

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN



Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la  
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para  
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

DISEÑO DE UN VERTEDERO LATERAL SOBRE EL MARGEN DERECHO DEL RÍO  
MATINA, PARA EVITAR LOS DESBORDAMIENTOS SOBRE LAS FINCAS DE  
BANANO DEL GRUPO ACÓN EN MATINA LIMÓN, COSTA RICA

IGNACIO MORA ELIZONDO

CARTAGO, 2018

DISEÑO DE UN VERTEDERO LATERAL SOBRE EL MARGEN DERECHO DEL RÍO  
MATINA, PARA EVITAR LOS DESBORDAMIENTOS SOBRE LAS FINCAS DE  
BANANO DEL GRUPO ACÓN EN MATINA LIMÓN, COSTA RICA

Ignacio Mora Elizondo

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la  
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para  
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Ing. Milton Solórzano Quintana, MBA.

Nombre

Asesor – Lector

Ing. Marvin Villalobos Araya, M Sc.

Nombre

Director Escuela  
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2018

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

I. RESUMEN.....	1
Abstract.....	3
II. INTRODUCCIÓN.....	4
Antecedentes.....	5
2.1. Objetivo General.....	8
2.2. Objetivos específicos.....	8
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1. Desbordamiento de ríos (inundaciones).....	10
3.2. Diques.....	11
3.3. Caudales Máximos.....	13
3.3.1. Introducción.....	13
3.3.2. Método Directo.....	14
3.4. Diseño de un vertedero de demasía (o lateral).....	15
3.5. Diseño de una rápida y colchón amortiguador.....	16
3.6. Modelo hidrodinámico (Iber).....	18
3.6.1. Introducción.....	18
3.6.2. Hidráulica de ríos.....	19
3.6.3. Modelación numérica.....	20
3.7. Análisis económico y ambiental.....	22
3.7.1. Económico.....	22
3.7.2. Ambiental.....	25
IV. METODOLOGÍA.....	28
4.1. Área de estudio.....	29
4.2. Caudales máximos.....	29

4.3.	Diseño hidráulico del vertedero de demasía (o lateral) .....	30
4.3.1.	Vertedero .....	30
4.3.2.	Rápida .....	31
4.4.	Modelo hidrodinámico (Iber) .....	34
4.4.1.	Sin Vertedero lateral .....	34
4.4.2	Con vertedero lateral.....	36
4.5.	Viabilidad económica y socio-ambiental .....	37
4.5.1.	Viabilidad económica .....	37
4.5.2.	Viabilidad socio-ambiental.....	38
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	40
5.1.	Caudales Máximos .....	41
5.2.	Dimensiones del vertedero de demasía (o lateral).....	41
5.2.1.	Vertedero lateral .....	41
5.2.2.	Rápida .....	42
5.2.3.	Colchón amortiguador.....	43
5.2.4.	Canal aguas abajo .....	43
5.2.5.	Tramo quebrada Caño de San José.....	44
5.3.	Modelo hidrodinámico (Iber) .....	45
5.4.	Viabilidad financiera y ambiental del proyecto .....	50
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
6.1.	Conclusiones .....	55
6.2.	Recomendaciones .....	55
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
VIII.	ANEXOS .....	60
8.1.	Anexo 1. Coeficientes.....	61
8.2.	Anexo 2. Velocidades máximas .....	62
8.3.	Anexo 3. Curva de remanso en la rápida y resalto hidráulico.....	63
8.4.	Anexo 4. Análisis económico.....	67

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Efectos potenciales producto de una inundación.....	11
Cuadro 3. Cálculo de caudal por medio del método directo.....	41
Cuadro 4. Cálculo de las dimensiones del vertedero lateral.....	41
Cuadro 5. Dimensiones de la rápida.....	42
Cuadro 6. Datos para el cálculo de la curva de remanso por el método de tramos fijos.....	43
Cuadro 7. Dimensiones del estanque amortiguador (colchón).....	43
Cuadro 8. Dimensiones del canal al final del colchón amortiguador.....	44
Cuadro 9. Dimensiones de un tramo de la quebrada a verter. ....	44
Cuadro 10. Costos totales del proyecto. ....	51
Cuadro 11. Costo de la cosecha de la fruta de banano. ....	51
Cuadro 12. Saldos anuales del proyecto.....	52
Cuadro 13. VAN y TIR del proyecto. ....	52
Cuadro 14. Viabilidad socio-ambiental del proyecto, mediante la matiz de arboleda.....	53
Cuadro 15. Valores de n dados por Horton para ser usados en las fórmulas de Kutter y de Manning.....	61
Cuadro 16. Coeficientes experimentales de corrección de Bazin (k). ....	61
Cuadro 17. Velocidades máximas permisibles en rápidas lisas.....	62
Cuadro 18. Calculo de curva de remanso, por el método de tramos fijos.....	63
Cuadro 19. Cálculo de la curva elevación (trayectoria de la rápida)- tirante. ....	64
Cuadro 20. Cálculo de la curva elevación – tirante conjugado menor.....	65
Cuadro 21. Cantidad de suelo a remover para la construcción del vertedero.....	67
Cuadro 22. Datos de los costos del proyecto.....	67
Cuadro 23. Saldos anuales, análisis económico.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desbordamiento del Río Matina, Matina Limón. ....	6
Figura 2. Desbordamiento del Río Matina sobre las fincas del Grupo Acón, Matina Limón. ....	7
Figura 3. Pérdida de 12 ha de banano de la finca Limo A, Grupo Acón, Matina Limón. ....	7
Figura 4. Reconstrucción del dique de la finca Limo A del Grupo Acón, Matina Limón. ....	8
Figura 5. Fallas y daños más comunes que pueden sufrir los diques. ....	13
Figura 6. Vertedero Lateral. ....	16
Figura 7. Perfil longitudinal, elementos de una rápida. ....	17
Figura 8. Ilustración del Software Iber, resultados de sedimentación y erosión. ....	19
Figura 9. Evaluación de inundaciones. ....	21
Figura 10. Mayado no estructurado. ....	21
Figura 11. Zona de estudio y tramo de la modelación del Río Matina, Matina Limón. ....	29
Figura 12. Uso de suelo, geometría. ....	35
Figura 13. Condiciones iniciales, caudal máximo de la sección a modelar. ....	35
Figura 14. Mayado asignado a las superficies. ....	35
Figura 15. Geometría, modelo con vertedero. ....	36
Figura 16. Perfil usado para ver el nivel de los tirantes. ....	37
Figura 17. Dimensiones del vertedero lateral. ....	42
Figura 18. Vertedero lateral en conjunto con las estructuras complementarias. ....	45
Figura 19. Comparación de los niveles de Topografía, modelo sin vertedero y con vertedero lateral. ....	46
Figura 20. Comparación de los niveles de cota de agua, modelo sin vertedero y con vertedero lateral. ....	46
Figura 21. Comparación de los niveles de calado, modelo sin vertedero y con vertedero lateral. ....	46
Figura 22. Tirantes máximos en la sección del río Matina, modelo de elevación sin vertedero lateral. ....	47

Figura 23. Tirantes máximos en la sección del río Matina, modelo de elevación con vertedero lateral.....	48
Figura 24. Caudales máximos, con vertedero lateral y sin vertedero lateral.....	49
Figura 25. Tirantes máximos en la sección del vertedero lateral.....	50
Figura 26. Caudal máximo de descarga del vertedero lateral.....	50
Figura 27. Cálculo de la elevación del tanque o colchón amortiguador.....	66

# **I. RESUMEN**

Las fuertes lluvias que afectan al país, principalmente la zona Atlántica por el impacto de ondas tropicales, causan pérdidas en la actividad bananera en la provincia de Limón. Sólo en el año 2018, como consecuencia de las crecidas máximas del río Matina, se han provocado dos roturas en los diques. Primeramente, en enero del 2018 en el margen izquierdo del río, afectando la finca Limo A y en julio el margen derecho del río, afectando las fincas Banasol 1 y Bioban 3.

Como parte de las posibles soluciones del problema de los altos caudales en el río, se propone el diseño de un vertedero lateral en el margen derecho del río donde existe un canal en el cual se puede verter y controlar los desbordamientos en la zona.

Parte del diseño implica el cálculo de caudales máximos, y las dimensiones de la estructura de protección (vertedero de demasía) y las obras complementarias de disipación de energía.

El diseño del vertedero lateral está limitado al canal a verter con capacidad máxima de descarga  $277,3903 \text{ m}^3/\text{s}$ , que representa un 6% de agua a derivar del total del agua que pasa por el Río Matina ( $4576,8606 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

**Palabras clave:** Vertedero, inundaciones, crecidas máximas, rápida, canal.

### **Abstract**

The heavy rains that affect the country, mainly the Atlantic area due to the impact of tropical waves, cause losses in banana activity in the province of Limón. Only in 2018, as a consequence of the maximum floods of the Matina River, two breaks in the levees have been caused. First, in January 2018 on the left bank of the river, affecting the Limo A farm and in July the right bank of the river, affecting the Banasol 1 and Bioban 3 farms.

As part of the possible solutions to the problem of high flows in the river, the design of a side dump on the right bank of the river where there is a channel in which to pour and control the overflows in the area is proposed.

Part of the design involves the calculation of maximum flows, and the dimensions of the protection structure (landfill of excess) and complementary works of dissipation of energy.

The design of the lateral landfill is limited to the channel to be poured with maximum discharge capacity  $271.5171 \text{ m}^3/\text{s}$ , which represents 6% of water to be derived from the total water that passes through the Matina River ( $4576.8606 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

**Keywords:** Landfill, floods, maximum floods, rapid, hydraulic channel.

## **II. INTRODUCCIÓN**

## **Antecedentes**

De los lugares más afectados por las fuertes lluvias que afectan nuestro país está la provincia de Limón, donde se han presentado fuertes precipitaciones, lo cual, provoca desbordamiento de los ríos y contribuyen a las inundaciones, tanto las zonas urbanas, como rurales.

En la zona Atlántica, donde se desarrolla mucho la actividad bananera, el incremento de las lluvias, y en consecuencia las inundaciones, provocan grandes pérdidas a dicho sector. Estas afectaciones disminuyen la cantidad de fruta que se puede cosechar, y por ende las exportaciones.

La zona de Matina, donde se depende de los diques para mantener el río en su cauce en las crecidas máximas, son muy afectadas cuando estas estructuras fallan, lo cual, permite el ingreso del agua a zonas bajas, provocando mucho daño. Uno de los principales factores de los desbordamientos de los ríos es la falta de espacio, es decir, los diques en la mayoría del trayecto están muy cerca del río, lo cual limita el área o cauce por el cual avanza el agua cuando se dan crecidas máximas.

La zona de estudio se encuentra localizada en las fincas de banano que pertenecen al Grupo Acón, en Matina Limón y por dicha área de estudio pasa el Río Matina. La zona presenta constantes precipitaciones a lo largo del año, lo cual, en reiteradas ocasiones genera desbordamiento del río por la topografía del lugar, y afecta las fincas del Grupo.

Durante muchos años las fincas en Matina, Limo A, Limo B, Limo C y Palo Alto, así como las de Estrada, Acorsa 2, Banasol 1 y Bioban 3 (en la otra margen del río), las cuales pertenecen al Grupo Acón, han sufrido inundaciones, casi que, en forma anual, ya que siempre hay algún evento máximo de lluvia que afecta el lugar.

Como medidas que ha tomado la empresa para mitigar los desbordamientos, se han construido diques en ambas márgenes y se han controlado los efectos de los altos caudales. Sin embargo, conforme pasó el tiempo la sedimentación, el levantamiento de la rasante de otros diques de fincas vecinas, e incluso la construcción de alguno nuevo, ha provocado un incremento en el tirante del río debido al encajonamiento del cauce.

Una solución que propone la empresa, es construir un vertedero lateral en el margen derecho del río (existe un canal para verter, quebrada Caño de San José), que controle los desbordamientos en zonas donde el daño es muy grande y perjudicial para la empresa.

En la Figura 1, se muestra las consecuencias de las altas precipitaciones, la crecida de enero del 2018, en el cual se dio el desbordamiento del Río Matina en varios tramos. En dicha figura, se puede ver como los altos caudales del río permiten arrasar todo a su paso, el río en muchos tramos no sigue su cauce natural.



Figura 1. Desbordamiento del Río Matina, Matina Limón.

Fuente: Grupo Acón.

En este evento de enero del 2018, la finca Limo A del Grupo Acón, en Matina Limón (margen izquierdo, Figura 2), se vio afectada, con 700 ha inundadas. Un total de 12 hectáreas de banano tuvieron que ser renovadas, esto por pérdida total (ver Figura 3).



Figura 2. Desbordamiento del Río Matina sobre las fincas del Grupo Acón, Matina Limón.

Fuente: Grupo Acón.



Figura 3. Pérdida de 12 ha de banano de la finca Limo A, Grupo Acón, Matina Limón.

Fuente: Grupo Acón.

Dichas afectaciones en el cultivo se dieron por la falla de un dique, el cual se tuvo que corregir con el uso de maquinaria pesada (dragas), las cuales trabajaron cuando las condiciones del tiempo lo permitían, tratando de que el suelo estuviese lo mas seco posible (ver Figura 4), con un costo de reparación de 140 millones de colones.



Figura 4. Reconstrucción del dique de la finca Limo A del Grupo Acón, Matina Limón.

Fuente: Grupo Acón.

## **2.1. Objetivo General**

- a) Diseñar un vertedero lateral sobre el margen derecho del río Matina, para evitar los desbordamientos sobre las fincas de banano del Grupo Acón en Matina Limón, Costa Rica.

## **2.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar los caudales máximos de la cuenca del Río Chirripó Atlántico.
- b) Diseñar una estructura hidráulica de protección.
- c) Determinar la viabilidad financiera y ambiental del proyecto.

### **III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Desbordamiento de ríos (inundaciones)**

Según Gil y Orozco (2016), las inundaciones generalmente son el resultado de lluvias intensas o de larga duración que colman los cauces de los ríos, producto de la baja infiltración y retención de agua en el suelo. Se debe tener en cuenta que la inundación se le atribuye el nombre de catástrofe, la cual viene dada por una serie de factores tales como la variabilidad climática y el cambio climático, debido a las intensas precipitaciones, lo cual suele comportarse como un fenómeno natural destructivo que tiene como consecuencia la pérdida de vidas, degradación ambiental, desplazamientos hacia otras zonas, pérdida de cosechas, generación de erosión, lo cual incrementa la carga de sedimentos del río que son depositados en la zona del valle, entre otros.

El mismo autor afirma que dicha problemática es provocada cuando el terreno no tiene la capacidad suficiente de almacenar toda el agua que cae sobre la superficie permitiendo el aumento del nivel del cauce y la reducción en la capacidad de transporte. También, por roturas de presas o diques, permiten que el agua almacenada en el embalse sea liberada repentinamente lo cual genera inundaciones peligrosas. Otro factor que contribuye, es la actividad humana basada en la tala de árboles, cultivos que descobijan el suelo de su cobertura vegetal facilitando la erosión del mismo que llega hasta los cauces aportando un efecto negativo sobre la inundación y la construcción alrededor de los ríos que presenta una reducción de la sección útil para evacuar el agua.

De acuerdo con Rubio (s.f.), el agua corre por donde puede correr y las crecientes tienen la fuerza para modificar lo que encuentra a su paso. Si hay comunidades humanas y bienes que interfieren en su camino hay peligro para ellas por que pueden recibir daños. Si no hay comunidades humanas o bienes, los fenómenos naturales no son amenaza. Entonces, el desastre natural no es la inundación, sino las consecuencias de que haya poblaciones ubicadas en sitios propensos a inundación o cambios en el territorio que las favorezcan, fragilidad o insuficiencia de las infraestructuras, exponiéndose quienes los ocupan al peligro y al riesgo de perder la vida, a daños personales y en los bienes. La mejor manera en que las comunidades pueden evitar su impacto negativo es conocer los eventos peligrosos, organizarse y prepararse para una respuesta efectiva.

Algunos de los efectos potenciales provocados por las inundaciones se pueden ver en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Efectos potenciales producto de una inundación.

Fuente: Rodríguez, 2011.

<b>Enfoque Multidisciplinario</b>			
<b>Impacto producido por inundación</b>	<b>Efectos (Interrelacionados)</b>		
	<b>Sociales</b>	<b>Económicos</b>	<b>Ambientales</b>
<b>Aguas estancadas</b>	Ocupación de espacios inadecuados no controlados	Alteración a la actividad turística local	Afectación de la cobertura vegetal
	Incertidumbre sobre el futuro de los afectados	Pérdida de cosechas y/o cultivos	Afectación del suelo
	Proliferación de enfermedades y epidemias	Colapso de sistema de red de drenaje y alcantarillado	Migración de especies endémicas y faunísticas
<b>Desbordamiento de los ríos</b>	Improvisación de infraestructura no adecuada para refugiados	Alteración y/o destrucción de espacios urbanísticos	Contaminación de cuerpos de agua (lagunas, arroyos, ríos y lagos)
	Aumento de la pobreza	Colapso de puentes o vías de acceso	Aumento de procesos erosivos
	Criminalidad y delincuencia	Colapso de canales y diques	Escases de agua potable
	Pérdida de vidas humanas	Colapso de infraestructuras públicas como escuelas y hospitales	Alteración del paisaje
	Desempleo	Afectación de los servicios básicos (agua, luz)	Afectación del hábitat natural
	Conflictos interpersonales	Alteración de la red de tuberías de gas y agua potable	Proliferación de vectores contaminantes

### 3.2. Diques

Para esclarecer el tema, un dique es “un terraplén de arcilla, aunque los hay de arena, construido con el objeto de proteger casas, tierras agrícolas y vidas humanas contra la acción de una creciente o un remanso de agua”. (Rodríguez, 2011)

En opinión de Gil y Orozco (2016), una alternativa de solución que permite controlar en cierta medida las inundaciones provocadas por los desbordamientos, son las estructuras de contención tipo dique, que permite proteger las zonas de riesgo al aumentar la capacidad de transporte de los cauces. Sin embargo, presenta una problemática puesto que en diferentes situaciones ha fallado como estructura, permitiendo el desbordamiento del canal e inundaciones,

que son resultado de la falta de planeación, parámetros de diseño, materiales de construcción, estándares de calidad del dique y filtraciones que atentan contra la estructura.

De acuerdo con Rodríguez (2011), la implementación de los diques, generalmente el alineamiento, se hace siguiendo la configuración de la zona por proteger dejando un amplio cauce de inundación, de manera que no se lleguen a tener elevaciones del agua apreciables; sin embargo, eso no siempre es posible ya que en ocasiones obligaría a desplantar el dique en lugares inadecuados, donde cimentarlos sería difícil o muy costoso. El material para construir el dique se toma de bancos de préstamo, cuando el material de la planicie es adecuado para construir el dique, parte del material utilizado proviene, por ejemplo, de las excavaciones de los drenes necesarios. Debe tenerse en mente que los drenes o las excavaciones nunca se harán adyacentes al pie de los taludes del dique, y que el material tomado directamente de la planicie no necesariamente es homogéneo. Por último, el diseño de la sección transversal del dique debe hacerse con base en las propiedades del material del dique y del terreno en que se apoya.

Uno de los tipos de dique de importancia es el longitudinal, “como su nombre lo indica, se construyen a lo largo de las márgenes de un río y al confinar el agua entre ellos sirven para proteger simultáneamente varias ciudades y pueblos, así como grandes extensiones de terrenos con alta producción agrícola y ganadera”. (Rodríguez, 2011)

Por la presencia de los diques longitudinales, según el mismo autor mencionado anteriormente, quedan definidos dos cauces:

- a) Cauce principal; es aquél por donde escurre normalmente el agua antes de desbordarse.
- b) Cauce de avenidas; es el formado entre cada orilla del cauce principal y el dique correspondiente. Cuando los diques se construyen en las orillas del río no existen cauces de avenida; esto sólo es posible en aquellos ríos cuyas márgenes son arcillosas y muy resistentes a la erosión.

Los diques al ser contruidos de arcilla, arena, grava, entre otro tipo de material, a lo largo de tiempo sufren deterioro, ya sea por el impacto de las crecidas máximas, fuertes lluvias, etc. Lo cual en la Figura 5 se puede observar algunas de las fallas y daños más comunes que sufren dichas estructuras.

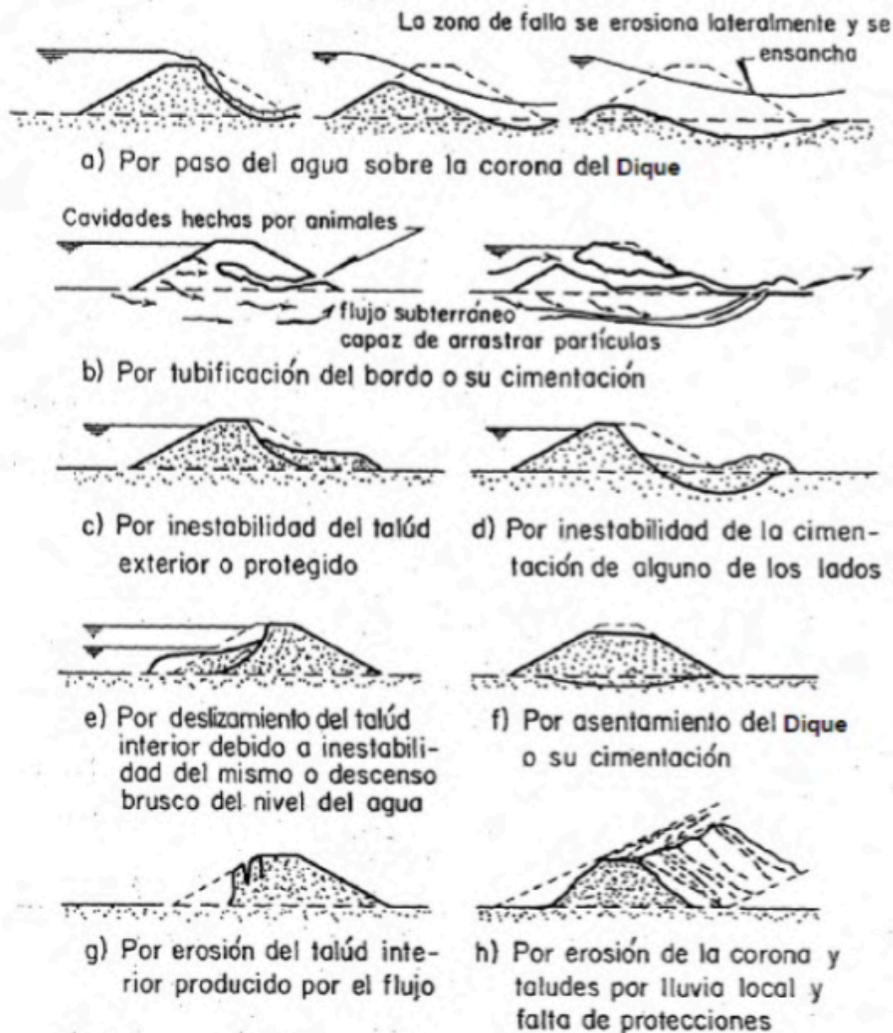


Figura 5. Fallas y daños más comunes que pueden sufrir los diques.

Fuente: Rodríguez, 2011.

### 3.3. Caudales Máximos.

#### 3.3.1. Introducción

El análisis hidrológico de la cuenca constituye un importante paso previo al diseño de las estructuras, ya que éstas se diseñan para evacuar determinados caudales que evitan posibles afectaciones a las infraestructuras o al entorno (COMITRAN, 2016).

El mismo autor afirma que, el estudio hidrológico tendrá por finalidad el análisis de las características hidrológicas de la zona objeto del proyecto y las cuencas afectadas por la traza,

con el fin de poder determinar los caudales generados por éstas y dimensionar correctamente las obras de drenaje necesarias.

Se entiende por avenida la elevación de los niveles de agua en el cauce a valores no usuales, como consecuencia del crecimiento del caudal que circula por la red de drenaje. Este aumento del caudal, en la mayoría de los casos, es consecuencia de precipitaciones extraordinarias de una magnitud tal que la superficie de la cuenca no es capaz de asimilarlas en su totalidad. Estos excesos de precipitación que no se infiltran, denominados escorrentía superficial, discurren rápidamente por la red de drenaje de la cuenca concentrándose en los cauces. Esta red, a su vez, tiene una capacidad de evacuación determinada, en función de sus características. El volumen de agua que le llega en un momento dado y que no es capaz de evacuarlo en dicho momento, es almacenado en el cauce, provocando la consiguiente elevación del nivel de agua. Visto de esta forma, el análisis de la problemática creada por el fenómeno de las avenidas se puede centrar en dos puntos diferenciados: Por un lado, la generación de caudales extraordinarios, función de las precipitaciones y de las características de la cuenca, tema estudiado por la hidrología y, por otro lado, el análisis hidráulico del movimiento de dichos caudales por la red de drenaje, función del valor del caudal y de la geometría y características del tramo estudiado. (Robredo, s.f.)

### **3.3.2. Método Directo**

En base a Robredo (s.f.), una vez obtenido un valor de caudal, para el que se quiere determinar los calados de agua originados en la zona, se pasa a un estudio hidráulico del movimiento del flujo en las secciones consideradas. Si la parte del cauce a estudiar presenta una cierta uniformidad en su discurrir, el cálculo se puede simplificar considerando movimiento permanente y uniforme. De esta forma la estimación del calado se puede realizar utilizando formulas ideadas para canales como pueden ser las expresiones de Manning o de Chezy. Si por el contrario no existe esta uniformidad, ya sea porque el cauce natural presenta variaciones apreciables de sección o bien porque se han realizado obras en el que modifican, en una zona concreta, su capacidad de evacuación, el análisis es más complejo, considerándose en dicho caso movimiento permanente no uniforme. El resultado final se puede concretar en un valor único de inundación para el valor del caudal punta estimado o por el contrario se puede elaborar una

curva de gasto para cada punto concreto de la zona. Esta segunda opción ofrece un documento que permite estimar rápidamente cuales serían los calados alcanzados por el agua para distintos caudales y, a la vez, estimar valores de caudal que estén pasando en un momento dado simplemente con leer, en una escala situada al efecto, el nivel de agua.

Este es un método hidráulico, llamado Sección y Pendiente, en el cual el caudal máximo se estima después del paso de una avenida, con base en los datos específicos obtenidos en el campo. (Villón, 2011)

Según Gómez (2010), la aplicación de los métodos directos o hidráulicos (ya que se utilizan formulas de hidráulica) no debe de omitirse nunca, pues, aunque no cuentan con una metodología hidrológica, la mayoría de las veces permiten obtener información bastante útil. Lo anterior, debido a la posibilidad de fijar con buena precisión las alturas o niveles alcanzados por el agua en tiempos pasados y algunas veces algo remotos, a partir de tales datos es posible determinar el gasto máximo instantáneo. El método consiste en resumen en tratar de fijar, en un tramo de río bien definido y característico, las elevaciones máximas alcanzadas por las aguas y calcular, a partir de ellas, el gasto máximo que las produjo. El cálculo del gasto máximo de la avenida por los métodos directos, será de gran utilidad, al menos, para dar una idea del orden de magnitud de ésta.

### **3.4. Diseño de un vertedero de demasía (o lateral)**

De acuerdo a Villón (2017), el vertedero lateral es una estructura de protección que permite evacuar los excesos de caudal, cuando el nivel del agua en el canal pasa de un cierto límite adoptado. Estas estructuras consisten en escotaduras que se hacen en la pared o talud del canal para controlar el caudal, evitándose posibles desbordes que podrían causar serios daños, por lo tanto, su ubicación se recomienda en todos aquellos lugares donde exista este peligro. En el vertedero hay un flujo variado, el caudal  $Q$  disminuye en el sentido de movimiento. Antes o después del vertedero (dependiendo del tipo de flujo), cuando las condiciones lo permitan, hay flujo uniforme.

El mismo autor establece criterios para el diseño de un vertedero lateral:

- a) La altura del vertedero o diferencia entre la altura de la cresta de este y el fondo del canal, corresponde al tirante ( $y_n$ ).

b) El vertedero lateral no permite eliminar todo el excedente de caudal, siempre quedará un excedente que corresponde teóricamente a unos 10 cm encima del tirante normal.

c) El caudal de diseño de un vertedero se puede establecer como aquel caudal que circula en el canal por encima de su tirante normal ( $y_n$ ), hasta el nivel máximo de su profundidad total ( $y_{max}$ ), o hasta el nivel que ocupa en el canal, el caudal considerado como de máxima avenida. El N.A.M.E (Nivel de aguas Máximas Extraordinarias), el cual tiene como tirante el  $y_{max}$ , y de aquí se calcula el caudal antes del vertedero ( $Q_{N.A.M.E}$ ) (ver Figura 6).

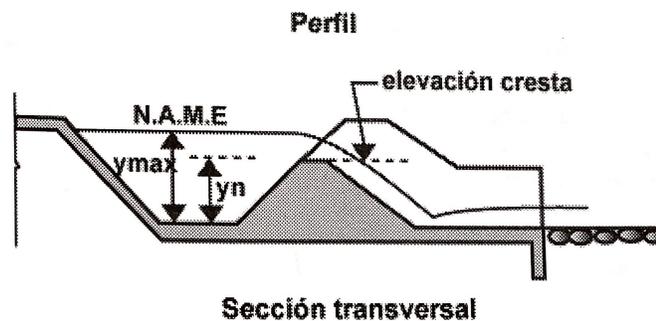


Figura 6. Vertedero Lateral.

Fuente: Villón, 2017.

### 3.5. Diseño de una rápida y colchón amortiguador.

En opinión de Villón (2017), las rápidas son estructuras que sirven para enlazar dos tramos de un canal donde existe un desnivel considerable en una longitud relativamente corta. La decisión entre la utilización de una rápida y una serie de caídas escalonadas está supuesta a un estudio económico comparativo.

Este autor establece que los elementos de una rápida son (ver Figura 7):

- Transición de entrada: una por medio de un estrechamiento progresivo en la sección del canal superior con la sección de control.
- Sección de control: es la sección correspondiente al punto donde comienza la pendiente fuerte de la rápida, manteniéndose en este punto las condiciones críticas. En la rápida generalmente se mantiene una pendiente mayor que la necesaria para mantener el régimen crítico, por lo que el tipo de flujo que se establece es el flujo supercrítico.

- c) Canal de la rápida: es la sección comprendida entre la sección de control y el principio de la trayectoria. Puede tener un acuerdo en la configuración del terreno una o varias pendientes. Son generalmente de sección rectangular o trapezoidal.
- d) Trayectoria: es la curva vertical parabólica que une la última pendiente de la rápida con el plano inclinado del principio del colchón amortiguador. Debe diseñarse de modo que la corriente de agua permanezca en contacto con el fondo del canal y no se producirán vacíos. Si la trayectoria se calcular con el valor de la aceleración de la gravedad como componente vertical, no habrá presión el agua sobre el fondo y el espacio ocupado por el aire aumentará limitándose así la capacidad de conducción del canal, por lo que se acostumbra a usar como componente vertical un valor inferior a la aceleración de la gravedad o incrementar el valor de la velocidad para la lámina de agua adhiera al fondo del canal.
- e) Tanque amortiguador, colchón disipador o poza de disipación: es la depresión de profundidad y longitud suficiente con el objetivo de absorción parte de la energía cinética generada en la rápida, mediante la producción del resalto hidráulico, y contener este resalto hidráulico dentro de la poza. Se ubica en el extremo inferior de la trayectoria.
- f) Transición de salida: tiene el objetivo de unir la poza de disipación con el canal aguas abajo.
- g) Zona de protección: con el fin de proteger el canal sobre todo si es en tierra, se puede revestir con mampostería.

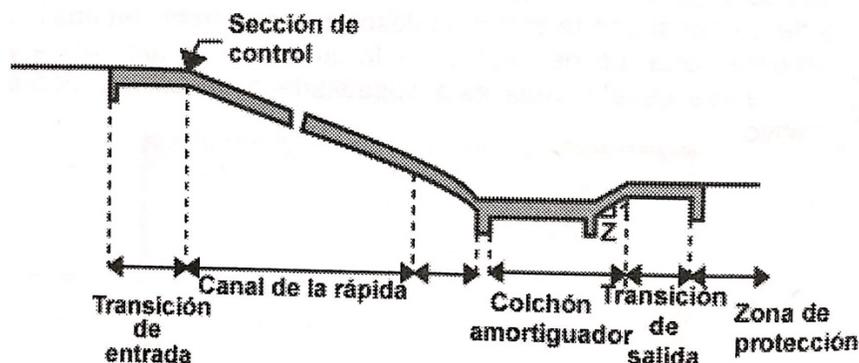


Figura 7. Perfil longitudinal, elementos de una rápida.

Según Villamarin (2013), el resalto que se produce en un estanque amortiguador tiene características especiales y toma una forma definida que depende de la energía de la corriente que debe disiparse en relación al tirante, el Bureau of Reclamation ha efectuado una serie completa de pruebas para determinar las propiedades del resalto hidráulico. La forma del resalto y las características de su régimen se puede relacionar al factor cinético, de la descarga que entra al estanque; al tirante crítico o al parámetro del número de Froude.

Por otra parte, Palomino (2003) afirma que en una poza disipadora el agua fluye desde el tramo corto de pendiente pronunciada a una velocidad mayor que la velocidad crítica. El cambio abrupto en la pendiente, donde la pendiente suave del piso de la poza disipadora se une con el tramo corto de pendiente pronunciada, fuerza el agua hacia un salto hidráulico y la energía es disipada en la turbulencia resultante. La poza disipadora es dimensionada para contener el salto. Para que una poza disipadora opere adecuadamente, el número de Froude debería estar entre 4.5 y 15, donde el agua ingresa a la poza disipadora. Las pozas disipadoras requieren de un tirante de aguas abajo para asegurar que el salto ocurra donde la turbulencia pueda ser contenida. Las pozas disipadoras usualmente tienen una sección transversal rectangular, muros paralelos y un piso a nivel.

### **3.6. Modelo hidrodinámico (Iber)**

#### **3.6.1. Introducción**

La modelación matemática del flujo de agua en un río consiste en predecir los valores que toman las variables hidráulicas (calado, velocidades, caudal, etc.) a partir de la resolución mediante métodos numéricos de unas ecuaciones obtenidas con una serie de hipótesis. Para el estudio de los efectos de la propagación de avenidas en ríos se pueden utilizar modelos unidimensionales o bidimensionales. La necesidad de estudiar cada vez fenómenos más complejos, y la observación que en la naturaleza se encuentran muchas situaciones donde el flujo parece ser efectivamente bidimensional —es decir, predominan las dimensiones horizontales sobre la vertical—, junto con la creciente capacidad y velocidad de los ordenadores, ha llevado al uso de ecuaciones y esquemas bidimensionales (ecuaciones de aguas someras). (Blade, Cea, Corestein, Escolano, Puertas, Vázquez, Dolz y Coll, 2012)

### 3.6.2. Hidráulica de ríos

Según Morris y Fan (1998), los aspectos más importantes que se debe considerar a la hora de estudiar un río es la presencia de fenómenos como la erosión, la sedimentación y en general el transporte de sedimentos (ver Figura 8), lo cual influye directamente en el comportamiento del cauce natural. Para realizar el estudio hidráulico de los ríos existen diferentes modelos que pueden ser unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales, los cuales se ajustan dependiendo de las necesidades que se tengan en el proyecto y de la capacidad económica disponible para el estudio.

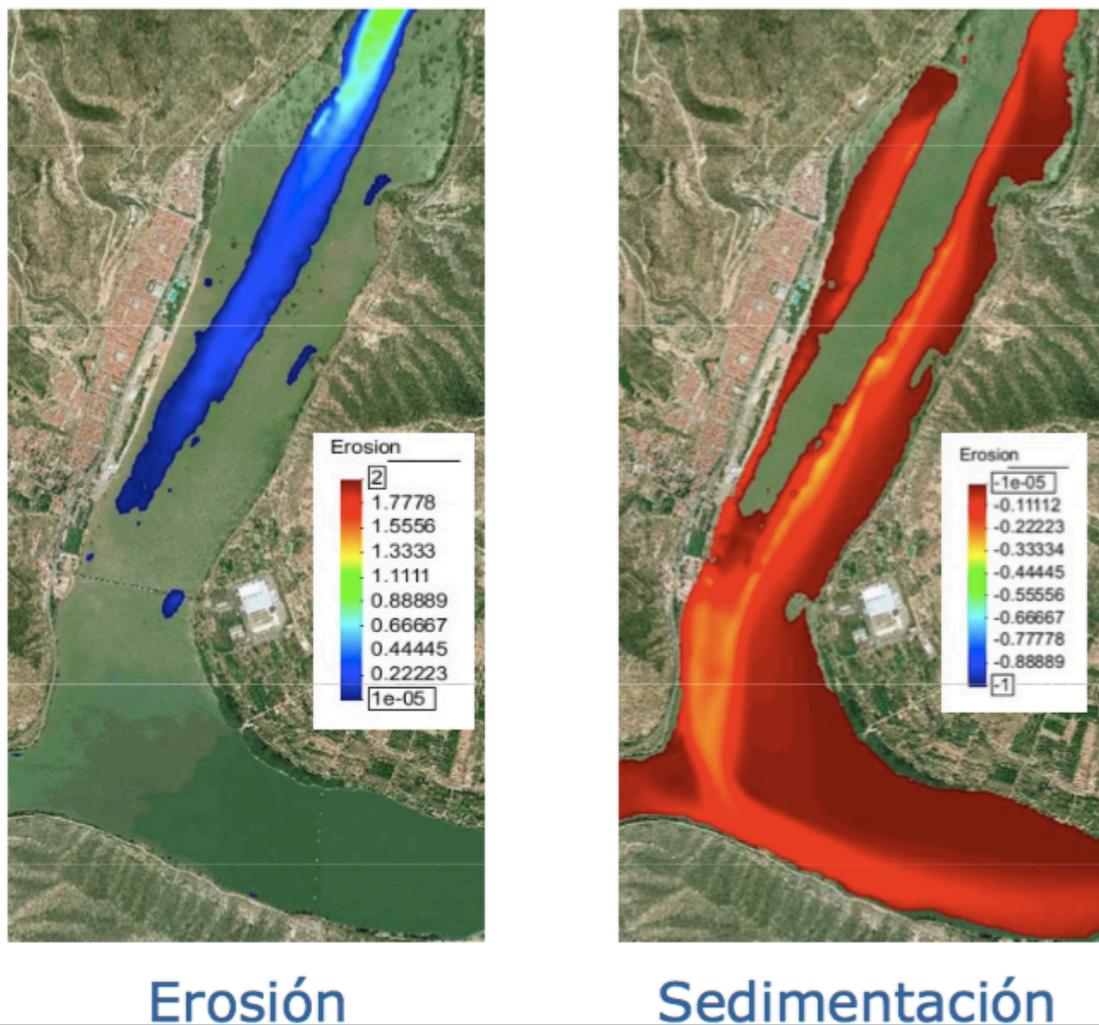


Figura 8. Ilustración del Software Iber, resultados de sedimentación y erosión.

Fuente: Sánchez, 2016.

### 3.6.3. Modelación numérica

Según Guzmán, Watson, Villagra y Casasola (2017), IBER es un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo en lamina libre y procesos de transporte en ríos y estuarios, desarrollado en colaboración por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE), en el marco de un Convenio de Colaboración suscrito entre el CEDEX y la Dirección General del Agua. El módulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad bidimensionales, también conocidas como ecuaciones de St.Venant 2D. Dichas ecuaciones asumen las hipótesis de distribución de presión hidrostática y distribución uniforme de velocidad en profundidad. La hipótesis de presión hidrostática se cumple razonablemente en el flujo en ríos, así como en las corrientes generadas por la marea en estuarios y zonas costeras. La hipótesis de distribución uniforme de velocidad en profundidad se cumple de forma habitual en ríos y estuarios, siempre y cuando no existan procesos relevantes de estratificación debido a diferencias de salinidad, de temperatura o al viento. En el módulo de transporte de sedimentos se resuelven las ecuaciones de transporte por carga de fondo y por carga en suspensión. Teniendo en cuenta ambos modos de transporte se calcula la evolución de la cota del fondo debido a procesos de sedimentación y erosión mediante la ecuación de Exner. En la versión actual únicamente se consideran granulometrías uniformes. En versiones posteriores se incorporarán formulaciones específicas para mezclas de sedimento.

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no- permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables (ver Figura 9), el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios. El modelo Iber consta actualmente de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares y/o cuadriláteros (ver Figura 10). (IBER, 2010)

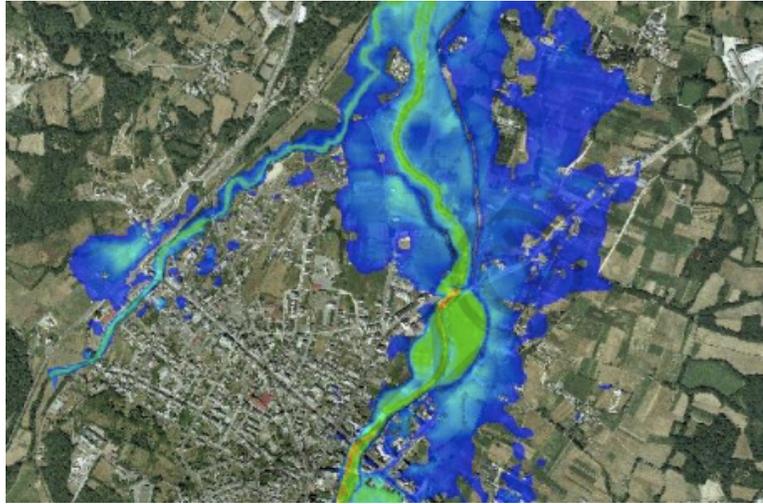


Figura 9. Evaluación de inundaciones.

Fuente: Sánchez, 2016.

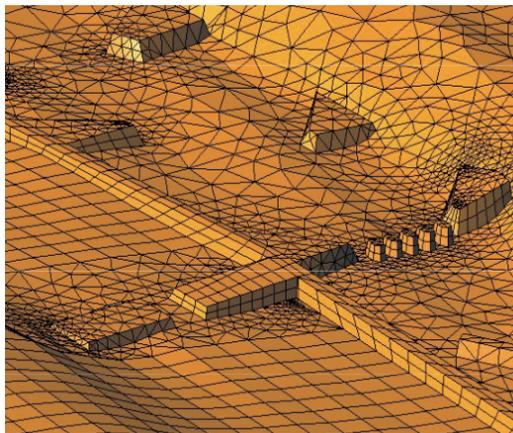


Figura 10. Mayado no estructurado.

Fuente: Sánchez, 2016.

Iber resuelve las ecuaciones de aguas poco profundas promediadas en profundidad para calcular la profundidad del agua y las dos componentes horizontales de la velocidad promediada en profundidad. Estas ecuaciones se resuelven con un solucionador de volumen finito no estructurado explícito en el tiempo. Los algoritmos implementados en el modelo han sido ampliamente validados y aplicados en estudios previos relacionados con inundaciones de ríos y corrientes de marea en estuarios. (IBER, 2014)

En opinión de Collazos (2015), un modelo bidimensional permite cuantificar las alteraciones en el flujo en un entorno urbano, al representar de forma realista el movimiento del

agua por calles de la ciudad. El modelo IBER (desarrollado por varias instituciones públicas españolas) tiene la ventaja de ser un programa rápido, robusto y gratuito.

### **3.7. Análisis económico y ambiental**

#### **3.7.1. Económico**

El costo de oportunidad es el valor a que se renuncia por consumir o utilizar un bien o servicio para un propósito dado en lugar de otro uso o destino posible. El costo de oportunidad de ese uso, por unidad de tiempo, es igual a la pérdida de valor de mercado (valor al contado o valor actual de una venta a crédito) durante el correspondiente período, más la renta que podría haberse extraído en ese lapso de la mejor utilización posible de su valor inicial; o bien la renta que podría producir, en una unidad de tiempo, el mejor de los otros usos posibles del bien, el que sea mayor. Por ejemplo: El rendimiento que se podría haber obtenido si se hubiera optado por la mejor alternativa posible de ganancia o, el resultante de una opción entre dos alternativas que estará dado por aquella que se deja de lado. (Gestiopolis, s.f.)

En el enfoque económico, se parte de la idea de que los recursos son escasos y, en su mayoría, tienen usos alternativos. Así pues, la producción de un bien implica la renuncia a fabricar otro producto con esos mismos recursos. El bien o servicio al que se le han aplicado esos recursos se expresará en términos del bien o servicio sacrificado. El principio de devengo viene a ratificar la afirmación anterior en cuanto que señala que la imputación de los ingresos y los gastos se hará en función de la corriente real de bienes y servicios que los mismos representen independientemente del momento en que se produzca el cobro o el pago de ellos. Este principio está indicando que los ingresos y los gastos se contabilizan cuando se generan unos derechos de cobro o de pago los cuales generarán unos desembolsos futuros. Se contabilizan las alternativas seleccionadas, pero no aquellas que se rechazan ya que éstas no crean derechos de cobro o de pago y, por lo tanto, tampoco desembolsos. (Gonzales, s.f.)

Un estudio financiero de un proyecto tiene como objetivo detectar los recursos económicos para poder llevar a cabo un proyecto. Gracias a este análisis se calcula también el costo total del proyecto, así como los ingresos que se estiman recibir en cada una de las etapas del proyecto. La información generada durante este estudio financiero nos dirá la viabilidad del proyecto en términos económicos. Entonces, la evaluación financiera del Proyecto es el estudio

cuyo objetivo será determinar la rentabilidad del proyecto gracias al análisis de una inversión inicial, los beneficios y los costos de la ejecución del mismo. (Sinnaps, 2018)

Con relación a la evaluación económica y financiera, los indicadores son conceptos valorizados que expresan el rendimiento económico de la inversión de una empresa, y en base a la magnitud de estos, se puede aceptar o rechazar la realización de un proyecto, o en su caso, se evalúa su rentabilidad. También, permite comparar y seleccionar entre diferentes alternativas de inversión. Los indicadores más utilizados, son aquellos que consideran el valor del dinero en el tiempo, como son: Valor actual neto (VAN), Relación Beneficio/Costo y Tasa Interna de Retorno (TIR). (Franco, Bobadilla & Rebollar, 2014)

Por otra parte, según Hillermann (2011), está el análisis Costo-Beneficio (ACB). Es una técnica que se basa en el principio de obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo efectuado. Este esfuerzo incluye: la inversión de recursos económicos o físicos, la eficiencia técnica y la motivación humana. Su aplicación es posible en prácticamente todo tipo de proyectos, incluyendo: proyectos sociales, proyectos colectivos o individuales, empresas privadas, planes de negocios, etc. Algunos instrumentos que se utilizan para complementar el Análisis Costo Beneficio son:

- a) El punto de equilibrio.
- b) La Tasa Interna de Retorno.
- c) Valor Actual Neto.
- d) El Análisis Costo-Efectividad.

Según EconomíaFinanzas (2017), el VAN y el TIR son dos tipos de herramientas financieras del mundo de las finanzas muy potentes y nos dan la posibilidad de evaluar la rentabilidad que nos pueden dar los diferentes proyectos de inversión. En muchos casos, la inversión en un proyecto no se da como inversión sino como la posibilidad de poner en marcha otro negocio debido a la rentabilidad. El VAN o Valor Actual Neto, se conoce a esta herramienta financiera como la diferencia entre el dinero que entra a la empresa y la cantidad que se invierte en un mismo producto para ver si realmente es un producto (o proyecto) que puede dar beneficios a la empresa. El VAN cuenta con una tasa de interés que se llama tasa de corte y es la que se usa para actualizarse constantemente. Dicha tasa de corte, la da la persona que va a evaluar dicho proyecto y que se hace en conjunto con las personas que van a invertir.

El mismo autor recalca que para saber cómo se usa el VAN contamos con una fórmula que es  $VAN = BNA - Inversión$ . El Van ya sabemos lo que es y el BNA es el beneficio neto actualizado o, dicho con otras palabras, el flujo de caja que tiene la empresa. Este método se debe utilizar siempre con el beneficio neto actualizado y no con el beneficio neto proyectado de una empresa para que nuestras cuentas no fallen. Para saber cuál es el BNA debes hacer un descuento de TD o tasa de descuento. Esta es la tasa de rentabilidad mínima y se sabe de la siguiente manera. Si la tasa resulta mayor que el BNA esto quiere decir que la tasa no se ha satisfecho y tenemos un VAN negativo. Si el BNA es igual a la inversión, esto quiere decir que se ha cumplido con la tasa, el VAN es igual a 0. Cuando el BNA es mayor significa que se ha cumplido con la tasa y, además, se ha conseguido sacar una ganancia.

En opinión de Mete (2014), el TIR es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a 0. El argumento básico que respalda a este método es que señala el rendimiento generado por los fondos invertidos en el proyecto en una sola cifra que resume las condiciones y méritos de aquel. Al no depender de las condiciones que prevalecen en el mercado financiero, se la denomina tasa interna de rendimiento: es la cifra interna o intrínseca del proyecto, es decir, mide el rendimiento del dinero mantenido en el proyecto, y no depende de otra cosa que no sean los flujos de efectivo de aquel.

Este autor afirma que para proyectos independientes surge de la comparación entre la TIR y la tasa de expectativa o alternativa/oportunidad. Si la TIR es mayor a la tasa de expectativa, el proyecto es financieramente atractivo ya que sus ingresos cubren los egresos y generan beneficios adicionales por encima de la expectativa o alternativa. Si la TIR es igual a la tasa de expectativa es indiferente realizar el proyecto o escoger las alternativas, ya que generan idéntico beneficio. En caso de no existir alternativas debería llevarse a cabo el proyecto ya que los ingresos cubren los ingresos y generan beneficios. Si la TIR es menor a la tasa de expectativa, el proyecto no es financieramente atractivo ya que hay alternativas de inversión que pueden generar mejores resultados. Dentro de este escenario se nos pueden presentar dos alternativas:

- a) TIR menor a la expectativa, pero mayor a 0: significa que los ingresos apenas cubren los egresos del proyecto y no se generan beneficios adicionales.
- b) TIR menor a 0: significa que los ingresos no alcanzan a cubrir los egresos, por ende, el proyecto genera pérdidas.

### **3.7.2. Ambiental**

De acuerdo con Villagra (2017), el impacto ambiental es un efecto que una actividad, obra o proyecto tiene sobre el ambiente. Puede ser de tipo positivo o negativo, directo o indirecto, acumulativo o no, reversible o irreversible, extenso o limitado. Por otro lado, la evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como un procedimiento científico –técnico que permite identificar y predecir cuáles efectos ejercerá sobre el ambiente, una actividad, obra o proyecto, cuantificándolos y ponderándolos para conducir a la toma de decisiones. La EIA abarca tres fases: a) Evaluación Ambiental Inicial (EAI), b) Confección de estudio de impacto ambiental (EsIA), y c) Control y Seguimiento ambiental de la actividad, obra o proyecto a través de los compromisos ambientales establecidos.

Los pasos para un EIA según Villagra (2017) son:

- a) Categorización del proyecto.
- b) Categorización del ambiente.
- c) Identificación y evaluación de impactos ambientales.
- d) Formulación de Plan Manejo ambiental

Por otro lado, Rojas (2017) afirma que la viabilidad ambiental según el reglamento general de procedimientos de evaluación ambiental de impacto ambiental de SETENA, se definen como la licencia que representa la condición de armonización o de equilibrio aceptable, desde el punto de vista de carga ambiental, entre el desarrollo y ejecución de una actividad, obra o proyecto y sus impactos ambientales potenciales, y el ambiente del espacio geográfico donde se desea implementar. Desde el punto de vista administrativo y jurídico, corresponde al acto en que se aprueba el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental Inicial, o de Estudio de Impacto Ambiental o de otro documento de evaluación del impacto ambiental.

En opinión de Villagra (2017), el método de Arboleda para el estudio del impacto ambiental, se evaluó mediante los siguientes parámetros:

- a) Clase (C): define el sentido del impacto. Positivo (+1) si mejora la condición ambiental, negativo (-1) si la desmejora.
- b) Presencia (P): posibilidad de que el impacto pueda darse (% probabilidad de ocurrencia).
  - a. Cierta: probabilidad de impacto en que se presenta es 100% (se califica como 1).
  - b. Muy probable: probabilidad entre 70-100% (se califica de 0,7-0,99).
  - c. Probable: probabilidad entre 40-70% (se califica de 0,4-0,69).
  - d. Poco probable: probabilidad entre 20-40% (se califica de 0,2-0,39).
  - e. Muy poco probable: probabilidad menor al 20% (se califica de 0,01-0,19).
- c) Duración (D): tiempo de permanencia o tiempo de vida del impacto. Desde el momento en que se manifiesta sus consecuencias hasta que duren los efectos sobre el factor ambiental.
  - a. Muy larga: duración del impacto mayor a 10 años (se califica como 1).
  - b. Larga: duración entre 7-10 años (se califica de 0,7-0,99)
  - c. Media: duración entre 4-7 años (se califica de 0,4-0,69).
  - d. Corta: duración entre 1-4 años (se califica de 0,1-0,39).
  - e. Muy corta: duración menor a 1 (se califica de 0,01-0,19).
- d) Evolución (E): velocidad con que el impacto se despliega a partir del momento en que inician las afectaciones hasta que el impacto se hace presente plenamente con todas sus consecuencias.
  - a. Muy rápida: alcanza máximas consecuencias en tiempo menor de 1 mes después de su inicio (se califica como 1).
  - b. Rápida: tiempo entre 1-12 meses (se califica de 0,7-0,99).
  - c. Media: tiempo entre 12-18 meses (se califica de 0,4-0,69).
  - d. Lenta: tiempo entre 18-24 años (se califica de 0,2-0,39).
  - e. Muy lenta: tiempo mayor a 24 meses (se califica de 0,01-0,19).
- e) Magnitud (M): dimensión o tamaño del cambio sufrido en el factor ambiental.
  - a. Muy alta: afectación del factor mayor al 80%, se destruye o cambia casi totalmente (se califica como 1).

- b. Alta: afectación del factor entre 60-80%, modificación parcial del factor (se califica de 0,7-0,99).
- c. Media: afectación del factor entre 40-60%, afectación media del factor (se califica de 0,4-0,69).
- d. Baja: afectación del factor entre 20-40%, afectación baja del factor (se califica de 0,2-0,39).
- e. Muy baja: afectación del factor menor al 20%, modificación mínima del factor (se califica de 0,01-0,19).
- f) Calificación ambiental (Ca) del impacto: representa la gravedad o importancia de la afectación que se está causando.

## **IV. METODOLOGÍA**

#### 4.1. Área de estudio.

Las Fincas del Grupo Acón se encuentran ubicadas en Matina, Limón Costa Rica, a una altitud aproximada de 20 metros sobre el nivel del mar. La zona de estudio donde se diseñó el vertedero de demasía (o lateral) y realizó la modelación bidimensional, se encuentra ubicada en el dique del margen derecho del río Matina, coordenadas  $10^{\circ}04'25.23''$  N y  $83^{\circ}16'22.39''$  O, la cual se puede apreciar en la Figura 11. Esta zona da a la finca Bioban 3, sembrada de banano.

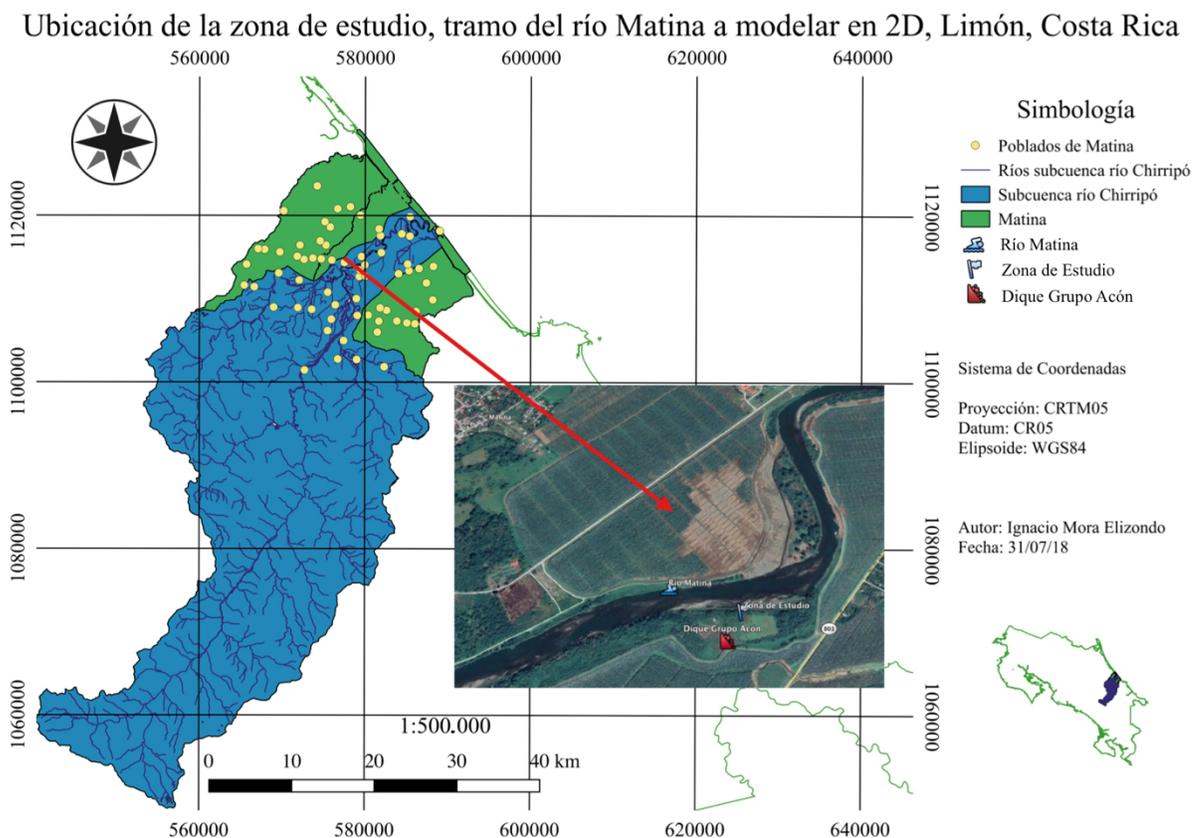


Figura 11. Zona de estudio y tramo de la modelación del Río Matina, Matina Limón

#### 4.2. Caudales máximos.

Par el cálculo del caudal máximo de la cuenca del Río Chirripó Atlántico, se aplicó el método directo de la siguiente manera:

- Mediante los datos obtenidos del levantamiento topográfico, con la estación total, de la zona de estudio, se tomó un perfil de los puntos levantados, y se procesó en el software

AutoCAD para conocer el área hidráulica (A) y radio hidráulico (R) máximo de dicha sección.

- b) Con los datos obtenidos en campo, procesados en AutoCAD, se calculó la pendiente (S), según las cotas de los puntos del río.
- c) Se eligió un coeficiente de rugosidad (n) de Manning de acuerdo a las condiciones físicas del cauce que se evidenciaron mediante la gira en campo (ver anexos 1, Cuadro 5).
- d) Luego, se aplicó la ecuación 1, fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots (1)$$

Donde:

Q = caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

n = coeficiente de rugosidad (adimensional)

A = área hidráulica (m<sup>2</sup>)

R = radio hidráulico (m)

S = pendiente (m/m)

### **4.3. Diseño hidráulico del vertedero de demasía (o lateral).**

#### **4.3.1. Vertedero**

Para el diseño del vertedero lateral se aplicó la ecuación de descarga de un vertedero, de la siguiente forma:

- a) Se calculó el caudal máximo que puede transportar la quebrada (canal) a verter (quebrada caño de San José), con los datos obtenidos del levantamiento topográfico, de una sección del canal, mediante la ecuación 1.
- b) Se calculó el coeficiente experimental de gasto (m), mediante la ecuación 2 (fórmula de Bazin).

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{h}\right) \left(1 + 0,55 \frac{h^{\frac{1}{2}}}{(h+a)^2}\right) \dots (2)$$

Donde:

m = coeficiente experimental de gasto (adimensional)

h = carga sobre el vertedero (m)

- a = altura del vertedero, desde la base del canal (m)
- c) Se corrigió el coeficiente experimental de gasto, por la inclinación del vertedero hacia aguas abajo, multiplicándolo por un factor (k) (ver anexo 1, cuadro 6).
- d) Con los datos obtenidos del levantamiento topográfico, se tomó el ancho de la quebrada (canal) a verter (quebrada caño de San José), como la longitud de diseño del vertedero.
- e) Con los datos obtenidos de la ecuación 1 y 2, se calculó la carga máxima sobre el vertedero, mediante la ecuación 3.

$$Q = m(2g)^{\frac{1}{2}}Lh^{\frac{3}{2}} \dots (3)$$

Donde:

Q = caudal máximo a verter (m<sup>3</sup>/s)

m = coeficiente experimental de gasto (adimensional)

g = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

L = longitud del vertedero (m)

h = carga sobre el vertedero (m)

#### 4.3.2. Rápida.

Para el diseño de la rápida que transporta el caudal vertido, se aplicó el proceso de diseño de dicha estructura, de la siguiente forma:

- a) Se tomó el ancho de solera del vertedero, como ancho de la rápida.
- b) El caudal de la rápida, es el caudal que descarga el vertedero.
- c) Se identificó la sección de control y calculó el tirante crítico, mediante la ecuación 4.

$$y_c = \left( \frac{Q^2}{b^2 g} \right)^{\frac{1}{3}} \dots (4)$$

Donde:

y<sub>c</sub> = tirante crítico (m)

Q = caudal máximo a verter (m<sup>3</sup>/s)

b = ancho de solera (m)

g = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

d) Se calculó los tirantes para los diferentes tramos de la rápida a partir de las secciones de control hasta el inicio del resalto hidráulico, mediante el método de cálculo de curva de remanso por tramos fijos.

e) Se calculó el bordo libre en el canal de la rápida, mediante la siguiente ecuación 5:

$$BL = 0,61 + 0,0371vy^{\frac{1}{2}} \dots (5)$$

Donde:

BL = bordo libre (m)

v = velocidad del agua (m/s)

y = tirante de agua (m)

f) Se calculó la elevación de la gradiente de energía en la sección donde se inicia la trayectoria, mediante la ecuación 6:

$$El = Elev(0) + y_0 + \left(\frac{v^2}{2g}\right) \dots (6)$$

Donde:

El = Elevación de la gradiente energía (m)

Elev(0) = cota final de la rápida (m)

y<sub>0</sub> = tirante inicial en la trayectoria (m<sup>3</sup>/s)

v = velocidad del agua (m/s)

g = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

g) Se calculó los valores para trazar la curva elevación (trayectoria de la rápida) – tirante, se supuso tirantes menores que y<sub>0</sub>, se calculó E, mediante la ecuación 7.

$$E = y + \left(\frac{v^2}{2g}\right) \dots (7)$$

Donde:

E = Energía específica (m)

y = tirante de agua (m<sup>3</sup>/s)

v = velocidad del agua (m/s)

g = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

h) Con la elevación de la gradiente energía (ecuación 6), se le restó E (ecuación 7), para obtener la elevación de la trayectoria en la rápida.

- i) Luego, se calculó la elevación del gradiente de energía, en la sección del canal después de la rápida, mediante la ecuación 8.

$$E1 = \text{Elev}(n) + y_n + \left(\frac{v^2}{2g}\right) \dots (8)$$

Donde:

$E1$  = Elevación de la gradiente energía (m)

$\text{Elev}(n)$  = cota canal después de la rápida (m)

$y_n$  = tirante normal en el canal después de la rápida ( $m^3/s$ )

$v$  = velocidad del agua (m/s)

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

- j) Se escogió un  $y_1$  y se calculó el tirante conjugado mayor del resalto ( $y_2$ ), mediante la ecuación 9.

$$y_2 = -\frac{y_1}{2} + \left(\frac{2q^2}{2y_1} + \frac{y_1^2}{4}\right)^{\frac{1}{2}} \dots (9)$$

Donde:

$y_2$  = tirante conjugado mayor (m)

$y_1$  = tirante conjugado menor (m)

$q$  = caudal unitario ( $m^3/s/m$ )

- k) Se calculó  $E$ , mediante la ecuación 10.

$$E2 = y_2 + \left(\frac{v^2}{2g}\right) \dots (10)$$

Donde:

$E2$  = Energía específica (m)

$y_2$  = tirante de agua ( $m^3/s$ )

$v$  = velocidad del agua (m/s)

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

- l) Con la elevación de la gradiente energía (ecuación 8), se le restó  $E$  (ecuación 10), para obtener la elevación del colchón amortiguador.

- m) Para la profundidad del colchón amortiguador (h), se calculó mediante la resta de la cota del canal menos la cota del colchón.
- n) Para la longitud del colchón amortiguador, se calculó mediante la ecuación 11.

$$L = K(y_2 - y_1) \dots (11)$$

Donde:

L = longitud del colchón amortiguador (m)

K = factor según el tipo de sección (adimensional)

y<sub>2</sub> = tirante conjugado mayor (m)

y<sub>1</sub> = tirante conjugado menor (m)

#### **4.4. Modelo hidrodinámico (Iber).**

A partir del levantamiento topográfico se realizó un modelo de elevación digital para conocer el comportamiento de los tirantes en la sección de estudio mediante dos situaciones, con vertedero lateral y sin vertedero lateral.

##### **4.4.1. Sin Vertedero lateral.**

- a) Con los datos del levantamiento topográfico se generó el modelo de elevación digital en el software Surfer.
- b) Con los mismos datos del levantamiento, se generó la geometría en el software AutoCAD.
- c) Una vez que se creó la geometría y el modelo de elevación digital se pasaron los datos para procesarlos en Iber.
- d) En Iber se generó la superficie a la geometría, luego se establecieron los parámetros de rugosidad de las superficies (ver Figura 12), condiciones de contorno (ver Figura 13), además, se le asignó un mayado a las superficies (ver Figura 14), y finalmente se cargo el modelo de elevación digital creado anteriormente.

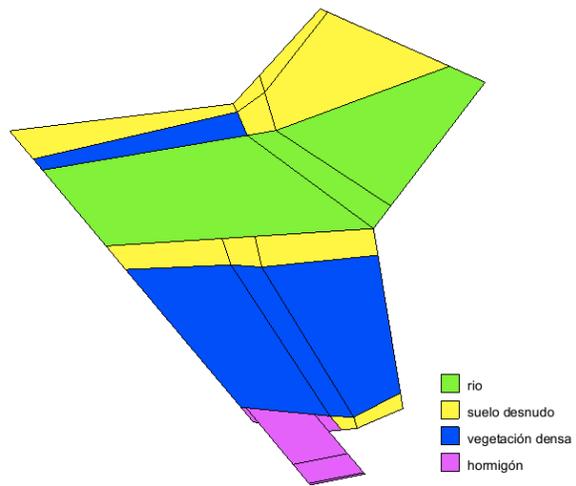


Figura 12. Uso de suelo, geometría.

Entrada	Caudal Total	
Régimen	Crítico/Subcrítico	
Caudal Total	Tiempo [s]	Q [m3/s]
Entrada Num	0.0	500
	1000	4100
	1500	4100
	2500	500

Figura 13. Condiciones iniciales, caudal máximo de la sección a modelar.

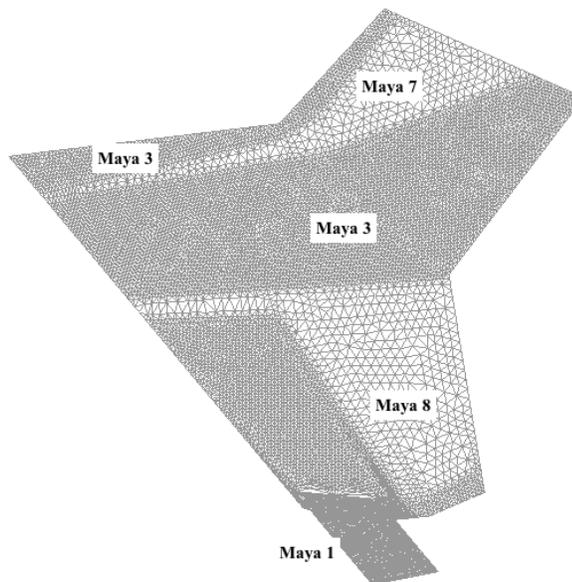


Figura 14. Mayado asignado a las superficies.

- e) Con todos los parámetros que se establecieron, se realizó la modelación en el software Iber, para conocer el caudal máximo que pasaba por la sección de estudio, y conocer los tirantes.

#### 4.4.2 Con vertedero lateral.

- a) A partir de los datos obtenidos de los cálculos de la sección del vertedero y de la rápida, se generó otro modelo de elevación digital que corresponde al vertedero lateral.
- b) Dicho modelo se creó con puntos iniciales en el software AutoCAD, se pasaron al software Surfer y se generó el modelo de elevación digital.
- c) La geometría (ver Figura 15) del modelo anterior (sin vertedero) se modificó tomando en cuenta el vertedero lateral.

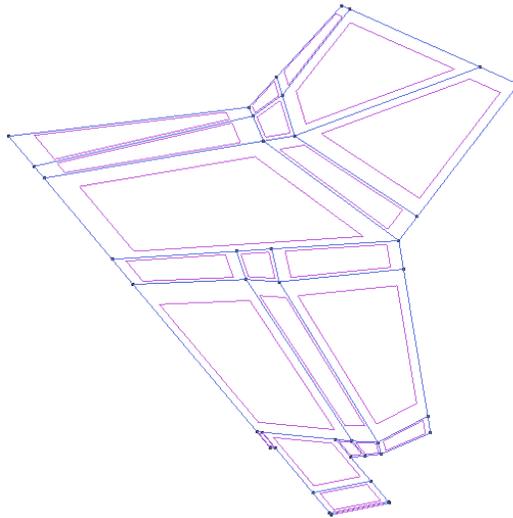


Figura 15. Geometría, modelo con vertedero.

- d) Una vez que se creó la geometría, el modelo de elevación digital (sin vertedero) y el modelo de elevación digital nuevo (el vertedero), se realizó en paso (d) de la sección (4.4.1.).
- e) Se realizó la modelación en el software Iber partiendo del caudal máximo calculado en el modelo anterior (sin vertedero lateral), para conocer la variación de los tirantes en una sección (ver Figura 16) que se genera con el vertedero de demasía.

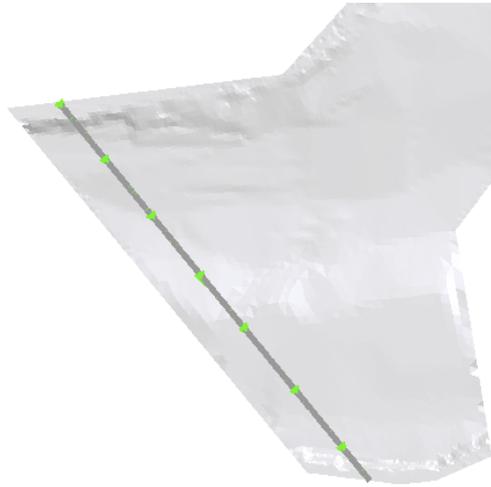


Figura 16. Perfil usado para ver el nivel de los tirantes.

#### 4.5. Viabilidad económica y socio-ambiental.

##### 4.5.1. Viabilidad económica.

El proyecto del diseño de un vertedero lateral se basa en lo que llaman costo de oportunidad, el cual, si el proyecto se realiza, la ganancia de esta inversión va a ser el área que no se va a ver afectadas por inundaciones, esto basados en el supuesto de que la estructura hidráulica impide que sucedan los desbordamientos.

Entonces, se realizó un análisis económico por medio de parámetros de decisión, como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), de la siguiente manera:

- a) Se identificó y calculó todos los costos que implica la construcción del vertedero lateral (inversión inicial).
- b) Se calculó los ingresos a partir del área de banano a proteger (que no se va a inundar).
- c) Se calculó los egresos del área de banano a perder (se va a dejar de sembrar) donde se va a construir la obra.
- d) Luego se calculó el TIR, mediante la ecuación 12.

$$VAN = -I_0 + \left( \frac{Ft_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{Ft_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{Ftn}{(1 + TIR)^n} \right) = 0 \dots (12)$$

Donde:

VAN = Valor actual neto

Io = Inversión inicial

Ft = Flujos de dinero de cada período

TIR = tasa interna de retorno

n = número de períodos de tiempo

e) Por último, se calculó el VAN, mediante la ecuación 13.

$$VAN = -I_0 + \left( \frac{F_{t1}}{(1+k)^1} + \frac{F_{t2}}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_{tn}}{(1+k)^n} \right) \dots (13)$$

Donde:

VAN = Valor actual neto

I<sub>0</sub> = Inversión inicial

Ft = Flujos de dinero de cada período

k = tipo de interés exigido a la inversión

n = número de períodos de tiempo

#### 4.5.2. Viabilidad socio-ambiental.

Se determinó para el diseño, un análisis socio ambiental por medio de la matriz de arboleda, de la siguiente manera:

- a) Se identificaron las acciones del proyecto que pueden impactar el ambiente.
- b) Se clasificó la acción según el Factor (ya sea social, suelo).
- c) Se evaluaron las acciones mediante las diferentes categorías, clase (C), presencia (P), duración (D), evolución (E) y magnitud (M).
- d) Se calculó la calificación ambiental (Ca), mediante la ecuación 14.

$$Ca = C * (P(7 * E * M + 3 * D)) \dots (14)$$

Donde:

Ca = calificación ambiental ( $0 < Ca \leq 10$ )

C = clase

P = presencia

E = evolución

M = magnitud

D = duración

- e) Por último, según el valor, de 0-10, se clasifica el impacto ambiental en, irrelevante (Irrel.), moderado (Mod.), severo o relevante (Sev.) o Grave (Gra.)

## **V. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## 5.1. Caudales Máximos

En el cuadro 3 se puede ver los caudales máximos en ambas secciones, calculados por el método directo. El caudal máximo que se puede verter, es el de una sección en un puente que pasa sobre la quebrada Caño de San José, que sería un punto de estrangulamiento y restringe el caudal que se puede verter. Por otra parte, está el caudal máximo que puede transportar el río Matina en la sección seleccionada, que se levantó mediante la estación total. Los coeficientes de rugosidad se tomaron del Anexo 1, Cuadro 16.

Cuadro 2. Cálculo de caudal por medio del método directo.

Quebrada Caño de San José		Río Matina	
Área hidráulica (A) - m <sup>2</sup>	101,1004	Área hidráulica (A) - m <sup>2</sup>	2183,1265
Perímetro mojado (P) - m	48,6288	Perímetro mojado (P) - m	639,0317
Coefficiente de rugosidad (n)	0,0250	Coefficiente de rugosidad (n)	0,0350
Pendiente (S) - m/m	0,0018	Pendiente (S) - m/m	0,0010
Caudal (Q) - m <sup>3</sup> /s	277,3903	Caudal (Q) - m <sup>3</sup> /s	4576,8606
Velocidad del flujo (v) - m/s	2,7437	Velocidad del flujo (v) - m/s	2,0965

## 5.2. Dimensiones del vertedero de demasía (o lateral)

### 5.2.1. Vertedero lateral.

En el cuadro 4 se puede observar las dimensiones del vertedero lateral, calculadas mediante la fórmula de descarga de dicha estructura. Partiendo del caudal a verter, se calcularon las dimensiones del vertedero de sección rectangular, con una longitud de 65 m y una altura de 1,54 m (ver Figura 17). El coeficiente K se muestra en el Anexo 1, Cuadro 16.

Cuadro 3. Cálculo de las dimensiones del vertedero lateral.

Vertedero	
Altura de cresta del vertedero (m) - m	2,6745
Coefficiente experimental de gasto (m)	0,4371
Talud (Z)	1,41
Coefficiente experimental de corrección de Bazin (k)	1,13
Coefficiente experimental de gasto corregido (m <sub>corregido</sub> )	0,4939
Coefficiente de gasto (C)	2,19
Carga sobre el vertedero (h) - m	1,54
Longitud del vertedero(L) - m	65,00
Caudal de vertido (Q) - m <sup>3</sup> /s	271,5171

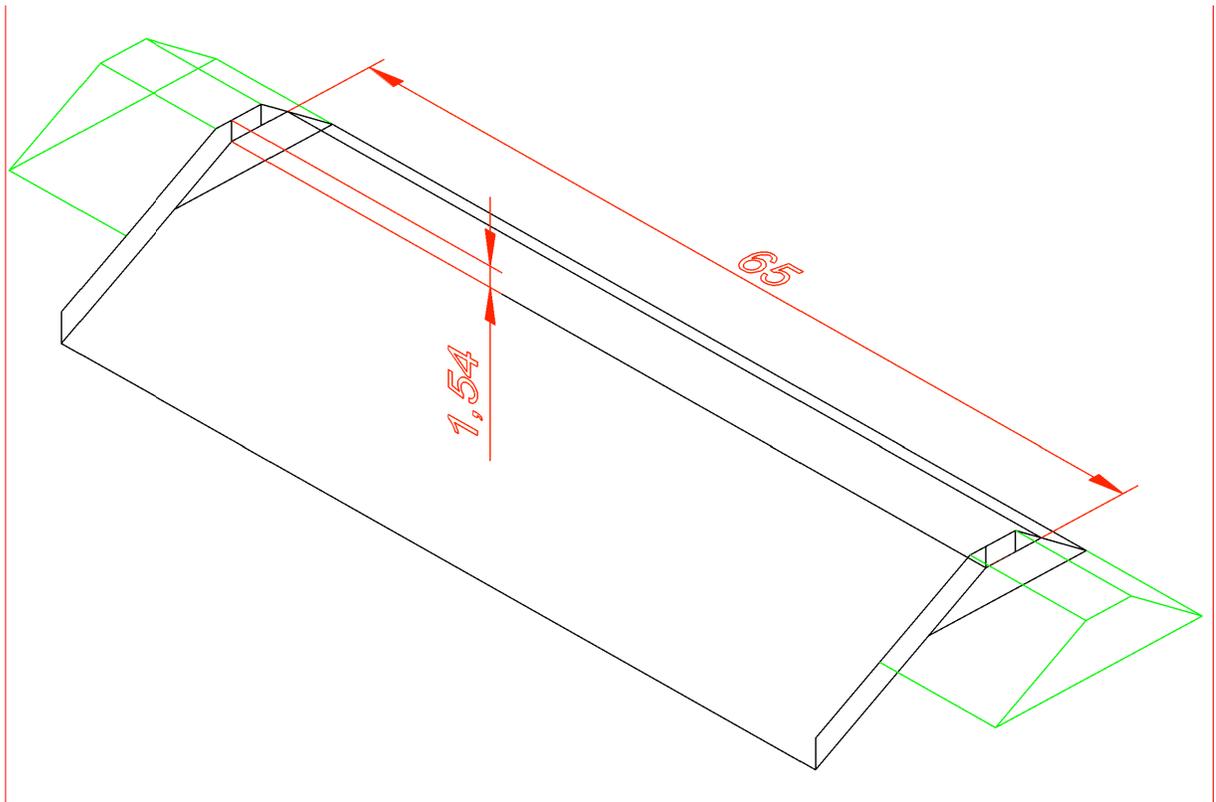


Figura 17. Dimensiones del vertedero lateral.

### 5.2.2. Rápida.

El cuadro 5, muestra el ancho de solera de la rápida, que corresponde al largo del vertedero.

Cuadro 4. Dimensiones de la rápida.

Cálculo de ancho de solera en la rápida	
Ancho de solera ( $b_c$ ) - m	65,0000
Tirante crítico ( $y_c$ ) - m	1,2116
Energía crítica ( $E_c$ ) - m	1,8174

En el cuadro 5 y 6, se muestran los datos para el cálculo de la curva de remanso en la rápida. El tirante crítico al inicio de la rápida, es el tirante inicial para el cálculo de la curva de remanso en la rápida, es la sección de control, de donde parten los cálculos, hacia aguas abajo (ver Anexo 3, Cuadro 18). Se trabajó con el método de tramos fijos, para la curva de remanso.

El coeficiente de rugosidad  $n$  (Anexo 1, Cuadro 15), es porque la rápida y demás estructuras van revestidas de concreto.

Cuadro 5. Datos para el cálculo de la curva de remanso por el método de tramos fijos.

<b>Cálculo del tirante en la rápida</b>	
<b>Longitud de la rápida (L) - m</b>	14
<b># tramos</b>	25
<b><math>\Delta x</math> - m</b>	0,56
<b><math>\Delta h</math> - m</b>	6,7849
<b>Pendiente (<math>S_0</math>) - m/m</b>	0,4846
<b>Coefficiente de rugosidad (<math>n</math>)</b>	0,014

### 5.2.3. Colchón amortiguador.

El cuadro 7, están las dimensiones del tanque o colchón amortiguador donde la va a disipar la energía de la rápida por medio del resalto hidráulico. En el Anexo 3, Figura 27, se observa donde la Curva I (elevación-tirante en la rápida) interseca la Curva II (elevación-tirante conjugado menor), para obtener el  $y_1$ . Dicha grafica sale del Cuadros 19 y Cuadro 20, anexo 3.

Cuadro 6. Dimensiones del estanque amortiguador (colchón).

<b>Cálculo de la longitud del colchón</b>	
<b>Tirante conjugado menor (<math>y_1</math>) - m</b>	0,28
<b>Tirante conjugado mayor (<math>y_2</math>) - m</b>	3,4271
<b>Factor según el tipo de sección (K)</b>	5
<b>Longitud calculada (L) - m</b>	15,7357
<b>Longitud de diseño (<math>L_{\text{diseño}}</math>) - m</b>	16
<b>Profundidad del colchón calculada (<math>h_{\text{colchón}}</math>) -m</b>	1,6204
<b>Profundidad del colchón calculada (<math>h_{\text{colchón diseño}}</math>) - m</b>	1,65

### 5.2.4. Canal aguas abajo.

Para trasportar el caudal vertido hasta la quebrada, se necesita un canal que permita el flujo del agua hasta dicha quebrada, las dimensiones del canal se muestran en el Cuadro 8. La dimensión del ancho de solera se mantiene constante a las estructuras anteriores, 65 m, y como se menciono anteriormente, la estructura va revestida de concreto.

Cuadro 7. Dimensiones del canal al final del colchón amortiguador.

<b>Canal Final Colchón Amortiguador</b>	
<b>Ancho de solera (b) - m</b>	65.0000
<b>Tirante (y) – m</b>	1.5500
<b>Área hidráulica (A) - m<sup>2</sup></b>	100.7500
<b>Perímetro mojado (P) – m</b>	68.1000
<b>Coefficiente de rugosidad (n)</b>	0.0140
<b>Pendiente (S) - m/m</b>	0.0010
<b>Caudal (Q) - m<sup>3</sup>/s</b>	<b>295.4715</b>
<b>Velocidad del flujo (v) - m/s</b>	2.9327

### 5.2.5. Tramo quebrada Caño de San José.

El flujo del agua después de pasar por el canal, entra en forma perpendicular a la quebrada, lo cual se diseñó un trayecto de la quebrada (se debe recabar) que pudiera transportar el caudal vertido que, igual que la estructura anterior estuviera revestida, por la fuerza con la que entra el agua (ver Figura 18). Las dimensiones de dicho trayecto de la quebrada se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 8. Dimensiones de un tramo de la quebrada a verter.

<b>Quebrada</b>	
<b>Ancho de solera (b) - m</b>	24.0000
<b>Tirante (y) – m</b>	2.3000
<b>Talud (Z)</b>	1.0000
<b>Área hidráulica (A) - m<sup>2</sup></b>	60.4900
<b>Perímetro mojado (P) – m</b>	30.5054
<b>Coefficiente de rugosidad (n)</b>	0.0140
<b>Pendiente (S) - m/m</b>	0.0018
<b>Caudal (Q) - m<sup>3</sup>/s</b>	<b>289.3320</b>
<b>Velocidad del flujo (v) - m/s</b>	4.7831

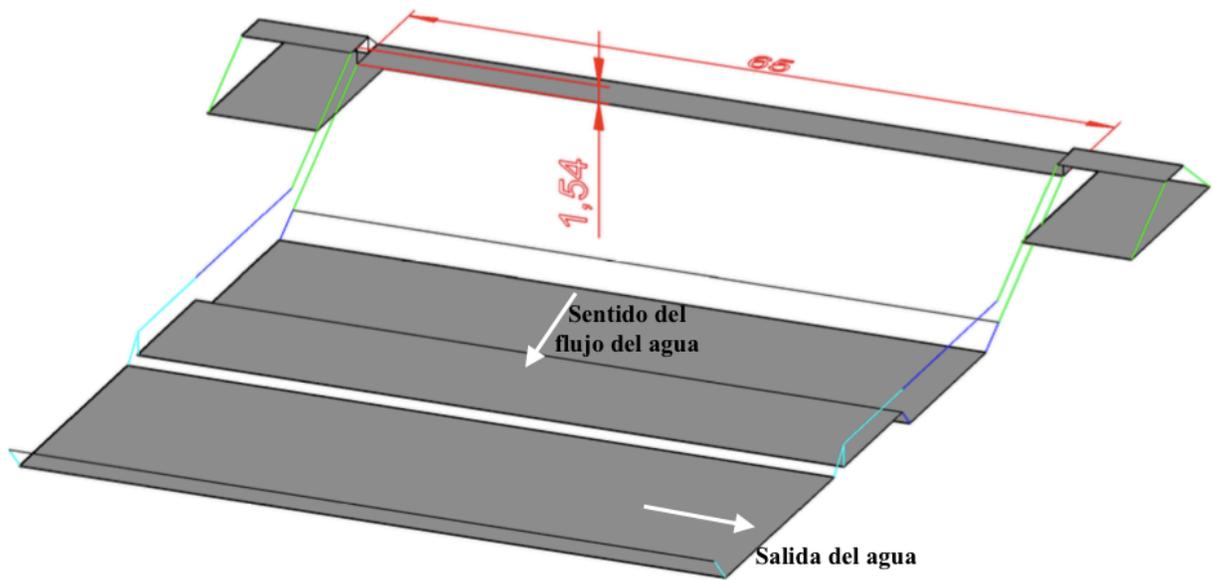


Figura 18. Vertedero lateral en conjunto con las estructuras complementarias

### 5.3. Modelo hidrodinámico (Iber).

Mediante las diferentes pruebas en el software Iber con el modelo de elevación digital sin el vertedero lateral, se estableció el caudal máximo de  $4100 \text{ m}^3/\text{s}$  que pasa por el trayecto del río Matina modelado, rebalsando en el primer tramo del dique del margen izquierdo (punto crítico), una pequeña lámina. Para todas las corridas del software Iber, con el modelo de elevación digital con vertedero y sin vertedero lateral se usó el caudal máximo de  $4100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En la Figura 19 se muestran los niveles de topografía para ambos modelos (con vertedero y sin vertedero). La Figura 20 y 21 se muestra la comparación de la cota de agua máxima y los tirantes máximos en ambos modelos, esto para el caudal máximo mencionado anteriormente.

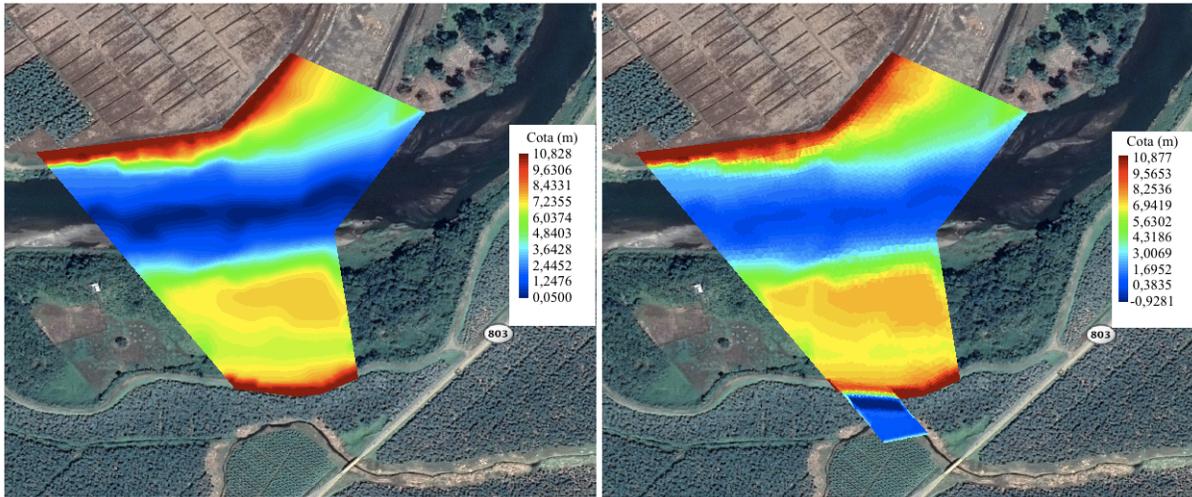


Figura 19. Comparación de los niveles de Topografía, modelo sin vertedero y con vertedero lateral.

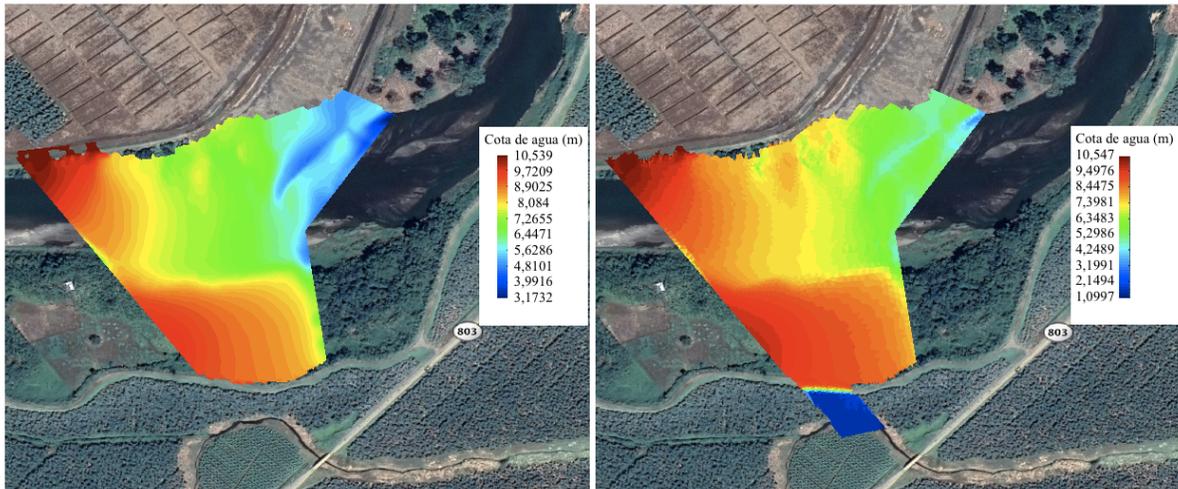


Figura 20. Comparación de los niveles de cota de agua, modelo sin vertedero y con vertedero lateral.

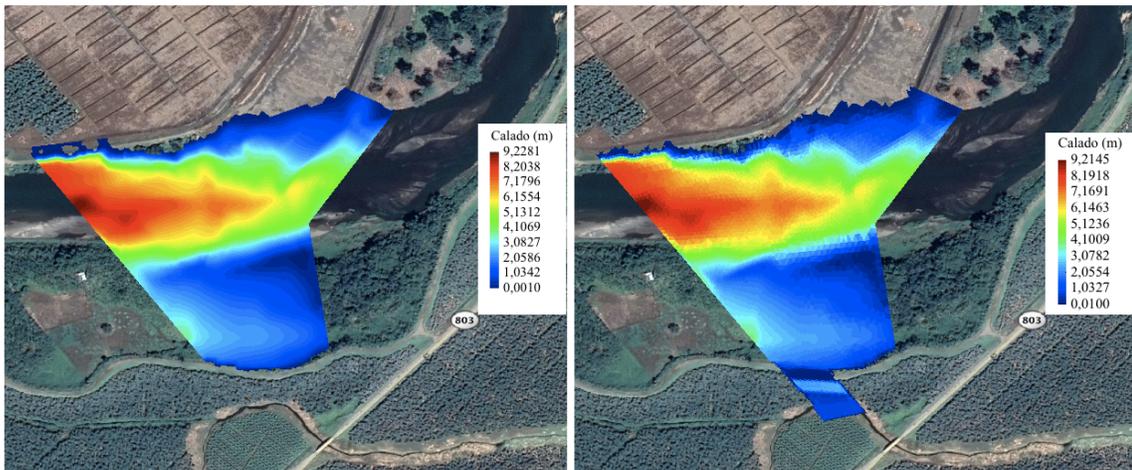


Figura 21. Comparación de los niveles de calado, modelo sin vertedero y con vertedero lateral.

En la Figura 22 se puede ver cotas de los tirantes de una sección del Río Matina sin vertedero lateral y en la Figura 23 se puede ver cotas de los tirantes de una sección del Río Matina con vertedero lateral. La diferencia de los tirantes es prácticamente despreciable. Todas las pruebas en el software se generaron, en ambos modelos (sin vertedero y con vertedero lateral), con un caudal máximo de 4.100 m<sup>3</sup>/s, mencionado anteriormente.

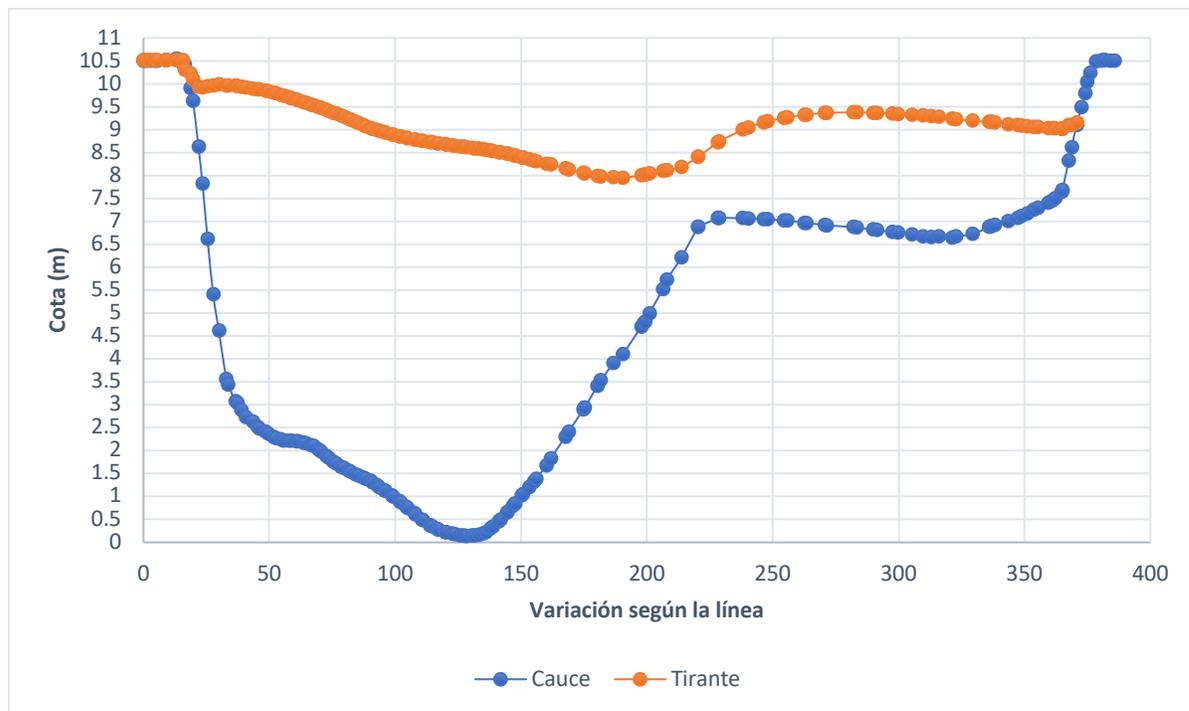


Figura 22. Tirantes máximos en la sección del río Matina, modelo de elevación sin vertedero lateral.

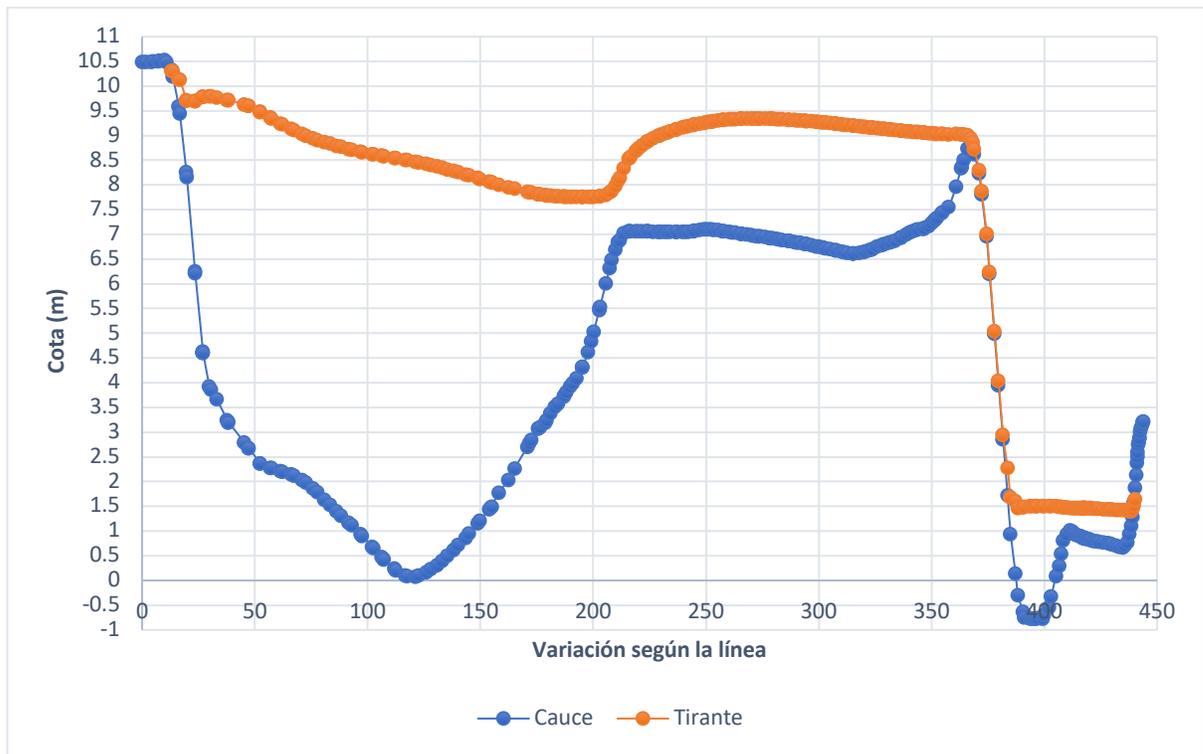


Figura 23. Tirantes máximos en la sección del río Matina, modelo de elevación con vertedero lateral.

En la Figura 24 se comparan los caudales que pasan por una sección del río Matina, en la sección cuando no hay vertedero lateral y cuando si hay vertedero. La diferencia de caudales es la descarga que se da en el vertedero lateral (ver Figura 26).

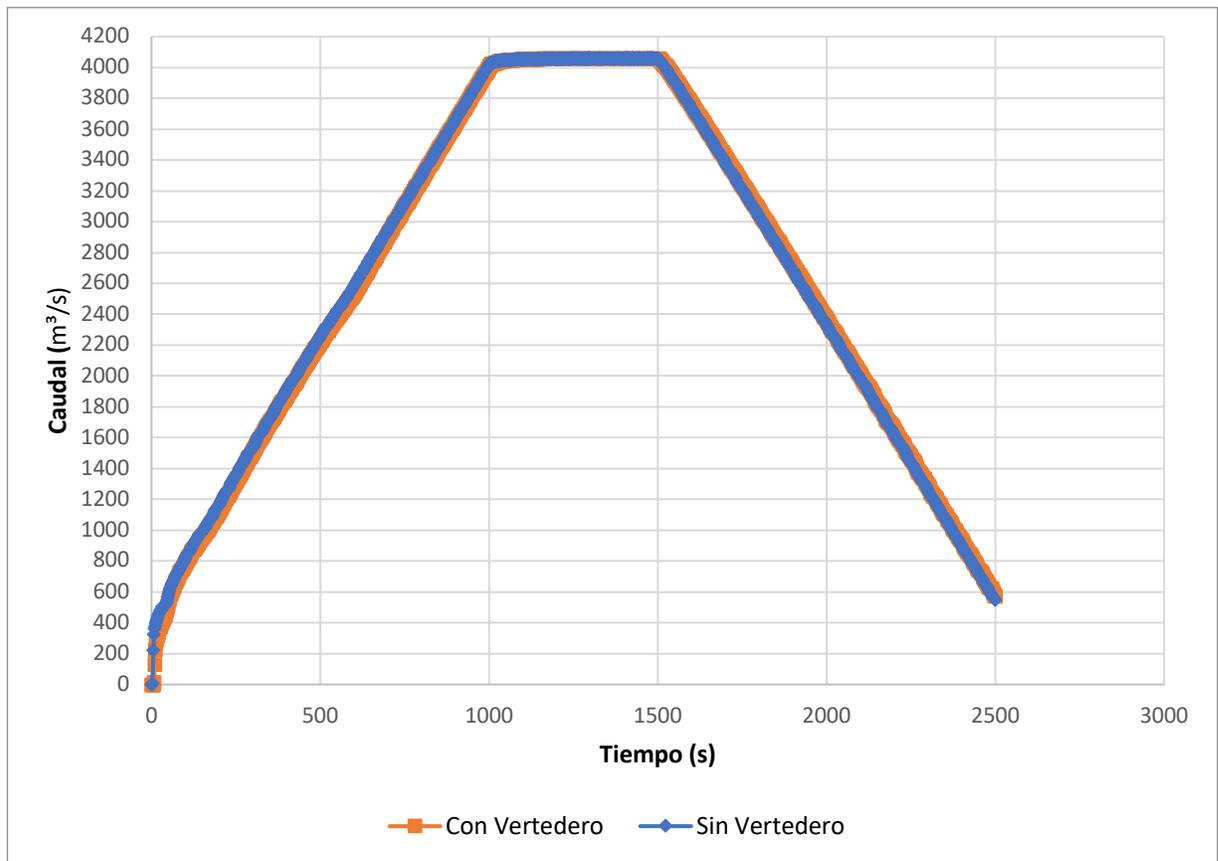


Figura 24. Caudales máximos, con vertedero lateral y sin vertedero lateral.

En la Figura 25 se evidencian los tirantes a lo largo de una sección del vertedero lateral, son los tirantes que se generan en la descarga máxima en el vertedero. La descarga máxima que se generó en el vertedero es de aproximadamente 17 m<sup>3</sup>/s, con un caudal máximo de 4100 m<sup>3</sup>/s, (ver Figura 26).

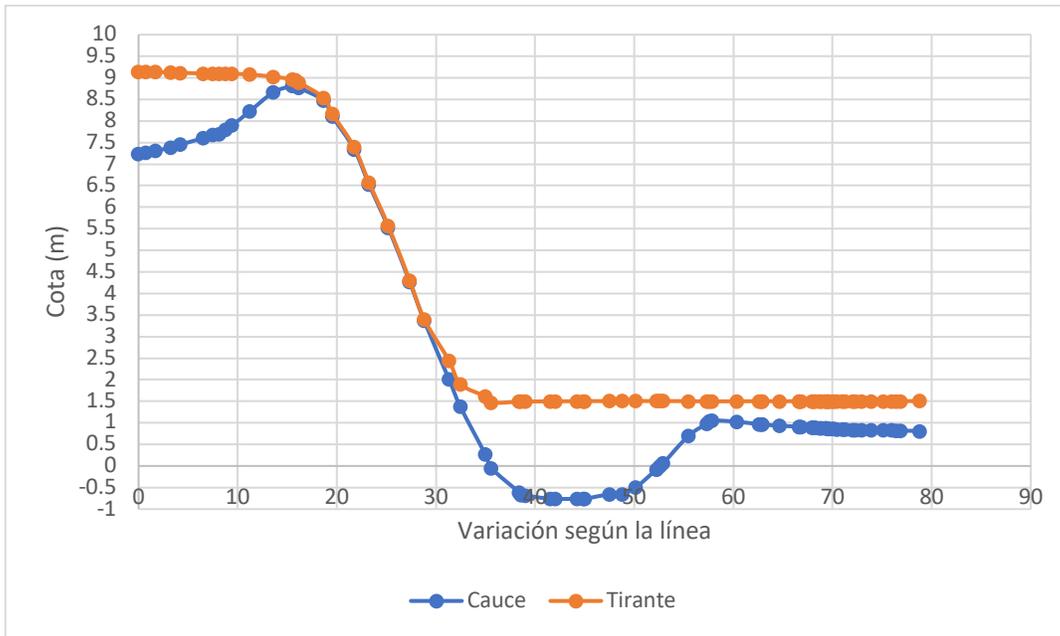


Figura 25. Tirantes máximos en la sección del vertedero lateral.

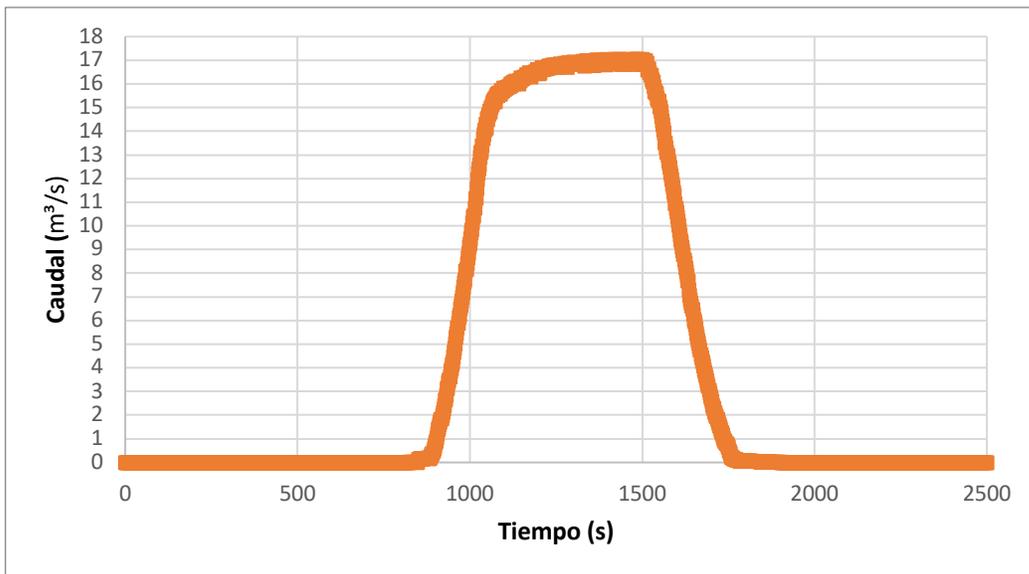


Figura 26. Caudal máximo de descarga del vertedero lateral.

#### 5.4. Viabilidad financiera y ambiental del proyecto.

En el Cuadro 10 se puede observar los costos totales de la obra si se fuera a construir, otros datos de costos se pueden ver en el Anexo 4, en los Cuadros 21 y 22. La obra total tendrá un costo de ¢ 130.002.776, lo cual, como se puede ver, el costo más alto es revestir toda el área

de concreto. El puente de cable vía, es porque, en la zona donde se construirá el vertedero para un cable vía que transporta fruta.

Cuadro 9. Costos totales del proyecto.

<b>Costos</b>	
Costo del suelo a remover	₡ 2.897.236
Costo puente cable vía	₡ 2.925.000
Costo revestir vertedero	₡ 118.385.541
Costo diseño (Ingeniero)	₡ 5.795.000
Total, de la obra	₡ 130.002.776

Para el análisis económico, la viabilidad del proyecto, se parte del supuesto de que el proyecto permite que la zona de estudio (Fincas) no se vuelva a inundar. Lo cual, los ingresos son las hectáreas que no se van a inundan (y se pierden en cada crecida), en este caso se toma como valor promedio de 12 hectáreas por año, esto representa ₡ 146.034.000 de ahorro. Los egresos son 0,25 hectáreas (Anexo 4, Cuadro 22) de banano donde se piensa construir el proyecto y no van a producir, lo cual genera egresos, además, en los egresos se tomó que cada 4 años aproximadamente se renueva una finca de banano, lo cual en el año de renovación no se reciben ingresos por parte de las 12 hectáreas de banano. Los valores de ingresos y egresos se pueden ver en el Cuadro 11.

Cuadro 10. Costo de la cosecha de la fruta de banano.

<b>Costo del área de banano del proyecto</b>	₡ 3.042.375
<b>Costo del área de banano sin inundar</b>	₡ 146.034.000
<b>Costo de renovar una hectárea de banano</b>	₡ 8.692.500

La viabilidad económica se completa con los valores del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para estos cálculos se estableció una proyección de 10 años.

Los valores obtenidos del VAN y TIR, indican que el proyecto es viable, a partir del supuesto de que el vertedero evita las inundaciones, ya que con un VAN mayor a cero se determina que un proyecto es rentable, obteniendo un valor de \$ 996.237, además un valor del TIR obtenidos superior al establecido en Costa Rica de 16,68% con el que se determina que el

proyecto es viable, consiguiendo para el diseño un valor de 102,42% (ver cuadro 12 y Cuadro 13).

Además, en el Anexo 4, Cuadro 23, se muestra el año de recuperación de la inversión, en este caso sería en el primer año, el tipo de cambio del dólar se muestra Anexo 4, Cuadro 22.

Cuadro 11. Saldos anuales del proyecto.

Años	Saldo Anual
0	\$ -224.336
1	\$ 246.750
2	\$ 246.750
3	\$ 246.750
4	\$ -20.250
5	\$ 246.750
6	\$ 246.750
7	\$ 246.750
8	\$ 246.750
9	\$ -20.250
10	\$ 246.750

Cuadro 12. VAN y TIR del proyecto.

TIR
102,42%
VAN
\$ 996.237

Al ejecutar la matriz de arboleda para el diseño propuesto, en su mayoría salieron valores irrelevantes (Irrel.). Los valores más considerables son el moderado, que no es tan significativo, el acarreo de material se genera en determinadas horas del día. Por otro lado, el daño severo, el suelo a remover es considerable, 14.064 m<sup>3</sup>, que realmente el uso del suelo pueda usarse para una grada del dique, o algún otro fin, lo cual consideraría un costo extra. (ver Cuadro 14).

Cuadro 13. Viabilidad socio-ambiental del proyecto, mediante la matriz de arboleda.

Caracterización del proyecto				Factor		C	P	D	E	M.	Ca	IA
Etapa	Fase	(ASPI)	Aspectos Ambientales									
Construcción	Preparación del terreno	Limpieza del terreno	Remoción capa arable, destrucción flora	Suelo	Físico	-1	1	0,01	1	0,2	1,43	<b>Irrel.</b>
		Operación de maquinaria en el terreno	Ruido, compactación del suelo, gases	Suelo	Físico	-1	1	0,01	1	0,2	1,43	<b>Irrel.</b>
		Contratación de personal	Necesita mano de obra local	Social	Social	1	1	0,01	1	1	7,03	<b>Sev.</b>
	Construcción de la infraestructura	Transporte y acarreo de materiales	Genera tráfico vehicular, polvo	Suelo	Físico	-1	1	0,2	1	0,4	3,40	<b>Mod.</b>
		Excavaciones de corte y relleno	Remoción capa arable, erosión	Suelo	Físico	-1	1	1	1	0,4	5,80	<b>Sev.</b>
		Operación de maquinaria en el terreno	Ruido, compactación del suelo, gases	Suelo	Físico	-1	1	0,2	1	0,2	2,00	<b>Irrel.</b>
		Contratación de personal	Necesita mano de obra local	Social	Social	1	1	0,2	1	1	7,60	<b>Gra.</b>
Operación, Funcionamiento y Mantenimiento	Funcionamiento del vertedero lateral	Drenaje superficial	Drenaje	Suelo	Físico	1	1	1	1	0,2	4,40	<b>Mod.</b>
		Contratación de personal	Necesita mano de obra local	Social	Social	1	1	1	1	1	10,00	<b>Gra.</b>

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones.**

- a) El caudal de diseño para el cálculo del vertedero está limitado por el canal a verter (quebrada caño de San José), con una capacidad de 277,3903 m<sup>3</sup>/s.
- b) La máxima cantidad de agua que se podría derivar por el punto establecido representa el 6% del total del agua que pasa por el Río Matina (4.576,8606 m<sup>3</sup>/s).
- c) Las dimensiones del vertedero lateral rectangular son de 65 m de largo con una carga (h) de 1,54 m.
- d) Las dimensiones de rápida son de 65 m de ancho de solera, con una longitud total de 14 m.
- e) El análisis económico indica que el proyecto es viable, con un VAN de \$ 996.237 y, TIR de 102,42%.
- f) El estudio de impacto ambiental presenta un impacto severo negativo al remover 14.064 m<sup>3</sup> de suelo, y un impacto positivo en la contratación de personal para la construcción de la obra.

### **6.2. Recomendaciones.**

- a) El vertedero ha sido diseñado para un caudal en exceso, pero, las inundaciones en las fincas no siempre son producto de exceso de caudal sobre el río, sino por falla de los diques, lo cual, en este caso requiere un estudio diferente para garantizar que una crecida no va a provocar inundaciones en la zona.
- b) Un canal de vertido de mayor magnitud permitiría una evacuación de un caudal mayor, que represente un porcentaje mayor del total de agua que pasa por el río Matina, el cual pueda ser más significativo, reduciendo el riesgo de las inundaciones.
- c) Es recomendable el uso de datos hidrológicos para el cálculo del caudal máximo que transporta el río Matina en una crecida máxima.
- d) Las secciones del río mediante el levantamiento topográfico deben ser lo más detalladas posibles, las cuales, en este caso limitaron el área hidráulica y al mismo tiempo el cálculo del caudal máximo.
- e) Se recomienda no construir la obra, el caudal a descargar es poco significativo, y no genera una caída importante de los tirantes de agua en el río Matina.

## **VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Blade, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez, E., Dolz, J., y Coll, A. (2012). *Iber: Herramienta de simulación numérica el flujo en ríos*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213131512000454#!>
- Collazos, G. (2015). *Uso del modelo IBER en un problema de flujo bidimensional*. Recuperado de [https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/2281/11746\\_2281.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/2281/11746_2281.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- COMITRAN. (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*. Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica (COMITRAN). Recuperado de <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/488>
- EconomíaFinanzas. (2017). *VAN y TIR*. Recuperado de <https://www.economiafinanzas.com/que-son-van-tir/>
- Franco, A., Bobadilla, E. & Rebollar, S. (2014). *Viabilidad económica y financiera de una microempresa de miel de aguamiel en Michoacán, México*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/141/14131676005.pdf>
- Gil, J & Orozco, A. (2016). *Diseño de la rehabilitación del dique del Río Cauca entre el km 18 + 925 a km 19 + 025 empleando cuatro materiales disponibles en la ciudad de Cali*. Facultad de Ingeniería, Santiago de Cali. Recuperado de <http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/7798/Gil%26Orozco%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gestiopolis. (s.f.). *¿Que es el costo de oportunidad?* Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/que-es-el-costo-de-oportunidad/>
- Gonzales, B. (s.f.). *El costo de oportunidad como herramienta empresarial*. Recuperado de [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:eOeK85T97\\_sJ:https://econo.uniovi.es/c/document\\_library/get\\_file%3Fuuid%3D99d20576-add0-480a-9c48-ea94a17a0b62%26groupId%3D746637+&cd=13&hl=es&ct=clnk&gl=cr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:eOeK85T97_sJ:https://econo.uniovi.es/c/document_library/get_file%3Fuuid%3D99d20576-add0-480a-9c48-ea94a17a0b62%26groupId%3D746637+&cd=13&hl=es&ct=clnk&gl=cr)

- Gómez, A. (2010). *Avenidas de diseño para los túneles de conducción del río Grijalva*. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/506/A6.pdf>
- Guzmán, I., Watson, F., Villagra, K. y Casasola, R. (2014). *Modelación hidrodinámica y morfología del río La Estrella, Limón*. Recuperado de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9154/Modelacion\\_hidrodinamica\\_morfologica\\_rio\\_la\\_estrella.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9154/Modelacion_hidrodinamica_morfologica_rio_la_estrella.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hillermann, W. (2011). *Entre mundos. Investigación y diseño de propuestas*. Recuperado de <http://www.entremundos.org/databases/Analisis%20Costo%20Beneficio%202011.pdf>
- IBER. (2010). *Modelación bidimensional del flujo en lamina libre en aguas poco profundas*. Manual básico de usuario.
- Iber. (2014). *Acerca del modelo*. Recuperado de <http://www.iberaula.es/space/1070/about-the-model>
- Mete, M. (2014). *Valor actual neto y tasa interna de retorno: Su utilidad como herramienta para el análisis y evaluación de proyectos de inversión*. Recuperado de [http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7\\_a06.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7_a06.pdf)
- Morris, G., Fan J. (1998). *Reservoir Sedimentation Handbook*. New York, USA: McGraw–Hill Book Co.
- Palomino, J. (2003). *Diseño hidráulico de una rápida para el proyecto: construcción del canal principal de Fortaleza, distrito Congas, provincia Ocos, región Ancash*. Recuperado de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/palomino\\_bj/palomino\\_bj.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/palomino_bj/palomino_bj.pdf)
- Robredo, J. (s.f.). *Cálculo de caudales de avenidas*. Recuperado de <http://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/2014/04/CALCULO-DE-CAUDALES-DE-AVENIDA.pdf>
- Rodríguez, M. (2011). *Propuesta de normativa para el diseño hidráulico de obras de protección de cauces*. Recuperado de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3248/1/32574.pdf>

- Rojas, J. (2017). *Importancia de obtener una Viabilidad Ambiental*. Recuperado de <https://biotaconsultores.net/importancia-obtener-una-viabilidad-ambiental/>
- Rubio, C. (s.f.). *Área inundable del canal del dique*. Recuperado de [http://fundacionpromotoradelcanaldeldique.org/herramientas/Gestion\\_Ambiental\\_Del\\_Riesgo\\_por\\_Inundacion.pdf](http://fundacionpromotoradelcanaldeldique.org/herramientas/Gestion_Ambiental_Del_Riesgo_por_Inundacion.pdf)
- Sánchez, H. 2016. *Apuntes de clase, curso de IBER*. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, Costa Rica.
- Sinnaps. (2018). *¿Cómo realizar el estudio financiero de un proyecto?* Recuperado de <https://www.sinnaps.com/blog-gestion-proyectos/estudio-financiero-proyecto>
- Villagra, K. (2017). *Evaluación del Impacto Ambiental*. Apuntes de clase.
- Villamarin, S. (2013). *Manual básico de estructuras de disipación de energía hidráulica*. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6181/1/T-ESPE-040211.pdf>
- Villón, M. (2011). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- Villón, M. (2017). *Diseño de estructuras hidráulicas*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológico de Costa Rica.

## **VIII. ANEXOS**

### 8.1. Anexo 1. Coeficientes.

Cuadro 14. Valores de n dados por Horton para ser usados en las fórmulas de Kutter y de Manning.

Fuente: Villón, 2011.

Superficie	Condiciones de las paredes			
	Perfectas	Buenas	Medianas	Malas
<b>Canales y Zanjas</b>				
Revestidos con concreto	0,012	0,014*	0,016*	0,018
En tierra, alineados y uniformes	0,017	0,020	0,0225	0,025*
En roca, lisos y uniformes	0,025	0,030	0,033*	0,035
En roca, con salientes y sinuosos	0,035	0,040	0,045	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0,0225	0,0275*	0,030	0,033
Degradados en tierra	0,025	0,0275*	0,030	0,033
Con lecho pedroso y bordes de tierra enhierbados	0,025	0,030	0,38	0,040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0,028	0,030*	0,033*	0,035
<b>Corrientes Naturales</b>				
(1) Limpios, bordes rectos, llenos, son hendeduras ni charcos profundos.	0,025	0,0275	0,030	0,033
(2) Igual al (1), pero con algo de hierba y piedra	0,030	0,033	0,035	0,040
(3) Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio	0,033	0,035	0,040	0,045
(4) Igual al (3), de poco tirante, con pendiente y sección menos eficiente	0,040	0,045	0,050	0,055
(5) Igual al (3), algo de hierba y piedras	0,035	0,040	0,045	0,050
(6) Igual al (4), secciones pedregosas	0,045	0,050	0,055	0,060
(7) Ríos con tramos lentos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0,050	0,060	0,070	0,080
(8) Playas muy enyerbadas	0,075	0,100	0,125	0,150
<b>Nota: (*) Valores de uso común en proyectos</b>				

Cuadro 15. Coeficientes experimentales de corrección de Bazin (k).

Fuente: Villón, 2017.

Talud (Z)	Coeficientes de Bazin (k)
0	1
1/3	1,05
2/3	1,09
1	1,12
2	1,14
4	1,16

## 8.2. Anexo 2. Velocidades máximas.

Cuadro 16. Velocidades máximas permisibles en rápidas lisas.

Fuente: Villamarin, 2013.

<b>Material</b>	<b>Velocidad máxima (m/s)</b>
Ladrillo común	3
Ladrillo vitrificado	5
Arcilla vitrificada	4
Concreto 175 kg/cm <sup>2</sup> (17,2 MPa)	6
Concreto 210 kg/cm <sup>2</sup> (20,6 MPa)	10
Concreto 280 kg/cm <sup>2</sup> (27,5 MPa)	15
Concreto 350 kg/cm <sup>2</sup> (34,3 MPa)	20

### 8.3. Anexo 3. Curva de remanso en la rápida y resalto hidráulico.

Cuadro 17. Calculo de curva de remanso, por el método de tramos fijos.

x	$\Delta x$	$S_o \cdot \Delta x$	y	A	P	R	$R^{2/3}$	v	$v^2/2 \cdot g$	E	Constante
0,00	0,56	0,27	1,21	78,76	67,42	1,17	1,11	3,45	0,61	1,82	2,09
0,56	0,56	0,27	0,85	55,06	66,69	0,83	0,88	4,93	1,24	2,09	2,36
1,12	0,56	0,27	0,74	48,31	66,49	0,73	0,81	5,62	1,61	2,35	2,62
1,68	0,56	0,27	0,68	43,99	66,35	0,66	0,76	6,17	1,94	2,62	2,89
2,24	0,56	0,27	0,63	40,84	66,26	0,62	0,72	6,65	2,25	2,88	3,15
2,80	0,56	0,27	0,59	38,37	66,18	0,58	0,70	7,08	2,55	3,14	3,41
3,36	0,56	0,27	0,56	36,36	66,12	0,55	0,67	7,47	2,84	3,40	3,67
3,92	0,56	0,27	0,53	34,68	66,07	0,52	0,65	7,83	3,12	3,66	3,92
4,48	0,56	0,27	0,51	33,24	66,02	0,50	0,63	8,17	3,40	3,91	4,17
5,04	0,56	0,27	0,49	31,99	65,98	0,48	0,62	8,49	3,67	4,16	4,43
5,60	0,56	0,27	0,48	30,89	65,95	0,47	0,60	8,79	3,94	4,41	4,67
6,16	0,56	0,27	0,46	29,91	65,92	0,45	0,59	9,08	4,20	4,66	4,92
6,72	0,56	0,27	0,45	29,03	65,89	0,44	0,58	9,35	4,46	4,90	5,16
7,28	0,56	0,27	0,43	28,24	65,87	0,43	0,57	9,61	4,71	5,15	5,40
7,84	0,56	0,27	0,42	27,52	65,85	0,42	0,56	9,87	4,96	5,38	5,64
8,40	0,56	0,27	0,41	26,86	65,83	0,41	0,55	10,11	5,21	5,62	5,87
8,96	0,56	0,27	0,40	26,26	65,81	0,40	0,54	10,34	5,45	5,85	6,10
9,52	0,56	0,27	0,40	25,70	65,79	0,39	0,53	10,56	5,69	6,08	6,33
10,08	0,56	0,27	0,39	25,19	65,78	0,38	0,53	10,78	5,92	6,31	6,56
10,64	0,56	0,27	0,37	24,25	65,75	0,37	0,51	11,19	6,39	6,76	7,01
11,20	0,56	0,27	0,37	23,85	65,73	0,36	0,51	11,38	6,61	6,97	7,22
11,76	0,56	0,27	0,36	23,47	65,72	0,36	0,50	11,57	6,82	7,18	7,42
12,32	0,56	0,27	0,38	24,69	65,76	0,38	0,52	11,00	6,17	6,55	6,79
12,88	0,56	0,27	0,37	24,25	65,75	0,37	0,51	11,19	6,39	6,76	7,01
13,44	0,56	0,27	0,37	23,85	65,73	0,36	0,51	11,38	6,61	6,97	7,22
14,00	0,56	0,27	0,36	23,47	65,72	0,36	0,50	11,57	6,82	7,18	7,42

Cuadro 18. Cálculo de la curva elevación (trayectoria de la rápida)- tirante.

Elevación del gradiente de energía al final de la rápida		Cota final rápida (m)	Tirante (m)	$v^2/2*g$	El (m)
		3,623	0,3611	6,8205	10,8046
y (m)	A (m <sup>2</sup> )	v (m/s)	$v^2/2*g$	E	Cota (m)
0,3611	23,4715	11,5679	6,8205	7,1816	3,6230
0,3394	22,0632	12,3063	7,7189	8,0584	2,7462
0,3191	20,7394	13,0918	8,7358	9,0549	1,7497
0,2999	19,4951	13,9275	9,8866	10,1865	0,6180
<b>0,2819</b>	<b>18,3253</b>	<b>14,8165</b>	<b>11,1890</b>	<b>11,4709</b>	<b>-0,6664</b>
0,2650	17,2258	15,7622	12,6630	12,9280	-2,1234
0,2491	16,1923	16,7683	14,3311	14,5802	-3,7756
0,2342	15,2207	17,8386	16,2190	16,4532	-5,6486
0,2201	14,3075	18,9773	18,3556	18,5757	-7,7711
0,2069	13,4490	20,1886	20,7736	20,9805	-10,1760
0,1945	12,6421	21,4772	23,5102	23,7047	-12,9001
0,1828	11,8836	22,8481	26,6073	26,7901	-15,9856
<b>0,1719</b>	11,1706	24,3065	30,1124	30,2842	-19,4797
<b>0,1615</b>	10,5003	25,8580	34,0792	34,2408	-23,4362
<b>0,1519</b>	9,8703	27,5085	38,5686	38,7204	-27,9159

Cuadro 19. Cálculo de la curva elevación – tirante conjugado menor.

Elevación del gradiente de energía a la salida del colchón		Cota final del colchón (m)	Tirante (m)	$v^2/2*g$	El (m)
		0,9	1,4720	0,410443173	2,7824
y <sub>1</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	v <sub>2</sub> (m/s)	$v^2/2*g$	E	Cota del fondo del colchón
0,1	5,9146	0,7063	0,0254	5,9400	-3,1576
0,13	5,1665	0,8085	0,0333	5,1998	-2,4174
0,16	4,6359	0,9010	0,0414	4,6773	-1,8949
0,19	4,2330	0,9868	0,0496	4,2827	-1,5002
0,22	3,9127	1,0676	0,0581	3,9708	-1,1883
0,25	3,6493	1,1447	0,0668	3,7160	-0,9336
<b>0,28</b>	<b>3,4271</b>	<b>1,2189</b>	<b>0,0757</b>	<b>3,5029</b>	<b>-0,7204</b>
0,31	3,2361	1,2908	0,0849	3,3210	-0,5386
0,34	3,0691	1,3610	0,0944	3,1635	-0,3811
0,37	2,9212	1,4299	0,1042	3,0255	-0,2430
0,4	2,7889	1,4978	0,1143	2,9032	-0,1208
0,43	2,6693	1,5649	0,1248	2,7941	-0,0117
<b>0,46</b>	<b>2,5604</b>	<b>1,6315</b>	<b>0,1357</b>	<b>2,6961</b>	<b>0,0864</b>
<b>0,49</b>	<b>2,4605</b>	<b>1,6977</b>	<b>0,1469</b>	<b>2,6074</b>	<b>0,1750</b>
<b>0,52</b>	<b>2,3684</b>	<b>1,7637</b>	<b>0,1585</b>	<b>2,5270</b>	<b>0,2555</b>

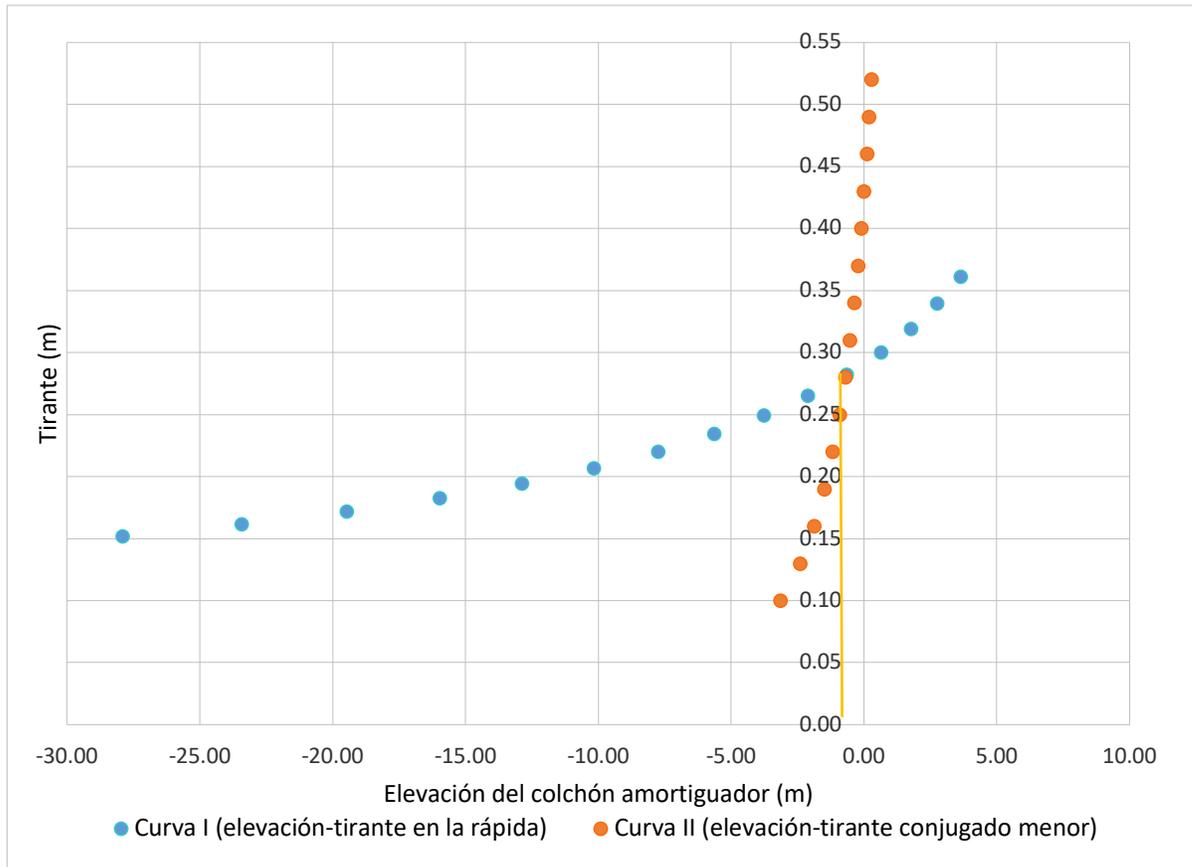


Figura 27. Cálculo de la elevación del tanque o colchón amortiguador.

#### 8.4. Anexo 4. Análisis económico.

Cuadro 20. Cantidad de suelo a remover para la construcción del vertedero.

Áreas (m <sup>2</sup> )	
Dique	21
Rápida	17
Colchón	77
Canal + Quebrada	57
Suelo Extra	45
Paredes	286
Fondo	5.871
<b>Total, volumen suelo (m<sup>3</sup>)</b>	<b>14.064</b>
<b>Total, volumen concreto (m<sup>3</sup>)</b>	<b>616</b>

Cuadro 21. Datos de los costos del proyecto.

<b>Rendimiento de la ha (cajas) / año</b>	<b>3500</b>
<b>Área proyecto (ha)</b>	0,25
<b>Cambio del dólar</b>	₡ 579,50
<b>Valor caja de banano</b>	\$ 6
<b>Costo puente cable vía (m lineal)</b>	₡ 45.000
<b>Costo del m<sup>3</sup> de suelo a remover (Maquina)</b>	₡ 206
<b>Costo m<sup>3</sup> concreto (210 kg/cm<sup>2</sup>)</b>	₡ 187.500
<b>Enrocado</b>	₡ 2.160.000
<b>Costo total de varilla #4 (Armazón de acero)</b>	₡ 780.000

Cuadro 22. Saldos anuales, análisis económico.

Fase	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>Ingresos</b>	\$ -	\$ 252.000	\$ 252.000	\$ 252.000	\$ -	\$ 252.000
<b>Egresos Tangibles</b>	\$ 224.336	\$ 5.250	\$ 5.250	\$ 5.250	\$ 20.250	\$ 5.250
<b>Saldo anual</b>	\$ -224.336	\$ 246.750	\$ 246.750	\$ 246.750	\$ -20.250	\$ 246.750
<b>Saldo acumulado</b>	\$ -224.336	\$ 22.414	\$ 269.164	\$ 515.914	\$ 495.664	\$ 742.414
Fase	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	
<b>Ingresos</b>	\$ 252.000	\$ 252.000	\$ 252.000	\$ -	\$ 252.000	
<b>Egresos Tangibles</b>	\$ 5.250	\$ 5.250	\$ 5.250	\$ 20.250	\$ 5.250	
<b>Saldo anual</b>	\$ 246.750	\$ 246.750	\$ 246.750	\$ -20.250	\$ 246.750	
<b>Saldo acumulado</b>	\$ 989.164	\$1.235.914	\$1.482.664	\$1.462.414	\$1.709.164	