	29
2.1.11 Curva Analítica	37
2.1.12 Curva exponencial	38
2.1.13 Curva de Duración General.....	39
2.2 Definición de Conceptos.....	41
2.3 Marco Contextual	44

2.3.1 Perfil Topográfico Cuenca hasta el Puente/badén en la sección de Boruga.	47
2.3.2 Elevaciones	49
2.3.3 Climatología de la zona	50
2.3.4 Hidrología	53
2.3.5 Geología de la Cuenca	54
2.3.6 Geomorfología	56
2.3.7 Uso y cobertura de la cuenca.	56
<i>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....</i>	57
3.1 Enfoque de la investigación	57
3.2 Tipo de investigación	57
3.3 Procedimiento de investigación.....	57
3.4 Método de investigación	58
3.5 Técnicas de investigación	58
3.6 Población y muestra.....	58
<i>CAPÍTULO IV: CONCLUSIÓN Y RESULTADO</i>	59
4.1 Caudales en las secciones de Aforo	59
4.2 Modelación Hidráulica.....	60
4.3 Conclusiones:	70
4.4 Recomendaciones:	71
<i>CAPÍTULO V: BIBLIOGRAFÍA.....</i>	73
<i>Anexos</i>	

Índice de figuras

Figura 1. Ciclo hidrológico.....	10
Figura 2. Curva de duración de caudales: a) Río de alta pendiente b) Río de llanura	39
Figura 3. Mapa de ubicación de la cuenca del río Nigua	45
Figura 4. Mapa de la cuenca del río Nigua hasta el lugar de estudio.....	47
Figura 5. Perfil topográfico del río Nigua hasta la sección de Boruga	49
Figura 6. Mapa de elevaciones de la cuenca del río Nigua hasta el puente badén de la sección de Boruga.	50
Figura 7. Parámetros climáticos del río Nigua estación El Tablazo.....	51
Figura 8. Parámetros climáticos de la estación Medina.	52
Figura 9. Proyección de caudales del río Nigua en el puente-badén respecto estación El Tablazo.....	54
Figura 10. Uso y cobertura de la cuenca del río Nigua hasta el puente badén de la sección de Boruga.	56
Figura 11. Ubicación puntos de realización de aforos.....	59
Figura 12. Curvas de nivel y secciones levantadas en el tramo estudiado.	64

Índice de Tablas

Tabla 1. Clase de forma de la cuenca.	22
Tabla 2. Variación de las elevaciones del río Nigua respecto a su longitud	48
Tabla 3. Parámetros climáticos de la cuenca del río Nigua según estación El Tablazo	51
Tabla 4. Parámetros climáticos de la cuenca del río Nigua según estación Medina.	52
Tabla 5. Estación el Tablazo proyectada en el sitio del puente Boruga.....	53
Tabla 6. Datos geométricos de la sección de aforos realizados en fecha 06/01/2017.....	60
Tabla 7. Datos geométricos de la sección de Aforos realizados en fecha 4/11/2017	60
Tabla 8. Precipitaciones asociadas en la cuenca Nigua para diferentes periodos de retorno.	62

INTRODUCCIÓN

Al momento de realizar construcciones de cualquier rama en entornos donde incidan cuerpos hídricos es necesario realizar estudios que lleven consigo resultados que puedan guiar a una posible determinación de su comportamiento ante situaciones que obliguen a este a extender su cauce más allá de lo regularmente observado.

La hidrología es necesaria para el desarrollo de nuevas infraestructuras hidráulicas o en los procesos de urbanización residencial, industrial o de acceso vial. Estos precisan de estudios hidrológicos, y en algunos casos hidráulicos, si discurren en las proximidades de cauces o si estos pueden ser afectados por alguna actividad.

Por lo que al momento de seleccionar un cuerpo hídrico es necesario preguntarse cuál cumpliría con los requisitos específicos en el tema de investigación y es ahí donde se encuentra como resultado de interés el río Nigua.

La cuenca hidrográfica del río Nigua se denomina así por constituir una gran extensión geográfica de 215 km², en donde todas las aguas de lluvias, superficiales, subterráneas y de escorrentías, son recogidas por un cauce hídrico principal desde donde nace en La Cuchilla de la Guardia (Mano Matuey) hasta su desembocadura en la Playa Boca de Nigua, Mar Caribe, Provincia San Cristóbal.

Como metodología de investigación acerca del comportamiento hidrológico e hidráulico de cualquier tipo de cuerpo de agua, es necesario llevar a cabo análisis determinados sobre qué incide dentro del comportamiento del mismo. Ciertos organismos pertenecientes a la élite gubernamental han optado por buscar métodos rápidos y funcionales hasta cierto punto, con el objetivo de resolver los problemas sociales y económicos causados por las avenidas del río Nigua, como por ejemplo, el puente – badén ubicado en la sección de Boruga, Hato Damas, San Cristóbal, ya construido dos veces hasta el momento y ambas veces destruido por las grandes riadas.

Este proyecto busca como objetivo proporcionar y generar una solución factible la cual pueda ser aplicable en el futuro para la solución de la problemática existente en la actualidad.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Durante los últimos años el río Nigua ha presentado un alto nivel de sequía, pero al mismo tiempo este ha hecho crecidas tan elevadas que ha provocado inundaciones y hasta el colapso de puentes debido a las grandes crecidas que este presenta en tiempos de lluvia. Entre los puentes colapsados, se encuentra el puente – badén, caso de estudio, que da paso a la comunidad de Boruga.

Según (Felicito Pérez), experto hidrológico consideró que el encajonamiento del río Nigua, sin medir los parámetros que producen el desplazamiento de una enorme avenida de agua debido al proceso de erosión sin control a que ha sido sometido ese acuífero, puede provocar una catástrofe. Dijo que las últimas dos avenidas de agua que se han producido en ese río han roto los parámetros del comportamiento que mantuvo ese acuífero y que esa situación se produce como consecuencia de que la zona alta ha sido pelada para dar paso a la producción de aguacate. (Uribe, 2014).

Estas situaciones han sido ocasionadas por la deforestación desmedida en la zona y a la extracción de materiales (arenas, etc.), por parte de los habitantes.

1.2 Justificación

Debido a las grandes inundaciones que ha provocado el río Nigua en los últimos años, se ha visto la necesidad de la determinación del caudal máximo o crecida máxima, para un periodo específico de recurrencia que este ha tenido, esto para la buena proyección de las obras que en él se puedan construir.

El resolver este problema trae como resultado principal el evitar el aislamiento de las comunidades del entorno a este río y poder diseñar un puente con la altura necesaria, en el lugar objeto de estudio, para que no colapse ante un evento menor o igual al periodo de recurrencia de diseño que corresponda una estructura de ese tipo.

Es por esto la importancia de que a través de un estudio del comportamiento hidrológico e hidráulico se pueda identificar que sí y que no es lo conveniente para construir.

1.3 Preguntas de la Investigación

- 1- ¿Cuál es el comportamiento hidrológico e hidráulico del río Nigua hasta el puente badén ubicado en la sección de Boruga?
- 2- ¿Cuáles son las lluvias asociadas a diferentes periodos de recurrencia que ocurren en la cuenca?
- 3- ¿Cuál es el caudal máximo asociado al periodo de retorno para el diseño del puente?
- 4- ¿Cuáles son los aspectos geomorfológicos de la cuenca del río Nigua?
- 5- ¿Cuál es el comportamiento climático de la cuenca?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Conocer el comportamiento hidrológico e hidráulico del río Nigua con fines de construcción de un puente en el tramo de la sección Boruga en Hato Damas, San Cristóbal, Republica Dominicana.

1.4.2 Objetivos específicos

- Conocer el comportamiento hidrológico e hidráulico en el tramo del puente badén en la sección de Boruga.
- Presentar las lluvias asociadas a diferentes periodos de retorno que ocurren en la cuenca hasta ese punto.
- Conocer el caudal máximo asociado a un periodo de recurrencia tal que sirva para tener una idea de la altura que debe tener el puente.
- Describir los aspectos geomorfológicos de la cuenca de Nigua.
- Analizar el comportamiento climático de la cuenca de Nigua.

1.5 Antecedentes

A continuación se exponen algunos trabajos realizados por otros autores que abordan el tema del Comportamiento Hidrológico de los Ríos (Inundaciones). Resaltando sus opiniones acerca del tema en estudio:

- **Resumen Ejecutivo del Proyecto Restauración y Manejo Integrado de Cuencas Altas de los Ríos Nizao, Nigua y Ocoa. (INDRHI).**
- **Análisis de Crecida de la Cuenca del Río Nigua: Ing. Yudith Javier (INDRHI) 29/11/2011.** Tiene como objetivo conocer el caudal máximo asociado a la avenida producida en la cuenca del Río Nigua, considerando los períodos de retorno 10, 25, 50, 100 respectivamente.
- **Estudio Hidrológico sobre la Cuenca de Nigua: Ing. Juan Mateo Minaya. (INDRHI) 09/04/2008.** Tiene como objetivo identificar las zonas en las cuales la cuenca del río Nigua está más propensa a sufrir daños por inundación y el manejo racional y sostenido de los recursos naturales.
- **Estudio de Control de Inundaciones en la cuenca del río Yaque del Norte.** Concluye que el uso inadecuado de la tierra es el principal problema y este y todos los demás que posee la cuenca actualmente tanto en lo físico, biótico y socioeconómico es muy difícil de superar por la falta de una gestión ambiental adecuada, lo cual es debido a la descoordinación interinstitucional, la falta de normatividad y de políticas coherentes para la gestión ambiental.

- **Estudio de Inundación Zona Río Bacuí y Arroyo Palmar, La Vega.** De acuerdo con los resultados analizados en este estudio, se ha recomendado la reubicación de la población que se encuentra en la zona de inundación, además de mejorar la capacidad de conducción del río Bacuí cambiando la alineación del mismo.
- **Control de Inundaciones en la Cuenca del Río Yaque del Sur.** Recomienda medidas para la protección contra crecidas en zonas de alto riesgo, tales como: reubicación de algunas comunidades afectadas y creación de un sistema de alerta temprana (usado también para zonas con protección estructural).
- **Comportamiento Hidráulico e Hidrológico del Río Yuna hasta el Embalse de Hatillo.** Se recomienda en dicho estudio definir mediante un modelo hidráulico los niveles alcanzados por el cauce para estos caudales y proceder a proyectar una planificación y adecuación del cauce haciendo uso racional de los sedimentos acumulados en el mismo con la finalidad de aumentar su capacidad de conducción permitiéndole manejar los caudales de crecida sin los desbordamientos habituales causantes de daños a vidas y propiedades.
- **Inundaciones en Jimaní, Río Soliette.** Entre las recomendaciones que se plantean en dicho estudio se encuentra que la infraestructura para el control de crecidas y la capacidad de arrastre de las fuentes fluviales, debe contemplar el estudio de una obra de regulación importante aguas debajo de la confluencia del Río Soliette con el Ocallí. Se recomienda además, la construcción de pequeñas obras de control de torrentes que reducen su capacidad erosiva y disipan las velocidades y energía del flujo, ubicadas en puntos clave y estratégicos de las sub-cuencas del río Soliette.

1.6 Alcances y Limitaciones

Los alcances destinados al tema de estudio se basan en la determinación del comportamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Nigua a través de la recolección de datos sobre climatología, hidrometría, pluviometría y secciones transversales del tramo objeto del estudio.

No contempla los estudios experimentales, análisis de costos, diseño específico de estructura, entre otros.

CAPÍTULO II

DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO II

DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Que es la hidrología

Ciencia que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie de la tierra, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente incluyendo a los seres vivos. La hidrología, proporciona métodos para resolver los problemas prácticos que se presentan en el diseño, la planificación y la operación de estructuras hidráulicas, por esta razón antes de realizar cualquier tipo de obra hidráulica se debe realizar un estudio hidrológico. (Vásquez, 2000)

2.1.2 Ciclo hidrológico y sus principales componentes

Se denomina ciclo hidrológico al conjunto de cambios que experimenta el agua en su naturaleza, tanto en su estado sólido, líquido y gaseoso, como en su forma de agua superficial, agua subterránea, etc. El ciclo hidrológico es completamente irregular y es precisamente contra estas irregularidades que lucha el hombre. Como todo ciclo el hidrológico no tiene ni principio ni fin, y su descripción puede comenzar en cualquier punto. (Ver Fig. 1).

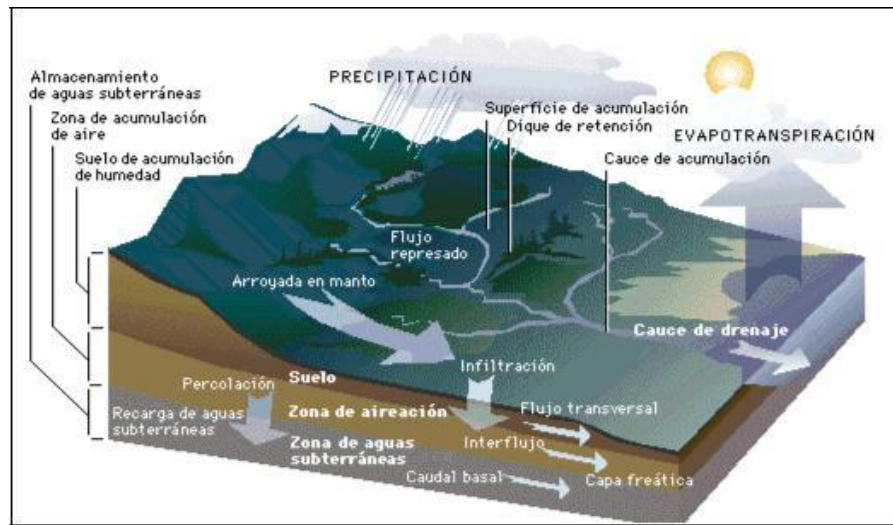


Figura 1. Ciclo hidrológico.

Fuente: Vásquez, 2000 poner el título del libro o documento

- **Precipitación**

Se denomina precipitación, al agua procedente de la atmósfera y que en forma líquida o sólida se deposita sobre la superficie terrestre. La formación de la precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense para que posteriormente se precipite a la superficie terrestre. Los mecanismos principales para la elevación de masas de aire son: la elevación frontal, donde el aire caliente es elevado sobre el aire frío por un pasaje frontal; la elevación orográfica, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; y la elevación convectiva, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva hasta llegar a una altura en que encuentre condiciones favorables para la condensación y la posterior precipitación (Vásquez, 2000).

La Intensidad de las precipitaciones varía de un lugar a otro aunque no se encuentren a mucha distancia. A lo largo de un año también hay variaciones. Existen zonas en las que en un solo día cae más lluvia que en otros a lo largo de todo el año. Las causas que influyen en la distribución de precipitaciones en el planeta son: la proximidad al mar, incremento de la humedad del aire, y las corrientes ascendentes de aire, como las que obligan a realizar las cordilleras, sobre las cuales las precipitaciones son más numerosas e intensas en la ladera enfrentada a los vientos más frecuentes, o barlovento.

- **La escorrentía**

Cantidad de agua de una lluvia y/o tormenta, que drena o escurre sobre la superficie del suelo. Cuando ocurren lluvias más intensas o frecuentes, el agua llega hasta la superficie, produciéndose por un lado, la infiltración y por otro lado, la saturación del suelo y la escorrentía. (Monsalve 1999).

Cuando ocurre escorrentía, ésta fluye a los cauces, incrementando su volumen a medida que llega agua de las partes más lejanas, y comienza a decrecer el caudal suavemente al poco tiempo de terminar la lluvia.

En detalle, parte importante de la escorrentía generada por un evento lluvioso, es realmente de flujo sub-superficial o hipodérmico, es decir, es el agua que no circula en régimen de lámina libre sino que inicialmente se infiltra, escapa de la evapotranspiración y en vez de constituir infiltración eficaz circula horizontalmente por la parte superior de la zona no saturada hasta volver a la superficie.

- **Infiltración y percolación**

Infiltración es la entrada de agua en el suelo. La capacidad de infiltración es la velocidad máxima a la cual puede penetrar agua a la superficie del suelo. La infiltración está sujeta al estado del horizonte superficial del suelo, cuyas condiciones determinan si las precipitaciones se convierten o no en escorrentía.

Se denomina percolación al movimiento de agua a través del suelo hacia niveles inferiores, la capacidad de percolación es la capacidad máxima a la cual el agua se puede mover a través del suelo. (Monsalve 1999).

Factores que afectan a las capacidades de infiltración y percolación

- El tamaño y número de los poros no capilares.
- El contenido de materia orgánica en el suelo.
- El tipo de suelo, la textura y la estructura.
- El contenido de humedad y ensanchamiento.
- Los bosques favorecen a la infiltración.
- La capacidad de infiltración y percolación.

- **Evaporación y evapotranspiración**

La evaporación, es el paso del agua de estado líquido a gaseoso, este cambio ocurre cuando algunas moléculas del agua adquieren la suficiente energía cinética para salir por sí solas de la superficie del agua. Los dos factores principales que influyen en la evaporación

desde la superficie abierta son: el suministro de energía para proveer el calor latente de vaporización y la habilidad de transportar el vapor fuera de la superficie de evaporación. Con respecto a la evaporación fisiológica o transpiración, es el resultado del proceso físico y biológico por el cual el agua cambia de estado, a través del metabolismo de la planta y pasa a la atmósfera.

Entonces se dice que la evapotranspiración, es la combinación de la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. Los mismos factores que dominan la evaporación desde una superficie de agua abierta, también dominan a la evapotranspiración. En hidrología existe interés en conocer la evapotranspiración de los cultivos, lo cual se puede calcular indirectamente a partir del concepto de Evapotranspiración Potencial (ETP), que en sí es, la tasa de evaporación de una superficie completamente cubierta de vegetación de altura uniforme, con adecuado suministro de agua. (Vásquez, 2000).

De manera práctica, la evaporación y la evapotranspiración son procesos que se realizan en la naturaleza de forma simultánea, son interdependientes y es muy difícil su medición por separado. El cálculo de la evapotranspiración es fundamental para la estimación de la demanda de riego de un cultivo y la estimación del escurrimiento medio anual de una cuenca.

2.1.3 La cuenca hidrográfica

Según (Vásquez, 2000) “Una cuenca hidrográfica es el sistema, área o ámbito geográfico, delimitado por el *divortium aquarum*, donde ocurre el ciclo hidrológico e interactúan los factores naturales, sociales, económicos, políticos e institucionales y que son variables en el tiempo”.

Es también la unidad natural definida por la existencia de la divisoria de aguas en un territorio dado. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como “*divortium aquarum*”. El *divortium aquarum*, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior.

Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como *divortium aquarum* secundarias. Los procesos de los ecosistemas que describen el intercambio de materia y flujo de energía a través de la vinculación de los elementos estructurales del ecosistema pueden ser vistos como un sistema, pues dentro de la cuenca, se tienen los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socio-económicos, que desempeña cada uno determinadas funciones. “La cuenca integra procesos y patrones de los ecosistemas, donde las plantas y los animales ocupan una diversidad de hábitat generado por variaciones de tipos de suelo, geomorfología y clima en un gradiente altitudinal”. (www.ine.gob.mx).

La cuenca posee elementos identificables: los recursos naturales y el factor antrópico (acción humana), que considera los asentamientos humanos, infraestructura desarrollada, prácticas agro-productivas, también la organización institucional, la coordinación interinstitucional y el marco normativo que se pueda tener para el manejo o tratamiento de las cuencas hidrográficas.

En relación a la clasificación de las cuencas hidrográficas, ésta es bastante subjetiva, pero en general se las puede clasificar atendiendo a su tamaño de la siguiente manera.

- **Cuenca grande:** Es aquella en la que predominan las características fisiográficas de la misma (pendiente, elevación, área, cauce). Una cuenca, para fines prácticos, se considera grande, cuando el área es mayor a 250 km².
- **Cuencas pequeñas:** Es aquella que por su área responde muy rápido a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración, y en la cual las características físicas (tipo de suelo, vegetación) son más importantes que las del cauce. Se considera cuenca pequeña aquella cuya área varía desde unas pocas hectáreas hasta un límite, que para propósitos prácticos, se considera 250 km².

No necesariamente se analiza con el mismo criterio una cuenca pequeña que una grande. Para una cuenca pequeña, la forma y cantidad de escurrimiento están influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo; por lo tanto, el estudio hidrológico debe enfocarse con más atención a la cuenca misma, mientras que para una cuenca muy grande, el efecto de almacenaje del cauce es muy importante, por lo cual deberá darse también atención a las características de éste último. (Villón 2002).

2.1.4 Enfoque sistémico de la cuenca hidrográfica

Un sistema es el conjunto de componentes que conforman un todo y que interactúan entre sí, dentro de un límite determinado, donde reciben insumos y generan productos a través de diferentes procesos y fenómenos naturales. El enfoque sistemático considera que, en el análisis de una cuenca lo más importante no consiste en considerar la actuación o papel particular de cada uno de los elementos constitutivos: agua, suelo, clima, vegetación, fauna hombre, etc., sino la interacción entre éstos, para conocer a cabalidad la dinámica real de la cuenca.

Vásquez (2000), señala que la suerte de cada uno de los elementos de la cuenca depende de lo que ocurra con los otros, por lo tanto, los trabajos que se ejecuten en ella deben considerar las interacciones y flujos de energía que se den entre sus partes y componentes.

2.1.5 Funciones de una cuenca

Las cuencas hidrográficas cumplen muchas funciones, entre las principales se mencionan:

- **Función hidrológica:** Las cuencas hidrográficas cumplen esta función, cuando receiptan el agua de las diferentes fuentes de precipitación, la almacenan y posteriormente la distribuyen a través de, los manantiales y ríos durante distintos momentos a lo largo del tiempo.

- **Función Ecológica:** Provee diversidad de espacios a través de los cuales se completa el ciclo hidrológico, en donde a su vez, se llevan a cabo interacciones entre las características de la calidad física y química del agua. Además provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y que se encuentran en interacción directa con el agua.
- **Función Ambiental:** Las cuencas hidrográficas, constituyen verdaderos sumideros de Dióxido de Carbono (CO₂), regulan la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos, albergan bancos de germoplasma y contribuyen a conservar la biodiversidad.
- **Función Socioeconómica:** Suministra recursos para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población, provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad. La cuenca constituye una unidad espacial eco-geográfica relevante para analizar los procesos ambientales generados como consecuencia.

2.1.6 Parámetros morfométricos y fisiográficos de una cuenca hidrográfica

Las características morfométricas y fisiográficas de una cuenca, son elementos que tienen gran importancia en el comportamiento hidrológico de esta unidad de territorio, pues éstas características tienen un impacto directo en el drenaje, ya que condicionan tanto el volumen de escurrimiento como la velocidad de repuesta.

Así pues, el estudio sistemático de los parámetros físicos de las cuencas es de gran utilidad práctica, pues con base en ellos se puede lograr una transferencia de información de un sitio a otro, donde existe poca información: bien sea que fallen datos, bien que haya carencia total de información de registros hidrológicos, siempre que exista cierta semejanza geomorfológica y climática de las zonas en cuestión.

Los parámetros más importantes y de mayor influencia sobre una cuenca son:

- **Parámetros de forma:** Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar estas características por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento.

Los principales factores de forma son:

- a) **Superficie:** Se refiere al área proyectada en un plano horizontal, es de forma irregular y se obtiene después de delimitar la cuenca. Su cálculo es importante porque sirve de base para la determinación de otros elementos (parámetros, coeficientes, relaciones, etc.); además por lo general los caudales de escurrimiento crecen a medida que aumenta la superficie de la cuenca y, porque el área puede relacionarse con la producción de sedimentos generándose lo que se conoce como tasa de degradación, la cual puede estar asociada con la erosión del suelo, a través de la relación de la producción de sedimentos y la remoción definida como tasa de entrega de un área de drenaje. (Martínez, et al. 2001).

Debido a que la forma de la cuenca es muy irregular, el cálculo del área de la cuenca no se puede realizar por fórmulas geométricas, en la actualidad para el cálculo de este parámetro se utilizan diferentes software. Se mide en kilómetros cuadrados, y en hectáreas cuando la cuenca es pequeña.

- b) **Perímetro:** Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma irregular y se obtiene una vez delimitada la cuenca. Se mide en Km y para su cálculo también se utiliza diferente software. Es importante porque en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca.
- c) **Longitud Axial (La):** Esta medida se considera como la longitud en línea recta, desde el punto de nacimiento de la corriente hasta el punto de desembocadura a un caudal mayor, o punto más bajo de la cuenca. A ésta línea recta se le considera como el eje principal de la cuenca.
- d) **Longitud del Cauce:** La longitud de un río es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento.
- e) **Ancho Promedio (Ap):** Corresponde al área de la cuenca, relacionada con su longitud axial, y se expresa como:

$$Ap = \frac{A}{La};$$

Dónde:

A_p = Ancho promedio (Km)

A = Área de la cuenca (Km²)

L_a = Longitud Axial (Km)

- f) Factor de forma:** Este factor interviene principalmente en la manera como se presenta el volumen de agua escurrido a la salida de la cuenca. Generalmente los volúmenes escurridos en cuencas alargadas son más uniformes a lo largo del tiempo, en cambio, en cuencas compactas el agua tarda menos en llegar a la salida, en donde se concentra en un tiempo relativamente corto.

Existen varios índices que expresan la forma de las cuencas hidrográficas, y se obtienen a partir de la superficie y medidas lineales de la cuenca, como por ejemplo: el índice de compacidad de Gravelius, que relaciona el perímetro de la cuenca con el de la circunferencia de un círculo de igual área a la de la cuenca:

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

K = Índice de compacidad.

0.28 = Valor constante.

P = Perímetros de cuenca (Km).

A = Área de cuenca (Km²).

La razón para usar la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo es porque una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir avenidas superiores, dada su simetría.

El valor mínimo que se puede obtener es de 1 y cuando mayor sea el índice, más alargada será la cuenca. (Villón, 2002).

g) Coeficiente de compacidad: Es el resultado de dividir el perímetro de la cuenca por el perímetro de un círculo de igual área que la de la cuenca; es otro índice de forma. Para hallarlo se utiliza la siguiente fórmula:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}}$$

Dónde: K_c = Es el coeficiente de compacidad (Cuadro 1).

P = Perímetro de la cuenca.

π = Signo "Pi" que es igual a 3.1416.

A = Área de la cuenca.

Este coeficiente está relacionado con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta el desagüe; en este momento ocurre la máxima concentración de agua en el cauce, puesto que está llegando gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca.

Como se muestra en la tabla 1, a medida que el coeficiente (K_c) tiende a 1,0, sea cuando la cuenca tiende a ser redonda, aumenta la peligrosidad de la cuenca a las crecidas, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, no presentan diferencias, mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto mayor será la posibilidad de que las ondas de crecida sean continuas (Vásquez 2000).

Tabla 1. Clase de forma de la cuenca.

Clases de forma	Rangos de clase	Forma de la cuenca
Clase Kc1	1,0 – 1,25	Tendencia a ser redonda a oval – redonda
Clase Kc2	1,25 – 1.50	Tendencia a ser oval – redonda a oval –oblonga.
Clase Kc3	1,50 – 1,75	Tendencia a ser oval – oblonga a rectangular – oblonga.

Fuente: Elaboración Propia.

2.1.7 Parámetros de relieve

Son muy importantes ya que el relieve de una cuenca puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma misma de la cuenca. Los parámetros relativos de relieve son:

- a) **Pendiente media del cauce (S_c):** Es un parámetro muy importante, en el estudio del recurso hídrico, ya que se relaciona con las características hidráulicas del escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación de las ondas de avenida y con la capacidad para el transporte de sedimentos.

- b) Pendiente media de la cuenca:** La pendiente media del terreno es un parámetro esencial, pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca, está relacionada con la infiltración, con el escurrimiento superficial, con la contribución de agua subterránea a la corriente y con la duración del escurrimiento.
- c) Altitud media de la cuenca:** La importancia de conocer la altitud media de una cuenca, se debe a la influencia que ésta tiene en la temperatura como en la forma de precipitación.

2.1.8 La precipitación atmosférica

La precipitación es el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes y se deposita en el terreno procedente de la atmósfera, dicho término comprende: lluvia, llovizna, granizo, nieve, rocío, escarcha y la precipitación de la neblina.

Por un lado, se requiere conocer la precipitación media. Este dato se refiere a la entrada de agua al sistema hidrológico que se realiza mediante el fenómeno de la lluvia o de cualquier otro tipo de precipitación. La precipitación, es la caída de agua desde la atmósfera en estado líquido –lluvia– o sólido –nieve, granizo, escarcha– a partir del fenómeno de condensación. Esta información en conjunto con la del tipo textural del suelo permite definir el almacenamiento y los cambios en la humedad del suelo.

La Precipitación tiene relación con diversos factores climáticos como la altitud, el relieve y la vegetación. En este sentido, se pueden establecer relaciones que permitan inferir aproximadamente la cantidad de lluvia sobre un área específica.

Lo anterior, puede realizarse si se tienen datos de precipitación de estaciones cercanas a dicha área y estos datos se correlacionan con la altitud (a mayor altitud, mayor precipitación), el relieve (zonas de influencia, exposición a los vientos dominantes, etc.) y la cobertura vegetal (requerimientos de lluvia para cada tipo de vegetación) del área en estudio. Unido a esto, se deberá tener información respecto al comportamiento climático regional y el comportamiento también regional de la precipitación. Además de lo anterior, es posible aprovechar la información que proporciona el análisis de imágenes satelitales. (Vásquez 2000).

- **Formación de la precipitación**

La condensación del vapor atmosférico se lleva a cabo alrededor de innumerables núcleos higroscópicos, en forma tal que las partículas de las nubes son tan pequeñas ($\pm 0,01$ mm) que un movimiento del aire a 15 cm/minuto, es suficiente para mantenerlas en suspensión. Bajo condiciones favorables, las gotas de agua o de cristales de hielo según la temperatura, comienzan a aumentar de tamaño hasta tal punto que ya el aire es incapaz de sostenerlos y entonces caen.

Las gotas con un radio menor de 0,1 mm en su viaje hacia el suelo a través del aire, con un 90 % de humedad relativa, se evaporan a una distancia de 3,0 m, mientras que gotas de 0,5 mm pueden caer hasta 22 000 m es evidente que gran parte del agua que emana de las nubes, nunca alcanza el suelo; y para el propósito de la hidrología, la precipitación se define como el agua en forma líquida o sólida que llega al suelo. Un radio de 0,1 mm es aceptado como el tamaño de gota que marca la frontera entre las nubes y la precipitación.

Los elementos esenciales para la formación de la precipitación son la humedad disponible en el aire y un mecanismo que produzca la condensación y la formación de las gotas. Según el mecanismo que produce el ascenso del aire da lugar a los tres tipos de precipitación: convectiva, orográfica y ciclónica. (Vásquez 2000).

- **La precipitación anual**

Representa el volumen total de agua que cae anualmente sobre una región o localidad dada. Este volumen varía considerablemente de un año para otro, por lo cual el dato correspondiente tiene una importancia limitada a menos que los registros se hayan tomado durante un número considerable de años y la información se haya analizado para determinar los límites de desviación correspondientes.

- **La precipitación estacional o mensual**

Es una información sobre la distribución estacional o mensual de las lluvias, permite diferenciar los períodos húmedos de los secos, puede así establecerse el régimen de las lluvias durante los períodos considerados, de tal manera que cualquier predicción que vaya

a realizarse en este sentido será solo aproximada y estará sujeta a la desviación de promedio que se haya calculado en base a muchos años de registro.

- **Clasificación de las precipitaciones**

La precipitación se la puede clasificar de acuerdo a tres criterios: modo de formación (ciclónicas, convectivas, orográficas), estado físico (líquidas, sólidas, mixtas), y duración y abundancia (larga duración y poco abundantes y, corta duración y abundantes).

- **Precipitación ciclónica**

Resultan del levantamiento del aire, que converge en un aire de baja presión. Pueden presentar dos casos frontales y no frontales.

- **Las precipitaciones frontales**

Están ligadas a los movimientos ascendentes y ocurren a lo largo de las superficies frontales y pueden ser causadas por la influencia de un frente frío o de un frente cálido. **Las precipitaciones no frontales** no están asociados a los frentes atmosféricos.

- **Precipitaciones convectivas**

Se producen generalmente en las tardes calurosas, cuando el movimiento ascendente convectivo es máximo. La masa de aire caliente y ligera asciende rápidamente y supera el nivel de condensación donde se enfría formando nubes de tipo cumuliforme, que dan origen a este tipo de lluvia puntual muchas veces de gran intensidad.

- **Precipitaciones orográficas**

Ocurre cuando una masa de aire es obligada a subir por la ladera de una montaña y, en el ascenso, necesariamente se enfría. Este fenómeno produce llovizna o nevadas de baja intensidad, que son siempre mayores a barlovento. En las cadenas montañosas el máximo de precipitación se produce antes de la divisoria de aguas.

2.1.9 Los ríos

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura. Algunas veces terminan en zonas desérticas donde sus aguas se pierden por infiltración y evaporación

- **La evolución de un río**

Considerado como un sistema vivo, el río presenta aspectos muy variables según se trate de su curso alto o de su desembocadura. La composición de sus aguas es variable desde el origen a la desembocadura, pues en su curso arrastra y disuelve sustancias que lo alteran. Otro tanto sucede con la temperatura, que en la porción final muestra una estratificación vertical debido al mayor caudal y mayor profundidad. La velocidad de la corriente varía en función de la pendiente, y es máximo en el nacimiento y mínima en el curso inferior.

En cuanto al río se lo ha dividido en tres porciones iguales:

- **Curso alto**

Comprende la región entre el nacimiento del río y el punto en que la pendiente deja de ser acentuada. Es la zona de los arroyos y torrentes propios de la montaña. El caudal es escaso pero muy rápido, la temperatura baja, la turbidez escasa y la calidad del agua muy buena y rica en oxígeno.

- **Curso medio**

Se inicia en el punto en que disminuye la corriente, comienza a formarse depósitos y llega hasta aquella zona en la que los depósitos adquieren gran importancia e incluso pueden desviar su curso. El caudal, la temperatura y la turbidez aumentan, disminuye el oxígeno y la calidad del agua comienza a ser dura.

- **Curso bajo**

Cuando el río deja en sus márgenes grandes depósitos de arena es que ha iniciado su periodo final, que acaba en la desembocadura. El caudal es ahora máximo, pero la corriente y el contenido de oxígeno son mínimos, la turbidez y la temperatura son altas.

- **Análisis de la estadística disponible**

La información hidrométrica del río es muy escasa, solo se dispone de una serie de aforos, realizados de una manera esporádica, los aforos, en función del nivel de agua correspondiente se dibujaron con el fin de identificar la tendencia de distribución cronológica de los escurrimientos ocurridos.

La revisión de aforos y el trazado armónico de las curva de descarga es fundamental para el correcto cálculo e interpretación de los caudales de un río. En las estaciones de aforo se determina la relación altura-caudal, esta relación se basa en el hecho físico de que el caudal varía con las variaciones de altura medidas en la sección, en su escala o limnómetro. (Vásquez 2000).

2.1.10 Curva de Descarga

La curva de descarga, de gasto o llamada también, de calibración de caudales, es una curva que relaciona los niveles de agua con los caudales registrados en los aforos, ésta, nos permite conocer el caudal a partir de una altura o lo que es lo mismo, basta con determinar la variación de la altura de agua para obtener la variación de los caudales, en función del tiempo.

Esta curva es producto de una serie de aforos que se realizan por un largo periodo de tiempo, creando una relación del caudal y nivel de agua en un tramo determinado de un cauce, el objetivo de que los aforos sean por un largo periodo de tiempo es que se ajusten a la realidad, teniendo niveles mínimos y máximos dentro de las mediciones, para que de esta forma, la curva de descarga, se ajuste mejor al comportamiento del cauce. Por medio de esta curva se obtienen los hidrógramas o gráficas variaciones del caudal contra el tiempo en una sección determinada.

El trazado de la Curva de Descarga o de Calibración permite deducir la relación continua H-Q para el rango de caudales o alturas aforadas cuando el río tiene escurrimiento en régimen establecido, que por lo general resultan valores medios o bajos. La extrapolación de la curva de descarga significa establecer la relación en un rango de caudales que nunca han sido aforados (Q de crecientes) y que tienen posibilidad física de ocurrir sobre la estación hidrométrica analizada.

En el caso de los aforos se aceptarán como buenos, todos los que tengan una desviación de $\pm 5\%$ con respecto a la curva de descarga anterior, en el caso de que hayan aforos que se salgan notoriamente fuera de la tendencia general del gráfico y que no estén definiendo una nueva curva de descarga, se deberá estudiar todos los aspectos necesarios para definir la causa de esta anomalía, en algunos casos deberá repetirse la comprobación preliminar que incluye factores como:

- Anotación de la fecha de llegada del informe.
- Comprobación de la integridad y exactitud de la información general, es decir, fecha del aforo, designación de la estación, nomenclatura de ésta en caso de que sea necesario para uso de máquinas, número y marca del molinete usado, contacto usado, hélice, ecuación del molinete.

Luego deben examinarse otros factores para determinar fallas groseras o errores (Vásquez 2000). En especial debe verificarse lo siguiente:

- Revisar el nivel de agua durante los aforos; si la estación posee limnógrafo debe verificarse con el gráfico o con el registro de estaciones vecinas.

- Determinar si el aforo se realizó en un lugar habitual o en otro distinto.
- Revisar muy detenidamente el perfil transversal de la sección de aforo para determinar posible socavación o embanques, y/o errores en las medidas de profundidad.
- Verificar el estado del molinete en el momento de efectuar el aforo, pues sucede, que se ha cambiado el molinete viejo en una estación de aforo por otro nuevo, notándose inmediatamente otra tendencia en los aforos realizados con el nuevo molinete.
- Leer detalladamente las nuevas anomalías indicadas por el aforador en el momento de efectuar el aforo y tratar de interpretarlas.
- Verificar la correcta posición de las planchas desplomadas, inclinadas o sencillamente mal referidas al banco de nivel.
- Recalcular nuevamente el aforo teniendo en cuenta especialmente las correcciones por:
 - Flujo desviado de la normal a la sección de aforos donde se efectuó la medida. En este caso debe multiplicarse el gasto obtenido en la sección donde se realizó el aforo por el coseno del ángulo que forma la corriente con la normal de la sección de aforos.

- Para caudales altos la corrección por arrastre del molinete.
- Comprobar las velocidades obtenidas en diferentes aforos para una misma vertical de medida y en lo posible con igual tirante de agua.
- Verificar experimentalmente si los coeficientes que se están usando para calcular la velocidad media V_m , en una vertical son adecuados para el río donde se están efectuando las medidas.
- **Revisión y trazado armónico de las curvas de descarga**

La curva de descarga de una estación, define la relación funcional:

$$Q=f(h)$$

Entre los tirantes de agua (h) observados y el caudal obtenido (Q) en su sección transversal.

Al revisar el trazado de la curva de descarga conviene tener en un solo gráfico todas las familias de curvas de descarga trazadas a la fecha, para la misma sección con el objeto de definir la curva de descarga fundamental de la sección en estudio.

Se definirá como curva de descarga fundamental de una sección limnimétrica de un río, a aquella, que ha permanecido por más tiempo válida en dicha sección y en torno a lo cual oscilan todas las nuevas, debido a los embanques y/o socavaciones que se producen en la sección limnimétrica.

Para el trazado hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Debe haber un suceso hidrológico (crecidas, fuertes embanques, etc), que justifiquen un cambio de curva, este suceso debe verificarse con la mayor agilidad posible estudiando los perfiles de la sección y las ondas de crecidas.
- Todas las curvas deben de tener la misma forma a menos de que un acontecimiento anormal justifique lo contrario.
- Para caudales muy grandes los efectos de socavación y embanques son despreciables, y por lo tanto las curvas deben de tener a un punto en común en su parte superior.
- El caudal resultante del cómputo hecho con esta curva, debe ser consecuente con los factores meteorológicos de la cuenca.
- El caudal resultante debe ser consecuente con los caudales obtenidos en secciones aguas arriba de la sección (Q menores) y con las secciones aguas abajo (Q mayores).
- Deben extrapolarse las curvas de descarga por algún método analítico, para independizar el trazado de las distintas curvas del criterio del calculista que está haciendo el trabajo.
- El caudal, para una crecida determinada debe caber en la sección de aforos, sin dar velocidades medias exageradas. Esto se comprueba fácilmente despejando la velocidad media de la fórmula de caudal.

Extrapolación de la curva de descarga

En esta parte se trata de explicar los distintos métodos de extrapolación de las curvas de descarga tanto en la parte alta, que es la más importante, como en su parte baja. Esto no quiere decir que todos los métodos sirvan para un caso específico de estudio de curva de descarga, debiéndose escoger el más adecuado para la sección en estudio.

El trazado y estudio de las curvas de descarga debe ser hecho por una persona con el conocimiento y criterio adecuado, para de esta manera poder realizar un análisis correcto del área en estudio, pues de otra manera se está expuesto a cometer grandes errores en el cálculo de los caudales.

Existen varios métodos de extrapolación de las curvas de descarga, entre los que podemos mencionar:

- a) **Extrapolación gráfica:** Este es un método de extrapolación usado en algunos países que por la falta de información no pueden realizar otro método. Su uso solo se justifica como una primera extrapolación del dato que se quiere dar y nunca se debe dejar de confirmar con otro método.

Una vez obtenida la serie de aforos se ubican en un gráfico en papel natural, semi-logarítmico, o doble logarítmico, llevando en las ordenadas los niveles y en abscisas los caudales. Según la tendencia de los aforos se debe trazar una línea suavizada por todos los aforos y se prolonga más allá del último aforo medido, según la tendencia de la curva, este método se usa más en papel natural.

b) **Área – velocidad:** El caudal está dado por la ecuación:

$$Q=A*V_m$$

Siendo A la superficie encerrada por el perfil de la sección limnigráfica para una altura de agua determinada, y V_m la velocidad media correspondiente a la misma altura.

Con el perfil de la sección limnigráfica, es fácil determinar una curva de variación del área con respecto a la altura de agua obteniendo una curva cóncava, al mismo tiempo, de todos los aforos de la sección puede determinarse la velocidad media del agua.

$$V_m = \frac{Q}{A}$$

Luego se construye una curva entre altura de agua y velocidad media, obteniéndose en general una curva que tiende a un valor asintótico para velocidades altas. Luego en este método se reduce a extrapolar la curva de velocidad media.

- **Método de Stevens o $A\sqrt{D}$**

Este método se utiliza para ríos relativamente anchos y poco profundos. Este método es una modificación de la fórmula de Chezy para canales abiertos en que el caudal queda dado por la expresión.

$$Q=A*C \sqrt{SR} \dots\dots\dots (Chezy)$$

Donde

A= Área en m²

S= Pendiente del eje hidráulico (valor numérico)

R= Radio hidráulico, que para cauces anchos y poco profundos se reemplaza por la profundidad media

R= Radio hidráulico, que para cauces anchos y poco profundos se reemplaza por la profundidad media.

a= ancho del río en la superficie del agua, en m.

C= constante adicional.

Luego esta ecuación queda

$$Q=C\sqrt{S}*A\sqrt{D}$$

Al igual que en la fórmula de Manning el factor hidráulico $C\sqrt{S}$ para valores altos de limnómetro tiende a hacerse constante y por consiguiente si se lleva a un gráfico los valores de Q con los valores de $A\sqrt{D}$ se obtendrá una recta que pasará por el origen.

- **Aplicación de la fórmula de Manning.**

Aunque la fórmula de Manning está deducida para caudales y en condiciones de flujo uniforme, la experiencia de los últimos años indica que es valioso instrumento para analizar las características hidráulicas y geométricas de los aforos realizados. Además cuando se tiene una creciente, es por esto que la fórmula para canales abiertos pueden aplicarse a cauces naturales con mayor seguridad a los estados altos que los bajo, pues estos últimos quedan notoriamente influenciados por las condiciones del lecho.

El caudal queda dado por la expresión.

$$Q = AR^{2/3} \frac{\sqrt{s}}{n}$$

Donde

A= sección en m²

R= radio hidráulico $\frac{A}{P}$ en m

P= perímetro mojado en m

Pendiente del eje hidráulico (valor métrico) que se determina con las condiciones del terreno inmediatamente después de la crecida.

El término $AR^{2/3}$ depende de las características geométricas de la sección y mediante el perfil de la sección puede conocerse para cualquier nivel de agua. Con estos datos se construye una curva $h=f(AR^{2/3})$.

Con la extrapolación de estas curvas se pueden determinar también los caudales para aquellas alturas de agua en que no se han obtenido aforos.

2.1.11 Curva Analítica

La determinación de la curva analítica tiene un gran valor, pues permite independizarse del criterio de los calculistas cuando dibujan una curva de descarga. Su simplicidad lo hace, por otra parte, preferido en los casos en que con la existencia de suficientes datos se puede evitar el recurrir a los métodos anteriores.

2.1.12 Curva exponencial

El resultado de la investigación de muchas curvas de descarga, ha llevado a la conclusión que estas pueden quedar representadas por la ecuación de una parábola de orden superior tangente al eje de las ordenadas, en este caso el caudal queda dado por la ecuación:

$$Q=C(h-h_0)^n$$

Donde

Q= caudal m³/s.

h= nivel de agua leído en la escala

C, h₀, n, constantes a determinar.

Aplicando logaritmos a la ecuación anterior.

$$\text{Log } Q = \text{log } C + n \text{ log } (h-h_0)$$

Se ve claramente que en escala log.-log esta es la ecuación una recta referida a los ejes de las coordenadas log(h-h₀) y log Q.

El valor de h₀, como ya se ha dicho representa la altura para la cual el caudal es nulo pudiendo ser positivo o negativo según como se encuentre la escala limnigráfica en el lecho del río.

La determinación de h₀ se puede determinar en el campo cuando se miden los caudales bajos.

2.1.13 Curva de Duración General

La curva de duración general llamada también como curva de persistencia, permanencia de caudales o de caudales clasificados, es una curva que indica el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales pueden ser igualados o superados.

Las curvas de duración tienen formas típicas, que dependen de las características de las cuencas vertientes. En cuencas de montaña, por ejemplo, la pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva, indica que los caudales altos se presentan durante períodos cortos, mientras que en los ríos de llanura no existen diferencias muy notables en las pendientes de los diferentes tramos de la curva. Este hecho es útil para ajustar la forma de la curva de duración según las características de la cuenca cuando la serie de caudales medios es deficiente, o para transponer una curva de duración de una cuenca bien instrumentada de la misma región a la cuenca que tiene información escasa. (Ver Fig. 2)

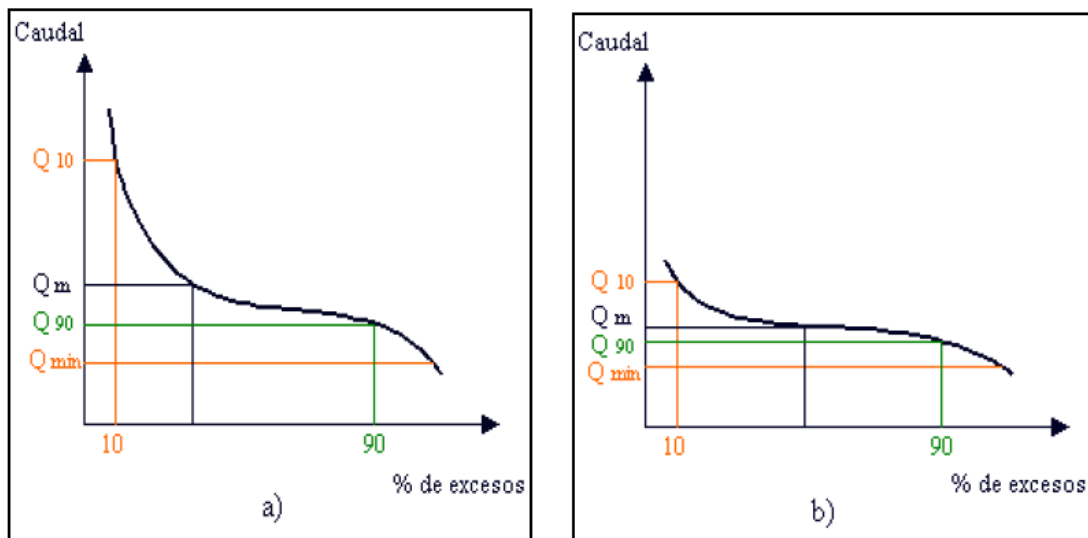


Figura 2. Curva de duración de caudales: a) Río de alta pendiente b) Río de llanura

Fuente: (Vásquez 2000).

El caudal mínimo probable de la curva es, el caudal que la corriente puede suministrar durante todo el año con una probabilidad de excedencia próxima al 100 %, si este caudal es mayor que la demanda, entonces la fuente tiene capacidad para abastecer la demanda sin necesidad de almacenamiento.

En los estudios que se realizan en cuencas pequeñas las variaciones diarias del caudal son importantes. Por esta razón los análisis se hacen con base en la curva de duración de caudales diarios. Cuando la información hidrológica es escasa la serie histórica de los caudales medios diarios no existe, o si existe no es suficientemente confiable. En tal caso la curva de duración de caudales diarios no puede determinarse por métodos matemáticos, pero pueden hacerse estimativos utilizando relaciones empíricas entre lluvias y caudales. Estos estimativos pueden ocasionar sobre diseño de las obras.

La experiencia ha demostrado que las regresiones lluvia - caudal son aceptables para valores anuales, pero resultan deficientes cuando se utilizan con valores mensuales o diarios.

2.1.14 Curva de Variación Estacional

El análisis e interpretación de las curvas de variación estacional requieren un conocimiento estacional del caudal o de otro atributo hidrometeorológico del río en estudio.

Se puede decir que estas curvas, proporcionan una información sobre la distribución de los valores mensuales de los caudales en el año hidrológico de una cuenca, respecto al tiempo, es decir conceptualmente hablando nos determinan el régimen climatológico de una zona o el régimen hidrológico de un río.

Para la elaboración de estas curvas se lleva en las abscisas los días o meses de tiempo del que se dispone la estadística de caudales y en las ordenadas el parámetro de probabilidad, estas curvas para el caso de caudales medios mensuales dan una información sobre la distribución o variación estacional de estos caudales respecto a la variación del tiempo en función de la probabilidad de que dichos valores sean igualados o sobrepasados.

2.2 Definición de Conceptos

Acuífero: Un acuífero es una capa de agua que se almacena y transmite en un estrato rocoso permeable de la litósfera de la Tierra, saturando sus poros o grietas y que puede extraerse en cantidades económicamente aprovechables.

Análisis de frecuencia: El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para, predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de caudales. Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada.

Avenida: Una avenida (conocida en algunos lugares también como crecida —de un río, arroyo, creciente, riada o aguas altas) es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de éste.

Cauce: El cauce o lecho fluvial es la parte de un valle por donde discurren las aguas en su curso: es el confin físico normal de un flujo de agua, siendo sus confines laterales las riberas.

Caudal: caudal es la cantidad de fluido, medido en volumen, que se mueve en una unidad de tiempo.

Cuenca: Una cuenca hidrográfica es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico.

Encajonamiento de un río: correr el río o el arroyo por un lugar angosto El río se encajona antes de la desembocadura.

Erosión: La erosión es la degradación y el transporte del suelo o roca que producen distintos procesos en la superficie de la Tierra.

Escorrentía: Se llama escorrentía o escurrimiento a la corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales. En hidrología la escorrentía hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es

decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo. Según la teoría de Horton se forma cuando las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo. Esto sólo es aplicable en suelos de zonas áridas y de precipitaciones torrenciales. Esta deficiencia se corrige con la teoría de la saturación, aplicable a suelos de zonas de pluviosidad elevada y constante. Según dicha teoría, la escorrentía se formará cuando los compartimentos del suelo estén saturados de agua.

Hidrología: La hidrología es una rama de las ciencias de la Tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación, y propiedades físicas, químicas y mecánicas en los océanos, atmósfera y superficie terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares. Por otra parte, el estudio de las aguas subterráneas corresponde a la hidrogeología.

Inundación: Una inundación es la ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de esta, por desbordamiento de ríos, ramblas, por lluvias torrenciales, deshielo, por subida de las mareas por encima del nivel habitual, por maremotos o huracanes, etc.

Muro de contención: Se denomina muro de contención a un tipo estructura de contención rígida, destinada a contener algún material, generalmente tierras.

Período de retorno o de recurrencia: En varias áreas de la ingeniería, el período de retorno es el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos de baja probabilidad. Por ejemplo, en ingeniería hidráulica es el tiempo medio entre dos avenidas con caudales iguales o superiores a uno determinado, mientras que en ingeniería sísmica es el tiempo medio entre dos terremotos de magnitud mayor que un cierto valor.

2.3 Marco Contextual

Río Nigua

La cuenca hidrográfica del Río Nigua se denomina así por constituir una gran extensión geográfica de 215 km², pero hasta el lugar de estudio abarca 95.85km², en donde todas las aguas de lluvias, superficiales, subterráneas y de escorrentías, son recogidas por un cauce hídrico principal desde donde nace en La Cuchilla de la Guardia (Mano Matuey) hasta su desembocadura en la Playa Boca de Nigua, Mar Caribe, Provincia San Cristóbal. (Casilla, 2013). En el Mapa de la figura 3, se puede apreciar la ubicación geográfica de la cuenca del río Nigua.

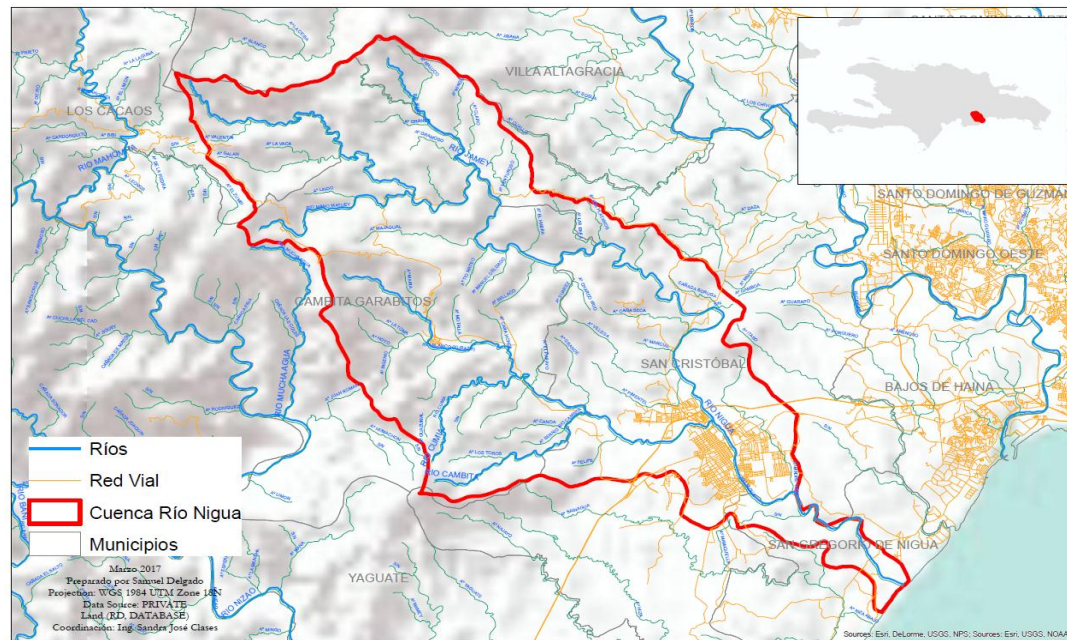


Figura 3. Mapa de ubicación de la cuenca del río Nigua
Fuente: Samuel González D., 2017.

Esta cuenca hidrográfica está conformada por manantiales, cañadas, arroyos, y otros ríos, todos denominados afluentes de la Cuenca del Río Nigua. Dentro de estos los más importantes son: el río Yubazo o río Blanco, y el Arroyo de Madre Vieja. Aunque por sus altos niveles de degradación esta cuenca hidrográfica parece muy vieja la verdad que este ecosistema es de reciente formación. (Casilla, 2013).

Según los geólogos corresponde al período del mioceno. Algunos aspectos se han convertido en una gran tragedia para la vida y sostenibilidad del río Nigua. Entre estos podemos citar su tránsito por el centro del municipio cabecera con todas sus implicaciones medio ambientales negativas. Desde principio de la década del 60 se improvisaron barrios marginados en sus riberas orientales y occidentales, aunadas a la gran explosión demográfica del municipio cabecera con sus implicaciones en cuanto a la relación: ecología-hombre-sociedad. (Casilla, 2013).

Otro elemento medio ambiental altamente negativo en contra del ecosistema hídrico del río Nigua y sus afluentes lo constituye su uso para vertedero de todos los desechos sólidos que se generan en este municipio con su periferia y las perjudiciales implicaciones sanitarias. Debe recordarse que este ecosistema fue el vertedero del Ayuntamiento de San Cristóbal durante varias décadas, por eso, una cantidad del subsuelo de este río se entremezcla con agregados, lodos y basuras sepultadas durante sus crecidas, pues la estrategia consistió en desparramar los desechos sólidos en puntos claves como San Antonio, Calle Bonita, Samangola, y otros sitios, para que luego las grandes crecidas esparcieran y sepultaran buena parte de la basura y otra fuese llevada hasta el Mar Caribe. (Casilla, 2013).

Todavía este río recibe un 10% de todas las basuras que se generan en el municipio y su periferia. Este problema persiste debido a la gran deficiencia que acusa el Ayuntamiento Municipal con el tema de la recogida y disposición final en un lugar adecuado de los desechos sólidos. Existe también el problema de la contaminación por desechos industriales. Este se ha reducido por la quiebra o traslado de algunas empresas que lanzaban sus desperdicios a pleno lecho del río Nigua. (Casilla, 2013).

Algunas empresas persisten en la ilegal práctica, muy conscientes del daño que provocan tanto en la contaminación atmosférica por monóxido y dióxido de carbono, así como por efluentes sólidos y líquidos que son descargados directamente a las aguas de este importante ecosistema de agua dulce. Como una muestra de empresa altamente contaminadora está el caso de la Industria del Trópico, perteneciente al grupo Pepín Corripio. Pero el papá de los degradadores de todo el ecosistema del río Nigua lo constituye la extracción indiscriminada de agregados. (Casilla, 2013).

Esta acción criminal va arrinconando poco a poco al río Nigua y otros ríos de la provincia y la subregión sin posibilidad de recuperarse. La apatía, indiferencia, permisividad, y ausencia de un plan de ordenamiento serio y sistemático por parte del gobierno y sus instituciones para detener el creciente estado de muerte ecológica de esta fuente de vida, diagnostican que el río Nigua es un paciente moribundo que no sanará y terminará con una muerte paulatina pero segura. (Casilla, 2013).

2.3.1 Perfil Topográfico de la Cuenca hasta el Puente/badén en la sección de Boruga.

En el mapa de la figura 4, se puede apreciar la delimitación de la Cuenca hasta el punto de estudio. Hasta dicho punto se tomará en cuenta el Perfil Topográfico.



Figura 4. Mapa de la cuenca del río Nigua hasta el lugar de estudio.

Fuente, Ing. Sandra José Clases, MSc., 2017

El relieve de una cuenca no es más que el comportamiento topográfico de los suelos de la misma. Queda caracterizado por la curva hipsométrica, la cual se construye graficando la superficie del terreno en función de las cotas o elevaciones.

En el eje vertical se colocan las elevaciones o cotas y en el eje horizontal las áreas. Si, en este grafico se tiene una pendiente fuerte en el origen hacia cotas menores, indica llanura o penillanuras. Una pendiente muy suave en esa parte indica un valle encajonado. Una pendiente fuerte hacia el centro de la curva indica una meseta. (Minaya, 2008).

En la figura 5, se muestra graficado el Perfil Topográfico de la Cuenca del rio Nigua hasta el punto de estudio, el Puente /Badén en la sección de Boruga. La tabla 2 muestra los datos de altura y longitud en metros y kilómetros, respectivamente, con los que fue creado el perfil del rio.

Tabla 2. Variación de las elevaciones del rio Nigua respecto a su longitud

Elevacion	Longitud
900	0.000
300	9.000
180	18.000
110	27.000
80	34.420

Fuente: Elaboración Propia

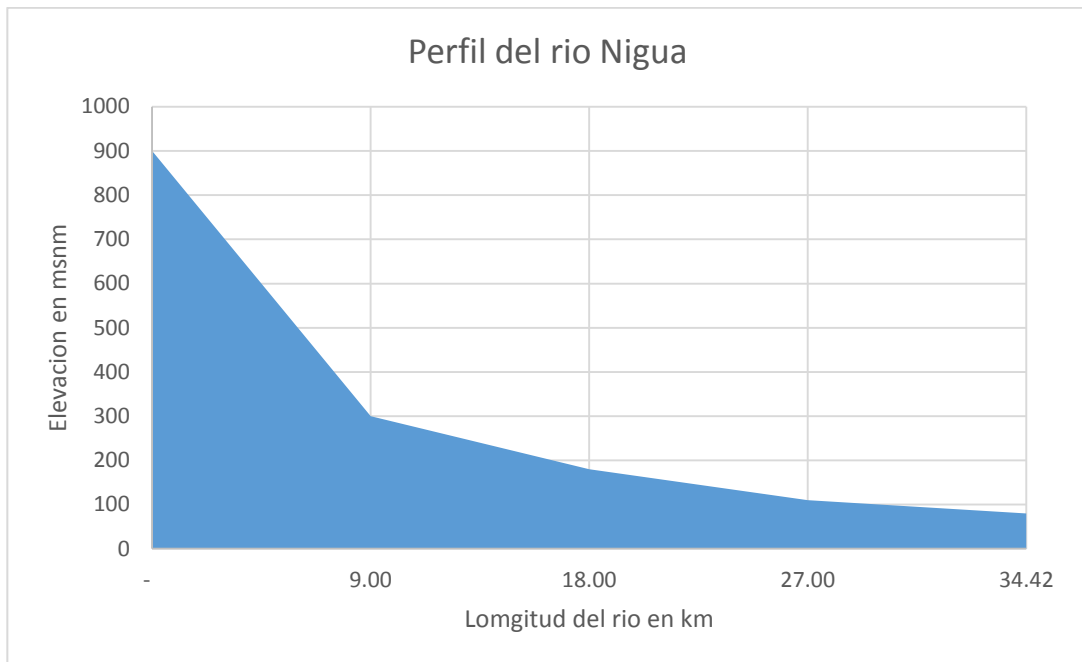


Figura 5. Perfil topográfico del río Nigua hasta la sección de Boruga
Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Elevaciones

La cuenca del río Nigua tiene una topografía variada donde la cota más alta es de 1210 msnm y la más baja es de 60 msnm. Se puede apreciar esta variación en el mapa representado en la siguiente figura 6.

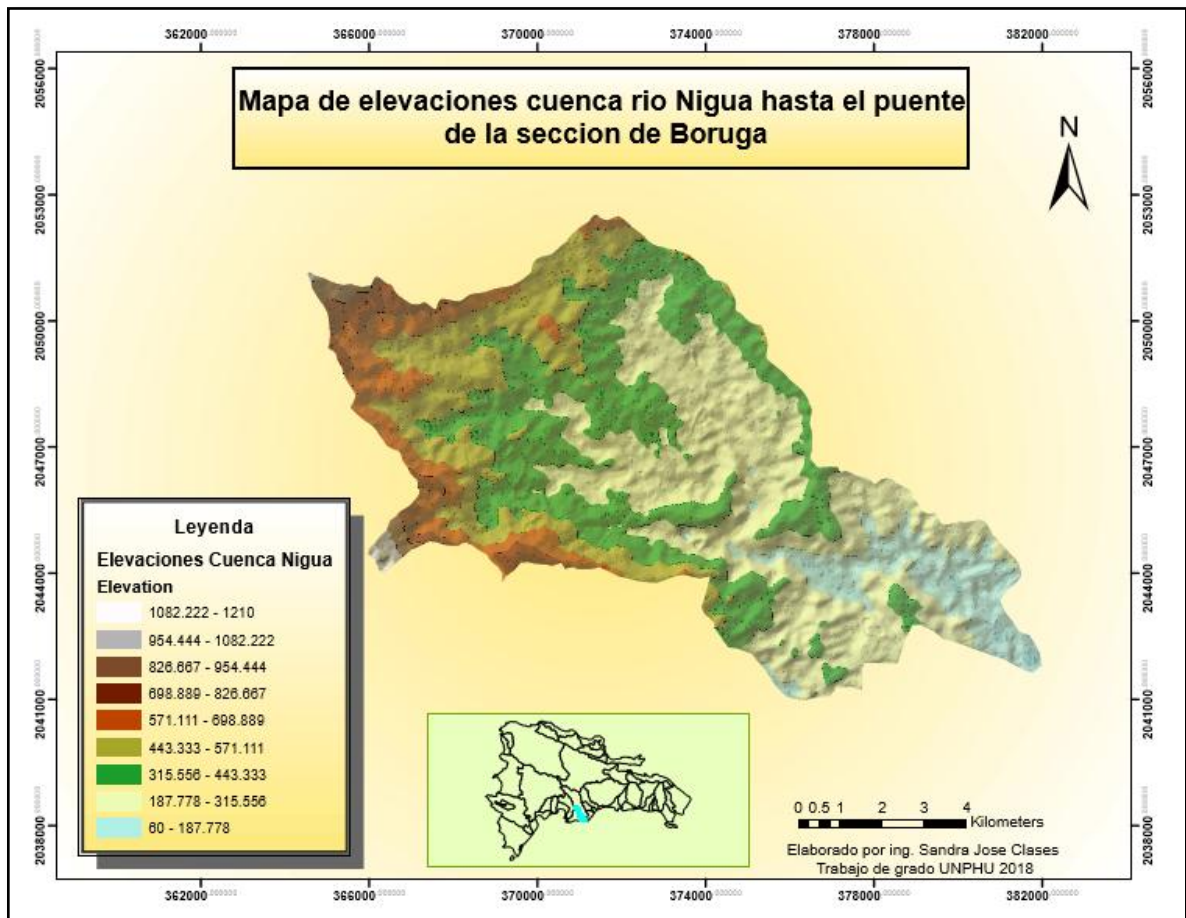


Figura 6. Mapa de elevaciones de la cuenca del río Nigua hasta el puente badén de la sección de Boruga.
 Fuente: Ing. Sandra José Clases, MSc., 2018.

2.3.3 Climatología de la zona

Esta región presenta un clima bastante húmedo, con ligera estación seca entre los meses de enero a marzo con una pluviometría anual que varía desde 2500 mm a 500 mm. En la misma se ha registrado temperaturas desde 33°C a 24°C. (Minaya 2008).

La temperatura media anual es de 27°C a 25 °C, la humedad relativa varía entre 86% a 81%, presentándose entre los meses de marzo y abril. (Minaya 2008).

Los datos climáticos obtenidos sobre el comportamiento de esta zona fueron medidos y obtenidos de las estaciones más cercanas a la cuenca del río Nigua, que son: la estación de El Tablazo (1960-1970) y la estación de Medina (1976-1988). De la estación El Tablazo se obtuvieron los datos de precipitaciones, y de la estación de Medina los datos de Evaporación, Temperatura y Humedad Relativa.

En la tabla No.3 podemos observar el rango de precipitación media anual proporcionada por la estación de El Tablazo.

Tabla 3. Parámetros climáticos de la cuenca del río Nigua según estación El Tablazo

PARAMETROS CLIMATICOS CUENCA RIO NIGUA ESTACION EI TABLAZO												
DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PRECIPITACION (MM)	52.0	32.2	39.6	57.5	151.1	257.2	144.0	159.5	117.8	142.3	85.7	45.8

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de la figura 7, se puede apreciar la variación de la precipitación media anual del río Nigua según la estación Pluviométrica de El Tablazo.

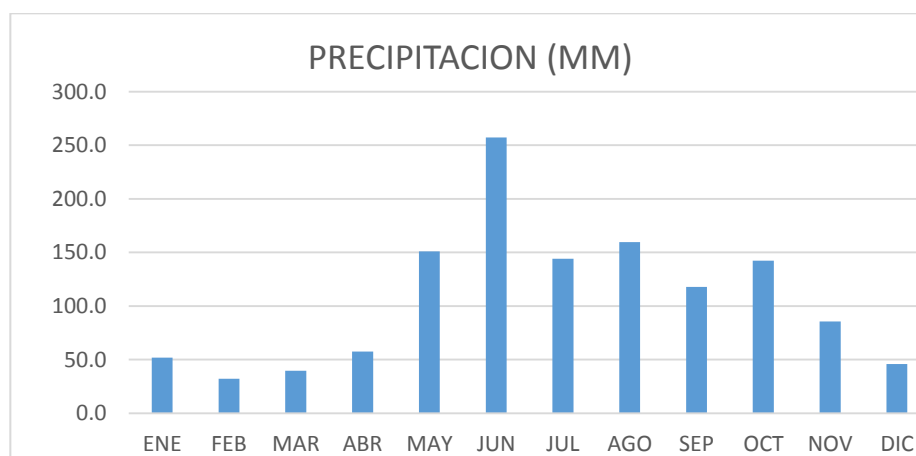


Figura 7. Parámetros climáticos del río Nigua estación El Tablazo.

Fuente: Elaboración propia

Los meses de mayor precipitación en esta cuenca son desde Mayo hasta Octubre. Siendo Junio el mes de mayor rango con una precipitación media de 257.2mm.

De la estación de Medina obtuvimos los datos de Evaporación, Temperatura y Humedad Relativa, desglosados estos datos en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros climáticos de la cuenca del río Nigua según estación Medina.

PARAMETROS CLIMATICOS CUENCA RIO NIGUA ESTACION MEDINA												
DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
EVAPORACION (MM)	110.0	122.7	172.1	164.2	158.1	15.3	157.8	165.1	147.6	136.3	109.4	15.2
TEMPERATURA	24.1	24.0	25.2	25.2	25.8	26.3	26.5	26.8	26.1	26.1	25.3	24.5
HUMEDAD RALATIVA (%)	80.7	78.7	78.4	78.4	80.4	81.3	81.0	81.3	82.2	82.2	82.2	81.4

Fuente: Elaboración propia

El gráfico de la figura 8, se muestran los parámetros climáticos de Evaporación, Temperatura y Humedad relativa según estación Medina.

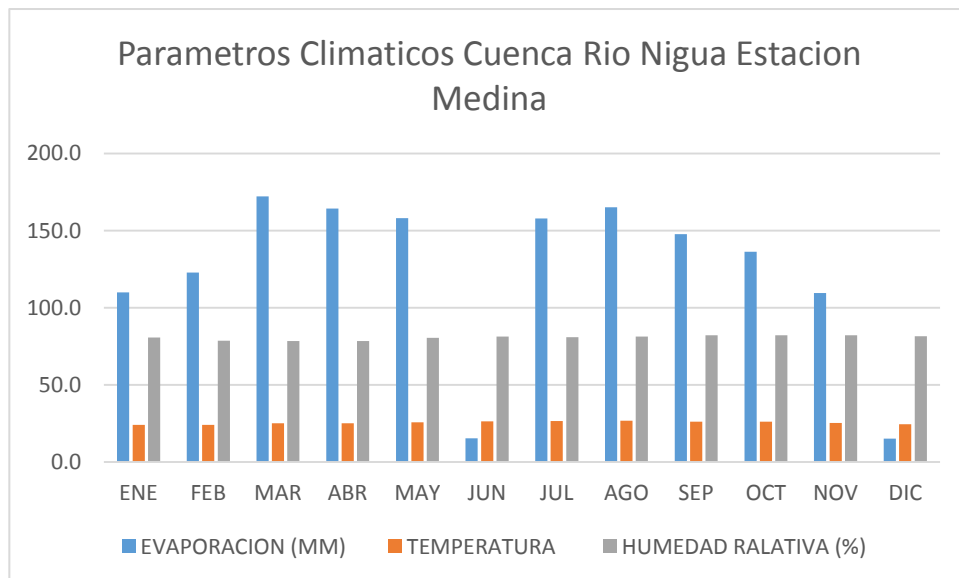


Figura 8. Parámetros climáticos de la estación Medina.

Fuente; Elaboración propia.

2.3.4 Hidrología

La data hidrológica del río Nigua reposa en las mediciones históricas de la estación hidrométrica El Tablazo. La tabla 5 contempla los valores de dicha estación proyectada en el lugar de interés. Dicha proyección se realizó por correlación de áreas: $Q2 = (Q1 \times A2) / A1$.

Siendo:

Q1 es el caudal medido en la estación

Q2 es el caudal en el lugar de interés

A1 es el área de hasta la estación (72 km²)

A2 es el área hasta el sitio de interés (95.85km²)

Tabla 5. Estación el Tablazo proyectada en el sitio del puente Boruga.

ESTACIÓN EL TABLAZO PROYECTADA EN EL SITIO DEL PUENTE BORUGA												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ESTACIÓN EL TABLAZO	0.12	0.04	0.08	0.08	0.46	0.01	0.01	0.13	0.02	0.05	0.01	0.06
EN EL SITIO DEL PUENTE	0.16	0.053	0.11	0.11	0.612	0.0133	0.0133	0.173	0.0266	0.0666	0.0133	0.0799

Fuente: Propia.

De la tabla anterior, los menores valores se registran en los meses de febrero, junio, julio, septiembre y noviembre. Y el mayor valor es registrado en el mes de mayo. Teniendo, prácticamente, un comportamiento unimodal.

La variación de caudales presentados en la tabla anterior se muestra gráficamente en la figura 9.

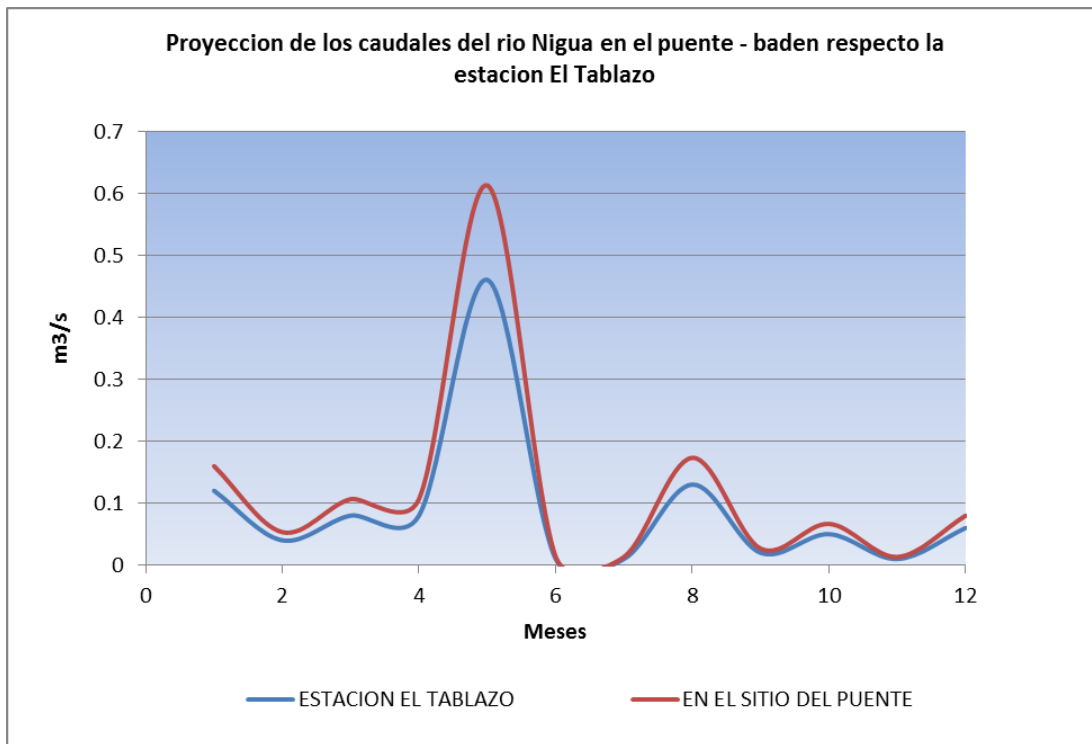


Figura 9. Proyección de caudales del río Nigua en el puente-badén respecto estación El Tablazo

Fuente: propia.

2.3.5 Geología de la Cuenca

Los terrenos constituidos por conglomerados, areniscas, siltitas de ambiente marino y calizas arrecifales, representan una alternancia de depósitos terrígenos y carbonáticos asignada, desde el punto de vista estratigráfico, a una distinta unidad pliocénica denominada Formación del río Nizao. (Aqater 2000).

Esta formación se sumerge con suave inclinación por debajo de las calizas arrecifales aterrazadas presentes en la franja costera a partir, en dirección E, del río Haina.

Los principales depósitos aluviales actuales (**q'ha**) están desarrollados sólo en los cursos fluviales principales del sector occidental (Nizao, Haina, Nigua, Ozama).

En los depósitos aluviales de los ríos occidentales, se evidencia una granulometría de los sedimentos más bien gruesa (arenas y guijarros predominantes) en los ríos Nizao y Nigua.

En el margen occidental, en proximidad del río Nizao, caen algunas fracciones de los terrenos flyshoides eo-miocénicos pertenecientes al Grupo del río Ocoa.

Siempre en el margen occidental están presentes, entre el río Nizao y el río Haina, las formaciones pertenecientes al Grupo de Ingenio Caei. Éste está constituido por una secuencia alternada de rocas terrígenas y carbonáticas sobrepuesta en discordancia con los terrenos del Grupo del río Ocoa.

En su interior se distinguen una formación basal, Formación del río Nizao, arenácea (**Tmim-s'Mm**) con episodios guijarrosos (**'Mm,cg**), y una formación superior, Formación Ingenio Caei, constituida por conglomerados, areniscas, siltitas de origen marino y calizas arrecifales (parte del **tpl-qp'c**, ver la descripción de las calizas arrecifales).

Con criterio análogo a aquél adoptado para el área de Baní, de todos modos se ha mantenido distinguido en la base de la formación un presunto nivel de granulometría fina (**tpl'm**), definido en la geología de referencia como margoso en facies litoral, que no habiendo sido observado en afloramiento resulta todavía dudoso sobre todo en la real extensión del mismo. (Aquater 2000)

2.3.6 Geomorfología

El río Nigua presenta un trecho muy breve, pero no obstante esto desarrolla un valle bastante amplio, que alcanza las dimensiones mayores en correspondencia de San Cristóbal. En el trecho terminal el valle se estrecha y el río, que presenta una marcha marcadamente meandriforme, resulta confinado lateralmente por vertientes de alta escarpadura. (Aquater 2000).

2.3.7 Uso y cobertura de la cuenca.

En el mapa de la figura 10, puede observarse la diversidad de uso y cobertura de la cuenca hasta el lugar de estudio, correspondiendo el mayor uso al coco, café y cacao.

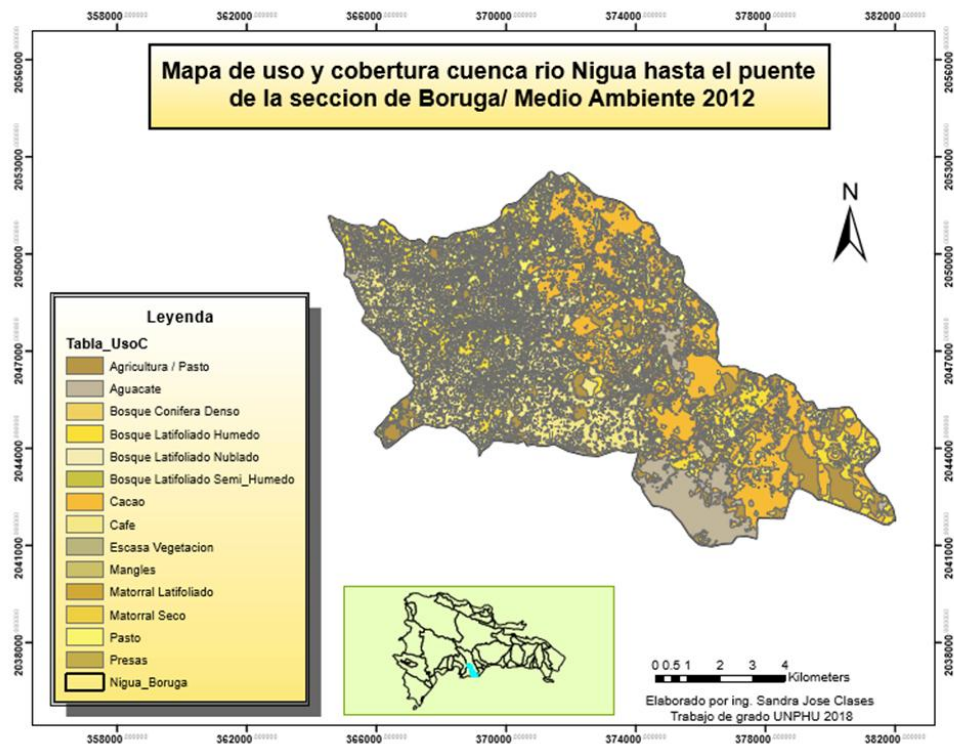


Figura 10. Uso y cobertura de la cuenca del río Nigua hasta el puente badén de la sección de Boruga.

Fuente: Ing. Sandra José Clases, MSc., 2018.

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

El proceso en el cual está enfocada esta investigación es el Cualitativo, basado en que el comportamiento hidrológico e hidráulico del río Nigua se puede identificar a través de observaciones, pruebas, datos recolectados en el campo de estudio, etc. Con lo cual de forma analítica se puede llegar a la deducción y descripción del funcionamiento o comportamiento del río y de esta manera establecer las informaciones necesarias para cualquier proceso constructivo, ecológico o industrial que en este se quieran realizar.

3.2 Tipo de investigación

- Es una Investigación descriptiva, ya que se pretende dar una representación clara y precisa de cómo se comporta el Río Nigua, de manera explicativa y exploratoria.
- Es una investigación de campo, debido a que a través de esta se pueden identificar las características y condiciones en la que se encuentra dicho Río, dando a conocer de esta manera los conocimientos específicos para la toma de decisiones.

3.3 Procedimiento de investigación

El proceso de la investigación está basado en la Búsqueda de información bibliográfica, elaboración de la propuesta de investigación, diseño de los instrumentos de recogida de la información y los datos, análisis de los datos e información.

3.4 Método de investigación

Investigación Analítica es la observación y examen de un hecho en particular. Es necesario conocer la naturaleza del fenómeno y objeto que se estudia para comprender su esencia. Este método nos permite conocer más del objeto de estudio, con lo cual se puede: explicar, hacer analogías, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías. (didáctica, 2011).

3.5 Técnicas de investigación

- Observación abierta
- Historia de vida
- Análisis documental

3.6 Población y muestra

El tramo a estudiar parte desde el nacimiento del río Nigua hasta el tramo ya anteriormente mencionado donde estaba el puente badén de la sección Boruga.

Como población se cita el río Nigua como tal. Como muestra, el estudio es centrado en el tramo mencionado, en donde se levantarán secciones transversales en una longitud de 1000 metros (500 metros aguas arriba del puente destruido en Boruga y 500 metros aguas abajo de dicho puente) y se estimará, aguas arriba del puente, el caudal real del río en tiempo de sequía y de humedad, en el Tablazo y en Boruga.

CAPITULO IV

CONCLUSIÓN Y RESULTADO

CAPÍTULO IV

CONCLUSIÓN Y RESULTADO

4.1 Caudales en las secciones de Aforo

Para la obtención de los caudales reales que lleva el cauce del río Nigua, se procedió a la realización de 2 jornadas de aforos, hechos con un instrumento llamado Molinete, los aforos se hicieron con una diferencia de 10 meses en diferentes condiciones climáticas de dicho río y en cada jornada se realizaron dos aforos en dos distintas secciones aguas arriba del puente Boruga (punto limitante de este proyecto).

El primero de los aforos se hizo en temporada de sequía en dos secciones en fecha del 06/01/2017 en la zona de El Tablazo a 50m aguas arriba del paso del río, resultando un caudal de 1.261m³/s en esa sección N.1. El segundo en la sección N.2 a una distancia de 150m aguas arriba del puente Boruga, de este segundo aforo se obtuvo un caudal de 0.793m³/s. Ver figura 11 y tabla 6.

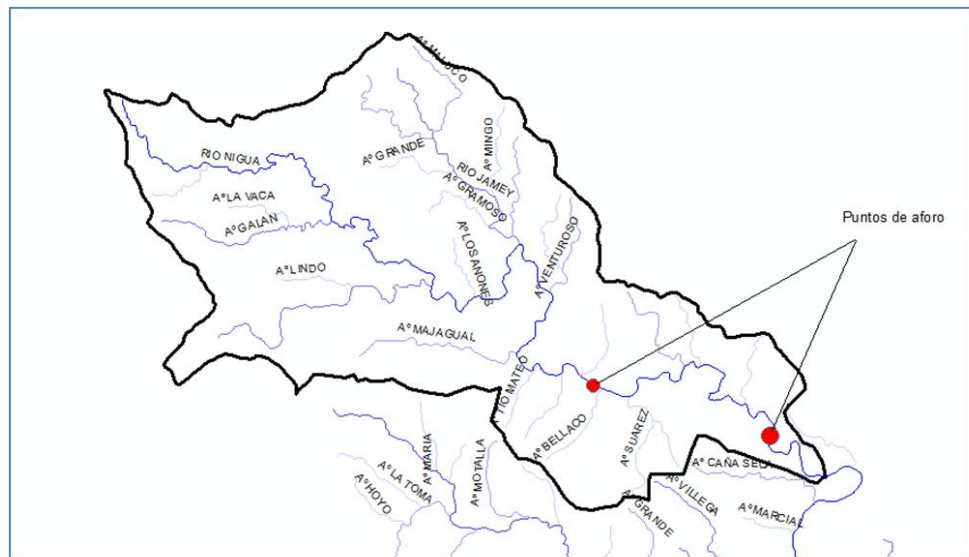


Figura 11. Ubicación puntos de realización de aforos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Datos geométricos de la sección de aforos realizados en fecha 06/01/2017

Lugar	Distancia	Ancho Total	Area Total	Caudal Total	Vel. Prom.	Prof. Prom.
El Tablazo	50M	9.10M	1.61M ²	1.261M ³ /S	0.783M/S	0.18M
Boruga	150M	7.60M	1.81M ²	0.793M ³ /S	0.438M/S	0.24M

Fuente: Elaboración propia

La segunda jornada de aforos se hizo en temporada de humedad y al igual que la primera se realizó en dos secciones en fecha del 04/11/2017 en la zona de El Tablazo a 300m aguas arriba del paso del río, resultando un caudal de 1.822m³/s en esa sección N.1. Y el segundo en la sección N.2 a una distancia de 250m aguas arriba del puente Boruga, de este segundo aforo se obtuvo un caudal de 0.920m³/s. ver tabla 7.

Tabla 7. Datos geométricos de la sección de Aforos realizados en fecha 4/11/2017

Lugar	Distancia	Ancho Total	Area Total	Caudal Total	Vel. Prom.	Prof. Prom.
El Tablazo	300M	9.30M	1.94M ²	1.822M ³ /S	0.939M/S	0.21M
Boruga	250M	19.20M	3.93M ²	0.920M ³ /S	0.271M/S	0.18M

Fuente: Elaboración propia

La diferencia de caudales entre las secciones 1 y 2 en ambas jornadas de aforo, indica que en algún punto del trayecto del río, este se infiltra y pierde parte de su caudal, por esta razón es notable la disminución de caudal en el cauce del mismo en puntos aguas abajo de la Sección aforada con mayor caudal.

4.2 Modelación Hidráulica

Para obtener los parámetros a tomar en cuenta en el diseño de un puente sobre el río Nigua en la sección de Boruga, fue realizada una modelación hidráulica.

Se utilizó el programa U.S. Army Corps of Engineers: Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS). El HEC-RAS es un programa diseñado para llevar a cabo cálculos hidráulicos en una dimensión para una red completa de canales naturales y artificiales.

Para el funcionamiento de HEC-RAS se debe aportar datos geométricos y de caudales.

Los datos geométricos fundamentales son diversas secciones transversales a lo largo del cauce o cauces considerados. Dichas secciones se introducen mediante la cota de varios puntos; de este modo, mediante la cota de las secciones contiguas, separadas por una distancia conocida, el modelo calcula la pendiente de ese tramo.

El caudal puede ser un solo valor constante (caso de estudio) o bien un caudal variable en el tiempo.

El caudal, generado antes por una modelación hidrológica realizada por el INDRHI, 2009 con el software Hec – HMS, para el río Nigua, 50 m antes del punto de interés de este trabajo, fue de $513.40 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual se tomará para la modelación hidráulica actual. Las secciones correspondientes a dicho caudal son evaluadas mediante la fórmula de Manning, a partir de la sección se evalúa la altura del agua.

A continuación la tabla 8 resume las precipitaciones asociadas, tanto para el periodo de retorno correspondiente a 50 años, periodo recomendado para el diseño de un puente, como para otros periodos.

Tabla 8. Precipitaciones asociadas en la cuenca Nigua para diferentes periodos de retorno.

Tr (años)	Precipitación asociada en la cuenca Nigua P (mm)
10	129.3
25	166.5
50	194.0
100	221.4
200	248.6

Fuente: INDRHI, 2009.

La precipitación utilizada por el INDRHI para la modelación hidrológica fue la correspondiente a 50 años, la que arrojó el caudal de diseño de $513.40 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los datos de entrada utilizados por el software son los siguientes:

Para la geometría del cauce:

- Esquema del cauce (nombre del río y del tramo)
- Secciones transversales (estación y elevación)
- Distancia hasta la sección siguiente
- Distancia entre las márgenes izquierda, derecha y a lo largo del centro del canal
- Acotación del canal principal
- Valores de Manning y coeficientes de contracción/expansión

Para los caudales:

- Número de perfiles a calcular (hipótesis de cálculo para varios caudales)
- Caudal en m^3/s para cada perfil
- Condiciones de contorno

Para la ejecución del modelo:

- Tipo de caudal (**constante** o variable)
- Régimen del flujo (**subcrítico** o supercrítico)
- Plan o conjunto condiciones elegidas (geometría, caudal y régimen)

Antes, se realizó un levantamiento topográfico en el tramo estudiado, que abarcó 1 km, ver figura 9, tomando como eje céntrico la zona de construcción del puente, 500 m aguas abajo y 500 m aguas arriba del mismo.

En total se levantaron 11 secciones y a partir de estas se inició el proceso de modelación hidráulica indicada paso a paso a continuación:

- a) Se realizó un levantamiento topográfico en el tramo de Boruga que cuenta con una longitud de 1 km, el mismo se dividió en 11 secciones a 100 metros de distancia cada una.

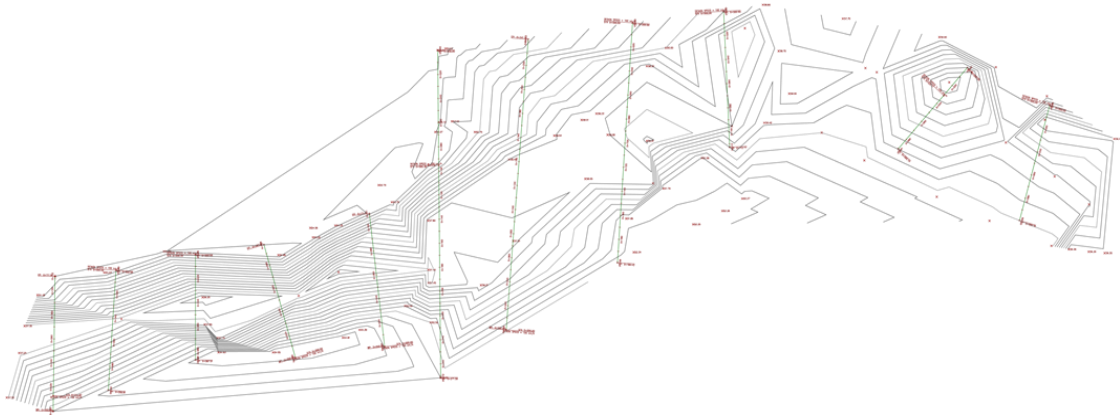
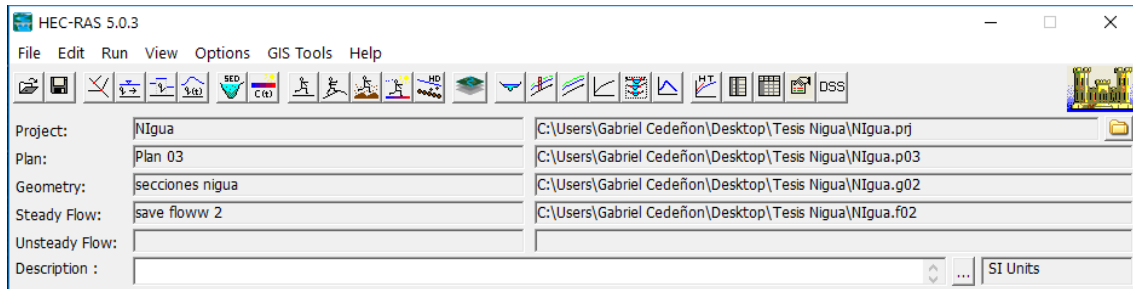


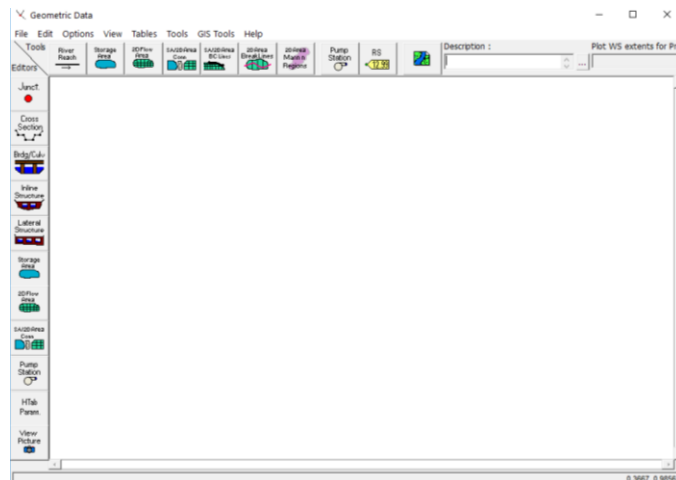
Figura 12. Curvas de nivel y secciones levantadas en el tramo estudiado.

Fuente: Francis Carela para investigación tesis Nigua UNPHU.

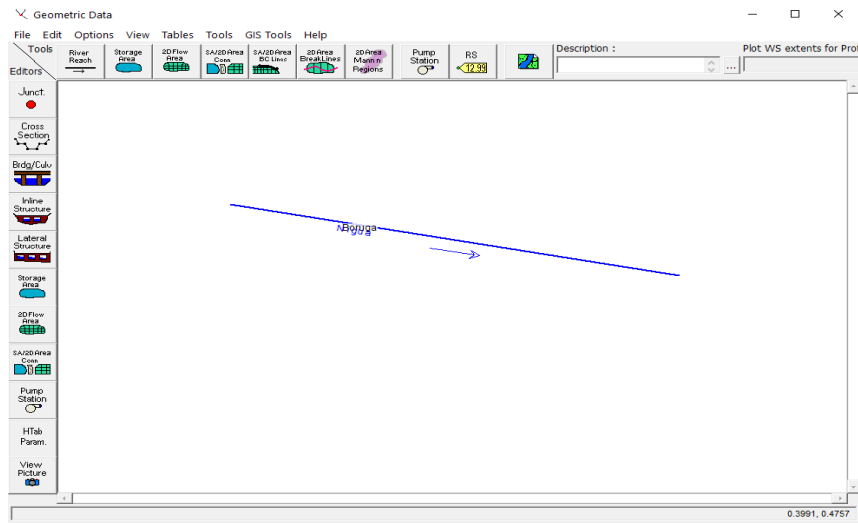
- b) Una vez realizado el levantamiento, se utilizó el programa HEC-RAS para realizar la modelación hidráulica utilizando las secciones obtenidas por este.



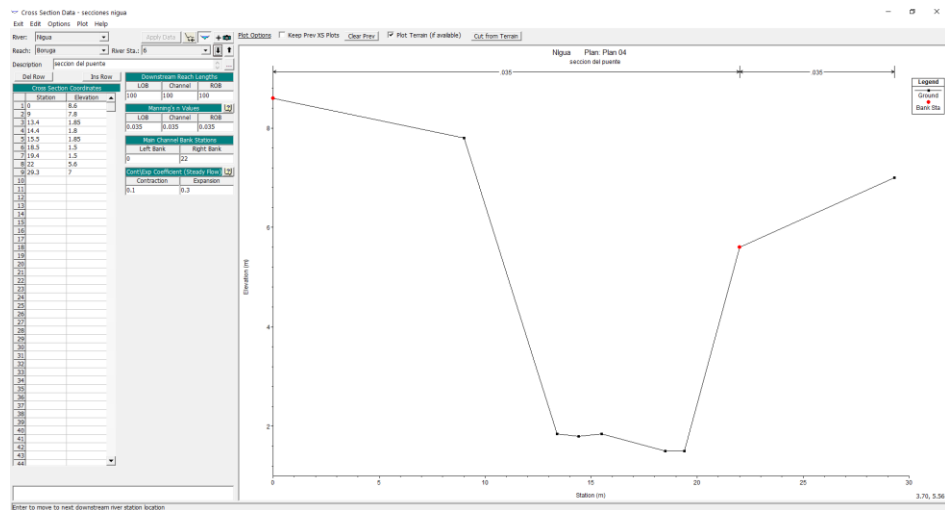
- c) Para la modelación en HEC-RAS se inició con la herramienta “VIEW/EDIT GEOMETRIC DATA”, esta permite trazar la línea que simula el río, dirección de su cauce y las secciones conseguidas por el levantamiento.



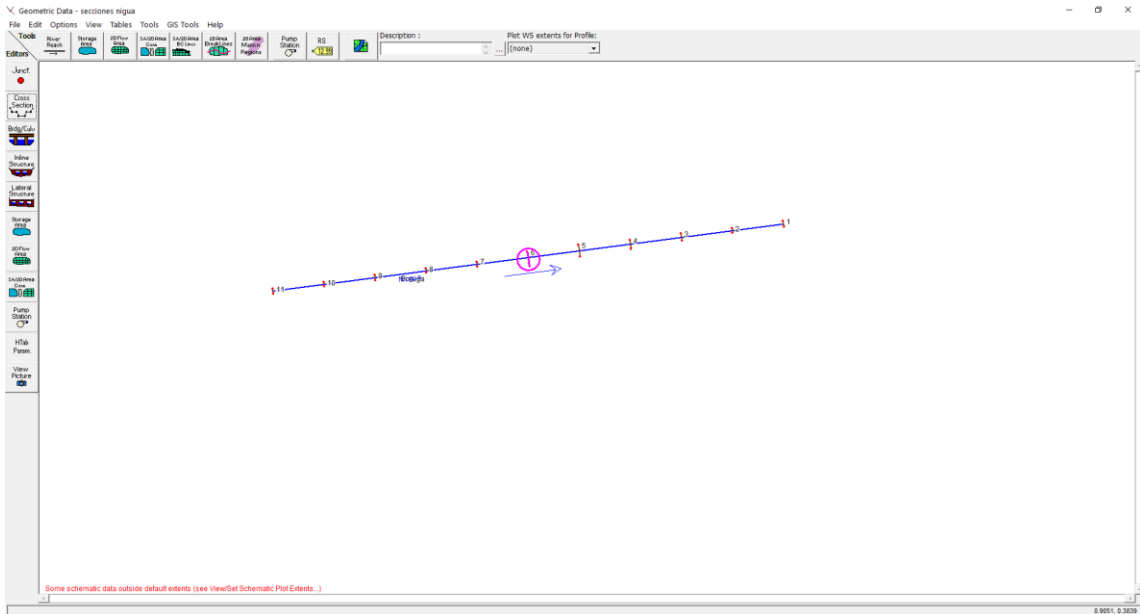
- d) Se utilizó la herramienta “RIVER REACH” para trazar el río y la dirección de su cauce.



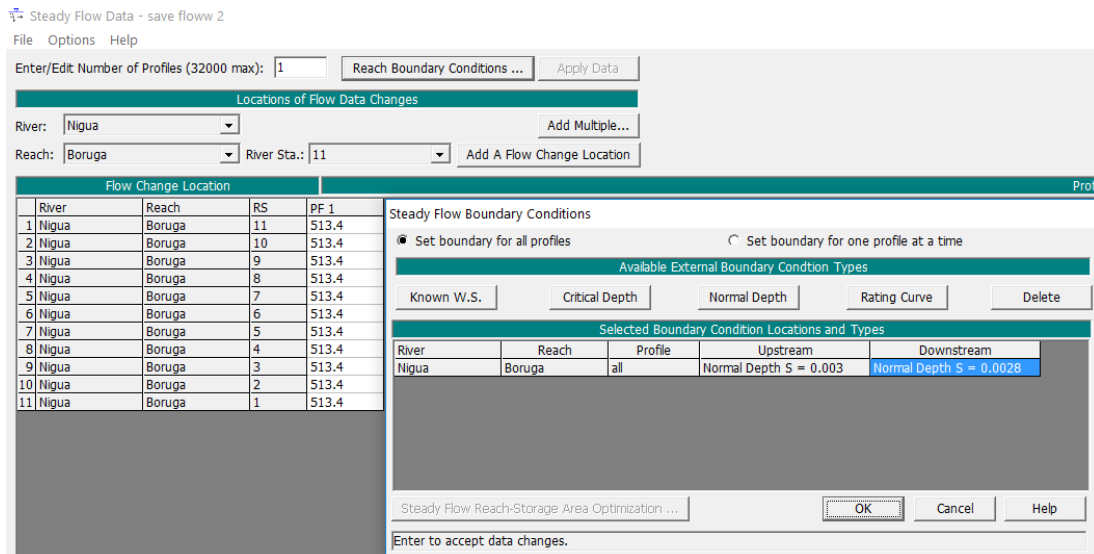
- e) Después de trazado el tramo se utilizó la herramienta “CROSS SECTION DATA”, en esta se insertaron los datos de cada sección para colocarlas en el tramo realizado.



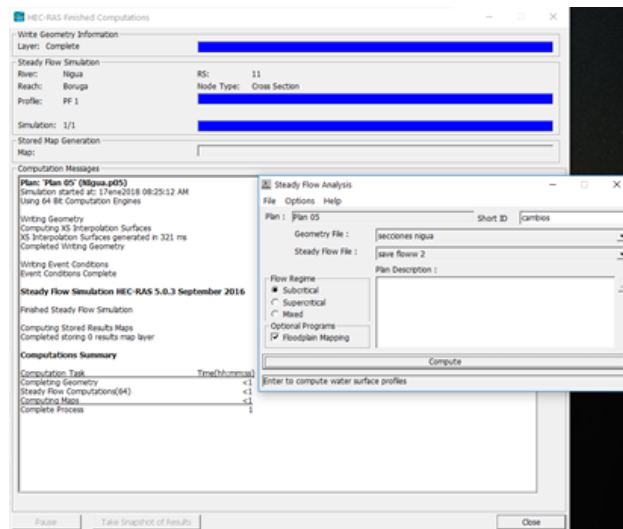
Al ingresar los datos de cada sección estas se van a reflejar en el tramo del río.



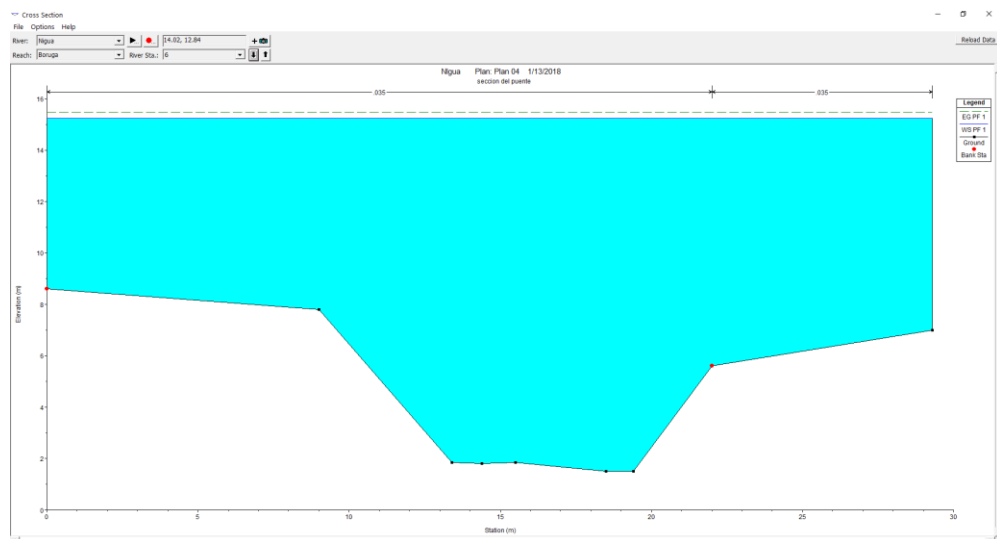
f) Posterior a tener el tramo con todas las secciones levantadas, se procedió a ingresar los datos hidrológicos para las secciones utilizando la herramienta “STEADY FLOW DATA”.



- g) Luego de ingresar todos los datos hidrológicos, se verificó que se pueda realizar la simulación con la herramienta “STEADY FLOW ANALYSIS” esta dice si la simulación del río puede realizarse, se presiona compute y el programa procede a verificar.

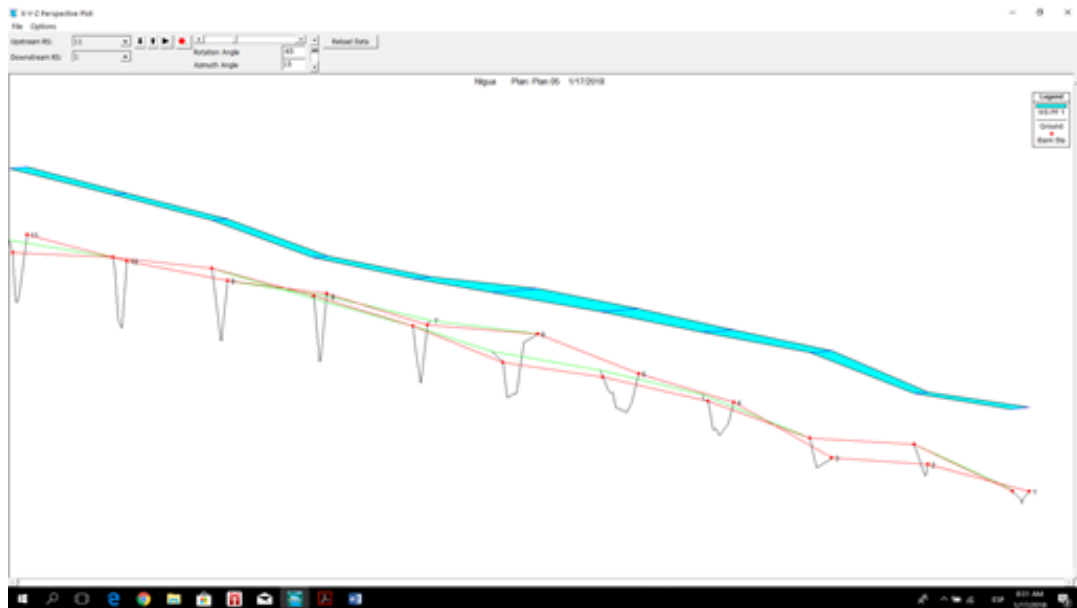
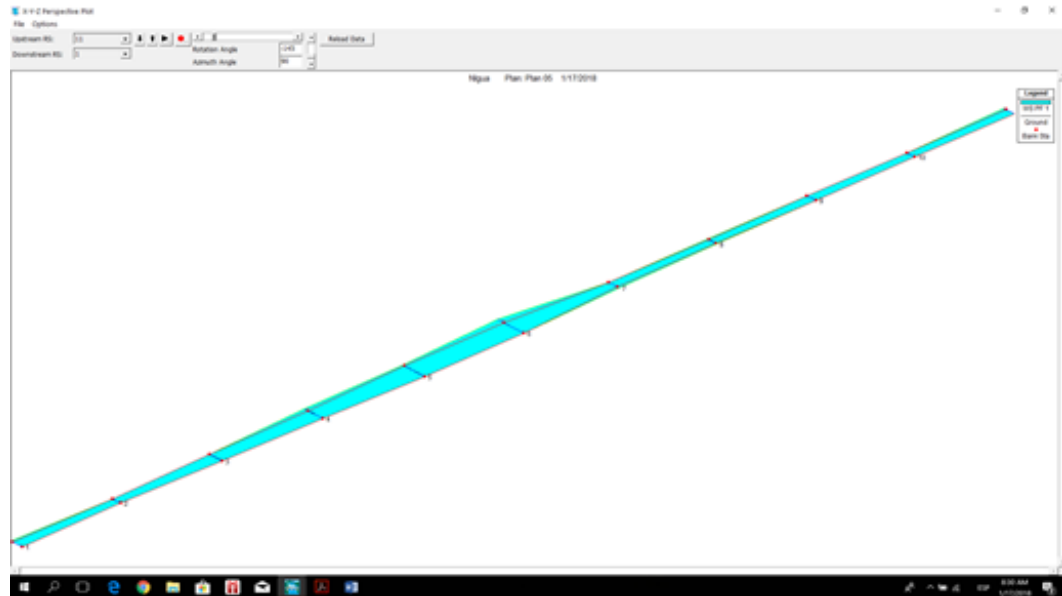


- h) Para observar la simulación en cada sección se va a la herramienta “VIEW CROSS SECTION” donde se aprecian las secciones con el caudal ingresado en los datos hidrológicos.



Sección #6 levantada en el puente

- i) En la herramienta “VIEW 3D MULTIPLE CROSS SECTION PLOT” se puede visualizar el tramo completo con el caudal y todas las secciones.



- j) En la herramienta “VIEW SUMMARY OUTPUT TABLES” se pueden observar los resultados obtenidos de la simulación.

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Frctn # Ch
Boruga	11	PF 1	513.40	1.25	16.87		17.67	0.002642	4.09	134.63	11.25	0.37
Boruga	10	PF 1	513.40	0.40	16.06		17.25	0.006276	4.83	106.35	8.75	0.44
Boruga	9	PF 1	513.40	1.20	15.32		16.60	0.006366	5.02	102.25	10.00	0.50
Boruga	8	PF 1	513.40	1.00	13.26		15.71	0.009722	7.03	78.20	9.75	0.76
Boruga	7	PF 1	513.40	0.75	13.08		14.66	0.006568	5.68	95.31	11.30	0.60
Boruga	6	PF 1	513.40	1.50	13.89		14.12	0.000562	2.20	246.52	29.30	0.24
Boruga	5	PF 1	513.40	1.80	13.84		14.07	0.000411	2.15	245.49	24.20	0.21
Boruga	4	PF 1	513.40	1.48	13.67		14.01	0.000717	2.66	206.08	20.00	0.26
Boruga	3	PF 1	513.40	0.00	13.47		13.90	0.001328	2.91	176.59	14.00	0.26
Boruga	2	PF 1	513.40	1.20	10.94		13.39	0.013752	6.94	74.00	9.10	0.78
Boruga	1	PF 1	513.40	0.35	11.42	7.07	12.42	0.002800	4.52	122.10	12.00	0.45

- k) La herramienta “VIEW DETAILED OUTPOUT” arroja los errores, avisos o notas de nuestra simulación, como también los resultados por sección.

Cross Section Output

File Type Options Help

River: Nigua Profile: PF 1

Reach: Boruga RS: 6 Plan: cambios

Plan: cambios Nigua Boruga RS: 6 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	14.12	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.23	Wt. n-Val.	0.035	0.035	0.035
W.S. Elev (m)	13.89	Reach Len. (m)	100.00	100.00	100.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		191.11	55.41
E.G. Slope (m/m)	0.000562	Area (m2)		191.11	55.41
Q Total (m3/s)	513.40	Flow (m3/s)		420.90	92.50
Top Width (m)	29.30	Top Width (m)		22.00	7.30
Vel Total (m/s)	2.08	Avg. Vel. (m/s)		2.20	1.67
Max Chl Dpth (m)	12.39	Hydr. Depth (m)		8.69	7.59
Conv. Total (m3/s)	21652.8	Conv. (m3/s)		17751.5	3901.3
Length Wtd. (m)	100.00	Wetted Per. (m)		32.60	14.32
Min Ch El (m)	1.50	Shear (N/m2)		32.32	21.33
Alpha	1.03	Stream Power (N/m s)		71.17	35.60
Frctn Loss (m)	0.05	Cum Volume (1000 m3)		81.38	7.27
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		7.87	0.93

Errors, Warnings and Notes

Warning: The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.

Enter to move to next downstream river station location

Tomando la sección levantada en el puente, según la modelación hidráulica, se obtiene la altura mínima que debe tener el mismo, la que es igual a 13.89m.

4.3 Conclusiones:

La cuenca del río Nigua presenta un clima bastante húmedo, tiene un patrón pluviométrico prácticamente unimodal debido a que el valor máximo ocurre en mayo. La precipitación anual varía entre los 2500 y 500 mm. La temperatura media anual es de 27°C a 25 °C, la humedad relativa varía entre 86% a 81%.

Geomorfológicamente, la cuenca en el trecho terminal, el valle se estrecha y el río, que presenta una marcha marcadamente meandriforme, resulta confinado lateralmente por vertientes de alta escarpadura.

De acuerdo a la modelación hidrológica realizada por el INDRHI, y tomada para este estudio, las precipitaciones asociadas a periodos de retorno o de recurrencia son de 129.3, 166.5, 194.0, 221.4 y 248.6 mm para los periodos de 10, 25, 50, 100 y 200 años, en ese orden. La precipitación tomada para el diseño fue la de 194 mm, correspondiente al periodo de retorno de 50 años, el mínimo recomendado para el diseño de puentes.

El caudal máximo de diseño asociado a 50 años, obtenido por la modelación hidrológica fue de 513. 40 m³/s. Caudal utilizado para la modelación hidráulica, con el cual, modelado en las secciones transversales levantadas, se obtuvo la altura mínima del puente en el tramo.

4.4 Recomendaciones:

- Es importante tomar en consideración la altura mínima del puente a construir, que según este estudio, es de 14 m.
- Se recomienda para futuros estudios abarcar más secciones a lo largo del río y zonas de inundación y desborde, para obtener mejores resultados y estos puedan ser aplicados de una manera más segura y definitiva.
- Es necesario hacer una adecuación del cauce del mismo para la prevención de inundaciones y las destrucciones de caminos, autovías, etc. Para evitar que se queden incomunicados los pueblos alrededor del río o peor aún que acabe con la vida de muchos.
- Es importante darle mantenimiento a las estaciones hidrométricas del río para poder contar con un historial de calidad para los futuros estudios y diseños en la cuenca, ya que al realizar las visitas para realizar los aforos, se observó que la estación existente estaba en muy malas condiciones y no funcionaba.
- Ampliar red de estaciones climáticas e hidrométricas en la cuenca.
- Desarrollar un sistema de prevención y de alarma para la transmisión de información y acciones de alerta en la cuenca del río Nigua.

- Establecer instructivos con datos generales y procedimientos (mapa de inundación, carreteras, caminos utilizables para evacuación antes de la inundación, censo de las zonas de refugio, procedimientos para difusión de información de alerta de la cuenca del río Nigua, equipo de comunicación, etc.).
- Reubicación de familias en áreas de alto riesgo, además de la ampliación y adecuación del canal de drenaje en la planicie de inundación.

CAPÍTULO V
BIBLIOGRAFIA

CAPÍTULO V BIBLIOGRAFÍA

- 1- Aquater S.P.A (2000). Memoria Estudio Hidrogeológico Nacional. República Dominicana.
- 2- Campos Aranda (1998). Procesos del ciclo hidrológico, Editorial universitaria Potosí, México.
- 3- Casilla, L. (Junio de 2013). *noticiassc*. Obtenido de <http://www.noticiassc.com/2013/06/hasta-siempre-rio-nigua.html#.WErIqbJ97IU>
- 4- Didáctica, A. (octubre de 2011). *gmozincg*. Obtenido de <http://gmozincg.blogspot.com/2011/10/metodo-analitico-de-la-investigacion.html>
- 5- Ing. Juan Mateo Minaya (2008). Estudio Hidrológico sobre la Cuenca de Nigua. (INDRHI).
- 6- Ing. Sandra José Clases y Ing. Yenny Rodríguez (2008). Estudio de las inundaciones en la cuenca del río boba y sus impactos ambientales. Nagua, Provincia María Trinidad Sánchez
- 7- Martínez, et al. 2001. Manual de hidrología. Ediciones mundi-prensa. Mexico.
- 8- Monsalve Sáenz, German. 2002. Hidrología en la ingeniería, Editorial escuela colombiana de ingeniería, Colombia.
- 9- R. Dalré Tenreiro. 2003. Pequeños embalses de uso agrícola, Ediciones mundi-prensa, México.
- 10- Subcomisión Ecuatoriana Predesur (1995). Estudio de factibilidad y diseño definitivo del proyecto de riego Malla del cantón Catamayo, provincia de Loja. Anexo de Ecoclimatología.

- 11- Uribe, D. (04 de 07 de 2014). *noticiassc*. Recuperado el 13 de 09 de 2016, de [noticiassc:http://www.noticiassc.com/2014/05/experto-hidrologico-dice-encajonamiento.html#.V9ggDfl97IU](http://www.noticiassc.com/2014/05/experto-hidrologico-dice-encajonamiento.html#.V9ggDfl97IU).
- 12- V.T. Chow, et al. (1996). *Hidrología aplicada*. Santa Fé de Bogotá – Colombia.
- 13- Villón Vejar, Máximo (2002). *Hidrología*, Editorial Villón, Lima Perú.

ANEXOS

Anexos

Todas las imágenes insertadas en este capítulo son de fuente propia.

Imágenes Aforo #1.



Imágenes Aforo #2

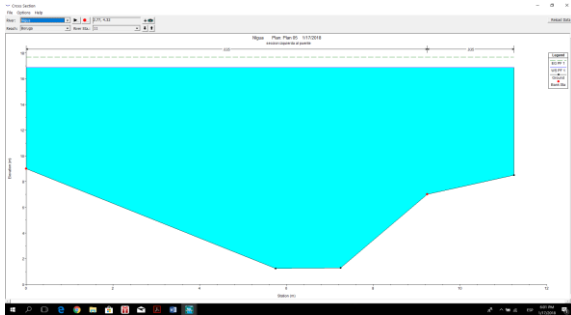


Imágenes Levantamiento Topográfico.

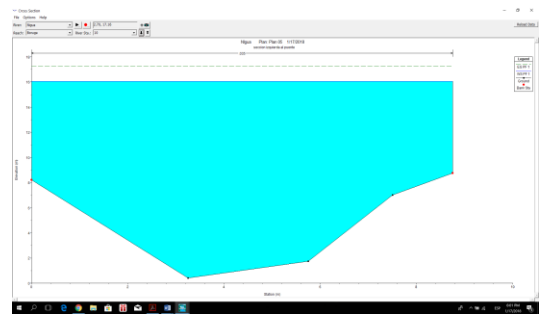


Modelación Hidráulica de 11 secciones levantadas del tramo Boruga

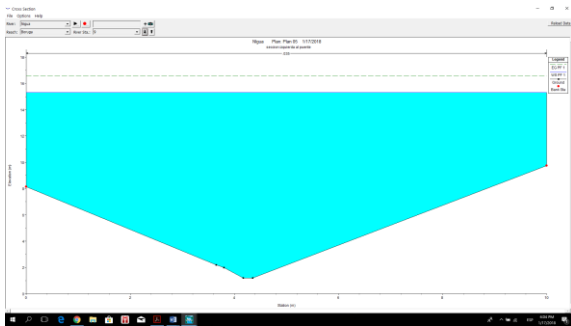
Sección 1



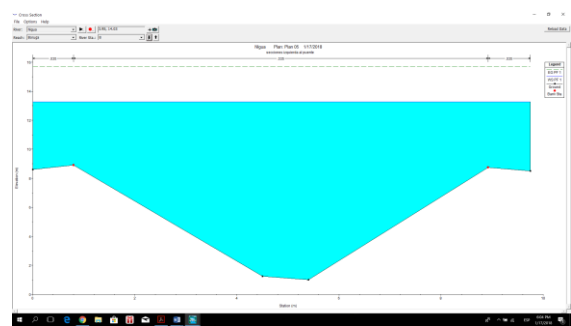
Sección 2



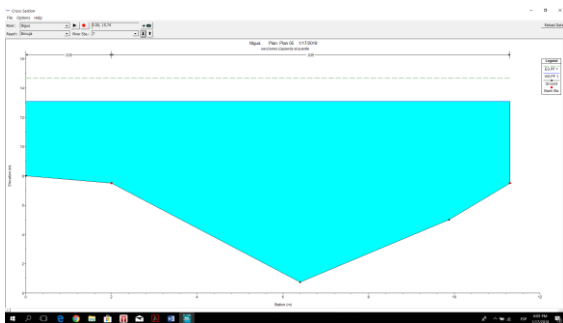
Sección 3



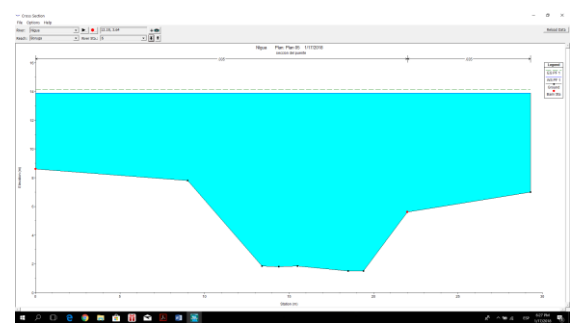
Sección 4



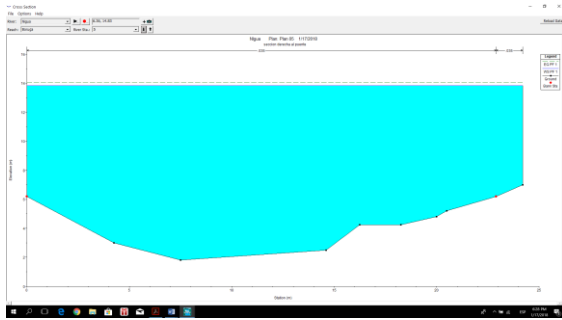
Sección 5



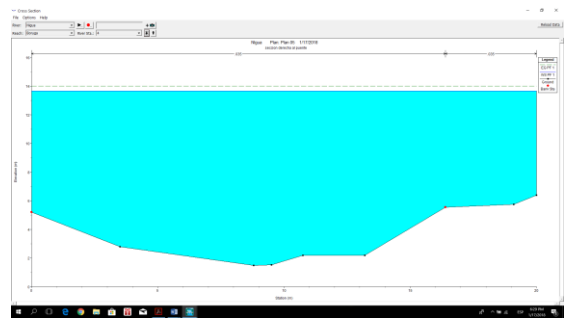
Sección 6 (Sección del puente)



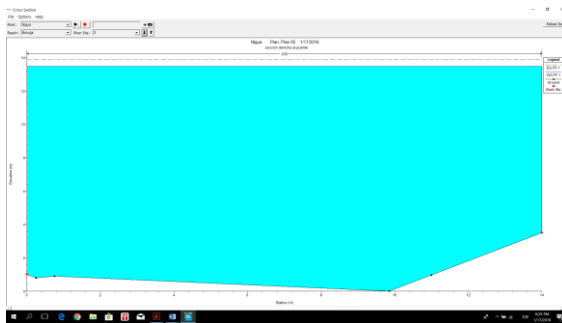
Sección 7



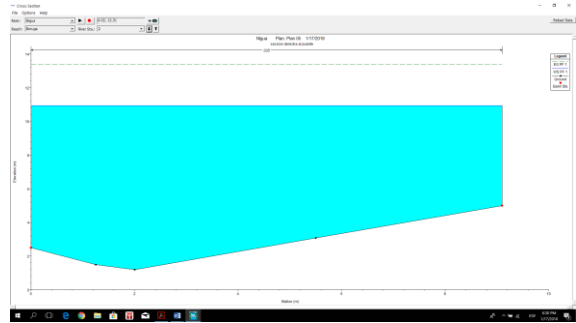
Sección 8



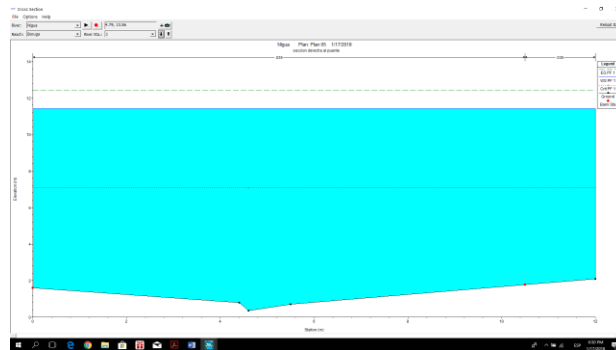
Sección 9



Sección 10



Sección 11



Imágenes del último puente - badén del rio Nigua.



Imágenes del Puente- badén en el mes de mayo durante inundación.

