

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FC
Facultad de
Construcciones

Departamento de Ingeniería Hidráulica

TRABAJO DE DIPLOMA

**Título: Cálculo del escurrimiento del tránsito de avenida en la Cuenca Zaza
utilizando el programa TRANSA.**

Autor: Antonio Alberto Gutiérrez Marín.

Tutor: Ing. Ana Frías Felipe.

Santa Clara, junio 2018
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

PENSAMIENTO

"Se es fuerte cuando la sencillez, la honestidad y el desinterés, se nutren del conocimiento."

José Martí

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

- ✓ Mi hermana Anabel Gutiérrez.
- ✓ Mis padres por ayudarme a crecer como persona y a luchar por lo que quiero con sus consejos.
- ✓ Toda mi familia.
- ✓ A mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

Son tantas las personas que han aportado su granito de arena, que sería necesario utilizar varias páginas para colocar sus nombres, les agradezco a todos los que han tenido la delicadeza de ayudarme, principalmente a mi familia, a mi tutora Ing. Ana Frías Felipe y a los profesores que hicieron posible la terminación de esta investigación.

Contenido

RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
PROBLEMA CIENTÍFICO:.....	10
HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN:	10
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	10
TAREAS DE INVESTIGACIÓN.....	11
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN.	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.2 TRÁNSITO DE AVENIDAS.....	15
1.3 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA ZAZA:	24
1.4 DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ZAZA (DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA QUE CONFORMA LA CUENCA ZAZA).....	31
CAPITULO II. PRESENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO Y CÁLCULOS HIDROMÉTRICOS	34
2.1 OBTENCIÓN DE LOS DATOS FUNDAMENTALES DEL TRÁNSITO DE AVENIDA EN LA CUENCA.....	34
2.2 ANÁLISIS Y RECOLECCIÓN DE LOS DATOS HIDRÁULICOS NECESARIOS.....	36
2.3 CÁLCULO DE LA AVENIDA MEDIANTE LA FORMULACIÓN MATEMÁTICA DE UN BALANCE HÍDRICO (ESPECIAL EN EVENTOS EXTREMOS).....	40
Ec. 2.1	41
Ec. 2.2	41
CAPITULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	44
3.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS AL PROCESAR LOS DATOS DE LA AVENIDA PROVOCADA POR LAS INTENSAS LLUVIAS DE LOS DÍAS 23,24,25,26,27 DEL MES DE MAYO DEL AÑO 2012.....	44
3.2 ANÁLISIS DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS.	46
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES.....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS	54

RESUMEN

Desde hace varios años en nuestro país se trabaja para perfeccionar los procedimientos que regulan el modo en que debe actuar nuestro personal técnico en caso de intensas lluvias, y producto de este esfuerzo se han revisado tablas de calibración de las obras de toma, aliviaderos, etc. Nos percatamos que la forma de captación de los datos no estaba garantizando la reconstrucción correcta de las avenidas ya que el desfase en el tiempo muchas veces no era el correcto y además al no existir modelos se plasmaban los datos en lo primero que se tuviera al alcance de las manos, debido a que la información debe ser rápida concisa, certera y bajo una gran presión por la cantidad de informaciones solicitadas a todos los niveles. Se obtiene un sistema de registros para captar los datos fundamentales que intervienen en la reconstrucción de las avenidas en las cuencas hidrográficas tributarias a cada embalse e implementar los mismos desde las obras hidráulicas hasta las UEB de Aprovechamiento Hidráulico, la Dirección Técnica de la Empresa y el Centro Operativo. Se crearon registros para los partes con frecuencia de 2 horas que es lo decretado en caso de alarma ciclónica pues las demás frecuencias están contenidas dentro de la misma se generaron gráficas que aportaron una información oportuna de la dinámica del tránsito de avenidas.

ABSTRACT

For several years in our country we have been working to improve the procedures that regulate the way our technical staff should act in case of heavy rains, and as a result of this effort, calibration tables for the intake works, spillways, etc. have been revised. We realized that the way of capturing the data was not guaranteeing the correct reconstruction of the avenues since the time lag was often not the correct one and also, since there were no models, the data were captured in the first thing available. of hands, because the information must be fast concise, accurate and under great pressure by the amount of information requested at all levels. A record system is obtained to capture the fundamental data that intervene in the reconstruction of the avenues in the tributary watersheds to each reservoir and implement them from the hydraulic works to the UEB Aprovechamiento Hidráulico, UEB Aprovechamiento Hidráulico were created for the parties with a frequency of 2 hours, which is what was decreed in the case of a cyclonic alarm, since the other frequencies are contained within it, graphs were generated that provided timely information on the traffic dynamics of floods.

INTRODUCCIÓN.

El conocimiento del funcionamiento de todos los cuerpos hídricos de una cuenca hidrográfica durante el paso de una avenida es fundamental para la resolución de importantes problemas de ingeniería, para la protección del medio ambiente, el desarrollo de la economía de un país, la prevención de posibles daños materiales y humanos en todo su entorno, además los datos obtenidos en estos análisis constituyen una herramienta fundamental para el diseño de la infraestructura hidráulica; por ejemplo la delimitación de zonas inundables, el diseño de encauzamientos, obras de protección frente a avenidas, delimitación máxima de las márgenes de los afluentes , diseño de embalses, diques de protección contra inundaciones, puentes, desvíos, confluencias, obras de regulación y diseño de aliviaderos.

En muchos de los casos para apalear o minimizar estos desastres provocados por los eventos hidrometeorológicos no se cuenta con una base de datos capaz de entender y aportar experiencias para la toma de decisiones de los especialistas.

La Empresa de Recursos Hidráulicos de Sancti Spíritus ha visto la necesidad de resolver los problemas de inundaciones. Por este motivo, y entre otras acciones, está desarrollando junto con especialistas de Aprovechamiento Hidráulico el Sistema de Pronóstico que en la actualidad cuenta con una red de observaciones compuesta por 9 estaciones pluviométricas y 6 estaciones hidrológicas, las cuales se ubican en la cuenca Zaza. El personal que la Empresa ha designado para la ejecución de estos trabajos está constituido por profesionales de un grupo multidisciplinario ya que entre sus obligaciones consta la ejecución de investigaciones hidrometeorológicas, edafológicas y geotécnicas.

Uno de los problemas más acuciantes de estas inundaciones es el tránsito de avenidas que es un procedimiento matemático para predecir el cambio en magnitud, velocidad y forma de una onda de flujo en función del tiempo en uno o más puntos a lo largo de un curso de agua. El curso de agua puede ser un río, una quebrada, un canal de riego o drenaje, y el hidrograma de avenida puede resultar del escurrimiento producto de la precipitación y/o deshielo, descargas de un embalse.

El presente trabajo se fundamenta en la necesidad de garantizar una herramienta de cálculo sencilla basada en lo anterior descrito para el análisis del tránsito de avenidas en

la cuenca Zaza que facilite el trabajo del personal que labora en las obras de la infraestructura hidráulica de la cuenca y demás especialistas de los centros operativos de cada dependencia vinculada a la misma.

Para la realización de este trabajo se tiene la situación problemática siguiente:

PROBLEMA CIENTÍFICO:

La Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Sancti Spíritus no cuenta con resultados detallados de la modelación del tránsito de las avenidas al producirse intensas lluvias en la Cuenca Zaza para conocer su comportamiento sobre la base de la interpretación ingenieril de estos resultados.

HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN:

Si se realiza una modelación del tránsito de avenida utilizando el programa TRANSA en la cuenca Zaza, entonces se podrán obtener resultados de los caudales que permiten estimar las áreas de inundación y adoptar las decisiones correspondientes para evitar pérdidas humanas y económicas de una forma rápida y asequible al personal técnico que labora en la infraestructura hidráulica de la cuenca del río Zaza.

Para abordar este problema se define como:

OBJETIVO GENERAL.

1. Calcular el escurrimiento del tránsito de avenida en la Cuenca Zaza utilizando el programa TRANSA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Realizar una revisión bibliográfica del tema.
2. Realizar el cálculo la simulación hidrométrica a partir de los métodos de cálculo de la avenida en la cuenca Zaza empleando el programa TRANSA.
3. Analizar los resultados de los hidrógrafos de la cuenca Zaza.

Para llegar a feliz término de este trabajo nos proponemos las siguientes tareas:

TAREAS DE INVESTIGACIÓN

- Revisión bibliográfica del tema causa de estudio.
- Cálculo de la simulación hidrométrica de la cuenca Zaza.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Elaboración del informe de tesis y defensa.

El presente informe se estructura de la siguiente forma:

- CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN.

En este capítulo se realiza un análisis bibliográfico donde se abordarán aspectos relacionados con la hidrometría, hidrogeología y el tránsito de avenidas realizando una descripción de la zona objeto de estudio. La situación actual y perspectiva de la hidrogeología y el aporte de herramientas que conlleven a una correcta toma de decisiones en Cuba.

- CAPÍTULO II. PRESENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO Y CÁLCULOS HIDROMÉTRICOS

En este capítulo se abordan los temas relacionados al desarrollo de la propuesta. En primer lugar, la determinación de los datos y resultados para la obtención de una simulación hidrométrica de las avenidas de la cuenca Zaza. Además, se realiza la simulación hidrométrica de las curvas, las que pueden ser observadas en los anexos de este trabajo, las que estuvieron en estrecho análisis del uso de los métodos de balance hidrológico para reportar la dinámica del tránsito y el pico de ocurrencia del mismo.

- CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

En el capítulo final se realiza un análisis de los resultados de la simulación hidrométrica de las curvas obtenidas. Se comparan los resultados obtenidos entre ambas curvas, los principales parámetros y características, así como los resultados que de ellas se deriven.

Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones generales derivadas de la investigación realizada y se presenta la bibliografía referida en la tesis.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN.

En este capítulo daremos un bosquejo a la bibliografía existente tanto en la red como en los libros a nuestro alcance definiendo parámetros y métodos por los que se realiza el cálculo del tránsito de avenidas.

1.1 INTRODUCCIÓN.

El agua es la sustancia más abundante en la Tierra, es el principal constituyente de todos los seres vivos y es una fuerza importante que constantemente está cambiando la superficie terrestre. También es un factor clave en la climatización de nuestro planeta para la existencia humana y en la influencia en el progreso de la civilización.

El crecimiento demográfico, la búsqueda de mejores lugares para el desarrollo ganadero, la agricultura y la migración de poblaciones de escasos recursos, se ven forzadas a buscar sitios para asentarse, donde en muchos de los casos, suelen ser zonas de alta amenaza tales como las riberas de los ríos, que ocupan partes de las llanuras de inundación de los mismos. Por lo general, no se cuenta con la información adecuada con respecto a tales fenómenos naturales ni sus probables impactos para tomar las decisiones más adecuadas sobre las zonas geográficas en las cuales se deben asentar. Por mucho tiempo, por concepciones erróneas y por falta de interés de resolver problemas que de algún modo no se tomaban como algo importante, las poblaciones rurales no eran tenidas en cuenta a la hora de tratar el tema de inundaciones. Era de imaginarse que las mayores pérdidas estarían en la zona urbana y no se pensaba en gran medida en la población del campo, ni en los objetivos económicos que se pudieran perder.

Una parte importante de las investigaciones actuales debería concentrarse en estudios de problemas que afectan la sociedad y proponer soluciones para minimizar o atenuar el peligro, el riesgo y las vulnerabilidades ante determinados fenómenos naturales o provocados por el hombre. Con frecuencia los estudios hidrológicos están relacionados con eventos extremos que provocan daños tanto a los seres humanos como al medio ambiente.

La cuenca hidrográfica es el marco propicio que la naturaleza brinda para el manejo integrado del recurso hídrico. En ella se realizan las observaciones del ciclo hidrológico, se evalúan las potencialidades del recurso y se planifica el desarrollo hidráulico de manera integral; entre otras acciones se diseñan, construyen y operan obras de aprovechamiento hidráulico para satisfacer demandas de riego, de poblaciones, industrias; así como se establecen medidas de alerta y prevención contra las inundaciones y contra sequías.

Las inundaciones por avenidas constituyen ocurrencias naturales o tecnológicas, por ejemplo, fenómenos climatológicos extremos, rotura de presas, deficiente operación de obras de control como compuertas y válvulas; causantes en general de trastornos, riesgos y daños a múltiples actividades, bienes y hasta la misma vida del hombre.

Desde el año 1995 se inició en la cuenca atlántica un nuevo ciclo de gran actividad ciclónica, el período comprendido desde 1995 hasta el 2004 se registró como el más activo en la historia de los archivos de ciclones tropicales.

Esta realidad obliga a estar preparados para enfrentar tales eventos meteorológicos, y el procesamiento automatizado de los datos constituye una herramienta muy útil para tomar decisiones rápidas y certeras en estos casos, más si tenemos en cuenta que por las características de nuestros ríos el tiempo de que se dispone para tomar medidas está determinado por las características de las corrientes y sus cuencas de aporte, y generalmente es muy limitado.

La cuenca Zaza es una de las priorizadas del país y se está trabajando para lograr la automatización de la misma mediante un proyecto de prevención hidrológica en tiempo real que nos da la posibilidad de realizar las operaciones en los embalses con mayor precisión y en el tiempo requerido.

Hasta tanto no se cuente con estos recursos la realidad actual obliga a estar preparados adoptando las medidas necesarias en las condiciones que realmente tenemos para enfrentar los eventos meteorológicos extremos que cada vez son más frecuentes y rápidos.

Los eventos meteorológicos extremos nos dan la posibilidad de lograr un llenado óptimo de los embalses en corto tiempo repercutiendo positivamente en beneficio de la economía pero la incertidumbre de su ocurrencia nos obliga a estar preparados permanentemente para transitar rápidas avenidas de forma eficaz minimizando daños económicos, sociales y humanos, todo esto en estrecha vinculación con la defensa civil del territorio y sin perder de vista que la función fundamental de nuestros embalses es almacenar agua en período húmedo para entregar posteriormente en período seco.

En 1871, Barré de Saint Venant formuló la teoría básica para el análisis unidimensional del flujo transitorio o no permanente, sin embargo para obtener soluciones factibles que describan las características más importantes de la onda de flujo y su movimiento, es necesario realizar simplificaciones de dichas ecuaciones(Nino, 2002).

Los métodos de tránsito de flujo se pueden clasificar en agrupados o distribuidos. En el tránsito de flujo agrupado o tránsito hidrológico el flujo se calcula como una función del tiempo para todo un tramo a lo largo de un curso de agua. En el tránsito de flujo distribuido o tránsito hidráulico, el flujo se calcula también como una función de tiempo, pero de manera simultánea en varias secciones transversales a lo largo del curso de agua.

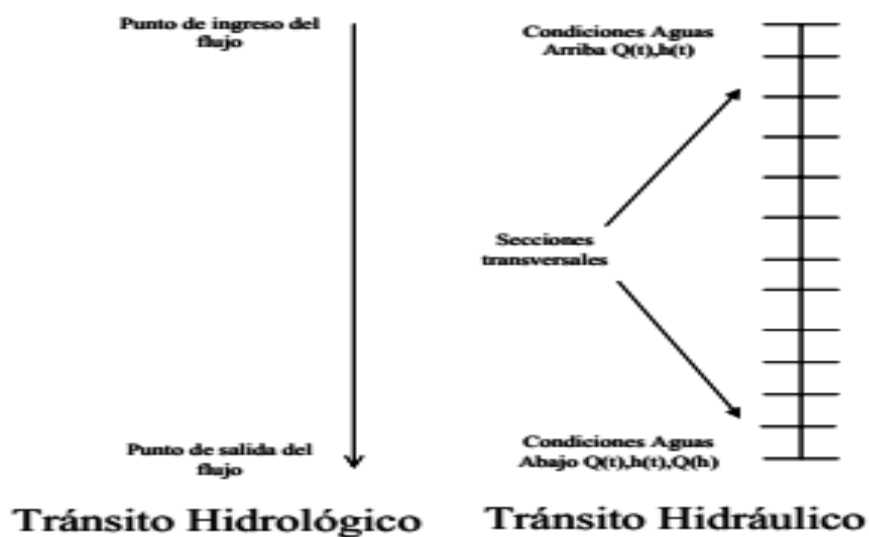


Figura: .1.1 Cálculo del flujo en función del tiempo de manera simultánea.

1.2 TRÁNSITO DE AVENIDAS.

Antes de continuar con el trabajo se considera necesario realizar algunas aclaraciones con respecto a las definiciones importantes de lo que es el tránsito de avenidas.

Se define como **avenida** el estado transitorio de altas cotas, alcanzadas a partir del rompimiento abrupto de un régimen disminuido de niveles o la altura excepcional o anormal de las aguas de un río (Ramírez, 2001).

El **tránsito de avenidas** es un procedimiento matemático para predecir el cambio en magnitud, velocidad y forma de una onda de flujo en función del tiempo en uno o más puntos a lo largo de un curso de agua (Ramírez, 2001).

El caudal de toda corriente está determinado por dos grupos de factores totalmente diferentes, uno de estos grupos se relaciona con el clima y la precipitación y el otro grupo se relaciona con las características físicas de la cuenca.

Factores relacionados con el clima:

- 1-Tipo de Precipitación.
- 2-Intensidad de la lluvia.
- 3-Duración de la lluvia.
- 4-Distribución de la lluvia en la cuenca.
- 5-Dirección del movimiento de las tormentas.
- 6-Precipitación antecedente y humedad del suelo.
- 7-Otras condiciones climáticas que afectan la evaporación y la transpiración.

Factores relacionados con las características físicas de la cuenca:

- 1-Uso de la tierra.
- 2-Tipo de Suelo.
- 3-Área.

4-Forma.

5-Altitud.

6-Pendiente.

7-Orientación.

8-Tipo de red de drenaje.

9-Extensión del drenaje indirecto.

10-Drenaje Artificial.

Como se puede apreciar no existe una ecuación sencilla para determinar el caudal máximo, mínimo y medio de una avenida, pues la dificultad consiste en que tal ecuación debe estar expresada en términos de todas las variables mencionadas y que cualquiera de esas variables o factores puede afectar el resultado en ciento por ciento o más.

Además si el caudal se expresa en términos de solo una variable, el resultado puede ser erróneo en más de mil por ciento, cualquier evaluación de las características del caudal debe tener una cuidadosa ponderación de la influencia de todos los factores anteriores y probablemente no podrá ser determinada sirviéndonos de una ecuación simple que solo considere una, dos o tres variables si se conocieran profundamente las relaciones exactas entre lluvia, evaporación, transpiración, infiltración y escurrimiento, apenas si habría necesidad de establecer estaciones de aforos ni de recopilar registros de gastos, pero estas relaciones no son lo bastante bien comprendidas para que el ingeniero pueda determinar satisfactoriamente el gasto o caudal de una corriente ,sin contar con registros del gasto, propiamente dicho para un período más o menos extenso.

Con el conocimiento del comportamiento de las avenidas se obtienen importantes datos como los volúmenes y gastos picos generados por las grandes tormentas, los tiempos de retardo entre los diferentes cierres de cálculos de cada microcuenca que conforman el área de una gran cuenca hidrográfica como por ejemplo la que conforma el río Zaza que es objeto de estudio en el presente trabajo.

Existen en la bibliografía varias herramientas automatizadas para realizar la modelación hidrológica de una cuenca hidrográfica por lo que existen varios modelos como el SARH-CP, 1982; Aparicio, 2001; Mays, 2001, herramientas automatizadas como el modelo SWAT, SWRRWB, ANSWER, WEPP, AGPNS, QUAL2E, PROUTE. En Cuba sin embargo se han dado pasos en la modelación en HEC-HMS pero la experiencia alcanzada aún es insuficiente además de que se necesita la recopilación de una serie de datos que en muchos casos no se tienen en los archivos, estas herramientas demandan para su explotación el conocimiento especializado de informática e hidráulica cuestión que reduce su campo de aplicación (Felipe, 2018, Moya, 2012, López, 2011, Rangel, 2016).

Basado en los criterios antes expuestos podemos decir que existen varias formas de calcular el tránsito de avenidas (Anónimo, 2018):

- **Métodos.**

- Métodos empíricos.
- Métodos hidrológicos.
- Métodos estadísticos.
- Correlación con otras cuencas.
- Propagación de avenidas.

De la misma forma que existen estos métodos tradicionales se conoce también en la actualidad el método de MUSKINGUM el que es referido a los tránsito de crecidas en eventos meteorológicos (CASTIBLANCO and MUÑOZ, 2016, Lorenzo and García, 2011).

El método de Muskingum es un modelo hidrológico, el cual estudia flujos laterales y se basa en niveles, volúmenes de aguas y velocidades del cauce a través de caudales de entrada y de salida, y con la ayuda de los datos como caudales y niveles arrojados por las estaciones limnigráficas obtenemos los parámetros (K, X) y los coeficientes (C1, C2 y C3) correspondientes a este método (CASTIBLANCO and MUÑOZ, 2016).

Teniendo como base que el tránsito de crecientes o tránsito de avenidas, tiene como aplicación dar un dimensionamiento a las presas y obras que se realizan para el control de las inundaciones y como función simular las variaciones del hidrograma durante el recorrido del cauce. Nos da como utilidad práctica conocer la altura del pico del hidrograma, es decir, el caudal máximo, quien está relacionado directamente con el carácter desastroso de una avenida (CASTIBLANCO and MUÑOZ, 2016).

Por forma empírica la que no se puede realizar debido a que la cuenca es superior a las 500 ha (Felipe, 2018, Anónimo, 2018, Winograd., 2010).

De forma hidrológica o Método del Hidrograma Unitario para cuencas medianas Método Racional para pequeñas cuencas ($T_c < 6h$), esta vía permite el cálculo debido a que es para cuencas con períodos menores de 6 horas y evaluamos un período no mayor de estas (Puyol and Villa, 2006).

Para tener un criterio propio debemos decir que se debe tener siempre en cuenta el escurrimiento de las cuencas y definir:

Escurrecimiento.

De acuerdo con el ciclo hidrológico, el escurrimiento se puede definir como la porción de la precipitación pluvial que ocurre en una zona o cuenca hidrológica y que circula sobre o debajo de la superficie terrestre y que llega a una corriente para ser drenada hasta la salida de una cuenca o bien alimentar un lago, si se trata de cuencas abiertas o cerradas, respectivamente (López, 2011).

Ahora bien, el escurrimiento que se presenta en un cauce es alimentado por cuatro fuentes diferentes y cada uno de ellos tiene características muy peculiares, tal como se menciona a continuación.

Fuentes del escurrimiento.

El escurrimiento se inicia sobre el terreno una vez que en la superficie se alcanza un valor de contenido de humedad cercano a la condición de saturación. Posteriormente se iniciará un flujo tanto sobre las laderas, como a través de la matriz de los suelos, de

las fracturas de las rocas o por las fronteras entre materiales de distintas características, esto es, un flujo subsuperficial.

En el primer caso, el flujo se incorporará a algún tributario del sistema de drenaje de la cuenca. En el segundo caso, parte del agua subsuperficial podrá percolar a sistemas más profundos, otra parte permanecerá como un almacenamiento temporal, y otra regresará a la superficie, donde eventualmente formará parte de los volúmenes que conducirán los diferentes cauces a zonas de menor altitud (Pita, 2015).

Las fuentes principales del escurrimiento en cauces se pueden clasificar en cuatro tipos: precipitación directa sobre el cauce; flujo subsuperficial; flujo base; y escurrimiento directo.

Precipitación directa sobre el cauce: Es un aporte modesto comparado con los volúmenes asociados a las otras fuentes; esto se debe principalmente a la pequeña superficie que generalmente abarcan los ríos y corrientes(Pita, 2015)

Flujo subsuperficial: Los volúmenes asociados a este escurrimiento varían en el tiempo y en el espacio. En la época de estiaje podrán descargar a un ritmo casi constante, formando corrientes perennes. En otros casos solo aportarán cantidades suficientes para mantener por algunas semanas más, después de las últimas lluvias, el gasto en un cauce, formando así las corrientes intermitentes.

Cuando el aporte es tan reducido que sólo se mantiene un contenido de humedad elevado en el cauce y en sus zonas adyacentes, el flujo superficial es prácticamente nulo; sin embargo, si se presenta algún evento tal como lluvia y deshielo; el posible escurrimiento superficial será del tipo efímero.

Si un tramo del cauce presenta condiciones de contenido de humedad relativamente bajas, o si el material es fracturado o muestra canalizaciones por disolución o génesis, el escurrimiento se verá afectado, ya que una parte será aportada a las riberas y/o a través de la plantilla.

Flujo base: Es el aporte de un sistema acuífero somero a un cauce determinado. En el caso en que una parte de la cuenca se encuentre perturbada por alguna obra hidráulica

tal como una presa y un sistema de riego; entonces el gasto base corresponderá a los volúmenes asociados con la operación de dichas obras.

Escurrimiento directo: Es aquel volumen asociado a la precipitación, es decir, el flujo remanente una vez que quedan definidas las primeras tres fuentes(Castellet, 2014).

Procesos del escurrimiento: Para el análisis básico del escurrimiento, se deben de considerar las variables siguientes: la intensidad de la precipitación; la capacidad de infiltración de una superficie particular; la condición hidráulica a la que se encuentra el suelo o la roca; y la característica hidráulica del suelo o roca.

La comparación entre estas variables permite obtener información sobre los procesos que se pueden presentar bajo diferentes situaciones. A continuación se comentan cuatro condiciones que se pueden presentar, con sus respectivas consecuencias (Castellet, 2014).

a) Cuando la intensidad de precipitación es menor que la capacidad de infiltración y el contenido de humedad del suelo o roca es menor a su capacidad de campo. En este caso, el escurrimiento sobre la superficie del terreno será reducido, ya que el suelo o roca será capaz de captar la mayor parte del volumen de agua que entra como precipitación. El flujo subsuperficial será muy reducido, ya que el agua captada se utilizará para aumentar el contenido de humedad inicial.

b) Cuando la intensidad de precipitación es menor que la capacidad de infiltración y el contenido de humedad del suelo o roca es mayor o igual a su capacidad de campo. Como el suelo o roca se encuentra en una condición cercana a la capacidad de campo, parte de la precipitación se convertirá eventualmente en escurrimiento sobre el terreno; sin embargo, los volúmenes seguirán siendo de poca cuantía. El flujo subsuperficial será importante.

c) Cuando la intensidad de precipitación es mayor que la capacidad de infiltración y el contenido de humedad del suelo o roca es menor a su capacidad de campo. El suelo o roca presenta una deficiencia de humedad importante, de modo que el agua que

precipite, a pesar de que la capacidad de infiltración es reducida, se utilizará en abastecer de humedad al suelo, escurriendo sólo una porción relativamente pequeña.

d) Cuando la intensidad de precipitación es mayor que la capacidad de infiltración y el contenido de humedad del suelo o roca es mayor o igual a su capacidad de campo. En este caso, al encontrarse el suelo o roca en una condición cercana a la saturación, no permitirá una infiltración importante, de modo que la mayor parte se convertirá en escurrimiento sobre el terreno. El flujo subsuperficial también será importante. Cuando la parte somera de un suelo no permite una infiltración importante, se forma el denominado flujo Hortoniano, es decir, la saturación en un suelo o roca tendrá lugar sólo en una porción cercana a la superficie, siendo incapaz el frente de humedad de avanzar a mayor profundidad, favoreciendo de esta manera al escurrimiento sobre el terreno.

La vía más acertada para realizar los cálculos de transito de avenidas es a través de los hidrogramas.

Hidrogramas

El hidrograma es una representación gráfica o tabular de la variación en el tiempo de los gastos que escurren por un cauce. El gasto (Q) se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo (m^3/s) que escurre por un cauce(Castellet, 2014).

El hidrograma se define para una sección transversal de un río y si los valores obtenidos se grafican contra el tiempo se obtendrá una representación gráfica como la de la figura 1.2. La figura 1.2 representa un hidrograma anual y si la escala se amplía de tal manera que se pueda observar el escurrimiento producido por una sola tormenta, se obtendrá una gráfica como la que se muestra en la figura 1.3. En este caso el significado de las variables es: t_o es el tiempo de inicio del escurrimiento directo; t_p es el tiempo pico y se define como el tiempo que transcurre entre el inicio del escurrimiento y el gasto máximo o pico; t_b es el tiempo base y equivale al lapso de tiempo durante el cual ocurre el escurrimiento directo; y Q_b es el gasto base(Castellet, 2014).

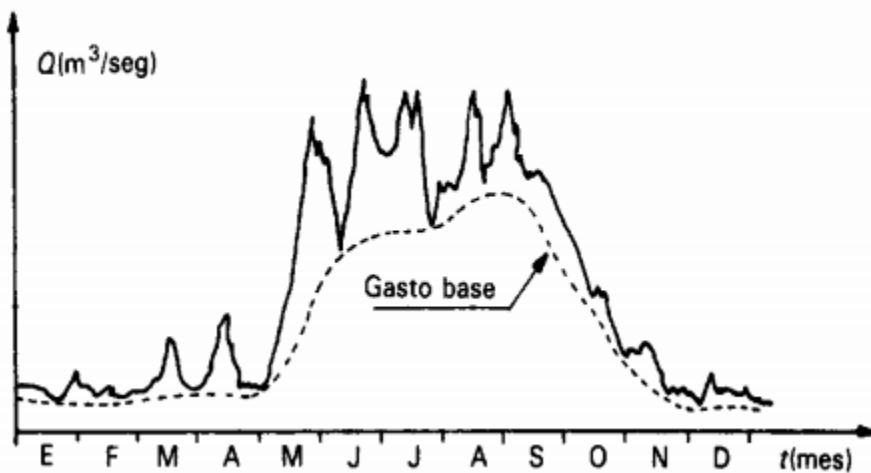


Figura: 1.2 Hidrograma anual.

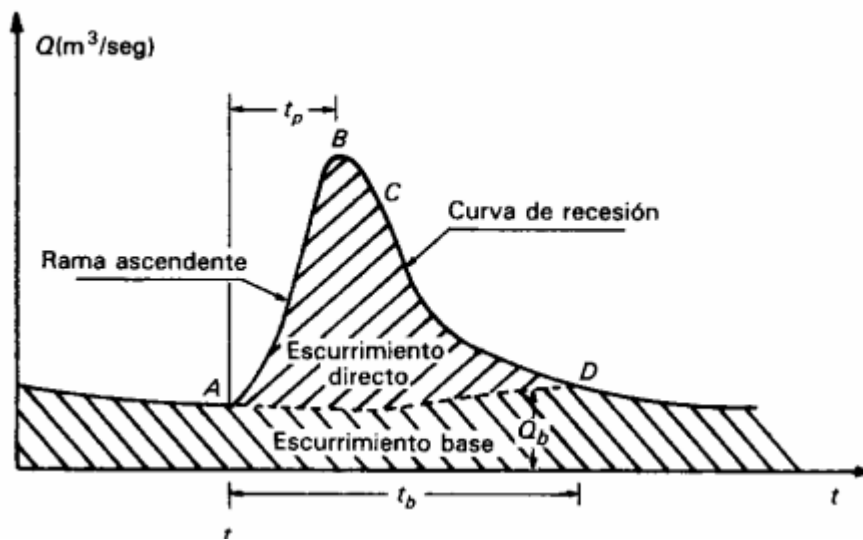


Figura: 1.3 Hidrograma aislado de una tormenta.

Los elementos fundamentales del hidrograma son: el gasto antecedente; la rama ascendente; la cresta o pico; la rama descendente; la curva de recesión; y el gasto base. A continuación, se define cada uno de ellos.

El gasto antecedente: Es el valor donde tiene inicio la rama ascendente; esto es, cuando la condición de saturación en una zona de la superficie de la cuenca es tal que cualquier evento de precipitación propiciará el escurrimiento directo.

La rama ascendente: Es aquella parte del hidrograma que muestra una fuerte pendiente positiva, uniendo el punto asociado al gasto antecedente con el segmento correspondiente a la cresta o pico del escurrimiento.

La cresta o pico: Es el valor máximo del escurrimiento y en ocasiones la rama ascendente se une en un sólo punto, el gasto pico, con la rama descendente; en otras se presenta un cambio notorio en la pendiente del hidrograma antes de alcanzar el gasto pico, es decir, aun cuando se trata de una pendiente positiva, su valor es mucho menor al de la rama ascendente antes del gasto pico.

La rama descendente: Se inicia cuando se presenta el gasto pico y puede ser que al comienzo el descenso sea lento, mostrando pendientes relativamente pequeñas; posteriormente el descenso será franco y la pendiente aumentará considerablemente hasta que algún otro evento de escurrimiento tenga lugar. Si los eventos de escurrimiento ya no son relevantes, de modo que la rama descendente mantiene su tendencia, entonces llegará un momento en el cual se presentará un cambio notorio en la pendiente del hidrograma. En ese momento se forma la curva de recesión, es decir, aquel tramo que mantiene una pendiente negativa, pero con un valor mucho menor al que está asociado con la rama descendente.

La curva de recesión: Es el resultado de aportes de otros sistemas con otras características, y que son notorios después del escurrimiento directo. Tales aportes podrían tener como origen el medio poroso de las riberas aguas arriba de la sección donde se lleva a cabo la medición; cuando los niveles o tirantes en el río aumentan, las riberas, en algunas partes, serán capaces de captar cantidades importantes de agua a través de infiltraciones en las paredes de las riberas, las cuales serán liberadas una vez que los niveles desciendan nuevamente. Los tiempos de respuesta en el cauce son mucho más rápidos que los que tienen lugar en las riberas. La curva de recesión tenderá a estabilizarse alrededor de un valor casi constante, con oscilaciones relativamente pequeñas; esto ocurre en la época de estiaje.

El gasto base: Es el valor casi constante al cual tiende la curva de recesión. Generalmente se asocia con el aporte del agua subterránea; sin embargo, como se

1.3 CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA ZAZA:

Para este estudio se tomó la cuenca Zaza del municipio de Sancti Spíritus provincia de Sancti Spíritus la que se describe a continuación.



La cuenca Zaza tiene una extensión geográfica de 2413 Km² hasta la desembocadura con el mar en las coordenadas N: 200.000 y E: 652.200, ocupando un área de 313 Km² en la Provincia Villa Clara y 2100 Km² en la provincia Sancti Spíritus. Limita al norte con las cuencas Sagua la Grande y Camajuaní, al oeste con la cuenca Agabama y al

este con la cuenca Jatibonico del Sur y al Sur con el Mar Caribe, su afluente principal es el río Zaza segundo más grande del país que nace en la Ciudad de Placetas en su inicio corre en dirección sureste inclinándose posteriormente al sur y sobre su cauce se encuentra en explotación desde el año 1970 el embalse y la presa del mismo nombre que constituye la de mayor capacidad de embalse del país 1020 Hm³(Felipe, 2018).

Situación geográfica; Provincia o provincias que la componen; área total en Km² y su distribución por provincias.

Cuenca del Río Zaza.

El río Zaza tiene una longitud de 155 kilómetros, nace en el reparto Guaracabulla perteneciente al municipio Placetas en la provincia de Villa Clara, en una zona llana y semiondulada en las coordenadas N: 235 600 y E: 638 200, a una altitud de 190 m.s.n.m. En su inicio corre en dirección sureste inclinándose posteriormente al sur y atravesando diferentes municipios como: Placetas, Cabaiguán, Taguasco y Sancti Spíritus hasta desembocar en el mar Caribe como se muestra en la figura 1.2 en las coordenadas N: 200 000 y E: 652 200. Este río funciona como límite municipal de algunos municipios como: Taguasco, Sancti Spíritus y La Sierpe.

En su curso el río Zaza forma meandros bien desarrollados y saltos como en la zona del Saltadero en el municipio de Cabaiguán, también forma cañones cárnicos al atravesar la Sierra de las Damas.

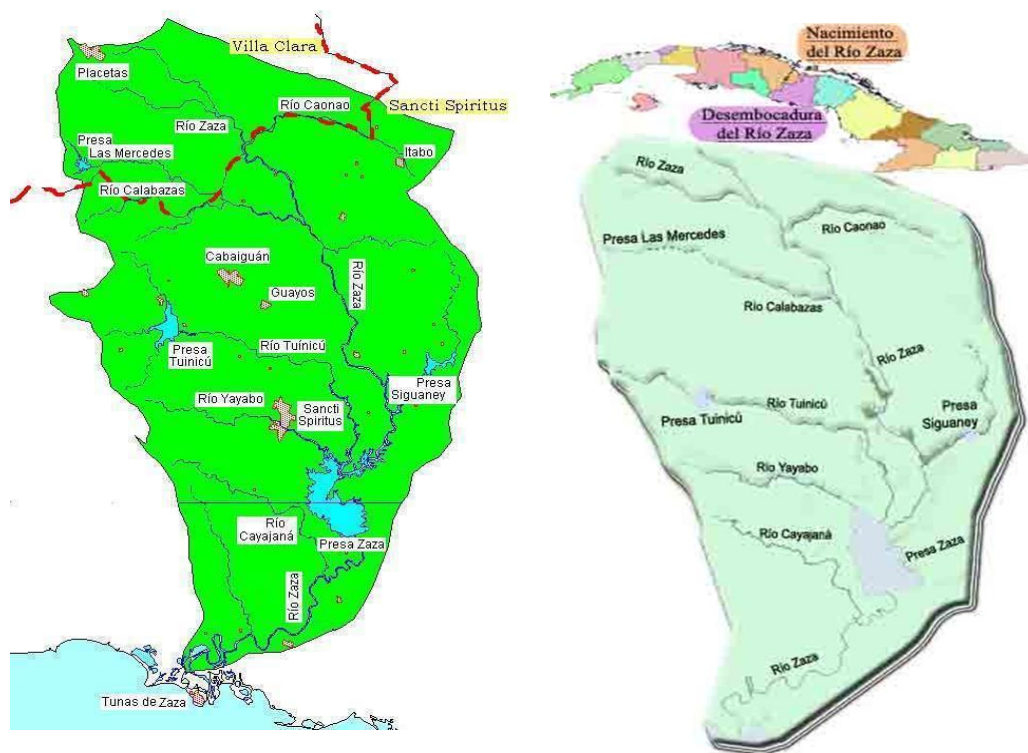


Figura: 1.5 Afluentes de la cuenca Zaza

Se trabaja en la implementación de un sistema de alerta temprana que permita el tránsito gradual de las avenidas por la regulación del embalse mediante la operación temprana de las compuertas del aliviadero con el fin de evitar estas inundaciones aguas abajo. La desembocadura en la costa sur ha formado la Punta Ladrillo, creando un delta de cúspide.

En la tabla 1.1 se muestran algunas características importantes de la cuenca Zaza.

Tabla: 1.1. Parámetros Morfométricos Cuenca Zaza(Felipe, 2018)

Área hasta la desembocadura con el mar	2413 km ²
Longitud del Río Principal	155 Km
Pendiente del cauce del Río	1.70 ‰

De los 94 focos contaminantes existentes, 64 vierten sus residuales en las aguas superficiales y de ellos 80% carecen de sistemas de tratamiento. Los más problemáticos pertenecen a la Industria Azucarera y al Ministerio de la Agricultura

Breve descripción del Relieve y los tipos de suelos existentes.

El relieve en la cuenca Zaza es casi igual al del territorio espirituario formado en su totalidad por llanuras pantanosas en la figura a continuación podemos observar la diferencia poco notable de estas formaciones rocosas.

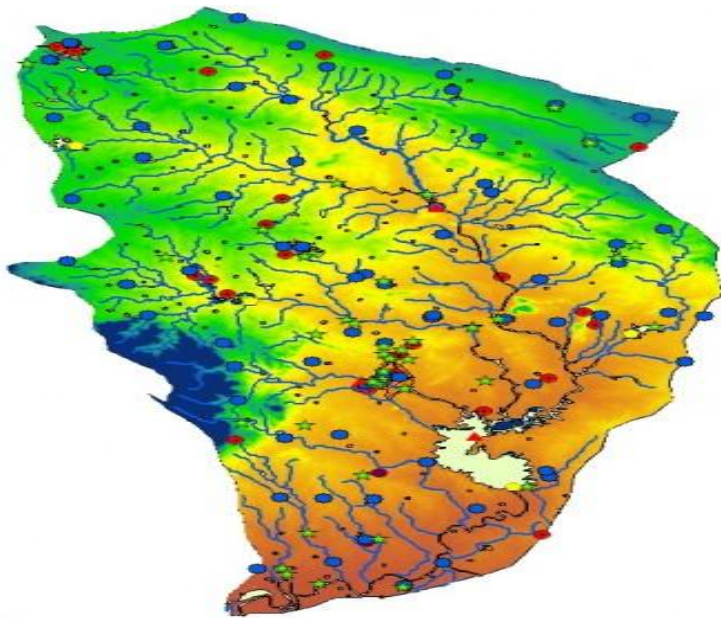


Figura: 1.6 Análisis de suelo de la Cuenca Zaza

Para entender que es el tránsito de avenidas y como es su recorrido en el terreno mostramos la figura 1.6 o diagrama del escurrimiento natural.



Figura: 1.7 Escurrimiento natural y tránsito de avenidas

Relieve

La cuenca Zaza presenta una gran diversidad de paisajes físico-geográficos; como la llanura pantanosa palustre marina, en la desembocadura del río, otros tipos de llanuras de variada génesis y morfología, oscilando desde llanuras bajas a altas, con presencia de diferentes tipos de colinas, altiplanicies y montañas de más de 700,00 m.s.n.m. en la que se incluye las montañas de Sancti Spíritus (Consejo de Cuenca Provincial, 1997)(Felipe, 2018).

Si realizamos una tabla aclarativa sobre los tipos de suelos existentes en la cuenca podemos resumir que:

Tabla: 1.2 tipos de suelos de cuenca Zaza(Felipe, 2018)

Tipo de suelo	Área (ha)	%
1. Ferralítico rojo	51.76	0.04
2. Ferralítico rojo lixiviado	452.73	0.28
3. Ferralítico amarillento	2178.70	1.33
4. Ferralítico cuarcíco amarillo lixiviado	1064.10	0.65
5. Ferralítico cuarcíco amarillo rojizo lixiviado	3098.98	1.9
6. Ferralítico rojo pardusco ferromagnesial	2800.17	1.71
7. Fersialítico pardo rojizo	12920.89	7.91
8. Pardo sin carbonato	37860.62	23.18
9. Pardo con carbonato	57722.73	35.32
10. Pardo grisáceo	4933.17	3.02
11. Húmico carbonato	679.10	0.42
12. Rendzina roja	109.54	0.07
13. Rendzina negra	1760.76	1.08
14. Oscuro plástico gleizado	488.87	0.30
15. Oscuro plástico gleizoso	306.76	0.19
16. Oscuro plástico no gleizado	3175.46	1.94
17. Gley ferralítico	996.08	0.61
18. Gley amarillento cuarcítico	3439.90	2.10
19. Húmico margo	2287.63	1.39
20. Aluvial	9241.93	5.65
21. Esquelético	10188.02	6.23

Como se puede apreciar los suelos que predominan son los pardos con carbonatos y pardo sin carbonatos que representan el 35.32% y 23.18% respectivamente, representando más del 50% del área. En su mayoría son suelos bien estructurados, de buena fertilidad natural, pero sus posibilidades de uso están en dependencia de otros factores como relieve, pedregosidad, rocosidad y profundidad efectiva.

Un factor muy importante al valorar las áreas de la cuenca es la erosión, ya que existen grandes pérdidas en la porción superior del perfil del suelo, notándose en blanquiales de subsuelos de los terrenos sobre carbonato, acumulaciones de suelos en las depresiones, abundantes zanjillos y cárcavas, presencia del subsuelo o materiales basales en la superficie, así como gravas y piedras.

Las áreas afectadas por estos nefastos fenómenos según las pérdidas en el perfil del suelo son como sigue:

e1- muy fuerte erosionado - 7377 ha - 4.51%

e2- fuertemente erosionado - 26441.5 ha - 16.18%

e3- medianamente erosionado - 64214.29 ha - 39.30%

e4- débilmente erosionado - 54018.73 ha - 33.06%

Como se puede observar el 93.05% del área mapificada está afectada por este factor, por lo que es necesario medidas de conservación y mejoramiento de los suelos de la cuenca.

La siguiente tabla es muy elocuente:

Suelos	Áreas que ocupan	% cuenca
Poco profundos (25 a 50 cm)	67 802.1 ha	41.50%
Muy poco profundos	112 905.3 ha	27.60%
TOTAL	112 905.3 ha	69.10%

El drenaje natural de estos suelos se encuentra influenciado por diversos factores, entre los que desempeña un importante papel la existencia de pendientes superiores a 15° de inclinación, tanto dentro de las montañas (donde se contabilizan 6750 ha con drenaje excesivo), como en sectores aislados del interior de la cuenca, donde se alcanzan valores similares de la pendiente (con un total de 3150 ha con esa categoría de drenaje).

La siguiente tabla representa el comportamiento de este factor en los suelos de la cuenca:

Drenaje natural de los suelos de la cuenca del río Zaza

Tabla: 1.3 Drenaje de la cuenca

Categoría de drenaje	Área que ocupa (ha)	% que representa del total
Excesivo	9 900.00	5.94
Bueno	126 832.30	76.21
Regular	13 775.00	8.27
Malo	15 900.00	9.55

1.4 DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ZAZA (DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA QUE CONFORMA LA CUENCA ZAZA)



Figura 1.8 Puntos de observaciones hidrométricas

La cuenca del río Zaza dispone de observaciones hidrométricas en dos estaciones Paso Ventura sobre el río Zaza y Bernardo Áreas Castillo sobre el afluente Yayabo, el cual atraviesa a la ciudad de Sancti Spíritus (Felipe, 2018).

Características fundamentales de la Estación Hidrométrica Paso Ventura. Río Zaza.

Ubicación Geográfica: Se encuentra ubicada en la margen derecha del Río Zaza en las coordenadas N: 256.49 E: 663.8 a una altura de 80 m.s.n.m., la misma se encuentra ubicada en la comunidad el Saltadero en el municipio de Cabaiguán. Las avenidas no son rápidas ya que su cuenca es muy grande.

Tabla 1.4 Parámetros Morfométricos de la estación Paso Ventura.

Parámetros Morfométricos de la Estación Paso Ventura.	
Área	841.0 km ²
Longitud del Río	45.0 Km
Pendiente del Río	2.87 %
Altura media	159 m
Cota cierre	56.10

Datos Hidrológicos importantes:

- Gasto Medio Anual 9.86 m³/s
- Lluvia Media 1411.6 mm
- Módulo 11.7 l/s/km²

El acceso a la Estación es por la carretera que va desde Cabaiguán al Saltadero.

Características de la Estación Hidrométrica Bernardo Áreas Castillo. Río Yayabo

La Estación Hidrométrica Bernardo Áreas Castillo es de segundo orden y se encuentra ubicada en el margen derecho del río Yayabo en las coordenadas N: 234.0 E: 658.75 a unos 2 km aguas arriba de la Ciudad de Sancti Spíritus y a unos 8 km sus aguas se incorporan a la presa Zaza mayor embalse de Sancti Spíritus y de Cuba. La Cuenca del Yayabo limita con las cuencas Caracusey, Cayajaná y Tuinucú.

La asimetría de la cuenca es moderada al igual que su sinuosidad es uno de los principales afluentes del Zaza. El río Yayabo tiene el cauce no deformable al igual que su control que sufre pocos cambios porque es de roca. La relación escala gasto sufre pocas variaciones.

La estación comenzó a funcionar en 1972 realizando observaciones de nivel y aforos de vadeo y C.V. molinete y flotador. En la Estación se tomaron muestras para análisis químicos los cuales fueron suspendidos en 1992.

Tabla 1.5 Parámetros Morfométricos de la estación Bernardo Arias Castillo.

Parámetros Morfométricos Bernardo Áreas Castillo.	
Área	70.5 km ²
Longitud del río	22,2,km
Pendiente del río	11,9 %
Altura media de la Cuenca	219 m
Cota cero	49.50 m.s.n.m

Datos Hidrológicos importantes:

- Nivel Máximo 775 cm
- Gasto Medio Anual 1.15 m³/s.
- Lluvia Media 1659.6 mm
- Modulo Escurrimiento 15.8 L/s/km²

La presa cuenta con embalses secundarios y canales los que se describen en los anexos de este trabajo.

Comportamiento de las precipitaciones en la cuenca Zaza en los últimos 30 años.

La cuenca presenta la particularidad de que las precipitaciones en su curso alto son equiparables con las del curso bajo; presentando la mayor pluviosidad en el curso medio, influenciado por las Alturas de Sancti Spíritus.

La cuenca se caracteriza por presentar precipitaciones medias anuales del orden de los 1400mm, hacia el norte del Embalse Zaza estos fluctúan entre 1200 y 1500 mm anuales y al sur decrece hacia la costa con valores medios de 1600 a 1000 mm anuales. Existen dos períodos bien delimitados en el año, el lluvioso (mayo-octubre) que representa el 81% del total anual y el poco lluvioso (noviembre-abril) con el 19%. La distribución espacial en ambos períodos es similar al anual. Los meses más lluviosos son mayo, junio y septiembre, y los de menor pluviosidad diciembre y enero.

CAPITULO II. PRESENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO Y CÁLCULOS HIDROMÉTRICOS

2.1 OBTENCIÓN DE LOS DATOS FUNDAMENTALES DEL TRÁNSITO DE AVENIDA EN LA CUENCA

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de la ciudad de Sancti Spíritus no cuenta con un análisis detallado de la situación de tránsito de avenidas por lo que se dificulta el trabajo a la hora de tomar decisiones para minimizar los impactos negativos de los eventos hidrometeorológicos. Partiendo primeramente de todos los datos obtenidos, como anteriormente se hizo referencia en el Capítulo 1, de los reportes de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Sancti Spíritus. Partiendo de ello se realizó la creación de sistema de cálculo con la herramienta Microsoft Excel, el cual primeramente ejecutaría una simulación hidrométrica de los embalses Tuinucú y Siguaney, así como de las estaciones Yayabo y Paso Ventura.

Seguido a la simulación hidrométrica programa realizado, ejecutaría una simulación hidrométrica, utilizando fundamentalmente los datos obtenidos en la simulación anteriormente dicha, y desde ese momento se proponen automáticamente, en seis variantes, las turbinas que mejor se adecuan al embalse.

A continuación, se presenta el esquema de flujo por el cual nos guiaremos para la simulación:

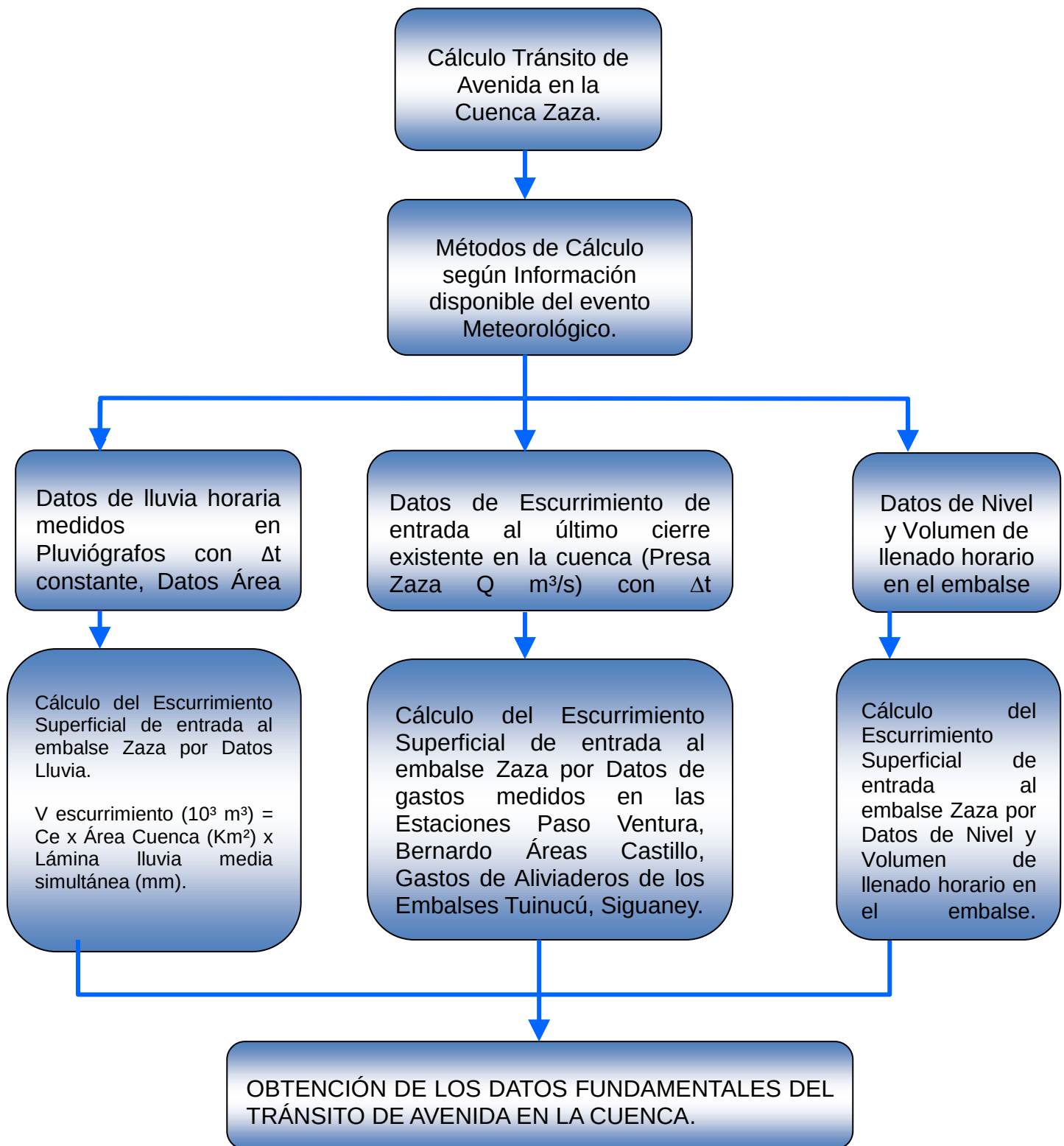


Figura: 2.1. Esquema que representa las tres vías de cálculo de las avenidas en la Cuenca Zaza.

Descripción de la metodología de trabajo para realizar la modelación matemática de la avenida en TRANSA.

El desarrollo de este trabajo se basa en la obtención del tránsito de las principales avenidas en la cuenca Zaza utilizando Microsoft Excel y las vías de cálculo siguientes:

- Cálculo de la avenida por datos de escurrimiento de entrada al último cierre existente en la cuenca (Presa Zaza $Q \text{ m}^3/\text{s}$) con Δt constante.
- Cálculo de la avenida un Balance Hídrico Especial en Eventos Extremos por datos de Nivel y Volumen de llenado en el embalse Zaza con frecuencia de dos horas.

2.2 ANÁLISIS Y RECOLECCIÓN DE LOS DATOS HIDRÁULICOS NECESARIOS.

Se recolectaron los datos de las intensas lluvias ocurridas durante un período de 5 días (del 23 al 27 de mayo) del año 2012, se seleccionaron los necesarios para desarrollar la simulación de la avenida y se procedió a utilizar la herramienta TRANSA diseñada en Microsoft Excel, esta basa de datos se confecciona con la realización de varias tablas dentro del mismo Excel.

Confección de las hojas de cálculo de cada objeto a analizar y de la avenida por datos de escurrimiento de entrada al último cierre existente en la cuenca (Presa Zaza $Q \text{ m}^3/\text{s}$) con Δt constante:

El sistema automatizado cuenta con un panel de control que permite el movimiento por las diferentes hojas de cálculo donde se encuentran las tablas y gráficos que ilustran el tránsito de la avenida por la cuenca.

Para lograr esto se confecciona una tabla con hipervínculos a cada hoja descriptiva las que se le introducen los datos de recolección histórica tomando para ello cuatro columnas principales a la derecha las que se registrarán el nivel de aguas del embalse, nivel por encima de la obra de toma , el cual no existe forma de realizar las mediciones en estos momentos, luego una columna con el gasto de salida por el aliviadero y por último el gasto total el cual hará sumatoria al gasto de salida por aliviadero más el

gasto por la obra de toma en la tabla 2.1 se muestra la confección de la tabla y su llenado por columnas.

En el margen derecho se realiza el hipervínculo de las hojas con el menú y con las demás hojas de cálculo.

Tabla 2.1: Gastos del aliviadero Tuinucú.

GASTOS POR EL ALIVIADERO TUINUCU							Regresar Menu Princi	Imprimir
Fecha	Hora inicial		Huso Horario	NIVEL	Gasto de Salida			
	Hora	minutos			O.TOMA	Aliviadero Principal	Gasto Salida Total	
23	2		am				0	
	4		am				0	
	6		am				0	
	8		am				0,000	
	10		am				0,000	
	12		m				0,000	
	14		pm				0,000	
	16		pm				0,000	
	18		pm	113,5		0,0	0,000	
	20		pm	115,5		66,0	66,000	
	22		pm	116,5		166,0	166,000	
	24		pm	117,0		266,0	266,000	
24	2			117,2		449,0	449,000	
	4		am	117,4		366,0	366,000	
	6			117,6		599,0	599,000	
	8		am	117,8		466,0	466,000	
	10			117,6		418,0	418,000	
	12		am	117,4		370,0	370,000	
	14			117,3		293,0	293,000	
	16		am	117,2		216,0	216,000	

Calcular el Q Maximo

668,000

25-05-12

16

Calcular Q Salida

Abrir Hidrografo Salida Tuinucu

Luego del llenado de los datos se procede a realizar una gráfica introduciendo los datos para el eje horizontal Tiempo en horas el cual tendrá detalle dividido en 2 horas diarias, Tiempo (h), y por el eje vertical el gasto desde 0- 800 Q (m³/s) el gráfico tendrá como título Hidrógrafo de salida del embalse o de la estación en cuestión como se muestra en la figura 2.2.

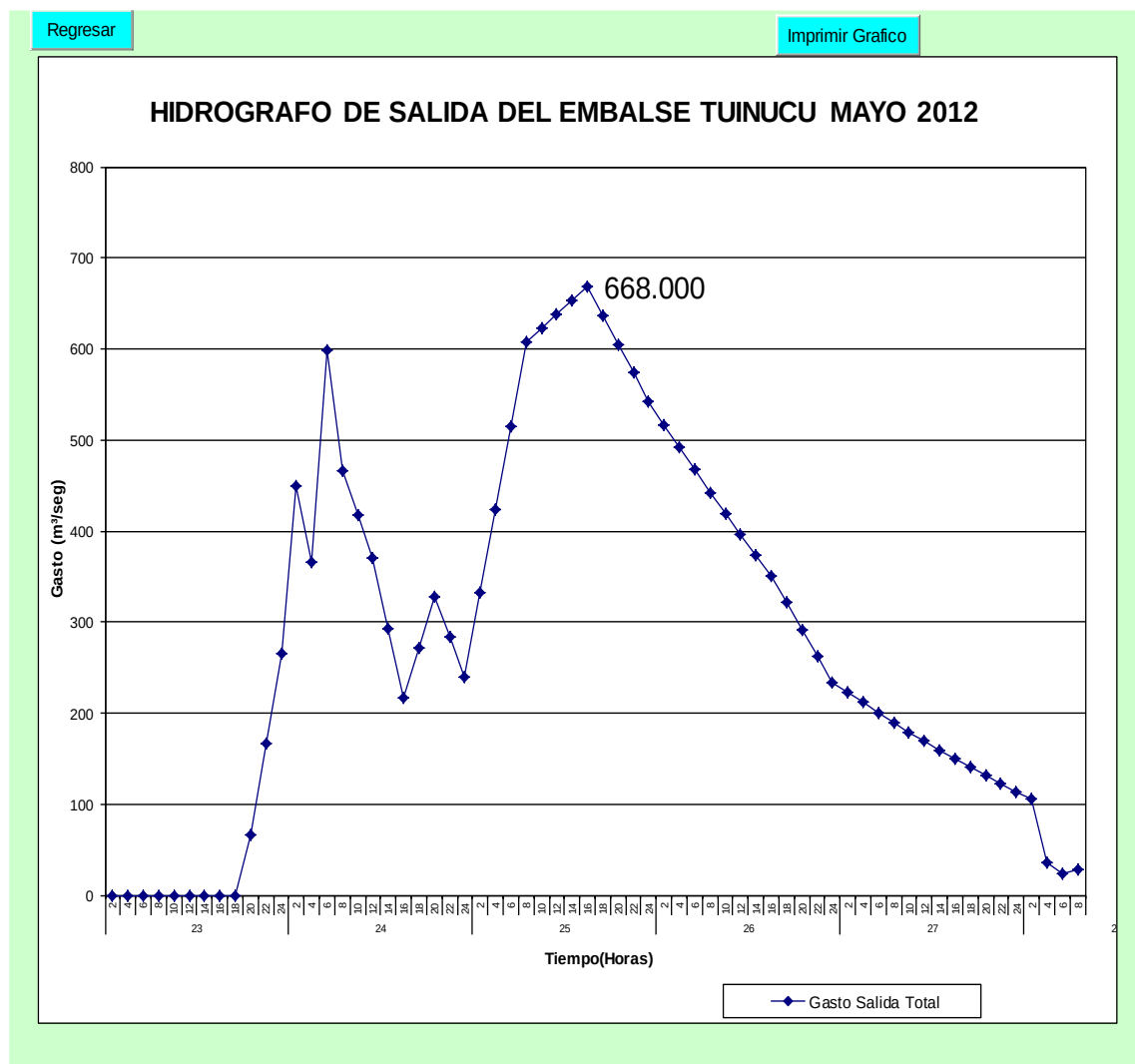


Figura 2.2: Hidrógrafo de salida del embalse Tuinucú.

Esta operación se realizará para cada una de los objetos de estudios sean embalses y/o estaciones, las que de la misma forma tendrán hipervínculos con una hoja resumen.

Cálculo de la avenida por sumatoria de datos de escurrimiento de entrada al último cierre existente en la cuenca (Presa Zaza $Q \text{ m}^3/\text{s}$) con Δt constante.

Cálculo del hidrógrafo resultante por los datos de las estaciones hidrométricas y cálculo aproximado del gasto. Estos se realizarán mediante la suma de todos los hidrógrafos,

luego el valor del gasto incógnita se sumará dentro de la misma tabla al gasto de entrada a Zaza como se observa en la tabla 2.2.

Tabla: 2.2 Sumatoria de los hidrógrafos y cálculo del hidrógrafo resultante

Fecha	Hora inicial		uso Horario	Gasto Entra Zaza Balance	Volúmenes Alcanzados Por Zaza	Volumen pico Zaza	Hidrógrafo Resultante Por Suma	Gasto Pico Resultante	Gasto Incógnita Incorporado	Gasto en P.Ventura	Gasto en Yayabo	Gasto Aliv Síguaney	Gasto Aliv Tuinucu
	Hora	minutos											
23	2	0	am	27,78	200,80	0	4,1	0	23,68	1,800	2,3		
	4	0	am	138,89	201,00	0	5,1	0	133,79	1,900	3,2		
	6	0	am	76,39	202,00	0	6,2	0	70,19	2,000	4,2		
	8	0	am	2423,61	202,55	0	11,0	0	2412,60	2,510	8,5		
	10	0	am	2500,00	220,00	0	18,8	0	2481,22	4,680	14,1		
	12	0	m	277,78	238,00	0	108,1	0	169,68	9,800	98,3		
	14	0	pm	1111,11	240,00	0	159,4	0	951,71	21,400	138,0		
	16	0	pm	2222,22	248,00	0	199,4	0	2022,82	89,400	110,0		
	18	0	pm	2222,22	264,00	0	398,8	0	1823,42	272,800	126,0		0,0
	20	0	pm	1111,11	280,00	0	613,0	0	498,11	384,000	163,0		66,0
	22	0	pm	1388,89	288,00	0	793,1	0	595,79	497,600	129,0	0,5	166,0
	24	0	pm	1944,44	298,00	0	1463,0	0	481,44	939,000	254,0	4,0	266,0
24	2	0	am	2222,22	312,00	0	2463,0	0	-240,78	1747,000	262,0	5,0	449,0
	4	0	am	3333,33	328,00	0	3136,4	3136,4	196,93	2644,000	120,0	6,4	366,0
	6	0	am	2777,78	352,00	0	2433,4	0	344,38	1758,000	60,0	16,4	599,0
	8	0	am	7222,22	372,00	0	1543,4	0	5678,82	1007,000	44,0	26,4	466,0
	10	0	am	6666,67	424,00	0	1080,4	0	5586,32	562,000	45,0	55,4	418,0
	12	0	am	3333,33	472,00	0	980,3	0	2353,03	442,000	84,0	84,3	370,0
	14	0	am	2222,22	496,00	0	1080,0	0	1142,27	497,000	184,0	106,0	293,0
	16	0	am	1111,11	512,00	0	981,6	0	129,51	566,000	72,0	127,6	216,0
	18	0	am	2222,22	520,00	0	1239,3	0	982,92	819,000	41,0	107,3	272,0
	20	0	am	1944,44	536,00	0	1549,0	0	395,44	1086,000	48,0	87,0	328,0
	22	0	am	2222,22	550,00	0	1571,2	0	651,02	1056,000	161,0	70,2	284,0
	24	0	m	8194,44	566,00	0	1519,4	0	6675,04	1131,000	95,0	53,4	240,0

Luego de haber calculado el hidrógrafo resultante por los datos de las estaciones hidrométricas y cálculo aproximado del gasto se procede a graficar los resultados como se muestra en la figura 2.3.

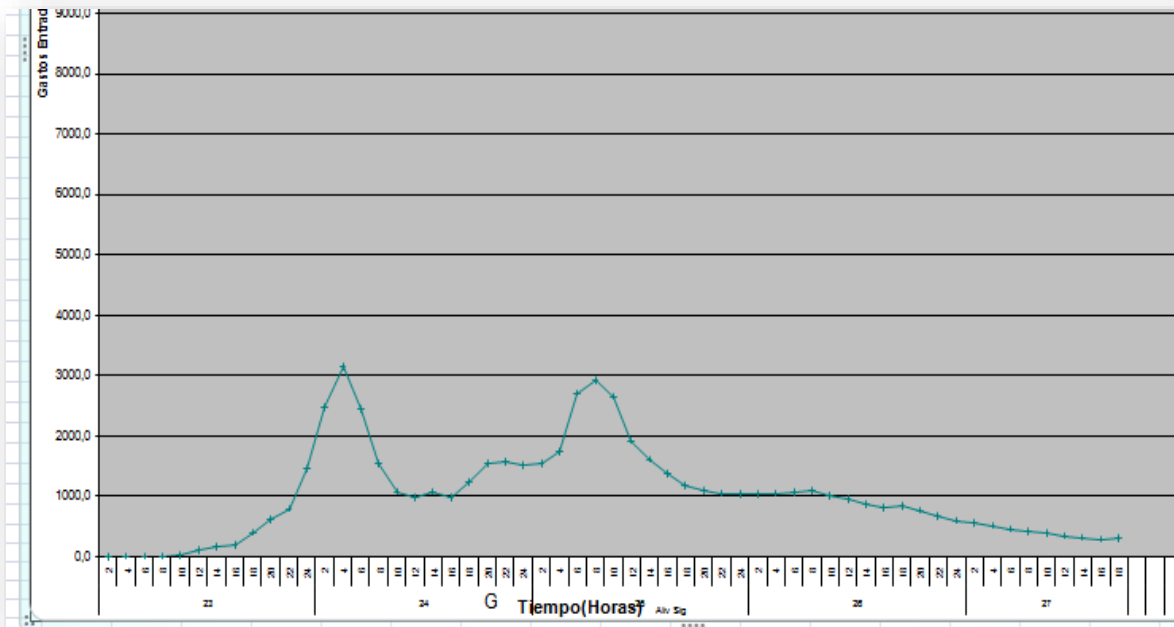


Figura: 2.3 Gráfica del hidrógrafo resultante

2.3 CÁLCULO DE LA AVENIDA MEDIANTE LA FORMULACIÓN MATEMÁTICA DE UN BALANCE HÍDRICO (ESPECIAL EN EVENTOS EXTREMOS).

Balance Hídrico Superficial

La evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

La ecuación de Balance Hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Galvez, 2011). En general podemos afirmar que:

Del agua que cae en un determinado sitio (**precipitación = PP**)

Parte vuelve a la atmósfera ya sea por evaporación directa o por

Transpiración de la vegetación (**evapotranspiración = ET**);

•Otra parte escurre por la superficie de la cuenca (**escorrentía superficial = Esc**).

Este escurrimiento, fluye a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar, y el resto se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (**infiltración = I**).

Estas magnitudes deben cumplir con la siguiente ecuación que se conoce con el nombre de Balance Hidrológico.

$$PP = ET + Esc + I \quad \text{Ec. 2.1}$$

La fórmula general que se utiliza en el Balance Hidrológico es la siguiente:

$$PP - ET = Esc + I \quad \text{Ec. 2.2}$$

PP: Precipitación.

I: Infiltración.

ET: Evapotranspiración.

Esc: Escorrentía.

Del Balance Hidrológico, podemos conocer el estado de humedad de la cuenca, la cual está asociada al aporte de precipitación recibida y descontando las pérdidas generadas, estamos en la condición de clasificar el tipo de año (húmedo, normal o seco).

Se cuenta con datos de Nivel y Volumen de llenado en el embalse Zaza con frecuencia de dos horas del evento meteorológico de mayo 2012.

La tabla 2.6 que se referencia a continuación contiene un hipervínculo que asocia cada hoja de cálculo con el valor de cada hidrógrafo y calculando así el hidrógrafo resultante también podemos conocer el valor del llenado medio y máximo de cada día.

Tabla: 2.3. Hidrógrafo resultante por el método del Balance Hídrico y por la sumatoria de los gastos medios en los embalses y estaciones de la cuenca.

Calcular Hora Inicio				Calcular Hora Final				Menu Principal				Imprimir															
Hidrógrafo Resultante por el Método de Balance Hídrico y por la Sumatoria de los Gastos Medidos en los Embalses y Estaciones Hidrométricas de la Cuenca.																											
Fecha	Hora	Hora	minutos	Uso	Hora	Hora	minutos	Hora	Hora	minutos	Uso	Variación de tiempo	cantidad de segundos	Variación de tiempo Seg	NIVEL	VOLUMEN	variación de volumen	Variación de Gasto	Gasto Total de	Gasto de Salida				Gasto medio	Volumen		
				Horario				Inicio	Final		Horario	0 de una hora	DT (seg)	INICIAL	AREGLAR	INICIAL	FINAL	DIV m³/s	DQ m³/s	Entrada o Natural	O.TOMA	Aliviadero Principal	Aliviadero Auxiliar	Gasto Salida	m³/s	Avenida hm³	
23	2			am	4	0		2.00	4.00		am	2.000	3600	7200	27.92	27.92	202.20	202.20	0.00	0	0.00				0		
	4			am	6	0		4.00	6.00		am	2.000	3600	7200	27.92	27.92	202.20	202.20	0.00	0	0.00				0		
	6			am	8	0		6.00	8.00		am	2.000	3600	7200	27.92	27.92	202.20	202.20	0.00	0	0.00				0		
	8			am	10	0		8.00	10.00		am	2.000	3600	7200	27.92	28.62	202.20	232.90	30.70	4264	4263.89				0		
	10			am	12	0		10.00	12.00		am	2.000	3600	7200	28.62	28.74	232.90	238.00	5.10	708	708.33				0		
	12			m	14	0		12.00	14.00		m	2.000	3600	7200	28.74	28.78	238.00	240.00	2.00	278	277.78				0		
	14			pm	16	0		14.00	16.00		pm	2.000	3600	7200	28.78	28.96	240.00	248.00	8.00	1111	1111.11				0		
	16			pm	18	0		16.00	18.00		pm	2.000	3600	7200	28.96	29.30	248.00	264.00	16.00	2222	2222.22				0		
	18			pm	20	0		18.00	20.00		pm	2.000	3600	7200	29.30	29.64	264.00	280.00	16.00	2222	2222.22				0		
	20			pm	22	0		20.00	22.00		pm	2.000	3600	7200	29.64	29.81	280.00	288.00	8.00	1111	1111.11				0		
	22			pm	24	0		22.00	24.00		pm	2.000	3600	7200	29.81	30.03	288.00	298.00	10.00	1389	1388.89				0		
	24			pm	2	0		24.00	2.00		pm	2.000	3600	7200	30.03	34.84	298.00	312.00	14.00	1944	1944.44				0		
24	2			am	4	0		2.00	4.00		am	2.000	3600	7200	31.38	32.00	312.00	328.00	16.00	2222	2222.22				0		
	4			am	6	0		4.00	6.00		am	2.000	3600	7200	32.00	32.24	328.00	352.00	24.00	3333	3333.33				0		
	6			am	8	0		6.00	8.00		am	2.000	3600	7200	32.24	32.48	352.00	372.00	20.00	2778	2777.78				0		
	8			am	10	0		8.00	10.00		am	2.000	3600	7200	32.48	32.72	372.00	424.00	52.00	7222	7222.22				0	2403.3860	
	10			am	12	0		10.00	12.00		am	2.000	3600	7200	32.72	32.96	424.00	472.00	48.00	6667	6666.67				0		
	12			m	14	0		12.00	14.00		m	2.000	3600	7200	32.96	33.29	472.00	496.00	24.00	3333	3333.33				0		
	14			pm	16	0		14.00	16.00		pm	2.000	3600	7200	33.29	33.51	496.00	512.00	16.00	2222	2222.22				0		
	16			pm	18	0		16.00	18.00		pm	2.000	3600	7200	33.51	33.62	512.00	520.00	8.00	1111	1111.11				0		
	18			pm	20	0		18.00	20.00		pm	2.000	3600	7200	33.62	33.84	520.00	536.00	16.00	2222	2222.22				0		
	20			pm	22	0		20.00	22.00		pm	2.000	3600	7200	33.84	34.04	536.00	550.00	14.00	1944	1944.44				0		
	22			pm	24	0		22.00	24.00		pm	2.000	3600	7200	34.04	34.26	550.00	566.00	16.00	2222	2222.22				0		
	24			pm	2	0		24.00	2.00		pm	2.000	3600	7200	34.26	38.96	566.00	625.00	59.00	8194	8194.44				0		

El llenado de esta tabla nos proporciona los datos para realizar el grafico de llenado de la presa Zaza la cual se irá actualizando según se incorporen diariamente, en la gráfica2.7 observamos estos detalles a partir del día 23 y hasta el 27 de mayo del 2012. Es importante referir que en este trabajo no se tenía cuando se comenzó ningún tipo de dato y se recolectaron para la realización del; mismo y así poder contar con una herramienta disponible para llegar a resultados.

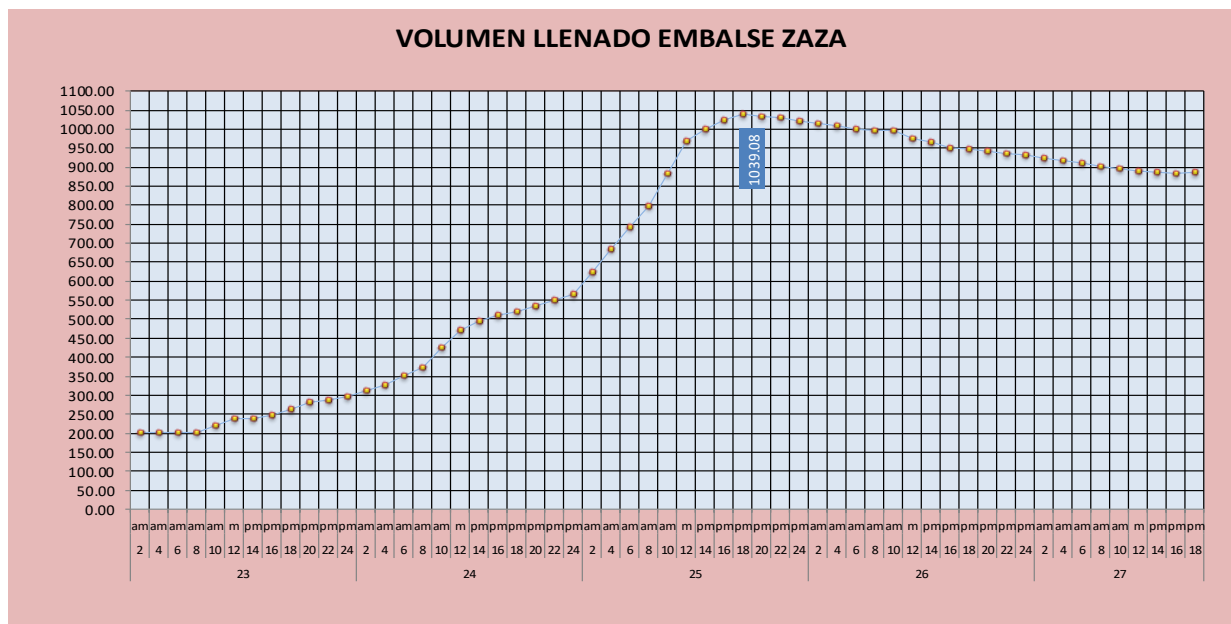


Figura 2.4. Volumen de llenado cuenca Zaza.

CAPITULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS AL PROCESAR LOS DATOS DE LA AVENIDA PROVOCADA POR LAS INTENSAS LLUVIAS DE LOS DÍAS 23,24,25,26,27 DEL MES DE MAYO DEL AÑO 2012.

El fenómeno meteorológico fue debido a intensas lluvias durante un período de 5 días (del 23 al 27) que registraron datos en algunos pluviómetros por encima de record establecidos desde hace más de 50 años, provocando esto que la mayoría de nuestros embalses sobrepasaran su capacidad de llenado y fundamentalmente el embalse Zaza que llego a alcanzar un volumen de 1039 hm³ (39.18m).

El mes de mayo en cuanto a las precipitaciones resultó extremadamente húmedo, ya que la lámina media provincial fue 651,4 mm para el 369,7 % de la media histórica que es de 176,2 mm, el máximo pluvial se presentó en el municipio de Trinidad (895,2 mm ó 526,9 %).

Al comparar las precipitaciones municipales de mayo / 2012 con las homologas de Mayo /Histórico se destaca que en los 8 municipios de la provincia llovió por encima del límite de extremadamente lluvioso o 175%, siendo el mes más lluvioso desde el año 1931.

Se realizó el cálculo de la avenida por sumatoria de los gastos simultáneos de entrada aportados por los cuerpos de aguas situados aguas arriba (Embalses Tuinucú y Siguaney) y las estaciones hidrométricas Paso Ventura y Yayabo, también se calculó la avenida por la realización de un Balance Hídrico Máximo en el embalse Zaza donde se calcula el gasto de entrada que llega al embalse por la sumatoria modular de la diferencia de volumen en el embalse llevada a gasto con el gasto de salida por el aliviadero y de ello podemos concluir que este último método refleja con más precisión lo ocurrido pero tiene la desventaja de que solo es posible desarrollarlo en el instante que el embalse está recibiendo la avenida por lo que no es factible para alertar, predecir o emitir pronósticos futuros para lo que sí es muy importante el primer método de la

sumatoria de gastos medidos ya que por la ubicación geográfica de los embalses y estaciones hidrométricas existe un tiempo de retardo de llegada de los gastos hasta el embalse Zaza el cual puede ser aprovechado para tomar medidas e informar.

Como se muestra en la figura 3.1 el valor mayor lo alcanza el embalse el día 25 con un llenado de 12893.56 hm³ lo cual en ese momento nos permite aliviar de forma natural por el aliviadero y de forma forzada por las compuertas, además presentar vigilancia hidráulica sobre dicho embalse.

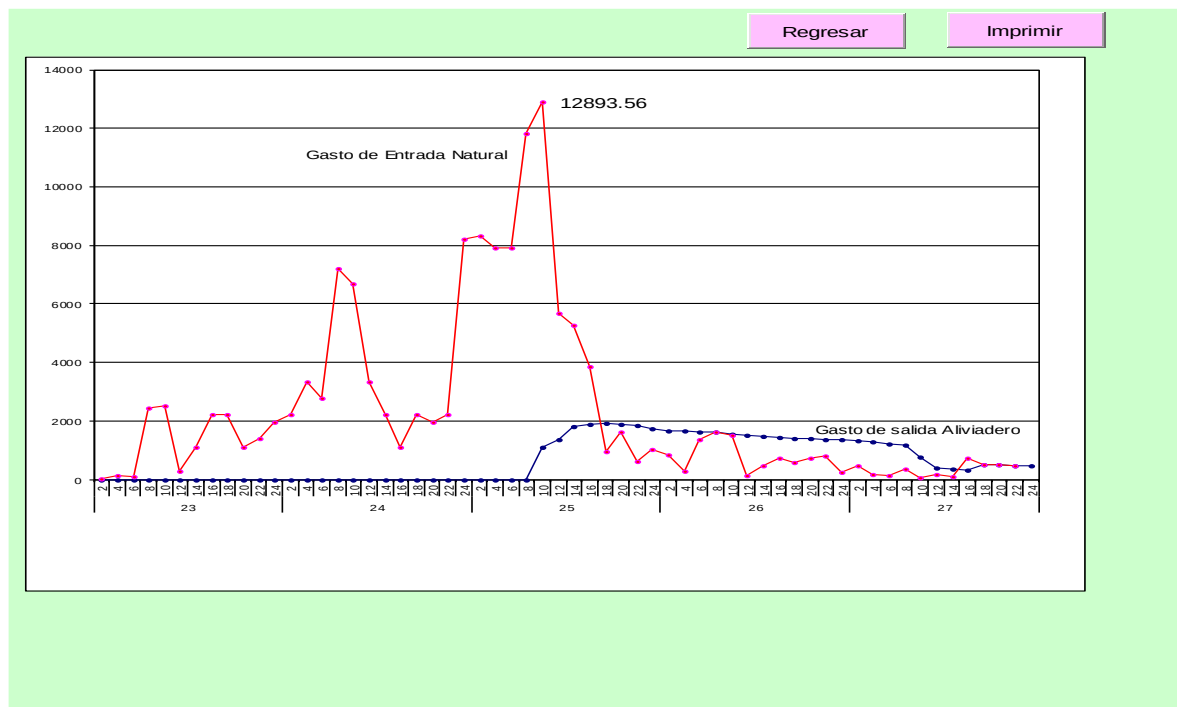


Figura 3.1. Gastos de entrada y salida en la cueca

El gasto de salida por el aliviadero comenzó a partir del mismo día 25 con valores entre 1900 - 2000 hm³ como se muestra en la figura 3.1.

La gráfica 3.2 nos muestra el gasto de entrada al embalse por ambos métodos y podemos concluir que se necesitan activar al menos 2 estaciones hidrométricas más para poder captar mediante mediciones de gastos el máximo de aportes al embalse para que la simulación realizada demuestre que solo se mide la cuarta parte del gasto de entrada al embalse Zaza.

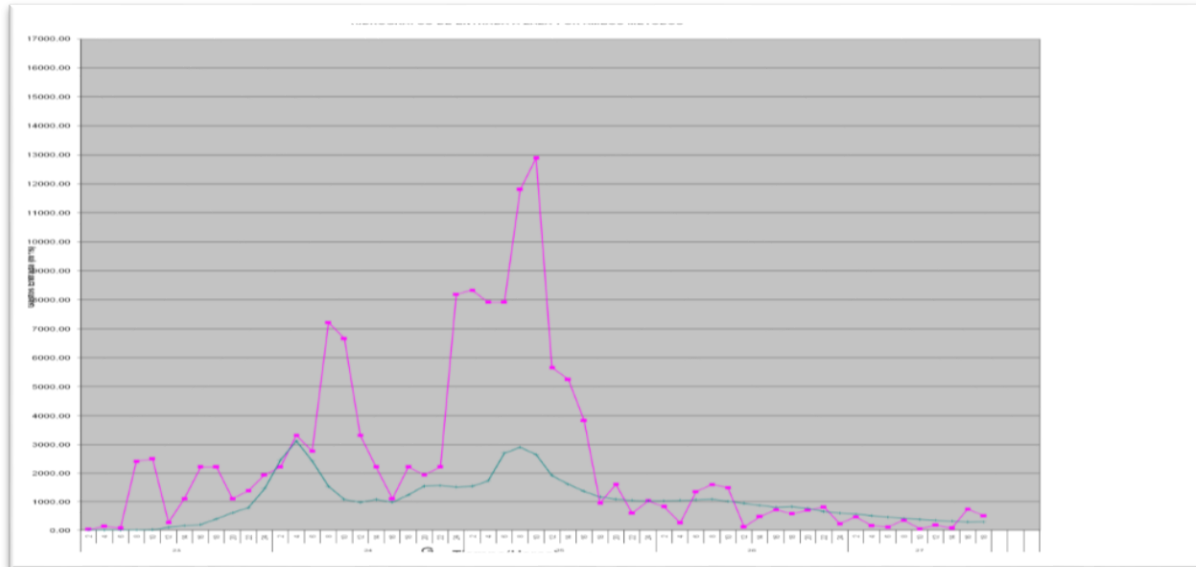


Figura: 3.2. Volumen de llenado de la presa Zaza.

El volumen de llenado del embalse el día que comenzaron las lluvias era de 200.800 hm³ por lo que la provincia tenía una situación crítica de llenado encontrándose al 20% y se analizaban posibles déficits para el 2013 si los escurrimientos no se comportaban favorablemente en el 2012.

Como se puede observar el Gasto Máximo ocurrido durante la avenida fue de **12983 m³/s** el día 25 de mayo a las 10.00 am, siendo mayor que el Gasto Máximo de diseño para el 0.1 % de probabilidad que es 11300 m³/s y el pico en el embalse (1039.0 hm³) se produjo el día 25 a las 6 pm.

El gasto promedio de la avenida fue de 2403.4m³/s generando un volumen de 1021 hm³ superior a 1010 hm³ que es el calculado para el 0.1% de probabilidad.

3.2 ANÁLISIS DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS.

En la tabla 3.1 se observa el gasto resultante de los cuatro objetos de análisis los que nos permite tener una idea panorámica de la situación de estos días.

Tabla: 3.1 Análisis de estaciones hidrométricas y gasto resultante.

Fecha	Hora inicial		Gasto		Gasto Incógnita Incorporado	Gasto en P.Ventura	Gasto en Yayabo	Gasto Aliv. Siguaney	Gasto Aliv. Tuinucú
	Hora	minutos	uso Horario	Pico Resultante					
23	2	0	am	0	24.58	1,800	2,3		
	4	0	am	0	134.70	1,900	3,2		
	6	0	am	0	71.36	2,000	4,2		
	8	0	am	0	2418.47	2,510	8,5		
	10	0	am	0	2494.50	4,680	14,1		
	12	0	m	0	271.58	9,800	98,3		
	14	0	pm	0	1102.28	21,400	138,0		
	16	0	pm	0	2211.21	89,400	110,0		
	18	0	pm	0	2209.14	272,800	126,0		0,0
	20	0	pm	0	1026.30	384,000	163,0		66,0
	22	0	pm	0	1180.28	497,600	129,0	0,5	166,0
	24	0	pm	0	1566.37	939,000	254,0	4,0	266,0
24	2	0	am	0	1620.50	1747,000	262,0	5,0	449,0
	4	0	am	0	2801.49	2644,000	120,0	6,4	366,0
	6	0	am	0	1851.58	1758,000	60,0	16,4	599,0
	8	0	am	0	6530.42	1007,000	44,0	26,4	466,0
	10	0	am	0	5946.92	562,000	45,0	55,4	418,0
	12	0	am	0	2480.23	442,000	84,0	84,3	370,0
	14	0	am	0	1340.27	497,000	184,0	106,0	293,0
	16	0	am	0	220.51	566,000	72,0	127,6	216,0
	18	0	am	0	1264.62	819,000	41,0	107,3	272,0
	20	0	am	0	902.84	1086,000	48,0	87,0	328,0
	22	0	am	0	1065.62	1056,000	161,0	70,2	284,0

Fecha	Hora inicial			Gasto	Gasto	Gasto	Gasto	Gasto	Gasto
	Hora	minutos	uso	Pico	Incógnita	en	en	Aliv.	Aliv.
			Horario	Resultante	Incorporado	P.Ventura	Yayabo	Siguaney	Tuinucú
	4	0	pm	0	5437.37	1062,000	202,0	46,8	423,5
	6	0	pm	0	5139.50	1556,000	597,0	37,9	515,3
	8	0	pm	3153.04	8652.52	2008,000	272,0	29,0	607,0
	10	0	pm	0	9766.37	1821,000	184,0	27,9	622,3
	12	0	pm	0	3182.42	1144,000	112,0	26,8	637,5
	14	0	pm	0	3104.33	876,000	62,0	25,7	652,8
	16	0	pm	0	2099.80	625,000	50,0	24,6	668,0
	18	0	pm	0	-542.75	413,000	40,0	80,4	636,5
	20	0	pm	0	265.00	317,000	32,0	136,2	605,0
	22	0	pm	0	-713.51	260,000	25,0	192,0	573,5
	24	0	pm	0	-287.24	220,000	21,0	247,8	542,0
26	2	0	am	0	-631.18	190,000	18,0	310,9	517,0
	4	0	am	0	-1285.79	169,000	15,0	373,9	492,0
	6	0	am	0	-218.73	150,000	14,0	437,0	467,0
	8	0	am	0	29.10	137,000	12,0	500,0	442,0
	10	0	am	0	-52.44	125,000	11,0	461,0	419,0
	12	0	am	0	-1556.89	117,000	10,0	422,0	396,0
	14	0	am	0	-1355.56	110,000	9,0	383,0	373,0
	16	0	am	0	-1102.44	105,000	8,0	344,0	350,0
	18	0	am	0	-1297.91	181,000	18,0	310,6	321,0
	20	0	am	0	-1073.59	176,000	21,0	277,2	292,0
	22	0	am	0	-889.28	141,000	15,0	243,7	263,0
	24	0	m	0	-1440.41	146,000	12,0	210,3	234,0
27	2	0	pm	0	-1177.73	146,000	10,0	186,7	222,8

Fecha	Hora inicial			Gasto	Gasto	Gasto	Gasto	Gasto	Gasto
	Hora	minutos	uso	Pico	Incógnita	en	en	Aliv.	Aliv.
			Horario	Resultante	Incorporado	P.Ventura	Yayabo	Siguaney	Tuinucú
	8	0	pm	0	-1219.03	103,000	7,0	115,7	189,0
	10	0	pm	0	-1733.74	95,000	7,0	100,1	179,2
	12	0	pm	0	-2229.89	89,000	7,0	84,6	169,3
	14	0	pm	0	-2529.20	84,000	7,0	69,0	159,5
	16	0	pm	0	-1739.33	80,000	7,0	53,4	149,6
	18	0	pm	0	-1859.95	97,000	7,0	51,9	140,7

Como se observa en la tabla 3.1

Estación Paso Ventura: El gasto pico que se registró el día 24 de mayo a las 4:00 am fue de 2644 m³/s.

Estación Bernardo Áreas Castillo (Yayabo): El gasto pico se registró el día 25 a las 6:00 am y fue de 597 m³/s.

Embalse Tuinucú: Reporta el día 25 a las 16 horas un gasto pico de 668.0 m³/s.

Embalse Siguaney: Reporta el día 26 a las 8:00 am un gasto pico de 500 m³/s.

Si se realizan simulaciones de todos los eventos meteorológicos ocurridos en la cuenca se puede llegar a formular un patrón de comportamiento de las avenidas en la misma, la figura a continuación muestra la comparación de ambos métodos.

Como se puede observar al superponer los métodos tanto el de hidrógrafo resultante y el del balance hidráulico aparecen criterios que están referidos al evento de mayor incidencia del día 25 a partir de las 10 horas, permitiendo realizar un análisis comparativo entre criterios diferentes los que en una misma grafica aportan tanto los valores de entrada del gasto a los embalses, como la salida de estos gastos por los aliviaderos de forma natural o forzada.

Esta forma de establecer estos criterios por unísono acelera los análisis y permiten en un solo ordenador con un solo especialista establecer los criterios y transmitir una oportuna toma de decisiones, aunque este análisis se realizó formado a partir de los datos primarios del año 2012 se comprobó que era una forma certera de procesar una información locuaz y segura para la toma de decisiones, al término de este trabajo se estaba realizando la recolección de datos para establecer una base de datos que simulara un tránsito de avenida teniendo como objetivo la comparación de eventos anteriores.

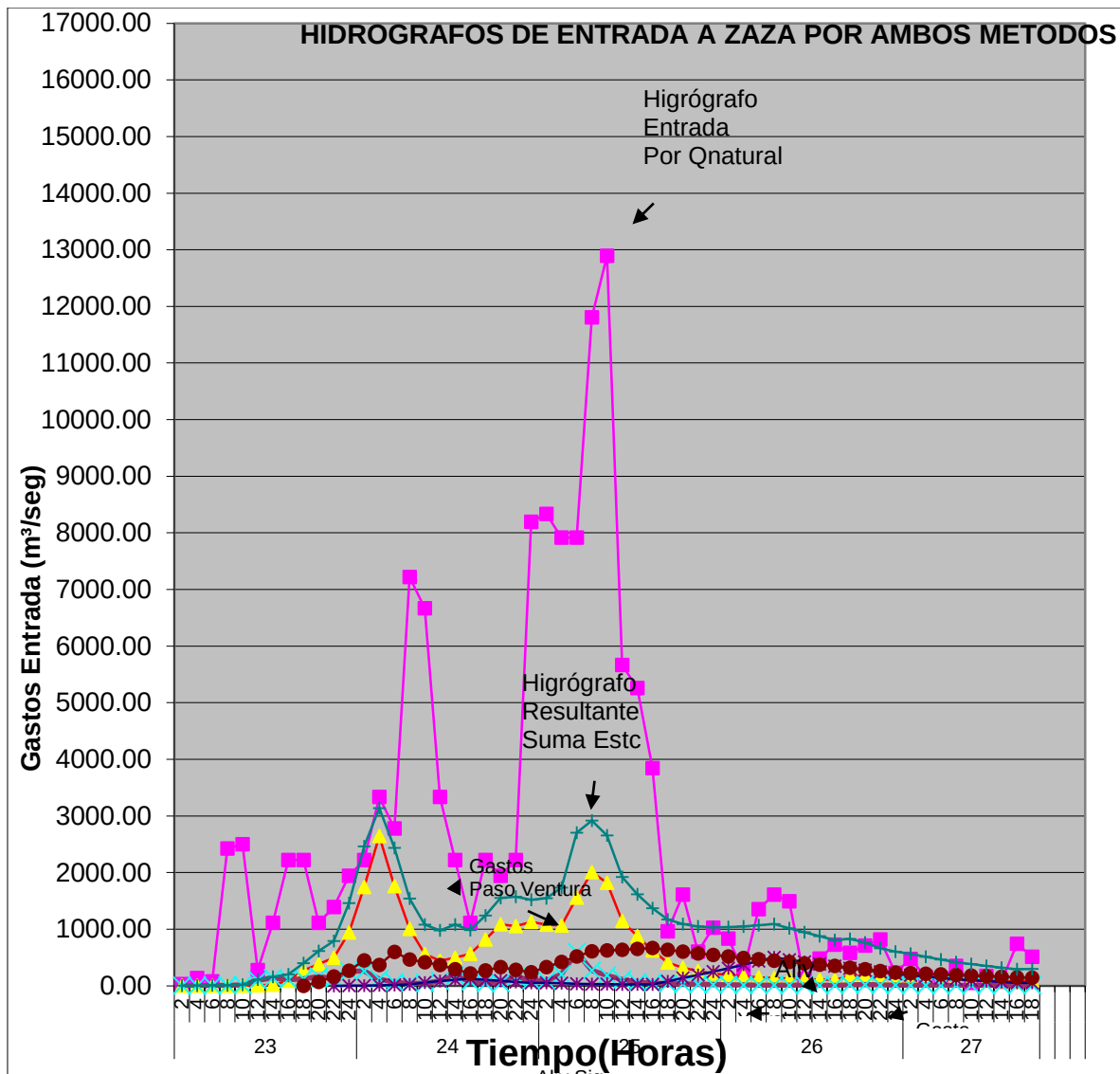


Figura: 3.3. Hidrógrafos de entrada a zaza por ambos métodos.

CONCLUSIONES.

- ✓ Este trabajo se basa en el cálculo del tránsito de avenida mediante dos métodos según la información que nos deja el evento meteorológico. El desarrollo de este trabajo se basa en la obtención del tránsito de las principales avenidas en la cuenca Zaza utilizando el programa TRANSA por las vías de cálculo siguientes:
 - Cálculo de la avenida por datos de escurrimiento de entrada al último cierre existente en la cuenca (Presa Zaza $Q \text{ m}^3/\text{s}$) con Δt constante.
 - Cálculo de la avenida un Balance Hídrico Especial en Eventos Extremos por datos de Nivel y Volumen de llenado en el embalse Zaza con frecuencia de dos horas permitió conocer que Zaza llegó a alcanzar un volumen de 1039 hm^3 en el mes de mayo del 2012.
- ✓ Las precipitaciones resultaron extremadamente húmedas, ya que la lámina media provincial fue $651,4 \text{ mm}$ para el $369,7 \%$ de la media histórica que es de $176,2 \text{ mm}$.
- ✓ El embalse alcanza el día 25 un llenado de 12893.56 hm^3 lo cual en ese momento permite aliviar de forma natural por el aliviadero y de forma forzada por las compuertas para aminorar posibles daños, el gasto de salida por el aliviadero comenzó a partir del mismo día 25 con valores entre $1990 - 2000 \text{ hm}^3$.
- ✓ El gasto promedio de la avenida fue de $2403.4 \text{ m}^3/\text{s}$ generando un volumen de 1021 hm^3 superior a 1010 hm^3 que es el calculado para el 0.1% de probabilidad.
- ✓ Con el TRANSA se logra dar un paso significativo en la automatización de los cálculos más complejos que tienen que realizar los técnicos que se encuentran a cargo del monitoreo de los embalses y la influencia de las variables del ciclo hidrológico en el vaciado y llenado diario de los mismos. Además, al quedar

digitalizada esta base de datos representa un material de consulta de gran importancia para cualquier estudio que se necesite realizar en el futuro.

RECOMENDACIONES

- ✓ Aplicar el programa TRANSA a otras cuencas del país.
- ✓ Introducir los datos de las tormentas Irma y Alberto para comparar los resultados con los de este evento meteorológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANÓNIMO 2018. Cálculo de Avenidas.
- CASTELLET, D. E. B. I. 2014. ESTIMACIÓN DEL HIDROGRAMA DE SALIDA EN UNA CUENCA USANDO UN MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO Y UN MODELO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL EN VOLÚMENES FINITOS.
- CASTIBLANCO, J. L. G. & MUÑOZ, M. A. R. 2016. *MÉTODO DE MUSKINGUM PARA EL ESTUDIO DE TRÁNSITO DE CRECIENTES EN EL RÍO ATRATO ENTRE LAS ESTACIONES “EL SIETE Y GINDRAMA” EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ*. Ingeniero hidráulico, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS.
- FELIPE, A. F. 2018. *RE: Características de la Cuenca Zaza*.
- GALVEZ, J. J. O. 2011. Balance Hídrico Superficial. *In: LIMA, S. G. D. (ed.).* Lima: Peru.
- LÓPEZ, Y. R. 2011. *MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE AVENIDAS. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO ZAZA*. Ingeniero, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
- LORENZO, R. & GARCÍA, C. 2011. *ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE AVENIDA Y DELIMITACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES MEDIANTE MÉTODOS HIDROMETEOROLÓGICOS E HIDRÁULICOS Y TÉCNICAS S.I.G., ESTUDIO APLICADO AL LITORAL SUR DE LA REGIÓN DE MURCIA*, España, Universidad de Murcia.
- MOYA, R. M. P. 2012. *MODELACIÓN HIDROLÓGICA CON HECHMS EN CUENCAS*. Maestría, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría CUJAE.
- NINO, P. Y. 2002. *ECUACIONES DIFERENCIALES DE FLUJO Y TRANSPORTE EN AGUAS SUPERFICIALES*. Universidad de Chile.
- PITA, M. B. 2015. Hidráulica fluvial, Cálculo hidrológico de avenidas. *Ingeniería Hidráulica*, 56.
- PUYOL, A. F. B. & VILLA, M. A. J. 2006. *Principios y fundamentos de la Hidrología superficial*, Universidad Autónoma metropolitana, Coordinación General de Vinculación y Desarrollo Institucional de la Rectoría General de la Universidad Autónoma Metropolitana, Tlalpan, D.F. México.
- RAMÍREZ, A. I. 2001. Solución analítica aproximada de la ecuación de transito de avenidas en vasos. *Ingeniería Hidráulica en Mexico*, XVI, 7.
- RANGEL, O. S. A. 2016. Evaluación de seguridad Hidrológica mediante la simulación numérica en IBER del transito de Avenidas
- WINOGRAD., R. A. L. 2010. *Influencia de la variabilidad de las precipitaciones en el escurrimiento de la cuenca Hanábana, principal portador de la Ciénaga Oriental*. Ingeniero Geólogo, Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saiz Montes de Oca.

ANEXOS

Anexo 1

Suelos cuenca Zaza.

Se estima que el 93% de los suelos presentan diferentes grados de afectación, 4,5% está muy fuertemente erosionado y 16% se ha clasificado como fuertemente erosionado. La deforestación es extensa, sólo 2,4% del área está cubierta de bosques.

La presencia en sus porciones extremas occidental y septentrional de la llamada Unidad Tectónica Placetas, caracterizada por la amplia difusión de los afloramientos de ofiolitas intercaladas con secuencias vulcanosedimentarias cretácicas y sedimentarias cretácica-paleógenas que en su conjunto yacen como un melangealóctono sobre las rocas de la margen continental de Bahamas y que constituyen fragmentos de corteza oceánica intensamente dislocados. Las secuencias aparecen desmembradas en una serie de cuñas tectónicas rodeadas de ofiolitas.

La extensión de los afloramientos de rocas efusivas y efusiva-sedimentarias pertenecientes al "Arco volcánico cretáceo", al centro y oriente de la cuenca, las que en parte se hallan sepultadas bajo sedimentos terrígenos y carbonatados más jóvenes, formados en una cuenca de sedimentación superpuestas sobre dicha roca volcánica, que se emplazó en sentido latitudinal entre el Paleoceno y Eoceno medio y cuyas rocas hoy atraviesan la cuenca formando una faja de arenisca, lutitas, conglomerados, brechas, calizas, margas, etc.; es decir, sedimentos propios de ambientes continentales, marinos y su interface.

Entre las rocas volcánicas, que son las predominantes, son comunes las basálticas, andesíticas y dacíticas, incluyendo lavas, tobas, tufitas, tefroides y otras indicadores de su vulcanismo submarino a diferentes profundidades.

La cristalización de grandes cuerpos intrusivos por el enfriamiento de las cámaras magnéticas en el período póstumo de vulcanismo Cretácico, originó los actuales "granitoidesmanicaragua", características hoy del sector centro occidental de la cuenca,

en forma de una estrecha faja sublatitudinal que se extiende hasta la ciudad de Sancti Spíritus y que bordea por el norte al bloque montañoso de igual nombre.

En el sector meridional de la cuenca, hay predominio de los afloramientos de las rocas de la cobertura sedimentaria post-eocénica, depositadas entre el Eoceno superior y el Haloceno en condiciones, tanto marinas como continentales; ellas comenzaron a acumularse directamente sobre las estructuras del sustrato plegado, por lo que homogenizaron la complejidad litológica típica de aquel.

Se localizan actualmente al sur del embalse Zaza, aflorando en forma de fajas o bandas paralelas cuya edad disminuye de norte a sur desde Oligoceno hasta Haloceno en el delta. Son características las rocas de origen marino (calizas, limos y margas), junto a las formadas en condiciones continentales bajo una fuerte influencia fluvial (arenas aluviales, depósitos gravo-guijarrosos, conglomerados, etc.) y, en la costa, la palustrea (depósitos turbosos de pantano) y deltaicos.

Todo el proceso de formación de los depósitos que enmarcaran el sustrato plegado, ha estado condicionado por los movimientos neotectónicos de ascenso y descenso de la corteza, con los que se relaciona también el fracturamiento y basculamiento de las secuencias rocosas del propio sustrato.

De este modo, el relieve sobre el cual se estableció el sistema fluvial de la cuenca del Zaza, era de llanuras denudativas (modeladas directamente sobre las rocas del sustrato plegado), en sus sectores occidental, central y oriental, en tanto que, hacia el meridional, era de llanuras marinas.

Al establecerse la red fluvial se inició un desmembramiento cada vez mayor de dicha cuenca, manifestado en:

- El incremento paulatino del ángulo de las pendientes, que en algunas áreas pequeñas superan los 15° de inclinación.
- El aumento de la densidad de cauces, que supera a veces los 5 km/km², asociada a las fuertes pendientes.

Si tenemos en cuenta que esto ocurrió en muchas áreas de la porción no montañosa de la cuenca y sometidas a una prolongada explotación agropecuaria, comprenderemos la influencia de los tres factores (pendiente, densidad de cauces y actividad antrópica), en el deterioro actual de la cuenca.

En el caso del factor antrópico, la cuenca del río Zaza fue una de las primeras áreas de Cuba en ser asimiladas para la actividad socioeconómica, a partir principalmente de la fundación de la villa de Sancti Spíritus y el otorgamiento de mercedes de tierra para las actividades forestal, pastoril y agrícola. No obstante, el más importante impacto se produce a partir de la segunda mitad del siglo XIX y especialmente después de instaurarse la República neocolonial: incremento espacial de las plantaciones de tabaco, cultivos menores y caña de azúcar; incorporación de las áreas de mayores pendientes a la actividad pastoril; ampliación y crecimiento de las fincas cafetaleras y ganaderas en las montañas de la cuenca (con su efecto en la explotación forestal); desarrollo de una infraestructura vial, agroindustrial y de asentamientos, sin tener en cuenta los requerimientos ambientales que ellos deben cumplir; aumento gradual del uso de fertilizantes, herbicidas, plaguicidas y otros productos químicos en los cultivos; roturado anual de la tierra, etc.

Agréguese a todo esto la diversidad de suelos predominantes en toda la cuenca del río Zaza como: los pardos con carbonatos, pardos sin carbonatos, pardos grisáceos y fersialíticos, todos caracterizados por sus combinaciones de factores limitantes, como la poca profundidad efectiva, así como las irregularidades en el relieve, grados texturales y el uso indiscriminado de los suelos.

Anexo 2

Principales afluentes del Río Zaza que conforman las subcuencas hidrográficas.

Río Zaza: Vertiente Sur. Nace en las alturas de Santa Clara, 0.5 km al oeste de la ciudad de Placetas, en los 22° 19' LN y los 79° 40' LO, a 190 m de altitud y se caracteriza por tener una posición central en el parte agua principal del país. Desemboca en el mar Caribe, al E de punta Ladrillo, a 2,5 km de Tunas de Zaza, en la llanura de Sancti Spíritus, en los 21°37' LN y los 79°32'LO, municipios de Placetas, Cabaiguán, Taguasco y Sancti Spíritus, SS, formando un delta bicúspide, muy profundo con mangles y lagunas costeras. Largo: 155 km. Gasto: 32,4 m³/s. Corre en dirección NE-SSO, es una corriente continua y tiene 16 afluentes de primer orden. En la margen derecha desembocan Salado, Mayabuna, Guasimal, Cayajaná, Yayabo, Tuinucú, Sabanilla y Calabazas; y en la izquierda, Palmas, Taguasco, Siguaney, Grande, Las Vueltas, Naranjo, Caonao y Hacha. En su curso forma meandros bien desarrollados, saltos y cañones cárnicos al atravesar las lomas de Las Damas y se encuentra el embalse Zaza, el mayor del país. Es navegable por guairos; aunque en el siglo XIX existieron varios puertos fluviales como Playa Luna, Zaza del Medio y Algodonal. Sus aguas son aprovechadas para el riego de arroz, otros cultivos, la ganadería, el abasto de la población. El río se constituyó eje de poblamiento aborigen según lo muestran los sitios arqueológicos encontrados. En los siglos XVII y sobre todo XVIII, en sus márgenes se asentaron numerosas vegas de tabaco. El 14 de enero de 1875, atraviesa este río el mayor general Máximo Gómez Báez, después de cruzar la trocha de Júcaro-Morón. Es un vocablo aborigen y un hidrónimo oscuro porque se desconoce la significación del nombre.

Río Calabaza: Río de primer orden. Vertiente sur. Nace en las alturas de Santa Clara, 8 km al NE del pueblo de Fomento, en los 22° 09' LN y los 79° 40' LO, a 20 m de altitud. Vierte sus aguas en el río Zaza, 10 km al NE de la ciudad de Cabaiguán, en los 22°08' LN y los 79°25' LO, municipio de Placetas, Villa Clara, Fomento, Cabaiguán, Sancti Spíritus. Largo: 36 km. Gasto: 4,1 m³/s. Corre en dirección O-ESE y tiene 4 afluentes. Sus aguas son utilizadas para el riego, el abasto a la población y a los planes

ganaderos de la región. Constituye, en su curso medio, límite entre las provincias de Sancti Spíritus y Villa Clara. El nombre alude a presencia de esta planta en el lugar. Es un hidrónimo hispano.

Río Piedra: Río de segundo orden afluente del Calabazas que nace en una llanura alta ondulada de zócalo a los 22°07'50" LN y los 79°32'17" LO, a 139 m.s.n.m. El valle es en forma de tina y se caracteriza por formar una cañada erosivo-acumulativa con escurrimiento superficial permanente y vegetación ribereña fundamentalmente secundaria. Fauna higrófila cercana al nacimiento.

Río Cayajaná: Vertiente sur. Nace en las montañas de Sancti Spíritus, en los 21°54' LN y los 79°35' LO, a 580 m de altitud a 6.5 Km. Al este del poblado de Gavilanes. Por su margen derecha tiene como afluentes al Cangalito y 14 arroyos intermitentes, sin nombres. Por la margen izquierda tiene 10 arroyos intermitentes, sin nombres. Vierte sus aguas en el río Zaza, 5 km al E del pueblo de Guasimal, en la llanura de Sancti Spíritus, en los 21°45' LN y los 79°24' LO, municipio de Sancti Spíritus, provincia Sancti Spíritus. Largo: 44,6 km. Gasto: 2,19 m³/s. Corre en dirección ONO-ESE. Su curso medio inferior es interrumpido, pues su cauce se incorpora al embalse Zaza. Sus aguas son aprovechadas para el riego de cultivo y el abasto a los planes ganaderos de la región.

Río Guasimal: Río de primer orden. Vertiente Sur. Nace en la llanura costera del Sur de la provincia, en los 21° 46'30" LN y los 79° 29'10" LO, a 56 m. de altitud. Desemboca en el río Zaza, al Oeste del poblado de Mapos, en los 21° 41'15" LN y los 79° 27'40" LO, municipio Sancti Spíritus. Largo: 25 km. Corre en dirección Sur, es una corriente continua y tiene 3 afluentes. En la margen derecha desemboca el Mijial, intermitente; y en la izquierda 2 arroyos sin nombres y también intermitentes. Sus aguas son aprovechadas para el riego de la caña, y para la ganadería.

Río Palmas: Río de primer orden. Vertiente Sur. Nace en la Llanura de Sancti Spíritus al Sur de La Comunidad El Reposo, en los 21° 50'55" LN y los 79° 21'30" LO. Largo: 15 km. Corre en dirección Sur, es una corriente continua y tiene 22 afluentes. En la

margen derecha desembocan La Merina y 11 sin nombres e intermitentes; y en la izquierda, 10 sin nombres e igualmente intermitentes. Sus aguas son aprovechadas para la ganadería.

Río Santa Lucía: Río de segundo orden. Vertiente sur. Nace en la zona de Las Marías, en las lomas de Mundo Santos, al NO de la ciudad de Cabaiguán, en los 22°06'05" LN y los 79°37'58" LO. Desemboca en el río Tuinucú, en los 22°01'10" LN y los 79°33'32" LO, municipio de Cabaiguán. Largo: 12 km. Corre en dirección S y tiene 22 afluentes, el más importante es el río Las Vueltas. En su cuenca presenta una micropresa y varios tranques. Sus aguas son utilizadas en el riego de cultivos varios, en el tabaco y en la ganadería por los sectores estatal, cooperativo y privado. El nombre lo toma del santoral católico. Es un hidrónimo de origen hispano.

Río Taguasco: Río de primer orden. En algunas ocasiones se cartografió como río Tagua. Vertiente Sur. Nace en la zona cercana a Gómez Toro, en las alturas de Santa Clara, en los 22°07' LN y los 79°15' LO, a 198 m de altitud y se caracteriza por conformar una red de drenaje dendrítica. Vierte sus aguas en el río Zaza, en la llanura de Sancti Spíritus, en los 21°56' LN y los 79°19' LO, municipio. De Taguasco, Jatibonico, SS. Largo: 37 km. Gasto: 1,78 m³/s. Corre en dirección N-OSO, es una corriente continua y tiene varios afluentes intermitentes. Es navegable hasta el embalse Siguaney y dentro de éste. En su curso presenta meandros bien desarrollados y se encuentra el embalse Siguaney. Sus aguas son utilizadas para el riego y la ganadería. Ver Taguasco.

Río Tuinucú: Vertiente sur. Nace en las montañas de Trinidad, montañas de Guamuhaya, 12,5 km al ONO de la ciudad de Cabaiguán, en los 21°57'18" LN y los 79°37' LO, a 200 m de altitud. Desemboca al N del embalse Zaza, en la llanura de Sancti Spíritus, en los 21°54'07" LN y los 79°21'37" LO. Largo: 60 km. Gasto: 5,89 m³/s. Corre en dirección NO–SE y tiene 4 afluentes. En su margen derecha desembocan los arroyos Santa Lucía, Cayajaca y El Bufete y en la derecha el arroyo La Concha. En su curso se observan algunos meandros. Sus aguas son aprovechadas para el riego del tabaco, cultivos varios y en la ganadería de los sectores estatal, cooperativo y privado; así como, abastece la industria azucarera del central y destilería Melanio Hernández.

Constituye, en parte de su curso, límite entre los municipios Cabaiguán y Sancti Spíritus. Se ha escrito Tuinicú y Tuinucú. Sin embargo, si se tiene en cuenta la posible significación de la terminación –nicú, como ‘río’ en lengua aborígen, entonces debe ser Tuinicú. Es un hidrónimo aborígen que significa ‘río extenso’.

Río Jubainucu (Manacas): Tiene una longitud de 12.1 km 5,5 m de ancho, una profundidad media de 0,65m, la velocidad de la corriente se encuentra entre 0,300 y 2,5 m/s. Es un río de 2do orden, afluente del Tuinucú. Nace cerca de Manacas Ransola, Fomento en un área desde el punto de vista morfoestructural complejo en los 21°59'05" LN y los 79° 38'06" LO, a 300 m.s.n.m. El paisaje es de montañas bajas denudativo - erosivo en forma de cadenas con pastos, matorrales y restos de bosques semideciduosmesófilos. La cañada es en forma de V con escurrimiento superficial y vegetación riparia algo degradada.

Río Bufete: Río de segundo orden afluente del Tuinucú. Nace en las laderas de Loma La Gloria en los 21°58'13" LN y los 79°37'42" LO, a 390 m.s.n.m. Esta ladera pertenece a un conjunto montañoso lindado carsificado. Su origen se debe a manantiales de surgencias cársicas con influencia tectónica que forma una cañada en forma de V y vegetación ribereña mixta.

Río Yagua: Río de primer orden. Vertiente Sur. Nace cerca del poblado de Paredes, en la Llanura de Sancti Spíritus, en los 21° 49' 00" LN y los 79° 28' 00" LO, a 65 m. de altitud. Desemboca en el río Zaza, al norte del poblado de Mapos, en los 21°41'55" LN y los 79° 26' 35" LO, municipio Sancti Spíritus. Largo: 25 km. Corre en dirección Sur, es una corriente continua y tiene 12 afluentes. En la margen derecha desembocan 8 arroyos sin nombres e intermitentes; y en la izquierda 4 arroyos sin nombres e intermitente. Sus aguas son aprovechadas para el riego, de cultivos varios y para la ganadería.

Río Yayabo: Río de primer orden. Vertiente Sur. Nace en las Alturas de Sancti Spíritus, montañas de Guamuhaya, al Oeste de la loma de Caballete de Casa, en los 21° 57' LN y los 79° 36' LO, a 440 m de altitud. Vierte sus aguas en el embalse Zaza, 5 km al SSE

de la ciudad de Sancti Spíritus, en los 21° 54' LN y los 79° 25' LO, municipio. de Fomento, Sancti Spíritus. Largo: 36,8 km. Gasto: 2,16 m³/s. Corre en dirección ONE-ESE, es una corriente continua y tiene 17 afluentes. En la margen derecha desembocan 5 arroyos sin nombres e intermitentes; y en la izquierda el arroyo Las Guanábanas y 11 arroyos sin nombres e intermitentes, En su curso forma meandros bien desarrollados y numerosos rápidos en la zona de montaña. Es navegable en su parte baja antes de desembocar en la presa Zaza. Sus aguas son aprovechadas para el riego, la ganadería y el abasto de la población. A sus márgenes se trasladó la villa de Sancti Spíritus en el año 1522 y el 12 de julio de 1825 se inaugura el puente sobre el río, declarado Patrimonio Nacional. Es un vocablo aborigen y significa lugar donde abunda la yaya, árbol silvestre muy común.

Río Caonao: (afluente del Zaza) presenta cause intermitente, condicionados por los períodos de precipitaciones. La rápida infiltración condiciona que los causes permanezcan secos la mayor parte del año, nace al Oeste de Remedios. Nace en una llanura fluvial alta que en la localidad de Piñero y sus alrededores presenta un elevamiento que hace que la divisoria de los ríos presente una estructura domal que se expresa toscamente en el paisaje. El río transfluye por varias morfoestructuras antes de desaguar a la Zaza. El complejo contexto geológico que existe en su nacimiento hace que se nutra de manantiales fisúales de rocas poco acuíferas y de fuentes alimentadas por el paisaje cársico cercano. La vegetación original ha desaparecido y predomina un paisaje agrícola de cultivos menores y pastos que sustenta una fauna antropoxena donde la avifauna es el principal indicador de la biodiversidad. En sus inicios forma una cañada erosiva -acumulativa en forma de U abierta, con escurrimiento superficial permanente y vegetación ribereña de comunidades secundarias.

Río Tres Atejes: Río de segundo orden con nacimiento en los 22°06'20" LN y los 79°32'06" LO, a 156 m.s.n.m, en una llanura denudativo erosivo alta en la región físico geográfica de Alturas y Llanuras de Cubanacán. Su nacimiento a partir de manantiales fisurales presenta una balka erosiva acumulativa con vegetación secundaria herbácea y una diversidad faunística baja. En el área predominan los paisajes agrarios con una intensidad de uso de fuerte a media y una estabilidad ecológica baja.

Río Mazamorra: Nace en los 22° 06'23" LN y los 79°30'22" LO a 153 m.s.n.m. e3, una llanura erosiva - deudativa alta, medianamente diseccionada con tendencia a la elevación. El valle es en forma de tina y su fuente primaria de alimentación son aguas de manantiales fisúrales. Nace cerca de la ESBECS Sandino, es afluente del Calabazas y necesita de protección su fuente debido a que se encuentra enclavado en un paisaje de agricultura intensiva. Existe poca variedad faunística,

Río Seibacoa (Atoyaosa): Afluente del río Zaza, su nacimiento se localiza en los 22°05'20" LN y los 79°30'22" LO, a 135 m.s.n.m. Es una corriente fluvial que desde su nacimiento se desarrolla en una zona fuertemente antropizada con baja estabilidad ecológica y de capacidad de respuesta ecosistémica. Valle en forma de tina.

Río Sabanilla: Nace entre Trece Palma de Poza, a los 22°05'17" LN y los 79°24'47" LO, a 84 m.s.n.m, formando un cauce en forma de cubeta con vegetación de cultivos y secundaria. Parece de fauna relevante. Debe protegerse su nacimiento.

Río Las Vueltas: Río de tercer orden que nace en los 22°02'41" LN y los 79°40'14" LO, a 200 m.s.n.m. en las alturas tectónico estructurales de bloque, en cadenas, monoclinales poco diseccionadas que forman la Sierra de Cariblanca -Cerros de Fomento. Su origen es la surgencias que parten de la circulación kárstica en Cariblanca. Aunque la vegetación de donde parte el río es secundaria en su cercanía se desarrolla una vegetación mogotiforme bastante conservada. El complejo cársico se encuentra muy bien desarrollado y se encuentran en estudio dos moluscos que posiblemente sean endémicos locales. Su drenaje es en una cañada en forma de V con escurrimiento superficial permanente y vegetación ribereña degradada.

Río Limones: Arroyo de cuarto orden con nacimiento en los 22°05'09" LN y los 79°37'38" LO, a 178 m.s.n.m en una llanura denudativo erosivo de zócalo, alta y ligeramente desmembrada. La cañada a partir de un manantial de fisura forma un cauce de cubeta, escurrimiento estacional y vegetación ribereña de comunidades secundarias.

Río Guayos: Es un arroyo de tercer orden que nace en la cercanía de la Loma La Chicharra en los 22°04'57" LN y los 79°28'50" LO, a 134 m.s.n.m. Está su nacimiento enclavado en una llanura erosivo denudativa de zócalo con pequeñas alturas petrogénicas en forma de testigos debido a la erosión diferencial. Su nacimiento se debe a manantiales fisúrales de poco caudal y forma una cañada en U abierta con una fuente influencia agrícola y una estabilidad ecológica baja.

Río Guajen: Arroyo de tercer orden que se localiza en los 22°04'17" LN y los 79°32'22" LO, a 148 m.s.n.m. Su nacimiento está cercano al Troncón en una llanura denudativo - erosivo con suelos cubiertos de pastos, cañas y focos de cultivo. Forma una cañada de tipo U abierta sin vegetación riparia y una baja estabilidad ecológica.

Río Las Guanábanas: Nace cerca de Chambelón, al NE de Las Tosas, en los 22°57'40" LN y los 79°28'30" LO, a 105 m.s.n.m en una llanura fluvio-denudativo alta, muy diseccionado con algunas alturas masivas aplanadas en una depresión litológico - estructural con rocas granitoides. La vegetación original de sabana-parque fue temporalmente cambiada por sabanas antrópicas y focos de cultivo. Forma una cañada en forma de U, con escurrimiento superficial permanente con vegetación ribereña de comunidades secundarias. Sus orígenes son manantiales fisúrales.

Río Pedro Barba: Afluente de primer orden del río Zaza que nace en los 22°13'28" LN y los 79°26'06" LO, a 134 m.s.n.m. En su nacimiento el contexto paisajístico es de colinas lito -estructurales denudativas y erosivas, diseccionadas, formadas por rocas metamórficas sobre suelos esqueléticos fersialíticos poco profundos y pedregosos que sustentan una vegetación de plantaciones forestales y cuabales que alojan un complejo faunístico propio de este tipo de formación vegetal, es de tipo mesoxerófilo donde la diversidad genérica de los animales de este zoocomplejo no es grande. Los principales son coleópteros, algunos moluscos terrestres, mariposas, hormigas, arácnidos y lagartijas. La avifauna es variada. En sus inicios fluye por un cauce en forma de cubeta con vegetación ribereña parcialmente secundaria. Se origina a partir de manantiales fisúrales.

Río El Naranjo: Este arrollo tiene su nacimiento en los 22°14'16" LN y los 79°23'54" LO, a 168 m.s.n.m. Por sus características paisajísticas y lugar de nacimiento en la zona de colinas, es semejante al Pedro Barba. Es un afluente de segundo orden.

Río Los Portugueses: Este río nace cerca del centro de recría La Caoba y sus coordenadas son en los 22°13'26" LN y los 79°23'54" LO, a 168 m.s.n.m y desagua en el Zaza en Vega del Paso. Su nacimiento se origina en las colinas que forma las lomas de Pedro Barba, estas colinas lito -estructurales con procesos de denudación y erosión, sustentan una vegetación de bosques monodominantes, sabanas serpentinosa con gramíneas pequeñas, arbustos microfílicos, palmas enanas y pastos que sustentan el complejo zoofaunístico con características mesoxerófilas. Su origen es de manantiales fisúales en rocas poco acuosas que aprovechan las líneas de debilidad tectónica para su surgencia. El cauce es en forma de cubeta en sus inicios.

Río Pozo Prieto: Afluente de segundo orden del Zaza, se localiza su nacimiento en los 22°12'42" LN y los 79°22'05" LO, a 197 m.s.n.m. Sus características son similares a Pedro Barba, El Naranjo y Los Portugueses. Nace cerca de Las Minas de Jarahueca.

Río Las Vueltas: Afluente de primer orden del Zaza que nace en los 22°11'31" LN y los 79°20'03" LO, a 250 m.s.n.m. Nace cerca de uno de los puntos culminantes de las lomas de Pedro Barba y es de las corrientes fluviales que parten de estas alturas alineadas la de mayor curso. Sus condiciones de paisaje son muy semejantes a las descritas para las corrientes Pedro Barba, El Naranjo, Los Portugueses y Pozo Prieto.

Río Arroyo Grande: Nace en los 22°06'25" LN y los 79°16'38" LO, a 150 m.s.n.m a unos pocos km al norte del poblado de La Rana, en el municipio de Taguasco. Es un afluente de 1er orden del río Zaza y su nacimiento se localiza en una llanura denudativa-erosiva ondulada, de zócalo sobre rocas ígneas diseccionadas que sustentan una vegetación de pastos con árboles muy aislados y presencia de especies invasoras. Debe destacarse que cerca del nacimiento del arroyo existe una colonia de *Melocactusguitartii*, cactácea endémica de Sancti Spíritus. La fauna es pobre, destacándose la avifauna de los gremios insectívoros y granívoros. Su nacimiento se

debe a manantiales que brotan fisuralmente, de poca potencia. Su valle se presenta en forma de U.

Río Managuaco: Arroyo que nace en los 21°54'45" LN y los 79°18'10" LO, a 79 m.s.n.m. Su origen es en una llanura erosiva alta con vegetación muy antropisada, fauna antropoxena, valle en forma de U.

Anexo3

Embalses Construidos en la cuenca

Agua Regulada por Recursos Hidráulicos

En el área de la cuenca se ubican tres embalses administrados por el INRH 3 en la provincia Sancti Spíritus y un embalse en Villa clara: El embalse Zaza con 1020 hm³ y construido sobre el cauce del río Zaza, El embalse Tuinucú con 57.0 hm³ y construido sobre el río Tuinucú, el embalse Siguaney. Con 9.33 hm³ y construido sobre el cauce del río Taguasco. El embalse Mercedes en la provincia de Villa Clara.

Embalses	Usos		Nivel (m)			Volumen (Hm³)			Area (Ha)			Entrega (Hm³)	Rio de	Año de	Tipo de
	De Proyecto	Actual	NAM	NAN	NM	NAM	NAN	NM	NAM	NAN	NM	Garantizada	Ubicación	Terminación	Regulación
Sancti Spiritus	Abasto Poblacion	Abasto a poblacion													
Tuinucu	Riego de Caña	Industria Azucarera y Derivados	121.050	115.000	80.000	113.000	57.000	1.310	1165.000	597.000	26.000	57.500	Tuinucu	1988.000	Hiperanual
		Arroz, Caña y C.Varios													
Siguaney	Abasto Poblacion	Abasto a poblacion													
	Riego de Caña	Industria Alimentaria	54.500	52.000	45.000	15.900	9.330	1.000	297.000	237.000	41.000	11.700	Taguasco	1968.000	Hiperanual
		Caña y C.Varios													
Zaza	Arroz, Caña, Pastos	Arroz, Caña, Pastos													
	C.Varios	C.Varios, Acuicultura	40.550	39.000	23.500	1180.000	1020.000	90.000	12600.000	11350.000	1720.000	661.000	Zaza	1973.000	Hiperanual
Total						1308.900	1086.330	92.310				730.200			

Embalses	Usos		Nivel (m)			Volumen (Hm³)			Area (Ha)			Entrega (Hm³)	Rio de	Año de	Tipo de
	De Proyecto	Actual	NAM	NAN	NM	NAM	NAN	NM	NAM	NAN	NM	Garantizada	Ubicación	Terminación	Regulación
Villa Clara															
Mercedes							3.680					2.780			Hiperanual

Agua Regulada por el Usuario (Micropresas).

Municipio	Organismo	No	NOMBRE	COORDENADAS		VOLUMEN	ALTURA	AREA	SE EXPLOTA		EMPRESA	CULTIVOS
				NORTE	ESTE	(HM3)	CORTINA	INUNDADA	SI	NO		
							(M)	(HAS)				
		1	Tramojos II	253.79	669.58	0.113	6.2	7	x		Tab.y C.V.Taguasco	V. y Veg.
		2	El Burro	251.1	678.6	0.087	7	4.4	x		Tab. y C.V.Taguasco	V. y Veg.
		3	Arroyo Macho	253.81	667.44	0.96	13.9	26	x		Tab. y C.V. Taguasco	V. Veg.y Tab.
		4	Tramojo I	253.84	670.18	0.15	7.07	9		x	Taguasco Tab.y C.V.	V. y Veg.
Taguasco	MINAG	5	Leo Granados	254.46	675.67	0.27	9.69	10	x		Taguasco Tab.y C.V.	V. y Veg.
		6	La Larga II	250.1	668.1	0.63	11.96	21	x		Taguasco Tab.y C.V.	V.y Veg.
		7	Las Varas	249.75	676.28	1	12.7	56.8	x		Tab. y C.V.Taguasco	V.y Veg.
		8	El Edén	244.88	679.77	1.1	13.5	31	x		Tab.y C.V. Taguasco	V. Veg.y Tab.
		9	Carlos G. Menoyo	247.13	670.54	0.07	7	3.5	x		CCS Carlos G. M. Ta	Tabaco
		10	Pedro M. Rguez	261.2	684.2	0.1	10.7	5.1	x		CPA Pedro M. Rguez	V. y Veg.
S.Spiritus	MINAG	1	Tierras Blancas	218.24	648.14	0.58	11	22	x		CPA Frank Pais SS	V. y Veg.
		2	Teodoro Crespo	218.67	648.91	0.284	11.65	10.9	x		CPA Frank Pais SS	V. y Veg.
		3	Ramón Puerta II	224.54	652.24	0.22	12.16	7.5	x		CPA Ramón Pais SS	V. y Veg.
		4	Angel Montejo	232.08	655.61	0.911	13.55	31.4	x		Angel Montejo SS	Tabaco
Total General						13.526						

Municipio	Organismo	No	NOMBRE	COORDENADAS		VOLUMEN (HM3)	ALTURA CORTINA (M)	AREA INUNDADA (HAS)	SE EXPLOTA		EMPRESA	CULTIVOS
				NORTE	ESTE				SI	NO		
Cabaiguan	MINAG	1	No 381 La Yamagua	247.4	667.7	0.1	7	4	x		Tab.y C.V.Cabaiguan	V. y Veg.
		2	No 384 (El Paraíso)	251.22	653.26	0.22	7.43	11	x		Tab.y C.V.Cabaiguan	V. Veg.y Tab.
		3	Neiva 374	253.95	659.62	0.3	7.74	10	x		Tab.y C.V.Cabaiguan	V.Veg.y Tab.
		4	Tramojos 359	256.18	669.26	0.65	14.3	13	x		Tab.y C.V.Cabaiguan	V.Veg y Tab.
		5	Tres Palmas 307	250.96	663.9	1.45	12.1	39	x		Tab.y C.V.Cabaiguan	V. Veg.y Tab.
		6	Cítricos 373	256.07	656.33	0.94	10.75	29	x		Tab y C.V.Cabaiguan	V.Veg. y Frut.
		7	Manaca I	259.73	669.99	0.07	7.11	2.5		x	Pec. Cabaiguan	Pastos y Forraje
		8	Sabanaso	256.29	649.62	0.17	8.52	7		x	Pec. Cabaiguan	Pastos y Forraje
		9	No 377 (Tres Atejes)	258.67	655.25	0.8	9.12	34		x	Pec. Cabaiguan	Pastos y Forraje
		10	El Guajen	247.94	653.84	0.25	8.5	11	x		CPA Cuba Nueva Cab	V.Veg. y Tab.
		11	Nueva Cuba	247.26	651.41	0.14	6.5	5.9	x		CPA Nueva Cuba Cab	Tabaco
		12	Manaquita 380	245.66	652.21	0.78	11.8	30	x		CPA Nueva Cuba Cab	Tabaco
		13	Las Posas 325	253.75	644	0.145	7	6.9	x		CPA Juan Glez Cab	V.Veg.y Tabaco
		14	Aramis Pérez	246.58	648.59	0.806	13.08	20.1	x		CPA Aramis PérezCab	Tabaco
	MINAZ	15	N° 386	253.10	661.30	0.230	11.41	Cabaiguan			CPA 1 Enero	

Canales Magistrales

Nombre	Objetivo	Provincias implicadas	Longitud (km)		Gasto Diseño (m³/S)	Año Construcción
			TOTAL	certificada		
	Entrega, trasvase (gravedad, bombeo)					
Canal Zaza	Entrega	SS	44.517		85.0	1974
Canal CP-1	Entrega	SS	11.26	NO	15.0	1973
Canal Cp-4	Entrega	SS	6.0	NO	12.0	1973
Canal Zaza-Ciego	Trasvase	CA	39.6	no	35.0	