

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**“REHABILITACIÓN DEL CAUCE DEL RÍO CHAGÜE EN EL  
ÁREA DEL PROYECTO DE RIEGO Y DRENAJE BUCAY”**

**PROYECTO DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO CIVIL**

**Presentado por:**

Roger Rodrigo Soledispa Galarza.

Mario Xavier Soledispa Simbaña.

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

2015

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar a Dios todopoderoso por permitirme llegar hasta aquí, a mis padres: Rodrigo Soledispa Silva y Amparo Galarza Galarza por el apoyo incondicional y a toda mi familia por brindarme siempre ánimos para seguir adelante.

Roger Rodrigo Soledispa Galarza.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la vida, por darme una madre, quien me enseñó con ejemplo el amor de Dios, el esfuerzo y dedicación para la familia. A mi padre Víctor Encarnación por apoyarme y educarme. A mi hermano por ser mi motivación, y todos quienes con sus palabras de aliento hicieron esto posible.

Mario    Xavier    Soledispa  
Simbaña.

## DEDICATORIA

Dedicado en especial a mis Padres por todo su esfuerzo y comprensión, a mis hermanos por ser la razón de superarme, y a todas aquellas personas que de una u otra manera formaron parte en mi crecimiento como persona y profesional.

Roger    Rodrigo    Soledispa  
Galarza.

## DEDICATORIA

Este trabajo es única y exclusivamente dedicado a mi madre María Teresa Simbaña. Hace 20 años dejaste tus estudios universitarios por ser mi guía, sólo quiero decirte que valió la pena mamá. Ahora es momento de cosechar.

Mario    Xavier    Soledispa  
Simbaña.

## **TRIBUNAL DE EVALUACIÓN**

---

Dr. Miguel Ángel Chávez

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

---

M.Sc. Alby del Pilar Aguilar P.

**COORDINADORA DE  
INGENIERÍA CIVIL**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Grado nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

---

Roger Rodrigo Soledispa Galarza

---

Mario Xavier Soledispa Simbaña

## RESUMEN

El presente trabajo constituye un complemento importante al proyecto de riego y drenaje en el Cantón Bucay. Debido a las afectaciones que ha sufrido el Río Chagüe, que es el componente fundamental para el drenaje de una planicie de aproximadamente 4300 Ha., se tiene en la actualidad inundaciones, desbordes y procesos erosivos que están determinando el cambio de cauce y por esta razón daños a importantes áreas de terrenos cultivados.

Partiendo de los estudios Geológicos, Topográficos e Hidrológicos de la cuenca del Río Chagüe, se llega a analizar las condiciones hidráulicas de este río, para el cual se emplearon programas computacionales como: *AutoCAD Civil 3D* y *Hec-ras*, conjuntamente a estos programas se usaron otros como: *Hcanales*, *Sap 2000* y *hojas electrónicas en Excel* para analizar las soluciones.

Como consecuencia del trabajo realizado, se ha llegado a formular soluciones generales que implican: *Limpieza de fondo*, *ampliación de taludes* y *una solución combinada de fondo y taludes que nos permite optimizar la sección*.



Debido a la extensión del área de trabajo se eligió un área tipo, en la cual se ha realizado lo siguiente: La construcción de un badén, el rediseño de un dique enrocado y la implementación de un puente alcantarilla como alternativas a una vía de acceso.

Se realizó un presupuesto de obras para las soluciones antes mencionadas, y también se describen otras soluciones que deben ser implementadas en un estudio hidráulico más detallado, para así modelar el comportamiento del Río Chagüe.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xx
ABREVIATURAS .....	xxi
SIMBOLOGIA .....	xxii
CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1    Introducción .....	1
1.2    Antecedentes.....	3
1.2.1    Datos generales del cantón Bucay .....	3
1.2.2    Descripción del proyecto de riego y drenaje Bucay .....	4
1.3    Objetivos.....	7
1.3.1    General.....	7
1.3.2    Específicos .....	7
1.4    Información disponible .....	8
1.4.1    Cartas Topográficas del IGM.....	8
1.4.2    Ortofotografía del Cantón Bucay .....	10
1.4.3    Datos Hidrológicos.....	12

1.4.4 Proyecto de Riego y Drenaje Bucay .....	13
CAPITULO II .....	15
2. INFORMACIÓN GENERADA.....	15
2.1 Delimitación de la Cuenca de drenaje del Río Chagüe.....	15
2.2 Parámetros de la cuenca de drenaje .....	17
2.2.1 Parámetros generales .....	17
2.2.2 Parámetros de forma .....	19
2.2.3 Parámetros de relieve.....	21
2.2.4 Parámetros de la red de drenaje .....	21
2.3 Geología de la cuenca de drenaje .....	23
2.4 Análisis Hidrológico de la cuenca .....	25
2.4.1 Análisis de precipitaciones .....	28
2.4.2 Cálculo de caudal .....	48
2.5 Clima.....	56
2.6 Río Chagüe.....	56
2.6.1 Descripción del lecho del cauce del Río Chagüe .....	58
2.6.2 Procesos en el Río Chagüe.....	60
2.7 Drenajes en el área de estudio .....	65
2.8 Topografía del Río Chagüe.....	68
2.9 Análisis Hidráulico con el software Hec-Ras.....	75
CAPITULO III .....	80
3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN GENERADA.....	80

3.1	Identificación de la zona más afectada .....	80
3.2	Descripción de las alternativas posibles .....	86
3.3	Diseños a nivel de prefactibilidad.....	91
3.4	Análisis de los parámetros ambientales.....	104
3.5	Estimación de presupuesto.....	113
3.6	Elección de la alternativa .....	115
CAPITULO IV.....		119
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	119
4.1	Conclusiones .....	119
4.2	Recomendaciones .....	122
ANEXOS		
ANEXO 1 INFORMACIÓN DISPONIBLE		
ANEXO 2 INFORMACIÓN GENERADA		
ANEXO 3 SOLUCIONES		
ANEXO 4 PRESUPUESTOS		
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS		

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.- Datos referenciales de las Cartas Topográficas utilizadas .....	10
Tabla II.- Parámetros Generales de la Cuenca del Río Chagüe .....	18
Tabla III.- Datos mensuales de precipitación máxima; E. H0340 - Bucay.....	29
Tabla IV.- Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel.	30
Tabla V.- Tabla de máxima precipitaciones probables. ....	31
Tabla VI.- Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas Fuente: F. Campos 1978.....	32
Tabla VII.- Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias .....	32
Tabla VIII.- ..... Intensidades de lluvia a partir de Pd, según duración de precipitación y frecuencia de la misma.....	33
Tabla IX.- Regresiones I-D-T (T = 2 años).....	37
Tabla X.- Regresiones I-D-T (T = 5 años).....	38
Tabla XI.- Regresiones I-D-T (T = 10 años).....	39
Tabla XII.- Regresiones I-D-T (T = 25 años).....	40
Tabla XIII.-Regresiones I-D-T (T = 50 años).....	41
Tabla XIV.- Regresiones I-D-T (T = 100 años). ....	42
Tabla XV.- Regresiones I-D-T (T = 500 años). ....	43
Tabla XVI.- Resumen de aplicación de regresión potencial.....	44

Tabla XVII.- Regresión potencial, Valores de K y m. ....	44
Tabla XVIII.- Tabla de intensidad (mm), Estación H0340 (Bucay). ....	47
Tabla XIX.- Parámetros de la Cuenca del Río Chagüe.....	49
Tabla XX.- Comparación método racional Vs. Método racional modificado..	49
Tabla XXI.- Numero de curva de escorrentía para usos de selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.....	53
Tabla XXII.- Caudal vs. Período de retorno .....	55
Tabla XXIII.- Evaluación Hidráulica para la rehabilitación de la red vial del Litoral Ecuatoriano. Fenómeno de “El Niño” 1997-1998 .....	55
Tabla XXIV.- Tabla Caudal vs % de inundación en la zona.....	79
Tabla XXV.- Condiciones Hidráulicas del Río Chagüe .....	111
Tabla XXVI.- Cuadro de selección de alternativa óptima. ....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Límites del Cantón General Antonio Elizalde.....	4
Figura 2.- Índice de Cartas Topográficas IGM .....	9
Figura 3.- Cartas Topográficas del Proyecto.....	10
Figura 4.- Ortofotografía del Cantón Bucay .....	11
Figura 5.- Mapa de Sedimentos Cuenca del Guayas Fuente: INAMHI .....	12
Figura 6.- Vista de la Cuenca Hidrográfica del Río Chagüe.....	17
Figura 7.- Esquema de la Cuenca Hidrográfica del Río Chagüe .....	18
Figura 8.- Orden de la Cuenca Hidrográfica del Río Chagüe.....	22
Figura 9.- Mapa de Red Hidrológica- Cuenca del Guayas Fuente: INAMHI .	27
Figura 10.- Regresión T= 2 años .....	37
Figura 11.- Regresión T= 5 años .....	38
Figura 12.- Regresión T= 10 años .....	39
Figura 13.- Regresión T= 25 años .....	40
Figura 14.- Regresión T= 50 años .....	41
Figura 15.- Regresión T= 100 años .....	42
Figura 16.- Regresión T= 100 años .....	43
Figura 17.- Regresión potencial, T v. d.....	45
Figura 18.- Curvas I-D-F, Estación H0340 (Bucay).....	47
Figura 19.- Hidrografía del Cantón General Antonio Elizalde .....	57
Figura 21.- Esquema de la sección tipo 1 .....	73
Figura 22.- Esquema de la sección tipo 2.....	74

Figura 24.- Perfil longitudinal del río y lámina de agua para un caudal de 10 m <sup>3</sup> /s .....	76
Figura 25.- Perfil longitudinal del río y lámina de agua para un caudal de 30 m <sup>3</sup> /s .....	76
Figura 26.- Perfil longitudinal del río y lámina de agua para un caudal de 50m <sup>3</sup> /s .....	77
Figura 27.- Perfil longitudinal del río y lámina de agua para un caudal de 100 m <sup>3</sup> /s .....	77
Figura 28.- Vista en perspectiva del río y lámina de agua para un caudal de 50 m <sup>3</sup> /s .....	78
Figura 29.- Zonas de desbordamiento del río .....	79
Figura 30.- Ubicación de la zona de inundación aguas arriba .....	81
Figura 31.-Remanso y Caída hidráulica en el río.....	82
Figura 32.-Esquema del Problema en el perfil longitudinal.....	83
Figura 33.-Rectificación de pendiente longitudinal del río.....	86
Figura 34.- Optimización de secciones transversales del río.....	87
Figura 35.- Pendientes Máximas .....	93
Figura 36.- Caudal proyectado para la alternativa 1 usando programa Hcanales. ....	93
Figura 37.- Esquema de la Alternativa 1 .....	94
Figura 38.- Tubería Novafort Fuente: Plastigama .....	96



Figura 39.- Caudal proyectado para la alternativa 2 usando programa Hcanales .....	97
Figura 40.- Propiedades de las tuberías Fuente: Plastigama .....	97
Figura 41.- Condiciones de excavación .....	98
Figura 42.- Pendiente de tubería Fuente: Plastigama.....	98
Figura 43.- Esquema de la Alternativa 2.....	99
Figura 44.- Ducto Cajón Prefabricado Fuente: Inkantonsa .....	101
Figura 45.- Vigas Metálicas IPE Fuente: Novacero .....	102
Figura 46.- Esquema de la Alternativa 3.....	103

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.- Inicio del Río Chagüe Tomado por el autor .....	58
Fotografía 2.- Materiales en el cauce del río Tomado por el autor.....	59
Fotografía 3.- Deslizamientos transversales en las partes bajas de la Cuenca Tomado por el autor .....	61
Fotografía 4.- Área de explotación y materiales arrumados Tomada por el autor .....	62
Fotografía 5.- Azolvamiento en el río .....	63
Fotografía 6.- Socavación en el cauce Tomado por el autor.....	64
Fotografía 7.- Cambio de cauce Tomado por el autor .....	65
Fotografía 8.- Canales generados por el dique de la carretera Tomado por el autor .....	66
Fotografía 9.- Inundación en la zona de estudio Tomado por el autor.....	67
Fotografía 10.- Inundación en la zona de estudio Tomado por el autor.....	68
Fotografía 11.- Hito IGM Puente Chanchán (Bucay) Tomado por el autor ...	69
Fotografía 12.- Hito Proyecto de Riego Bucay Tomado por el autor.....	69
Fotografía 13.- Levantamiento Topográfico del río Chagüe Tomado por el autor .....	70
Fotografía 14.- Levantamiento Topográfico del río Chagüe Tomado por el autor .....	71
Fotografía 15.- Levantamiento Topográfico del río Chagüe Tomado por el autor .....	71

Fotografía 16.- Vista Transversal del Dique Tomado por el autor.....	83
Fotografía 17.- Material retenido y acumulado por el Dique Tomado por el autor .....	84
Fotografía 18.- Material retenido y acumulado por el Dique Tomado por el autor .....	84
Fotografía 19.- Acumulación de sedimentos aguas arriba del Dique Tomado por el autor .....	85
Fotografía 20.- Socavación aguas abajo del Dique Tomado por el autor ....	85

## ÍNDICE DE ECUACIONES

[Ecuación 1] Coeficiente de Compacidad .....	19
[Ecuación 2] Coeficiente de Forma .....	20
[Ecuación 3] Pendiente media del cauce .....	21
[Ecuación 4] Densidad de drenaje .....	23
[Ecuación 5] Intensidad.....	33
[Ecuación 6] Ecuación de Aparicio.....	35
[Ecuación 7] Ecuación de Aparicio.....	36
[Ecuación 8] Ecuación de Aparicio.....	36
[Ecuación 9] Método racional modificado Temez.....	50
[Ecuación 10] Tiempo de concentración .....	50
[Ecuación 11] Coeficiente de uniformidad.....	50
[Ecuación 12] Coeficiente de simultaneidad .....	51
[Ecuación 13] Precipitación máxima corregida .....	51
[Ecuación 14] Intensidad de Precipitación .....	51
[Ecuación 15] Coeficiente de Escorrentía .....	52
[Ecuación 16] Umbral de escorrentía.....	52

## ABREVIATURAS

Cnel.	Coronel
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
H.A.	Hormigón Armado
H.S.	Hormigón Simple
IGM	Instituto Geográfico Militar
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
ISO	International Organization for Standardization
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
NEVI	Norma Ecuatoriana Vial
OGC	Open Geospatial Consortium
PVC	Policloruro de vinilo
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente

## SIMBOLOGIA

%	Porcentaje
°	Grado Centígrado
Dd	Densidad de drenaje
Ha	Hectárea
Hr	Hora
J	Pendiente media del cauce
K	Coefficiente de uniformidad
Ka	Coefficiente de simultaneidad
Kc	Índice de Gravelius
Kf	Coefficiente de forma
km	Kilometro
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
Lc	Longitud de cauce
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
min	Minuto
mm	Milímetro
Pd.	Precipitación diaria
S	Segundo
T	Período de retorno
Tc	Tiempo de concentración

# **CAPITULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Introducción**

El presente trabajo está orientado a resolver los actuales problemas de drenaje que ocasionan afectaciones a una extensa área productiva de aproximadamente 4300 Ha. en el Cantón Bucay. Los ríos y esteros que atraviesan estas zonas son su principal fuente de agua, pero al mismo tiempo los causantes de las inundaciones y pérdidas de las cosechas en épocas de lluvia. El Río Chimbo y el Río Chagüe son los principales ríos del sistema de drenaje de esta zona, siendo el Río

Chagüe quien atraviesa por la parte central el área de riego y drenaje del proyecto Bucay.

La principal causa de los desbordes e inundaciones del Río Chagüe es la explotación pétreo del depósito aluvial del mismo río. Se han realizado extracciones de materiales en diferentes sitios, dejando como resultado fosas y amontonamientos, lo que constituye un procedimiento bastante irregular y que no está regido por la técnica.

Las crecidas del río (en un cauce alterado) que ocurren en la época de precipitaciones han determinado procesos erosivos y la formación de nuevos bancos de materiales. El recorrido de campo sirvió para constatar la generación de nuevos esteros, pues estos no aparecen en los planos y fotografías áreas de décadas pasadas. Otra situación observada es el cambio de cauce del río, por lo que se están perdiendo terrenos cultivables.

La investigación de esta problemática social se realizó con el interés de prevenir futuras inundaciones en sector, ocasionadas por el desborde del Río Chagüe en época de lluvias e identificar las zonas más vulnerables.



El presente trabajo analiza el medio físico en el que se ha desarrollado el Río Chagüe, desde la cabecera en su cuenca de drenaje, así como en el cauce y las áreas que están afectadas. El resultado final del trabajo es la propuesta de soluciones y recomendaciones técnicas.

## **1.2 Antecedentes**

### **1.2.1 Datos generales del cantón Bucay**

El cantón General Antonio Elizalde, comúnmente conocido como “Bucay”, está situado al este de la provincia del Guayas y tiene una extensión de 152 km<sup>2</sup>, de los cuales solamente 1.30 km<sup>2</sup> están ocupados por la zona urbana y los restantes 150.7 km<sup>2</sup> son zona rural. Según los datos del Censo INEC 2010 este cantón posee una población de 10 642 habitantes, su cabecera urbana se encuentra localizada a una distancia de 99 km de Guayaquil.

Limita al norte con el cantón Chillanes (Provincia de Bolívar) y con el cantón Babahoyo (Provincia de los Ríos); al sur con el cantón Cumandá (Provincia de Chimborazo) y con el cantón Cnel. Marcelino Maridueña (Provincia del Guayas); al este con el cantón Chillanes (Provincia de Bolívar) y al Oeste con los cantones Simón Bolívar y Naranjito (Provincia del Guayas).

Su división política está estructurada por una sola parroquia que corresponde a su cabecera cantonal, y posee 8 recintos que son: San Pedro, Matilde Esther, La Esperanza alta, La Esperanza Baja, El Limón, El Batán, Altos de Bucay y Bethania. (Pindo, J. C. ,2013).



Figura 1.- Límites del Cantón General Antonio Elizalde  
Fuente: Pindo, J. C. (2013)

### 1.2.2 Descripción del proyecto de riego y drenaje Bucay

El cantón General Antonio Elizalde (Bucay) consta de un sistema de riego, evidentemente insuficiente, dotado de bocatomas que sirven de captación desde el Río Chimbo.

Luego de dichos desvíos se inicia un proceso de conducción y distribución por medio de canales de tierra, con la finalidad de dar servicio a unas 4300 hectáreas de terreno que constituyen los Recintos San Pedro, Batán, Esperanza Baja, Bethania, Liguria y sectores aledaños, cuyos pobladores han constituido la Junta de Regantes de Bucay.

Los canales son de tierra y no cuentan con las medidas necesarias para evitar las perdidas por infiltraciones, en épocas de sequía se puede constatar que los canales no logran llegar al caudal requerido, dejando sin el recurso hídrico a los cultivos del sector, generando pérdidas económicas y el descontento por parte de la población. Se ha podido verificar además, el azolve en ciertos tramos de los canales, lo cual afecta al sistema de drenaje ya que se tiene gran presencia de sedimentos interrumpiendo el flujo limitado del caudal.

El objetivo principal del Proyecto de Riego Bucay consiste en aprovechar de manera óptima el recurso hídrico del Río Chimbo, garantizando un sistema de riego que cumpla con el área propuesta pero, que además sirva como medio de drenaje en épocas de lluvias, considerando un estudio ambiental que minimice el impacto socio-económico en las poblaciones

aledañas. De esta manera se obtiene un sistema de riego sustentable y eficiente.

Como parte de este proyecto se realizaron los estudios de pre-factibilidad, factibilidad y diseños definitivos, donde se analizó la topografía del terreno y el diseño de los canales de tierra. Dando a conocer que este sistema podría aumentar su eficacia con solo una bocatoma, llamada Bocatoma 1, la cual inicia en la cota 225 y está ubicado en el Campamento La Lolita. Además se determinó que los canales necesitaban ser de revestidos de hormigón para evitar infiltraciones, pero considerando el nivel freático del sector.

En la Bocatoma se implementó un sistema que consiste en una compuerta manual, la cual permitirá controlar el caudal de entrada, durante los meses de invierno y en la época de estiaje. Además el sistema hidráulico consta de: Canal de Captación; Desarenador; Obra de Regulación; Obra de Demasías; Canal y Obras de Derivación; Canales de Distribución y regulación, lo que permitirá un control del volumen de sedimentos, permitiendo un correcto flujo del caudal en el sistema a lo largo de este.

Finalmente se recomienda un estudio del drenaje de este proyecto, ya que debido a la eficacia de su propuesta, se necesitará una correcta conducción de los caudales generados, los cuales en su mayoría desembocaran en el Río Chagüe.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

Generar soluciones ingenieriles para la rehabilitación del cauce del Río Chagüe en el área del Proyecto de Riego Bucay.

#### **1.3.2 Específicos**

- Analizar el comportamiento hidráulico del Río Chagüe y su interacción con el medio que lo rodea.
- Proponer soluciones óptimas y amigables con el ambiente para prevenir futuras inundaciones.
- Rediseñar obras que afecten el flujo del Río Chagüe.

## **1.4 Información disponible**

Para la realización de este proyecto se contó con información disponible de varias fuentes, entre ellas:

### **1.4.1 Cartas Topográficas del IGM**

Las cartas topográficas proporcionadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM) son a escala 1:50000 y se han generado siguiendo normas y estándares internacionales (ISO y OGC) que garantizan la interoperabilidad de los datos geográficos. El IGM cuenta con varias cartas topográficas base que cubren todo el territorio ecuatoriano, tal como se muestra en la Figura 2.

# REPÚBLICA DEL ECUADOR

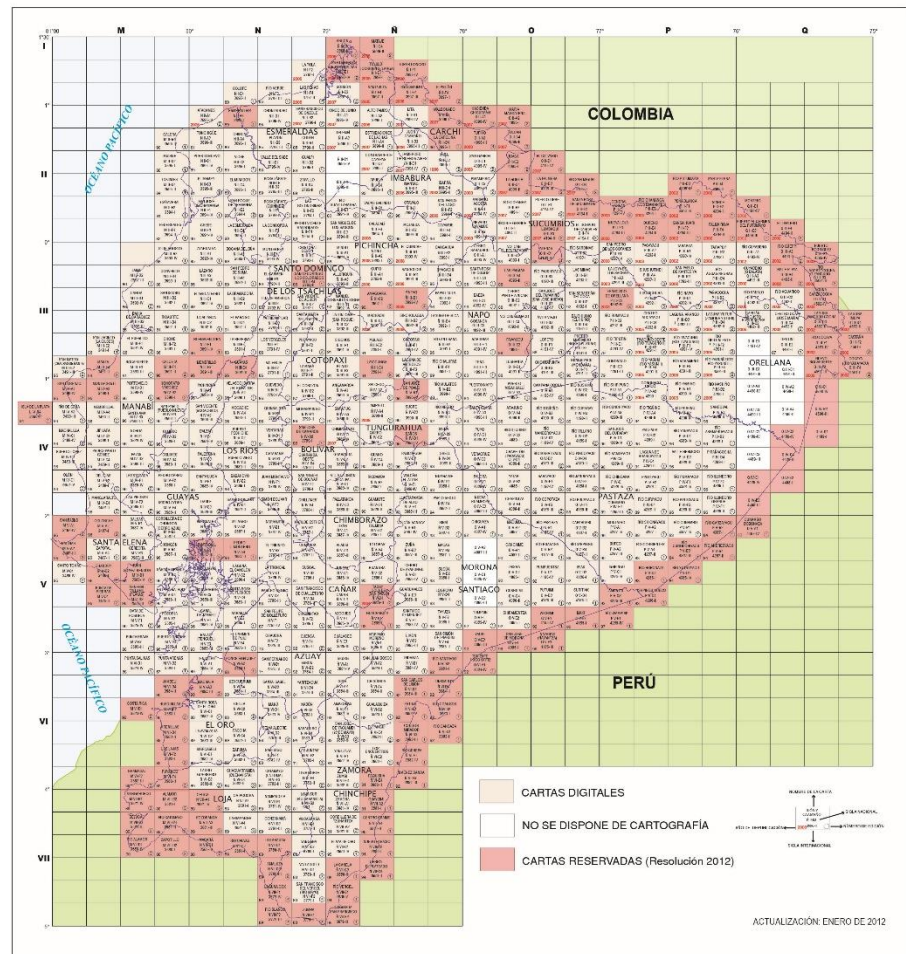


Figura 2.- Índice de Cartas Topográficas IGM

Fuente: Instituto Geográfico Militar ( [www.geoportaligm.gob.ec](http://www.geoportaligm.gob.ec) )

Debido a la ubicación de este proyecto se requirió utilizar 4 Cartas Topográficas IGM, estas nos sirvieron para analizar la topografía del sector, ubicar vías de acceso, poblados y obras de infraestructura proporcionados por las mismas. La Figura 3 muestra estas 4 cartas con sus datos referenciales.

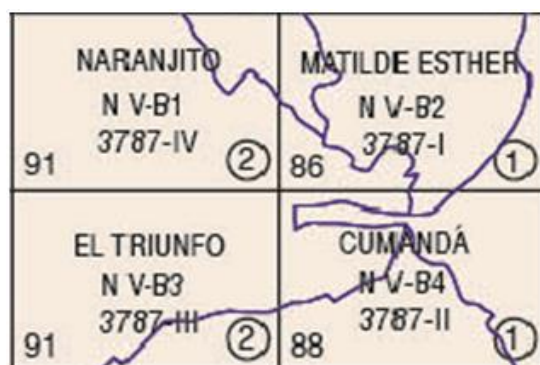


Figura 3.- Cartas Topográficas del Proyecto

**Tabla I.- Datos referenciales de las Cartas Topográficas utilizadas**

DATOS REFERENCIALES	CARTAS TOPOGRÁFICAS			
	Naranjito	Matilde Esther	El Triunfo	Cumandá
<b>Sigla Nacional</b>	NV B1	NV B2	NV B3	NV B4
<b>Sigla Internacional</b>	3787 IV	3787 I	3787 III	3787 II
<b>Edición</b>	2	1	2	1
<b>Año de Publicación</b>	1991	1986	1991	1988
<b>Serie</b>	J721	J721	J721	J721

Estas Cartas Topográficas a escala 1:50000 se muestran con mayor detalle en el Anexo 1. Referencias: Instituto Geográfico Militar, 2011, Base Escala 1:50000.

#### 1.4.2 Ortofotografía del Cantón Bucay

La Ortofotografía (Ortofoto) es una presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y



deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico, pero con mucha más información que la anterior (IGM).

Para la realización de este proyecto se contó con la ortofotografía del Cantón General Antonio Elizalde a una escala 1:10000 en archivo digital mediante la cual se puede observar la orografía e hidrografía del cantón. En el Anexo 1 de este proyecto se muestra la ortofotografía a una escala de impresión 1:50000.

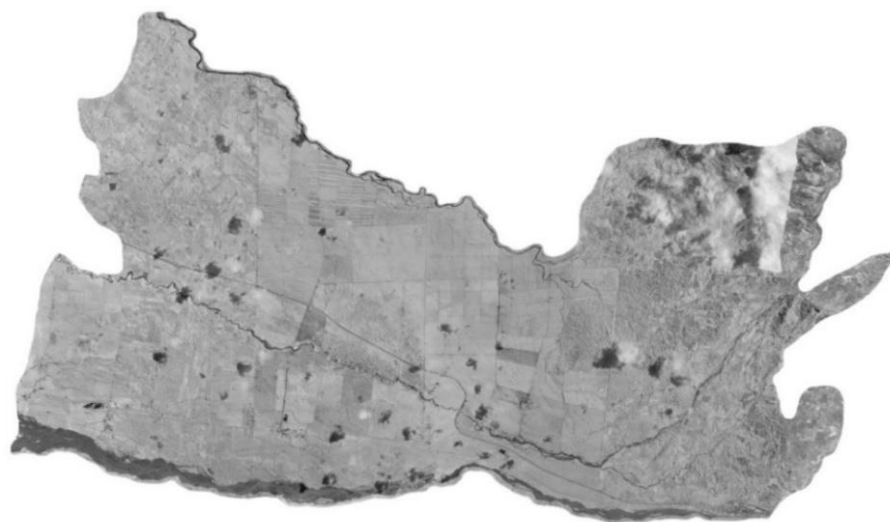


Figura 4.-Ortofotografía del Cantón Bucay  
Fuente: IGM

### 1.4.3 Datos Hidrológicos.

Debido a la cercanía del Río Chagüe al proyecto de Riego y Drenaje Bucay, se puede utilizar los mismos datos hidrológicos, no obstante los datos que proporciona el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) son de libre acceso.

Para el estudio hídrico se seleccionó la misma estación hidrológica H340, los anuarios fueron obtenidos desde la página principal del INAMHI, lo que nos permitirá estimar precipitaciones máximas diarias hasta establecer cuál podría ser nuestra avenida máxima.

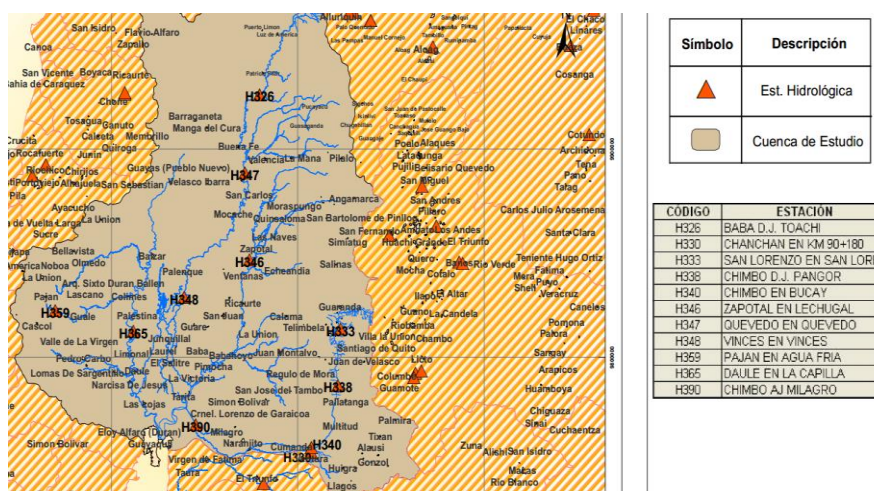


Figura 5.- Mapa de Sedimentos Cuenca del Guayas

Fuente: INAMHI

En el Anexo 1 se dispone los mapas hidrológicos, hidrogeológicos, de sedimentos y de las isolíneas de la cuenca del Guayas, lo que nos permitió de manera óptima establecer la región, la estación y el alcance de nuestros datos.

#### **1.4.4 Proyecto de Riego y Drenaje Bucay**

Este proyecto es un complemento del Estudio de Pre factibilidad, Factibilidad y Diseño Definitivo en la red de canales de riego y drenaje en el cantón Bucay, por lo cual se ha tomado varios datos referenciales del mismo.

##### **Plano de la Ubicación del Proyecto**

Este plano fue generado a partir de la integración de las 4 Cartas topográfica del IGM, en este se muestra el área de estudio del proyecto de riego. En el Anexo 1 se muestra este plano a una escala 1:50000.

##### **Plano Topográfico General con la Ubicación de los Canales**

En este plano se muestra la topografía del área de influencia del Proyecto de Riego Bucay generada con ayuda del programa de

dibujo asistido por ordenador Autocad Civil 3D. Este plano fue elaborado mediante el procesamiento de los puntos obtenidos en campo, mismos que fueron recolectados mediante el uso de equipos topográficos de gran precisión. En este plano se muestra además la ubicación de los 18 canales de hormigón con sus respectivos nombres y geometría de sección.

### **Mapa del Uso de suelo de la zona de cultivos**

Para determinar el caudal requerido en la zona de riego se utilizó un mapa de usos de suelos en los sectores San Pedro y la Esperanza, en el cual se muestra una descripción de la utilidad del suelo en esos sectores. En este plano se puede observar las zonas del río donde se producen inundaciones y las clases de suelos que resultan afectados. En el Anexo 1 de este proyecto se muestra dicho plano escala 1: 300

# **CAPITULO II**

## **2. INFORMACIÓN GENERADA**

Este proyecto se divide en dos partes importantes; la primera se refiere al análisis de la cuenca hidrográfica de Río Chagüe y la segunda al estudio del tramo del Río Chagüe que atraviesa la zona de cultivos del cantón Bucay.

### **2.1 Delimitación de la Cuenca de drenaje del Río Chagüe**

La orografía del cantón Bucay se divide en dos zonas notoriamente definidas; la zona baja o llanura oeste donde se localiza el área de estudio de este proyecto y la zona accidentada e irregular junto a la

falda de la Cordillera Occidental de los Andes donde se ubica la mayor parte de la cuenca del Río Chagüe.

Uniando las Cartas topográficas IGM de Matilde Esther y Cumandá es posible configurar el área total donde se encuentra emplazada la *cuenca de drenaje* del Río Chagüe, en esta se pueden observar los principales cuerpos de agua que forman a este río .En la Lámina 1 del Anexo 2 se muestra la cuenca de drenaje a una escala 1:75000.

Mediante dicho plano y aplicando criterios geomorfológicos para cuencas de drenaje, se delimitó la cuenca, teniendo en cuenta las líneas divisorias de agua a partir de la cual se graficó los drenajes naturales. Este concepto se aplicó desde las partes más bajas hacia las más altas y también en sentido lateral. La cuenca se desarrolla desde una altura cuya cota reflejada es de 2720 msnm hasta la cota 257 msnm en su parte más baja.

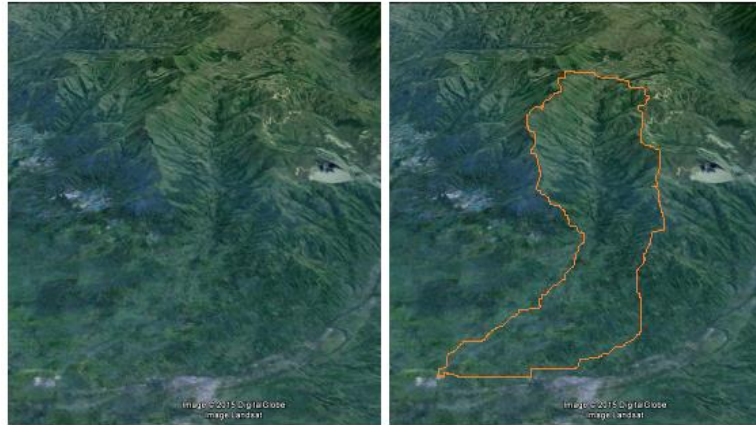


Figura 6.-Vista de la Cuenca Hidrográfica del Río Chagüe  
Fuente: Google Earth

## 2.2 Parámetros de la cuenca de drenaje

La cuenca posee los siguientes parámetros morfológicos que sirven para definir el tiempo de concentración (tiempo estimado para que fluya el caudal luego de una precipitación).

### 2.2.1 Parámetros generales

Estos parámetros han sido calculados mediante la utilización de las cartas topográficas digitales y con ayuda de un programa de dibujo asistido por ordenador AutoCAD. La cuenca del Río Chagüe posee las siguientes características:

**Tabla II.- Parámetros Generales de la Cuenca del Río Chagüe**

DATOS DE LA CUENCA:	
ÁREA	61,79 km <sup>2</sup>
PERIMETRO	46,62 km
LONGITUD DEL CAUCE	19201,82 m
<b>ANCHO (B)</b>	3,22 km
DESNIVEL	2463,00 m



Figura 7.-Esquema de la Cuenca Hidrográfica del Río Chagüe



### 2.2.2 Parámetros de forma

Como se puede observar, la cuenca es alargada con una forma rectangular, lo que implica que durante las lluvias existe un comportamiento que demanda un tiempo relativamente largo para que se generen caudales. Varios índices han sido sugeridos para expresar la forma de la cuenca:

#### Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad

Este parámetro describe la geometría de la cuenca y se define como la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área igual a la de la cuenca.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde P es el perímetro (Km) y A el área de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

$$Kc = 0.28 \frac{46.624}{\sqrt{61.793}}$$

$$Kc = 1.66$$

El Coeficiente de Compacidad no podrá ser menor a la unidad y, en la medida que éste se acerque a ese valor la forma de la

cuenca tenderá a ser circular. La cuenca del Río Chagüe posee un  $K_c = 1.66$ , lo que nos corrobora que la cuenca no es redondeada sino que presenta una forma irregular.

### **Coeficiente de Forma**

Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca, se define como la relación entre el ancho medio de la cuenca (B) y la longitud de su cauce principal (Lc).

$$Kf = \frac{B}{Lc} = \frac{A}{Lc^2} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

$$Kf = \frac{61.793}{19.202^2}$$

$$\mathbf{Kf = 0.168}$$

El coeficiente de forma da una indicación de la tendencia hacia las crecidas, cuanto mayor sea este valor tenemos crecidas rápidas y muy intensas mientras que si este valor es pequeño las crecidas son muy lentas y sostenida.

Los parámetros calculados dan una idea básica del comportamiento de la cuenca ante una precipitación dada, teniendo esta una forma alargada el tiempo de concentración

será mayor y por ende la magnitud de la escorrentía generada será menor que el de una cuenca redondeada, es decir, esta cuenca tiene menor tendencia a crecidas.

### 2.2.3 Parámetros de relieve

Podemos decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escorrentías se produce en lapsos menores de tiempo.

#### Pendiente media del cauce

Es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud.

$$j = \frac{DA}{Lc} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

$$j = \frac{2.46 \text{ km}}{19.202 \text{ km}}$$

$$j = 0.128 = 12.8 \%$$

### 2.2.4 Parámetros de la red de drenaje

#### Número de orden de la cuenca

El número de orden de la cuenca está estrechamente relacionado con el número de ramificaciones del sistema de drenaje. Después de hacer un análisis de la cuenca de drenaje,

tal como se muestra en la Figura 7, se pudo establecer que el orden de la cuenca es del IV orden.

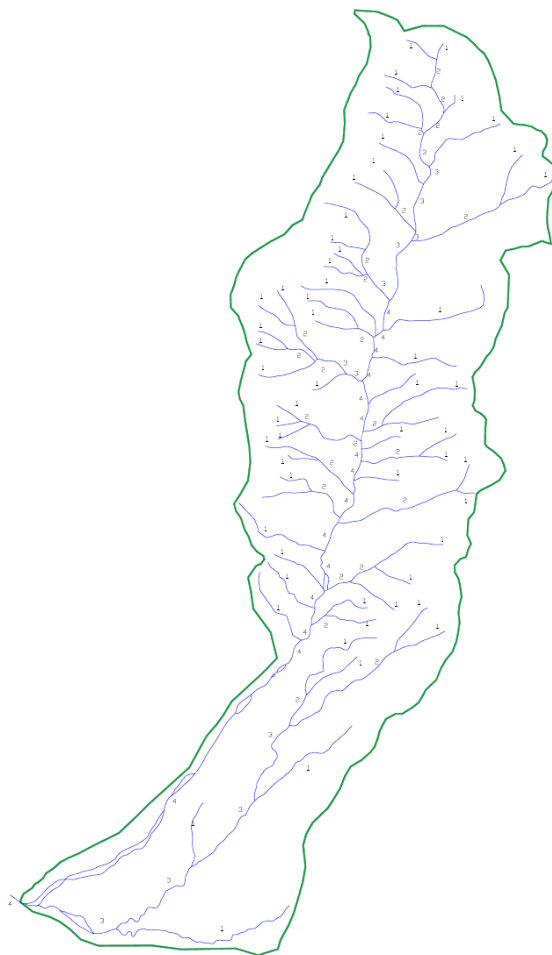


Figura 8.-Orden de la Cuenca Hidrográfica del Río Chagüe

### **Densidad de drenaje**

Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua dentro de la cuenca y el área total de ésta. En general, una

mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión.

$$Dd = \frac{\sum Lc_i}{A} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

$$Dd = \frac{110.443 \text{ km}}{61.793 \text{ km}^2}$$

$$Dd = 1.787$$

Este coeficiente es relativamente alto por lo que se recomienda realizar un análisis de arrastre de sedimentos en el cauce del Río Chagüe.

### 2.3 Geología de la cuenca de drenaje

En su mayor extensión la cuenca de drenaje del Río Chagüe se emplaza en la denominada Formación Macuchi que es del Período Cretáceo, de la Edad Mesozoica, es decir, tiene edades de 60 a 80 millones de años. Ésta constituye la estructura interna de esos cerros y esas rocas afloran en las partes altas principalmente en las quebradas.

En la Lamina 2 del Anexo 2 se presenta una zonificación de las unidades geológicas presentes en la cuenca. Esta lamina ha sido

adaptada del plano geológico elaborado por la Dirección Nacional de Geología y Minas en 1979, y se ha tomado varias referencias del proyecto de Riego y Drenaje Bucay, mismo que es desarrollado por la Dirección Provincial de Riego, Drenaje y Dragas de la Prefectura del Guayas.

De acuerdo a la descripción geológica se considera que esta Formación está constituida por rocas andesitas y por sedimentos, sin embargo, como es conocido debido a los procesos de meteorización originados principalmente por el clima y al gran tiempo transcurrido, se ha determinado que, al menos las capas superficiales ( de espesores de decenas de metros o más), sobre las masas rocosas (que afloran en ciertas quebradas y antiguos deslizamientos), estén siempre cubiertas de materiales comparativamente sueltos, tal es el caso de suelos, clastos e inclusive grandes bloques de roca.

En el mismo plano geológico se observa la existencia de unas 13 posibles fallas geológicas, esto implica que existe una gran cantidad de fracturas tectónicas que son la respuesta a la presencia de esas roturas de la corteza terrestre. De allí se deduce que las masas de rocas son medio muy discontinuos, limitados y a veces separados por las fracturas.

Las masas de materiales que no son masivamente rocosos, se denominan cuerpos o depósitos coluviales, que aparecen a lo largo de toda la ladera donde se desarrolla la cuenca y que adquieren grandes espesores al pie de esta.

En las partes más bajas se tienen las denominadas terrazas que son materiales que descendieron desde partes más altas, tal vez millones de años atrás. Estas terrazas pueden tener un cierto grado de consolidación y también pueden contener materiales sueltos cuando se han producidos depósitos aluviales, es decir, causados por los cauces de los ríos.

Las características geológicas antes descritas, en función de las pendientes topográficas, determinan un hecho fundamental para la presente investigación, que constituye la existencia de un medio natural donde son posibles los deslizamientos y procesos erosivos, que según se conoce son los que generan los materiales que son transportados por los ríos, en el presente caso el Río Chagüe.

#### **2.4 Análisis Hidrológico de la cuenca**

El análisis hidrológico es uno de los pilares para cualquier tipo de obra hidráulica, ya que se necesita establecer parámetros hídricos que

nos permitan conocer la magnitud de los recursos existentes y estimar un futuro evento extremo.

Para este proyecto se analizó los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), organismo encargado de periódicamente contabilizar las precipitaciones existentes en nuestro territorio; el cual está registrado en los anuarios hidrométricos ubicados en su página principal. De estos datos de obtuvo información las cuales se detallan a continuación:

**Temperatura.-** En la zona de estudio se registra una temperatura máxima de 29°C, la mínima de 18°C y la temperatura media de 26°C.

**Evaporación.-** A partir de los anuarios del INAMHI se deduce que la evaporación media anual es de 1300mm.

**Humedad Relativa.-** Mediante un análisis de los datos de determina que la humedad relativa promedio del sector es de 64.5%.



Como se mencionó al inicio de esta sección, es importante establecer parámetros hidrológicos, conocer recursos, problemas hidráulicos y sus posibles soluciones.

Del mapa de Red Hidrológica del INAMHI (ver Anexo 1), se estableció que se trabajaría con la estación hidrométrica **H340**, por ser la más cercana al Cantón Bucay, además de poseer las características técnicas de medición requerida para determinar:

- Precipitaciones medias y máximas probables
- Precipitación de Diseño
- El caudal de la cuenca.

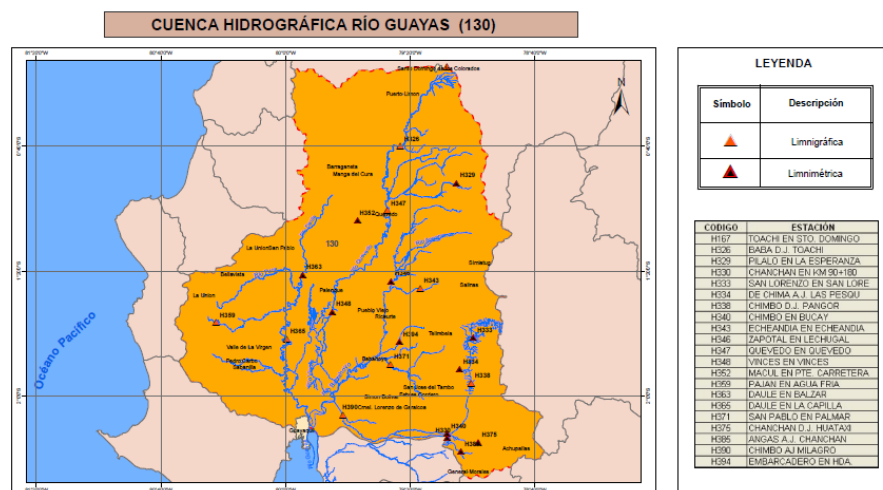


Figura 9.- Mapa de Red Hidrológica- Cuenca del Guayas  
Fuente: INAMHI

### **2.4.1 Análisis de precipitaciones**

En un período de 23 años la estación Hidro-meteorológica H340 cuenta con un registro limnigráfico y limnimétrico entre los años 1990 y 2012.

Al igual que en el Proyecto de Riego y Drenaje Bucay, se necesita procesar los datos de la estación H340 para tener una aproximación de su intensidad, para luego estimar el caudal que se genera en dicha cuenca.

Para este estudio se construirá una tabla I.D.F de la estación a analizar. A continuación se muestre la tabla realizada, donde se puede visualizar las precipitaciones máximas durante el período 90-12.

a) Tabla de precipitaciones.

**Tabla III.- Datos mensuales de precipitación máxima; E. H0340 – Bucay**

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1990	90.00	120.00	107.00	146.00	139.00	107.00	90.00	71.00	70.00		71.00	82.00	146.00
1991	85.00	138.00	154.00	136.00	118.00	105.00	95.00	80.00	70.00	68.00	71.00	80.00	154.00
1992	123.00	121.00	160.00	181.00	155.00	138.00	108.00	88.00	78.00	74.00	69.00	70.00	181.00
1993	48.00	170.00	190.00	235.00	195.00	139.00	108.00	89.00	78.00	82.00	81.00	118.00	235.00
1994	175.00	200.00	193.00	220.00	175.00	138.00	108.00	85.00	75.00	78.00	90.00	125.00	220.00
1995	125.00	140.00	143.00	150.00	125.00	116.00	94.00	80.00	74.00	75.00	110.00	188.00	188.00
1996	190.00	180.00	200.00	180.00	141.00	135.00	110.00	90.00	79.00	81.00	80.00	78.00	200.00
1997	145.00	115.00	195.00	165.00	152.00	153.00	108.00	86.00	110.00	130.00	190.00	167.00	195.00
1998	178.00	210.00	225.00	198.00	242.00	145.00	118.00	95.00	78.00	75.00	75.00	61.00	242.00
1999	80.00	198.00	185.00	185.00	198.00	130.00	107.00	74.00	100.00	98.00	68.00	138.00	198.00
2000	115.00	160.00	170.00	165.00	150.00	132.00	105.00	73.00	62.00	55.00		45.00	170.00
2001	98.00	120.00	195.00	138.00	108.00	85.00	62.00	50.00	38.00	37.00	40.00	53.00	195.00
2002	51.00	105.00	178.00	185.00	138.00	100.00	78.00	62.00	53.00	63.00	78.00	69.00	185.00
2003	89.00	130.00	125.00	135.00	128.00	95.00	81.00	63.00	58.00	49.00	49.00	58.00	135.00
2004	58.00	108.00	158.00	110.00	105.00	86.00	67.00	60.00		56.00	58.00	75.00	158.00
2005	65.00	89.00	125.00	125.00	110.00	74.00	65.00	52.00	48.00	50.00	50.00	70.00	125.00
2006	67.00	139.00	165.00	166.00	113.00	92.00	72.00	61.00	54.00	54.00	66.00	84.00	166.00
2007	115.00	110.00	140.00	145.00	142.00	116.00	103.00	72.00	61.00	65.00	73.00	68.00	145.00
2008	190.00	200.00	175.00	180.00	164.00	140.00	108.00	74.00	75.00	85.00	95.00	76.00	200.00
2009	157.00	200.00	185.00	150.00	120.00	100.00	75.00	54.00	48.00	42.00	40.00	40.00	200.00
2010	87.00	100.00	105.00	190.00	138.00	92.00	83.00	70.00	49.00	49.00	67.00	110.00	190.00
2011	108.00	180.00	117.00	175.00	147.00	92.00	70.00	54.00	41.00	42.00	36.00	60.00	180.00
2012	130.00	165.00	180.00	162.00	130.00	79.00	55.00	34.00	30.00	14.00	20.00	20.00	180.00
MAX	190.00	210.00	225.00	235.00	242.00	153.00	118.00	95.00	110.00	130.00	190.00	188.00	242.00

Como primer paso debemos determinar la precipitación máxima diaria, mediante análisis estocásticos. En nuestro estudio se utilizó el método Gumbel., como se presenta a continuación:

**b) Distribución De Probabilidades**

Para poder conocer la máxima precipitación probable, se genera una tabla donde en función del período de retorno (T), se conocerá la posible precipitación máxima.

**Tabla IV.- Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel**

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			$x_i$	$(x_i - x)^2$
1	1990	0	146.00	1302.27
2	1991	0	154.00	788.88
3	1992	0	181.00	1.18
4	1993	0	235.00	2799.79
5	1994	0	220.00	1437.40
6	1995	0	188.00	34.96
7	1996	0	200.00	320.88
8	1997	0	195.00	166.75
9	1998	0	242.00	3589.57
10	1999	0	198.00	253.22
11	2000	0	170.00	146.09
12	2001	0	195.00	166.75
13	2002	0	185.00	8.49
14	2003	0	135.00	2217.18
15	2004	0	158.00	580.18
16	2005	0	125.00	3258.92
17	2006	0	166.00	258.79
18	2007	0	145.00	1375.44
19	2008	0	200.00	320.88
20	2009	0	200.00	320.88
21	2010	0	190.00	62.62
22	2011	0	180.00	4.36
23	2012	0	180.00	4.36
<b>Suma</b>			<b>4188.00</b>	<b>19419.83</b>

**Tabla V.- Tabla de máxima precipitaciones probables.**

Período Retorno Años	Variable Reducida YT	Precip. (mm) XT'(mm)	Prob. de ocurrencia F(xT)	Corrección intervalo fijo XT (mm)
2	0.37	177.21	0.50	200.24
5	1.50	203.46	0.80	229.91
10	2.25	220.85	0.90	249.56
25	3.20	242.81	0.96	274.38
50	3.90	259.11	0.98	292.79
100	4.60	275.28	0.99	311.07
500	6.21	312.66	1.00	353.30

**Cálculo de variable probabilísticas**

Media  $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 182.09mm$

Desviación Estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 29.71mm$$

Parámetro de forma

Moda  $\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 23.17mm$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 168.72mm$$

De donde se observa que para el período de retorno asumido, de 25 años, el estudio contará con una precipitación de 274,38 mm

### c) Precipitaciones máximas, horarias.

Para realizar esta tabla, es necesario redistribuir la lluvia para un período de 24 horas. Se utilizó coeficientes de redistribución [Campos, 1978]

**Tabla VI.-Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas. Fuente: F. Campos 1978**

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

Obteniendo la siguiente distribución horaria:

**Tabla VII.-Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias**

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 Hr	X24	200.24	229.91	249.56	274.38	292.79	311.07	353.30
18 Hr	X18 = 91%	182.22	209.22	227.10	219.50	266.44	283.07	321.50
12 Hr	X12 = 80%	160.19	183.93	199.65	219.50	234.23	248.85	282.64
8 Hr	X8 = 68%	136.17	156.34	169.70	186.58	199.10	211.52	240.24
6 Hr	X6 = 61%	122.15	140.25	152.23	167.37	178.60	189.75	215.51
5 Hr	X5 = 57%	114.14	131.05	142.25	156.39	166.89	177.31	201.38
4 Hr	X4 = 52%	104.13	119.55	129.77	142.68	152.25	161.75	183.72
3 Hr	X3 = 46%	92.11	105.76	114.80	126.21	134.68	143.09	162.52
2 Hr	X2 = 39%	78.09	89.67	97.33	107.01	114.19	121.32	137.79
1 Hr	X1 = 30%	60.07	68.97	74.87	82.31	87.84	93.32	105.99

Donde podemos comprobar que con un período de retorno de 25 años y un tiempo de 24h, tenemos una precipitación máxima de 274,38mm.

#### d) Tabla de intensidades.

Una vez representado el comportamiento de las precipitaciones registradas en dicha estación, se procede a generar una tabla de intensidades bajo las mismas características de tiempo y frecuencia.

Se establece que la fórmula de Intensidad es:

$$I = \frac{P \text{ (mm)}}{t_{\text{duración}} \text{ (hr)}} \quad \text{[Ecuación 5]}$$

**Tabla VIII.- Intensidades de lluvia a partir de Pd, según duración de precipitación y frecuencia de la misma**

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 Hr	1440	8.34	9.58	10.40	11.43	12.20	12.96	14.72
18 Hr	1080	10.12	11.62	12.62	12.19	14.80	15.73	17.86
12 Hr	720	13.35	15.33	16.64	18.29	19.52	20.74	23.55
8 Hr	480	17.02	19.54	21.21	23.32	24.89	26.44	30.03
6 Hr	360	20.36	23.37	25.37	27.89	29.77	31.63	35.92
5 Hr	300	22.83	26.21	28.45	31.28	33.38	35.46	40.28
4 Hr	240	26.03	29.89	32.44	35.67	38.06	40.44	45.93
3 Hr	180	30.70	35.25	38.27	42.07	44.89	47.70	54.17
2 Hr	120	39.05	44.83	48.66	53.50	57.09	60.66	68.89
1 Hr	60	60.07	68.97	74.87	<b>82.31</b>	87.84	93.32	105.99

De esta tabla podemos establecer que la intensidad para un  $T = 25$  años y un tiempo de 60 min,  $I = 82,31$  mm/Hr.

Sin embargo, esta intensidad no representa el comportamiento de las precipitaciones registradas, para ello se generará la curvas I.D.F. cuyo objetivo es brindar patrones de intensidad más confiables.

#### **e) Curvas I.D.F. – Intensidad- Duración- Frecuencia.**

Existen diversas formas de obtener curvas I.D.F., para el presente estudio se analizó la propuesta de *Aparicio (1997)*, quien realiza un análisis estadístico para generar curvas I.D.F.

Aparicio plantea la alternativa de obtener una ecuación que genere las curvas I.D.F. a través de un modelo de regresión lineal, de modo de extrapolar la ecuación generada, a zonas que carezcan de registros pluviográficos y que se encuentren relativamente cerca. Por lo que, se procede a analizar el comportamiento de las variables involucradas en el estudio, relacionando simultáneamente las tres variables en una familia de curvas. [*R. Pizarro, EIAS*].



Ecuación de Aparicio.:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Donde:

**I =** Intensidad (mm/Hr)

**t =** Duración de la lluvia (min)

**T =** Período de retorno (años)

**K, m, n =** Parámetros de ajuste

Luego, aplicando los logaritmos a la fórmula propuesta se pretende llegar a la forma de un modelo de regresión lineal múltiple y cuyo modelo se expresa en la ecuación:

$$\log I = \log K + m * \log T - n * \log t$$

$$y = a_0 + a_1 * X_1 + a_2 * X_2$$

Donde:

$$y = \log I \quad a_0 = \log K$$

$$X_1 = \log T \quad a_1 = m$$

$$X_2 = \log t \quad a_2 = n$$

Simplificando el cálculo se descompone la ecuación principal, de la siguiente manera:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n}$$

$$d = K * T^m \quad \text{[Ecuación 7]}$$

$$I = \frac{d}{t^n}$$

Donde:

$$I = d * t^{-n} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

Usando los datos obtenidos de la tabla de intensidad, se procede a realizar la regresión lineal de cada período de retorno. Cabe destacar que se usara el método de mínimos cuadrados para la regresión lineal.

$$\ln d = \frac{\sum \ln t * \sum (\ln t * \ln I) - \sum \ln I * \sum \ln t^2}{\sum \ln t^2 - n * \sum \ln t^2}$$

Siendo n el número de períodos de retorno.

**Tabla IX.- Regresiones I-D-T (T = 2 años).**

<b>Período de retorno para T = 2 años</b>						
<b>Nº</b>	<b>x=t</b>	<b>y=l</b>	<b>ln x</b>	<b>ln y</b>	<b>ln x*ln y</b>	<b>(lnx)^2</b>
1	1440.00	8.34	7.27	2.12	15.43	52.89
2	1080.00	10.12	6.98	2.31	16.17	48.79
3	720.00	13.35	6.58	2.59	17.05	43.29
4	480.00	17.02	6.17	2.83	17.50	38.12
5	360.00	20.36	5.89	3.01	17.74	34.65
6	300.00	22.83	5.70	3.13	17.84	32.53
7	240.00	26.03	5.48	3.26	17.86	30.04
8	180.00	30.70	5.19	3.42	17.78	26.97
9	120.00	39.05	4.79	3.66	17.55	22.92
10	60.00	60.07	4.09	4.10	16.77	16.76
<b>10.00</b>	<b>4980.00</b>	<b>247.88</b>	<b>58.16</b>	<b>30.45</b>	<b>171.68</b>	<b>346.94</b>
<b>Ln (d) = 6.6294</b>		<b>d = 757.02</b>		<b>n = -0.6164</b>		

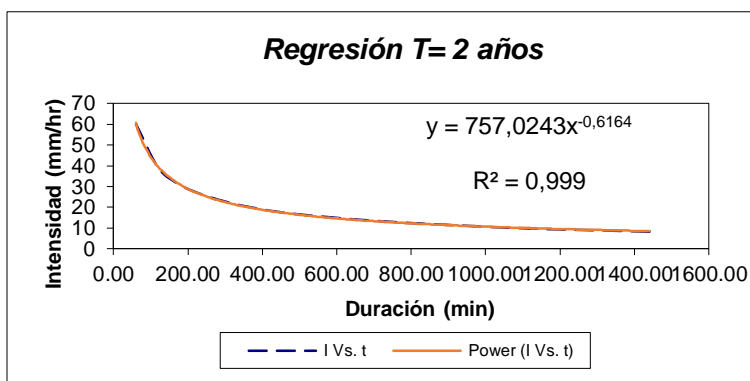


Figura 10.- Regresión T= 2 años

**Tabla X.- Regresiones I-D-T (T = 5 años).**

<b>Periodo de retorno para T = 5 años</b>						
<b>Nº</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>ln x</b>	<b>ln y</b>	<b>ln x*ln y</b>	<b>(lnx)^2</b>
1	1440.00	9.58	7.27	2.26	16.43	52.89
2	1080.00	11.62	6.98	2.45	17.13	48.79
3	720.00	15.33	6.58	2.73	17.96	43.29
4	480.00	19.54	6.17	2.97	18.35	38.12
5	360.00	23.37	5.89	3.15	18.55	34.65
6	300.00	26.21	5.70	3.27	18.63	32.53
7	240.00	29.89	5.48	3.40	18.62	30.04
8	180.00	35.25	5.19	3.56	18.50	26.97
9	120.00	44.83	4.79	3.80	18.21	22.92
10	60.00	68.97	4.09	4.23	17.33	16.76
<b>10.00</b>	<b>4980.00</b>	<b>284.61</b>	<b>58.16</b>	<b>31.83</b>	<b>179.72</b>	<b>346.94</b>
<b>Ln (d) = 6.7676</b>		<b>d = 869.19</b>		<b>n = -0.6164</b>		

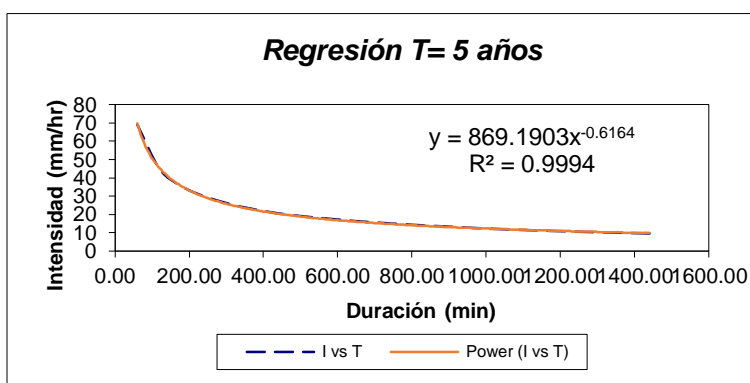


Figura 11.- Regresión T= 5 años

**Tabla XI.- Regresiones I-D-T (T = 10 años).**

<b>Periodo de retorno para T = 10 años</b>						
<b>Nº</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>ln x</b>	<b>ln y</b>	<b>ln x*ln y</b>	<b>(lnx)^2</b>
1	1440.00	10.40	7.27	2.34	17.03	52.89
2	1080.00	12.62	6.98	2.54	17.71	48.79
3	720.00	16.64	6.58	2.81	18.50	43.29
4	480.00	21.21	6.17	3.05	18.86	38.12
5	360.00	25.37	5.89	3.23	19.03	34.65
6	300.00	28.45	5.70	3.35	19.10	32.53
7	240.00	32.44	5.48	3.48	19.07	30.04
8	180.00	38.27	5.19	3.64	18.93	26.97
9	120.00	48.66	4.79	3.88	18.60	22.92
10	60.00	74.87	4.09	4.32	17.67	16.76
<b>10.00</b>	<b>4980.00</b>	<b>308.92</b>	<b>58.16</b>	<b>32.65</b>	<b>184.49</b>	<b>346.94</b>
<b>Ln (d) =</b>	<b>6.8495</b>	<b>d =</b>	<b>943.45</b>	<b>n =</b>	<b>-0.6164</b>	

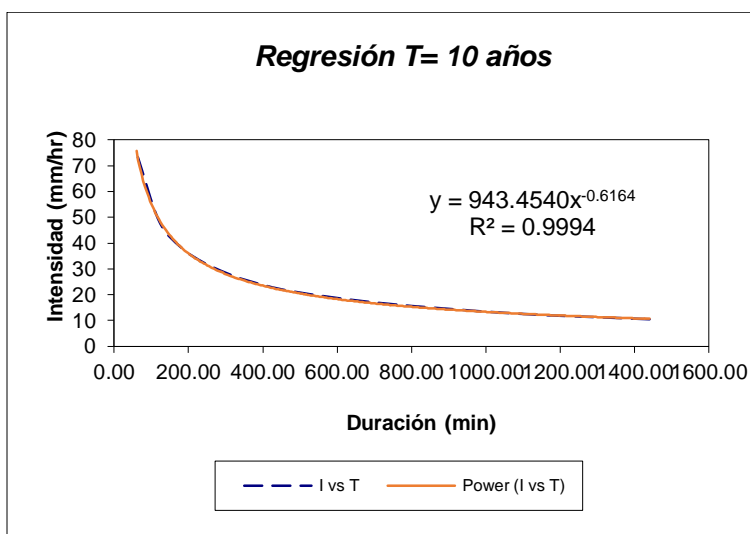


Figura 12.- Regresión T= 10 años

**Tabla XII.- Regresiones I-D-T (T = 25 años).**

<b>Período de retorno para T = 25 años</b>						
<b>Nº</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>ln x</b>	<b>ln y</b>	<b>ln x*ln y</b>	<b>(lnx)^2</b>
1	1440.00	11.43	7.27	2.44	17.72	52.89
2	1080.00	12.19	6.98	2.50	17.47	48.79
3	720.00	18.29	6.58	2.91	19.12	43.29
4	480.00	23.32	6.17	3.15	19.44	38.12
5	360.00	27.89	5.89	3.33	19.59	34.65
6	300.00	31.28	5.70	3.44	19.64	32.53
7	240.00	35.67	5.48	3.57	19.59	30.04
8	180.00	42.07	5.19	3.74	19.42	26.97
9	120.00	53.50	4.79	3.98	19.05	22.92
10	60.00	82.31	4.09	4.41	18.06	16.76
<b>10.00</b>	<b>4980.00</b>	<b>337.97</b>	<b>58.16</b>	<b>33.47</b>	<b>189.10</b>	<b>346.94</b>
<b>Ln (d) = 7.0317</b>		<b>d = 1131.99</b>		<b>n = -0.6336</b>		

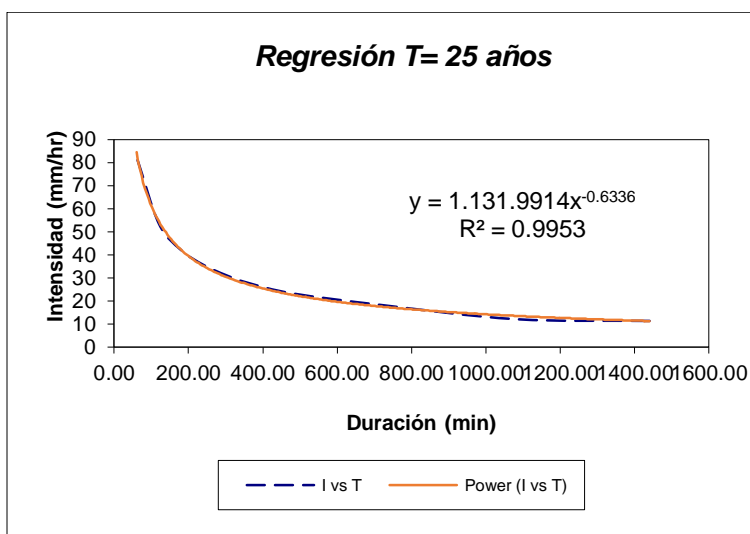


Figura 13.- Regresión T= 25 años

**Tabla XIII.- Regresiones I-D-T (T = 50 años).**

<b>Período de retorno para T = 50 años</b>						
<b>Nº</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>ln x</b>	<b>ln y</b>	<b>ln x*ln y</b>	<b>(lnx)^2</b>
1	1440.00	12.20	7.27	2.50	18.19	52.89
2	1080.00	14.80	6.98	2.69	18.82	48.79
3	720.00	19.52	6.58	2.97	19.55	43.29
4	480.00	24.89	6.17	3.21	19.84	38.12
5	360.00	29.77	5.89	3.39	19.97	34.65
6	300.00	33.38	5.70	3.51	20.01	32.53
7	240.00	38.06	5.48	3.64	19.95	30.04
8	180.00	44.89	5.19	3.80	19.76	26.97
9	120.00	57.09	4.79	4.04	19.36	22.92
10	60.00	87.84	4.09	4.48	18.32	16.76
<b>10.00</b>	<b>4980.00</b>	<b>362.44</b>	<b>58.16</b>	<b>34.25</b>	<b>193.78</b>	<b>346.94</b>
<b>Ln (d) = 7.0093</b>		<b>d = 1106.90</b>		<b>n = -0.6164</b>		

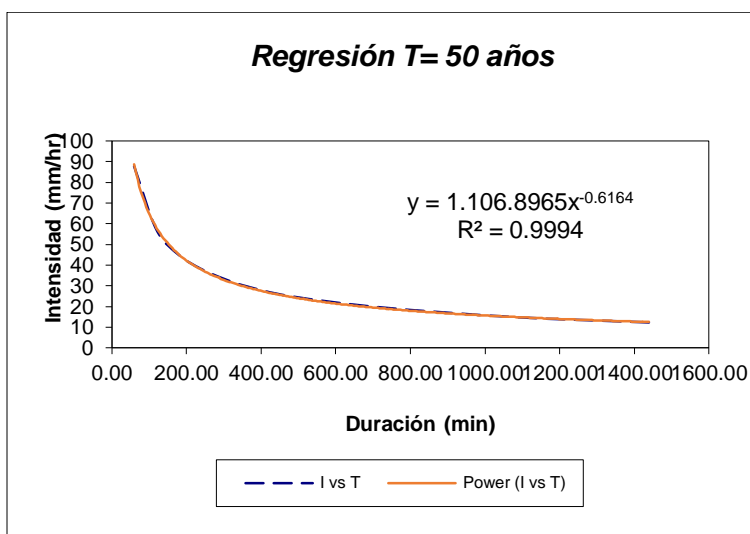


Figura 14.- Regresión T= 50 años

**Tabla XIV.- Regresiones I-D-T (T = 100 años).**

<b>Período de retorno para T = 100 años</b>						
<b>Nº</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>ln x</b>	<b>ln y</b>	<b>ln x*ln y</b>	<b>(lnx)^2</b>
1	1440.00	12.96	7.27	2.56	18.63	52.89
2	1080.00	15.73	6.98	2.76	19.25	48.79
3	720.00	20.74	6.58	3.03	19.95	43.29
4	480.00	26.44	6.17	3.27	20.22	38.12
5	360.00	31.63	5.89	3.45	20.33	34.65
6	300.00	35.46	5.70	3.57	20.35	32.53
7	240.00	40.44	5.48	3.70	20.28	30.04
8	180.00	47.70	5.19	3.86	20.07	26.97
9	120.00	60.66	4.79	4.11	19.65	22.92
10	60.00	93.32	4.09	4.54	18.57	16.76
<b>10.00</b>	<b>4980.00</b>	<b>385.07</b>	<b>58.16</b>	<b>34.85</b>	<b>197.30</b>	<b>346.94</b>
<b>Ln (d) = 7.0699</b>		<b>d = 1175.99</b>		<b>n = -0.6164</b>		

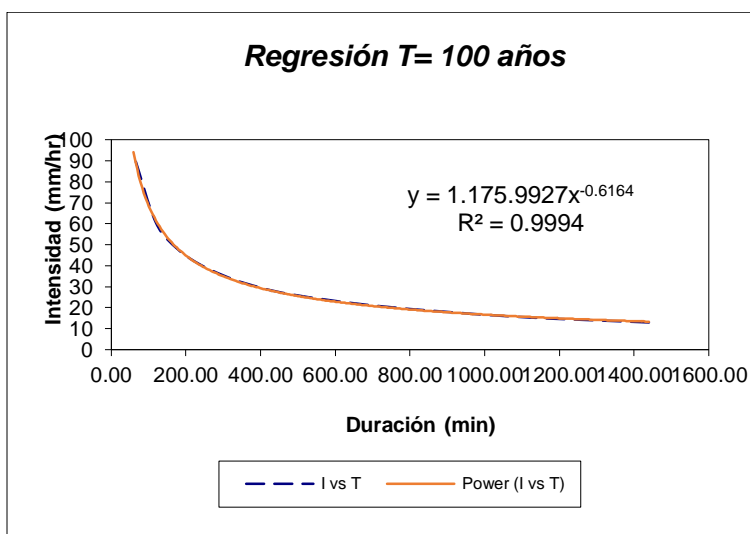


Figura 15.- Regresión T= 100 años



**Tabla XV.- Regresiones I-D-T (T = 500 años).**

<b>Período de retorno para T = 500 años</b>						
<b>Nº</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>ln x</b>	<b>ln y</b>	<b>ln x*ln y</b>	<b>(lnx)^2</b>
1	1440.00	14.72	7.27	2.69	19.56	52.89
2	1080.00	17.86	6.98	2.88	20.13	48.79
3	720.00	23.55	6.58	3.16	20.79	43.29
4	480.00	30.03	6.17	3.40	21.00	38.12
5	360.00	35.92	5.89	3.58	21.08	34.65
6	300.00	40.28	5.70	3.70	21.08	32.53
7	240.00	45.93	5.48	3.83	20.97	30.04
8	180.00	54.17	5.19	3.99	20.73	26.97
9	120.00	68.89	4.79	4.23	20.26	22.92
10	60.00	105.99	4.09	4.66	19.09	16.76
<b>10.00</b>	<b>4980.00</b>	<b>437.35</b>	<b>58.16</b>	<b>36.13</b>	<b>204.70</b>	<b>346.94</b>
<b>Ln (d) = 7.1972</b>		<b>d = 1335.66</b>		<b>n = -0.6164</b>		

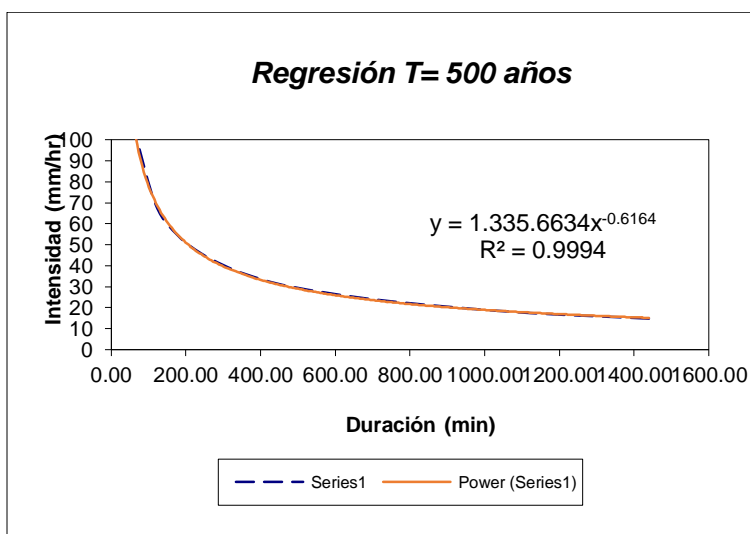


Figura 16.- Regresión T= 500 años

En resumen:

**Tabla XVI.- Resumen de aplicación de regresión potencial**

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Período de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	757.0243	-0.6164
5	869.1903	-0.6164
10	943.4540	-0.6164
25	1131.9914	-0.6336
50	1106.8965	-0.6164
100	1175.9927	-0.6164
500	1335.6634	-0.6164
Promedio =	1045.7447	-0.6188

**Valores k y m**

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del período de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación 6.1:

$$d = K * T^m$$

**Tabla XVII.- Regresión potencial, Valores de K y m.**

Regresión potencial						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	757.02	0.69	6.63	4.60	0.48
2	5	869.19	1.61	6.77	10.89	2.59
3	10	943.45	2.30	6.85	15.77	5.30
4	25	1131.99	3.22	7.03	22.63	10.36
5	50	1106.90	3.91	7.01	27.42	15.30
6	100	1175.99	4.61	7.07	32.56	21.21
7	500	1335.66	6.21	7.20	44.73	38.62
7	692	7320.21	22.56	48.55	158.60	93.87
<b>Ln (K) = 6.6104</b>		<b>K = 742.7433</b>		<b>m = 0.1012</b>		

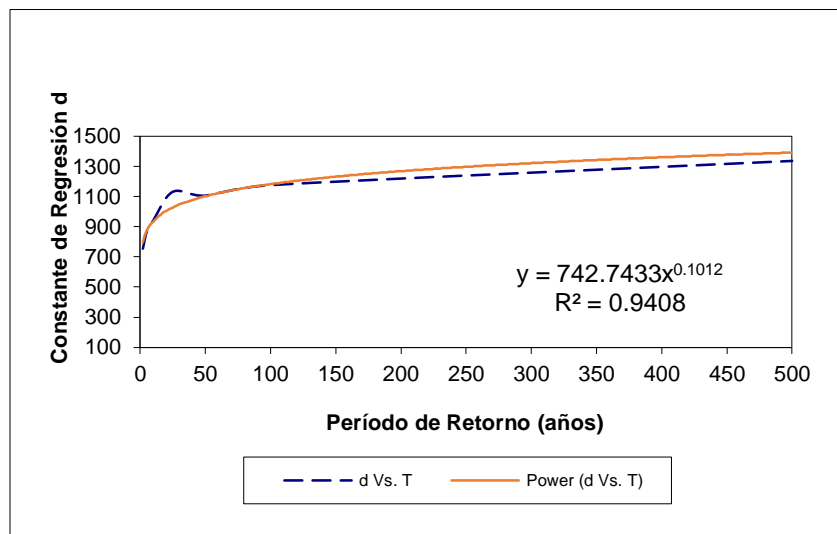


Figura 17.- Regresión potencial, T v. d.

Una vez establecidos todos los parámetros se puede escribir la ecuación de intensidad para los datos generados de esta estación; No podría utilizarse esta ecuación para otra estación puesto que los parámetros y datos son diferentes.

La ecuación de intensidad válida para la cuenca resulta:

$$I = \frac{742,7433 * T^{0,101178}}{t^{0,61885}}$$

Se puede observar mejor el comportamiento de la intensidad de lluvia en la siguiente tabla.

La tabla expuesta, tiene la propiedad de establecer valores para cualquier valor de tiempo, debido a que está en función de la ecuación de intensidad.

**Tabla XVIII.- Tabla de intensidad (mm), Estación H0340 (Bucay).**

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	294.27	191.62	149.10	124.78	108.69	97.09	88.26	81.26	75.55	70.78	66.72	63.23
5	322.85	210.24	163.58	136.90	119.25	106.52	96.83	89.15	82.88	77.65	73.20	69.37
10	346.31	225.51	175.47	146.85	127.91	114.26	103.87	95.63	88.91	83.29	78.52	74.41
25	379.95	247.42	192.51	161.12	140.33	125.36	113.96	104.92	97.54	91.38	86.15	81.63
50	407.55	265.39	206.50	172.82	150.53	134.47	122.23	112.54	104.63	98.02	92.41	87.56
100	437.16	284.67	221.50	185.38	161.47	144.24	131.11	120.72	112.23	105.15	99.12	93.93
500	514.47	335.02	260.67	218.16	190.02	169.75	154.30	142.06	132.08	123.74	116.65	110.54

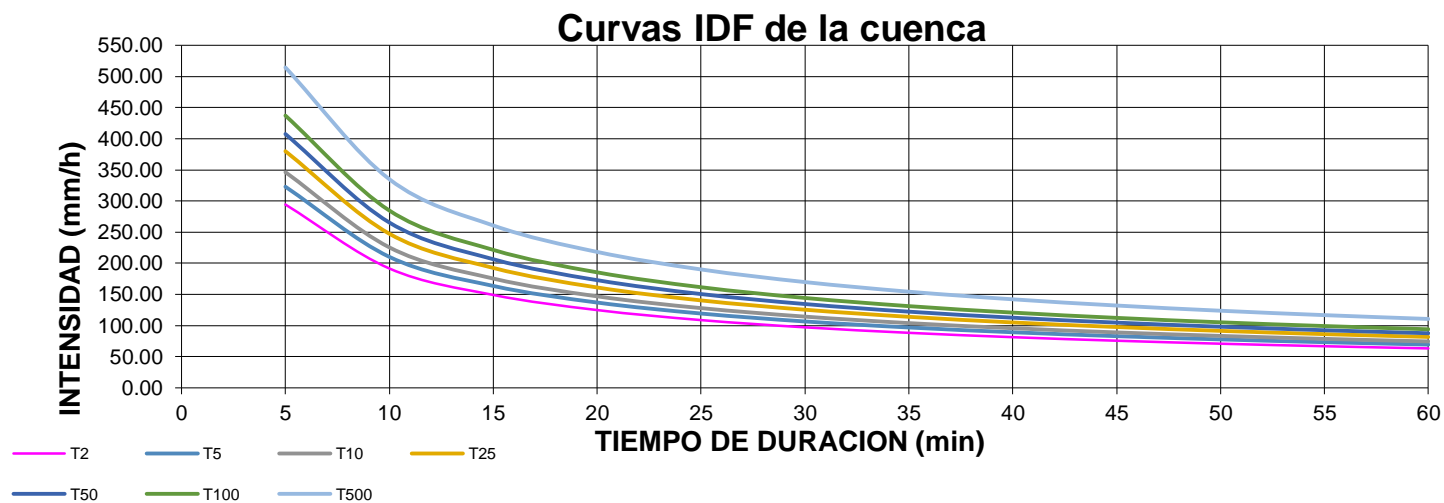


Figura 18.- Curvas I-D-F, Estación H0340 (Bucay).

### 2.4.2 Cálculo de caudal

El caudal presente en el Río Chagüe, es debido al afluente que genera la cuenca del mismo. Para estimar este caudal es necesario estudiar la cuenca, y conocer parámetros geofísicos además de los parámetros hidrológicos recientemente calculados.

La cuenca del Chagüe ha sido estudiada en capítulos anteriores, pero se puede determinar que debido a su forma alargada, se presentaría un tiempo de concentración mayor; Sin embargo, esto se contrasta con la pendiente pronunciada debido a su ubicación.

En el presente estudio se calculará el caudal de salida de la Cuenca del Chagüe, considerando como estación hidrológica la misma estación H340 a pesar de encontrarse fuera del cuerpo de la cuenca, debido a que no existen otras estaciones en el cuerpo de la misma.

Se estimará este caudal de manera analítica, utilizando el método racional modificado (Temez), debido a que los

parámetros de la cuenca se ajustan a las limitantes de dicho método.

**Tabla XIX.- Parámetros de la Cuenca del Río Chagüe.**

<b>DATOS DE LA CUENCA:</b>	
ÁREA =	61,79 km <sup>2</sup>
PERIMETRO=	46,62 km
LONGITUD DEL CAUCE=	19201,82 m
DESNIVEL =	2463,00 m
<b>PARÁMETROS DE FORMA:</b>	
FACTOR DE COMPACIDAD=	1,66
FACTOR DE FORMA=	0,17
PENDIENTE=	0,12

Como se puede observar, debido al Área de esta cuenca, no se puede utilizar el método racional, sino se utilizara el método racional modificado.

**Tabla XX.- Comparación método racional Vs. Método racional modificado.**

<b>MÉTODO RACIONAL</b>	<b>MÉTODO TEMEZ</b>
<b>Tiempo de concentración de la cuenca (Tc) &lt; 6Hr</b>	0,25Hr < Tiempo de concentración de la cuenca (Tc) < 24Hr
	1 km <sup>2</sup> < Área de la cuenca < 3.000 km <sup>2</sup>

Fuente: HidrojING

**Método racional modificado Temez.**

$$Q = 0,278 C I A K$$

[Ecuación 9]

Donde:

Q: Caudal

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad

A: Área

K: Coeficiente de uniformidad.

**a) Tiempo de concentración (T<sub>c</sub>)**

$$T_c = 0,3 \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$$

[Ecuación 10]

Donde:

L: Longitud del cauce mayor (km)

S: Pendiente promedio (m/m)

$$T_c = 0,3 \left( \frac{19,20}{0,12^{0,25}} \right)^{0,76}$$

$$T_c = 4,24 \text{ Hr}$$

**NOTA:**

*Se puede observar que el tiempo de concentración depende únicamente de la topografía.*

**b) Coeficiente de uniformidad**

$$K = 1 + \frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14}$$

[Ecuación 11]



Donde:

Tc: Tiempo de concentración (Hr)

$$K = 1 + \frac{4,24^{1,25}}{4,24^{1,25} + 14}$$

$$K = 1,30$$

**c) Coeficiente de simultaneidad**

$$K_A = 1 - \left( \log_{10} A / 15 \right) \quad \text{[Ecuación 12]}$$

Donde:

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$$K_A = 0,88$$

**d) Precipitación máxima corregida (P)**

$$P = K_A * P_d \quad \text{[Ecuación 13]}$$

Donde:

Ka: Factor reductor

Pd: Precipitación máxima diaria (mm)

$$P = 241,45 \text{ mm}$$

**e) Intensidad de Precipitación**

$$I = \left( \frac{P}{24} \right) * (11)^{\frac{28^{0,1} - T_c^{0,1}}{28^{0,1} - 1}} \quad \text{[Ecuación 14]}$$

Donde:

P: Precipitación máxima corregida (mm)

Tc: Tiempo de concentración (Hr)

**NOTA:**

*La metodología propuesta por Temez, sugiere calcular la intensidad por medio de la fórmula de intensidad, no obstante en el estudio realizado se generó una ecuación para la intensidad del sector, que está basada en los datos de precipitaciones. Por lo que se calculará la intensidad con la ecuación y en base al tiempo de concentración, ya que es el mínimo tiempo que se necesita para que exista escorrentía.*

$$I = \frac{742,7433 * T^{0,101178}}{T_c^{0,61885}}$$

$$I = 33,29 \text{ mm/Hr}$$

**f) Coeficiente de Escorrentía ( C )**

$$C = \frac{(Pd - Po) * (Pd + 23Po)}{(Pd + 11 * Po)^2} \quad \text{[Ecuación 15]}$$

Donde:

Pd: Precipitación máxima diaria (mm)

Po: Umbral de escorrentía

$$= \frac{5000}{CN} - 50 \quad S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{[Ecuación 16]}$$

CN: número de curvatura

**Tabla XXI.- Numero de curva de escorrentía para usos de selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana**

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación con tratamiento de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68 39	79 61	86 74	89 80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena <sup>2</sup>	45 25	66 55	77 70	83 77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	39 49	61 69	74 79	80 84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup> :				
Tamaño promedio del lote      Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>				
1/8 acre o menos                      65	77	85	90	92
1/4 acre                                      38	61	75	83	87
1/3 acre                                      30	57	72	81	86
1/2 acre                                      25	54	70	80	85
1 acre                                        20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

**Fuente: Ven T Chow**

Debido al tipo de vegetación: bosque, y al tipo de suelo C; se elige un CN= 70, ya que existe un tipo de cubierta buena.

Por lo que:

$$CN = 70 \text{ [Bosque con buena cobertura vegetal]}$$

$$CN_{\text{corregido}} = 84,29$$

$$S = \frac{25400}{84,29} - 254 = 47,33 \text{ mm}$$

$$C = 0,745$$

$$C = \frac{(274,38 - 47,33) * (274,38 + 23 * 47,33)}{274,38 + 11 * 47,33)^2}$$

$$C = 0,49 \quad \text{Se adopta un } C = 0.50$$

Finalmente:

$$Q = 0,278 C I A K$$

$$Q = 0,278 (0,50) (33,39) (61,79) (1,30)$$

$$Q = 103 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se determina que el caudal máximo que el Río Chagüe transporta es de 103 m<sup>3</sup>/s, el cual nos da una idea de la magnitud del impacto si es que no se logra un correcto drenaje, tanto por parte del proyecto de riego Bucay como por el afluente de su propia cuenca.

En este estudio se analizaran 3 escenarios, para lo cual es necesario ver cómo se comporta el caudal dentro de períodos de retorno para: 25, 50 y 100 años.

**Tabla XXII.- Caudal vs. Período de retorno**

Período de Retorno	Intensidad (mm/Hr)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
<b>25 años</b>	33.29	103.25
<b>50 años</b>	35.82	111.10
<b>100 años</b>	38.42	119.16

Dentro de este análisis, se ha incorporado el evento extremo del fenómeno del niño de 1998, por lo tanto el caudal como la intensidad, podrían estar exagerados. Considerando la naturaleza del río, se puede fraccionar el estudio, ya que en un río de estación los caudales y niveles de agua no son constantes.

Se adjunta el estudio realizado por INAMHI para el ministerio de energía y minas, “Evaluación Hidráulica para la rehabilitación de la red vial del Litoral Ecuatoriano. Fenómeno de “El Niño” 1997-1998. INAMHI 1998”, donde se muestra un  $Q = 214 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Tabla XXIII.- Evaluación Hidráulica para la rehabilitación de la red vial del Litoral Ecuatoriano. Fenómeno de “El Niño” 1997-1998**

EVALUACION DE PUENTES PROVINCIA DE GUAYAS Y MANABI										
Puent e	Vía	Sector	Coordenadas		Área km <sup>2</sup>	L km	H m	Qniño98 m <sup>3</sup> /s	Tc horas	Q100 m <sup>3</sup> /s
			Lat.	Long.						
Rio Chagü e	Bucay Naranjito	La Espera nza	02°07'5 0"S	79°17'2 5"W	78	33.2	733	214	4.3	56

Fuente: INAMHI 98

## 2.5 Clima

La cuenca de drenaje de 6256 Ha. y emplazada desde la cota 2720, implica que la cuenca posee diferentes pisos climáticos y por esta razón, un comportamiento meteorológico que puede ser variable, dependiendo de la altura a estudiar.

Se puede estimar que a entre los últimos 1720 m, el clima existente es relativamente húmedo, con variaciones de temperatura es [12 a 18 °C]. Entre los 1000 y 450 m, el clima es húmedo ya que existen humedades ambientales altas y la temperatura varía desde [17 a 22 °C].

Entre las cotas 450 y 260, se tienen condiciones de humedad relativamente altas y la temperatura varía entre [18- 27 °C].

A nivel de la planicie las humedades ambientales son más bajas que las anteriores y las temperaturas fluctúan entre [22-32 °C].

## 2.6 Río Chagüe

El Río Chagüe es uno de los principales cuerpos de agua que atraviesa el cantón Bucay, este recibe las aportaciones de tres ríos; el Río Limón, el Río Chagüe Grande y el Río Chagüe Chico, tal como se





Fotografía 1.-Inicio del Río Chagüe

Tomado por el autor

En la Lámina 3 del Anexo 2 se muestra el tramo del río a analizar en este proyecto, junto con el área de aportación del Proyecto de Riego Bucay.

### **2.6.1 Descripción del lecho del cauce del Río Chagüe**

El Río Chagüe a lo largo de su cauce presenta acumulación de sedimentos debido a la erosión en las partes más elevadas, es importante destacar que al comienzo del río, en la parte baja de su cuenca que se inicia en la cota 257, tiene básicamente depósitos coluviales consolidados, los cuales están conformados por bloques de roca redondeados y principalmente



bloques angulosos de todos los tamaños, de 30 hasta 50 cm e inclusive de 1 m de diámetro, en esas masas de materiales se tienen también suelos, los cuales actúan como cementantes de los bloques y fragmentos rocosos. Bajo la cota 257 los depósitos son menos consolidados, es decir, los clastos rocosos están más sueltos.

En la Lamina 4 del Anexo 2 se muestra el río Chagüe junto a imágenes del cauce en diferentes partes de este río, donde se identifica el tamaño de los materiales acumulados.



Fotografía 2.-Materiales en el cauce del río  
Tomado por el autor

### **2.6.2 Procesos en el Río Chagüe**

En la lámina 5 del Anexo 2 se presentan las características geomorfológicas más destacadas que se encuentran en el Río Chagüe, así se tiene lo siguiente:

#### **a) Erosión natural del cauce.**

Este proceso tiene lugar en la cuenca hidrográfica del río, desde las partes más elevadas hasta las partes más bajas. Tanto en la ortofotografía que se ha dispuesto para el siguiente trabajo como en la visitas de campo se constata la existencia de un proceso de erosión en el depósito coluvial o pie de monte de este tramo del río. Se constata también que existen pequeños deslizamientos transversales que son el producto de la erosión en un grado avanzado.



Fotografía 3.- Deslizamientos transversales en las partes bajas de la Cuenca  
Tomado por el autor

**b) Área de explotación de bloques de roca y agregados.**

De acuerdo a conversaciones mantenidas con moradores del sector, se conoció que en el Río Chagüe se ha explotado intensamente materiales pétreos para la construcción de las carreteras en toda la zona. Se ha aprovechado la accesibilidad topográfica del cauce, para ingresar directamente con maquinarias tales como excavadora, cargadoras frontales, buldócer, volquetas,... para la extracción de grandes volúmenes de gravas, arenas, boleos y en algunos casos bloques de roca redondeada. Tal como se observa en le ortofoto la explotación

ha dejado perfiles muy irregulares (entrantes y salientes de cualquier forma), además de depresiones y acumulaciones de materiales arrumados y amontonados. Esta situación determina que el río haya perdido su característica de un cauce natural, es decir, un sistema en el cual los caudales fluyen sin generar erosión y tampoco turbulencias.



Fotografía 4.- Área de explotación y materiales arrumados  
Tomada por el autor

**c) Tramo del cauce en procesos de azolvamiento.**

Tanto en la constatación de campo como en la ortofotografía se ha observado que a continuación de los tramos de explotación se tienen azolvamientos, es decir, acumulación de sedimentos que fueron escarbados en el cauce y que se transportaron mediante las sucesivas crecidas en el Río Chagüe.



Fotografía 5.- Azolvamiento en el río

Tomada por el autor

**d) Tramo del río en proceso del azolvamiento y cambio de cauce.**

Esta es una de las situaciones más críticas generada por la explotación pétreo y por el azolvamiento, ya que se causa el desvío de las direcciones de flujo provocando el ataque frontal del agua en taludes que actualmente lucen verticales y que además tienen socavación en la parte más baja. Estos taludes en un momento dado tendrán cavernas erosionadas y

materiales que se presentan en contra pendiente, es decir, que están propensos a la falla, pudiéndose desprender grande volúmenes, tal como se observa en la Fotografía 6, estos terrenos dotados de plantaciones de cacao, de banano y de plantas frutales se están perdiendo por esta causa.



Fotografía 6.- Socavación en el cauce

Tomado por el autor



Fotografía 7.- Cambio de cauce

Tomado por el autor

## 2.7 Drenajes en el área de estudio

Mediante la utilización de la ortofotografía disponible para el este trabajo, se puede constatar que en la zona de estudio el sistema de drenaje natural se divide en 3 subcuencas, que sirven para desviar el flujo hacia los cuerpos de agua existentes en la zona. Una subcuenca desvía el drenaje hacia el Río Chimbo, otra desvía de drenaje hacia el Río Chagüe y una tercera drena hacia el estero Chilintomo.

Las condiciones actualmente existentes indudablemente difieren de la condición natural, debido principalmente a la construcción de una

carretera asfaltada y de varias otras lastradas que se tienden en forma transversal a la vía principal. Es importante destacar que la vía que más efecto ha causado al drenaje en la zona es la carretera que une Bucay con Naranjito. En la interpretación del drenaje que se presenta en la Lamina 6 del Anexo 2 se puede constatar la forma como los caudales son desviados y conducidos por el dique que se ha realizado para construir la vía mencionada, en la Fotografía 7 se muestra este caso en el Recinto Bethania.



Fotografía 8.-Canales generados por el dique de la carretera  
Tomado por el autor



Otro aspecto preponderante constituye las afectaciones que ha sufrido el Río Chagüe, el cual se encuentra azolvado y con grandes irregularidades en la forma de su cauce, por esta razón el río está generando inundaciones que incrementan notablemente las crecidas de ciertos esteros como el Chilintomo y que provocan adicionalmente la formación de cauces artificiales.



Fotografía 9.- Inundación en la zona de estudio  
Tomado por el autor



Fotografía 10.-Inundación en la zona de estudio

Tomado por el autor

## **2.8 Topografía del Río Chagüe**

El levantamiento topográfico del área de interés en el Río Chagüe, se efectuó mediante la utilización de un equipo de GPS diferencial de alta precisión. Se ha tomado como punto de partida un hito del Proyecto de Riego Bucay ubicado a un extremo del puente que cruza el Río Chagüe, en la autopista Bucay-Naranjito, la información de este hito se obtuvo mediante el arrastre de cotas y coordenadas de un hito IGM existente en el estribo izquierdo del puente sobre el Río Chanchán, el cual se encuentra a 6.5 Km de la cabecera de proyecto.



Fotografía 11.- Hito IGM Puente Chanchán (Bucay)  
Tomado por el autor



Fotografía 12.- Hito Proyecto de Riego Bucay  
Tomado por el autor

A lo largo del río se midieron sus secciones transversales, tomando coordenadas y cotas del lugar con el GPS diferencial, aprovechando que el río estaba en época de estiaje y se podía transitar por su lecho. Se recorrió un 80% de tramo de estudio y con ayuda de la ortofotografía y del programa Autocad Civil 3D se interpoló datos faltantes.



Fotografía 13.- Levantamiento Topográfico del río Chagüe  
Tomado por el autor



Fotografía 14.- Levantamiento Topográfico del río Chagüe  
Tomado por el autor



Fotografía 15.- Levantamiento Topográfico del río Chagüe  
Tomado por el autor

Con los datos recolectados se realizó el plano topográfico del área de estudio del Río Chagüe. El tramo del río en estudio tiene una longitud de 10650 m, el trazado del alineamiento se lo efectuó desde aguas abajo hacia aguas arriba, es decir, la abscisa 0+000 tiene la menor cota. En la Lamina 1 del Anexo 3 se muestra la planta y el perfil longitudinal del río. Este levantamiento ha servido para conocer la condición topográfica e hidráulica del cauce del Río Chagüe. Analizando los siguientes aspectos:

#### **Cambio en la Pendiente Longitudinal del Cauce.-**

Se determinó la pendiente promedio del Río Chagüe en función de su longitud y altura dando un valor del 0.8%, además se observó en el perfil longitudinal, que existen en varios tramos del río cambios abruptos de pendiente, debido posiblemente a acumulación de sedimentos.

#### **Acumulación de sedimentos.-**

Los sedimentos en el cauce, propios de un río en actividad, son transportados de diversas formas. Sin embargo, la acumulación de los mismos se debe a 2 aspectos principales en este caso de estudio:

De manera natural, dada por la topografía irregular.  
De manera antropogénica, en sectores donde el cauce del río ha sido afectado con el fin de usarlo como cantera.

### **Secciones irregulares.-**

Las secciones irregulares son propias de un río, dentro del levantamiento topográfico y en la vista en planta se observa, que en sectores ya definidos, la sección del río cambia abruptamente, lo que genera aumento o disminución de la velocidad; generando por consiguiente procesos erosivos o deposición de sedimentos. Dentro del tramo de estudio se tienen 3 secciones transversales típicas las mismas que se muestran a continuación:

#### ○ **Sección Transversal tipo 1**

Esta sección posee laderas laterales muy bajas, por lo cual está propensa al desbordamiento del río en las dos direcciones.

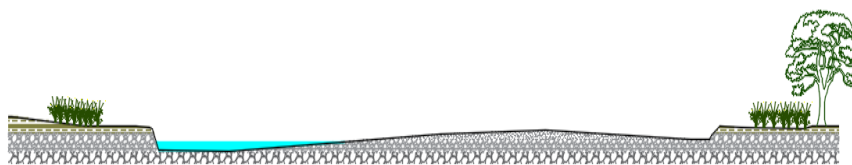


Figura 20.- Esquema de la sección tipo 1

- **Sección Transversal tipo 2**

Esta sección posee una ladera lateral más elevada que la otra, por lo cual está propensa al desbordamiento del río hacia la ladera más baja.

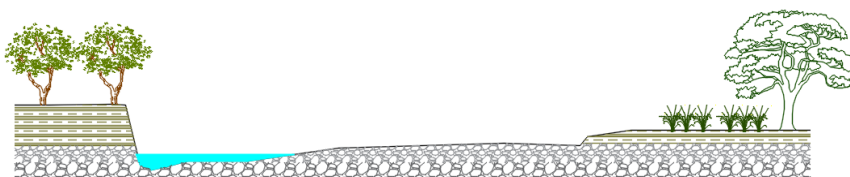


Figura 21.- Esquema de la sección tipo 2

- **Sección transversal tipo 3**

Esta sección posee laderas laterales elevadas, por lo cual está menos propensa al desbordamiento.



Figura 22.- Esquema de la sección tipo 3



## 2.9 Análisis Hidráulico con el software Hec-Ras

Mediante la utilización del programa Autocad Civil 3D se pudo exportar la topografía, los alineamientos y las secciones transversales del Río Chagüe al software Hec-Ras, a través el cual se realizó el análisis hidráulico del tramo de estudio.

Para realizar el moldeamiento del río se efectuaron las siguientes suposiciones:

- Se asume un flujo permanente en el río. Se considera que el caudal es constante a lo largo del tramo de estudio, sin analizar las pérdidas o aportaciones de caudal.
- Se adoptó valores de coeficiente de rugosidad de Manning de 0.05 para lecho del río y 0.035 para las riveras de inundación.
- Se corrió el programa con valores de caudales de 10, 15, 20, 30, 50 y 103 m<sup>3</sup>/s siendo el último el máximo caudal esperado para un período de retorno de 25 años.
- Se definió una sola condición de borde para todos los caudales, siendo esta de calado normal aguas arriba con una pendiente del 0.8%.
- Se analizó el río con un régimen de flujo supercrítico.

Una vez efectuada la simulación se pueden observar los siguientes gráficos.

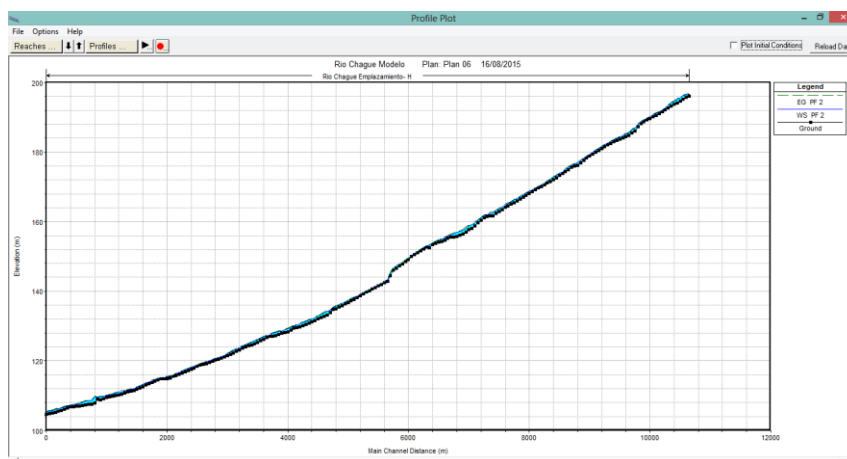


Figura 23.- Perfil longitudinal del río y lámina de agua para un caudal de 10  $\text{m}^3/\text{s}$

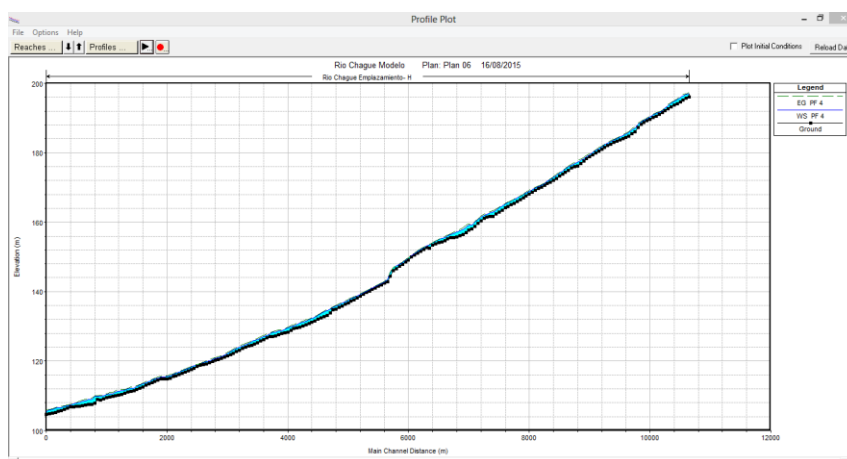


Figura 24.- Perfil longitudinal del río y lámina de agua para un caudal de 30  $\text{m}^3/\text{s}$

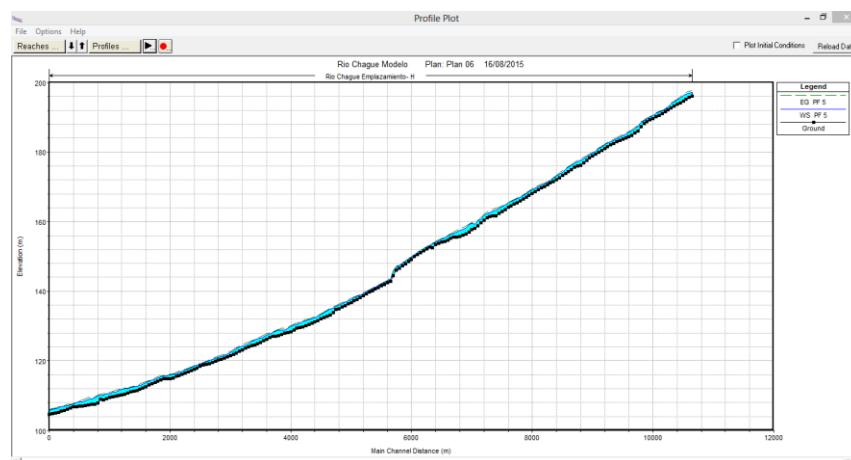


Figura 25.- Perfil longitudinal del río y lámina de agua para un caudal de  $50\text{m}^3/\text{s}$

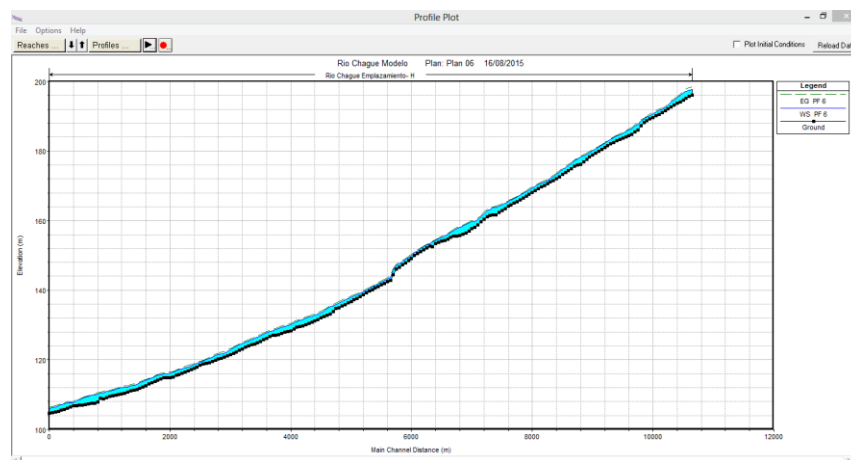


Figura 26.- Perfil longitudinal del río y lámina de agua para un caudal de  $100\text{ m}^3/\text{s}$

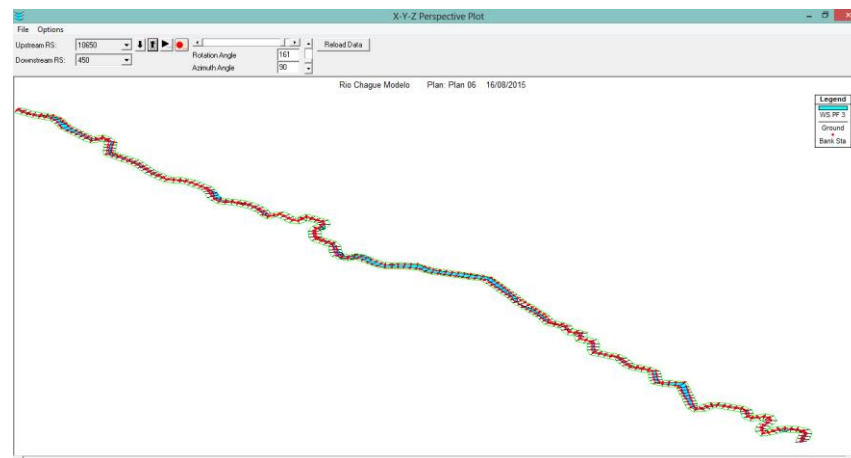


Figura 27.- Vista en perspectiva del río y lámina de agua para un caudal de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$

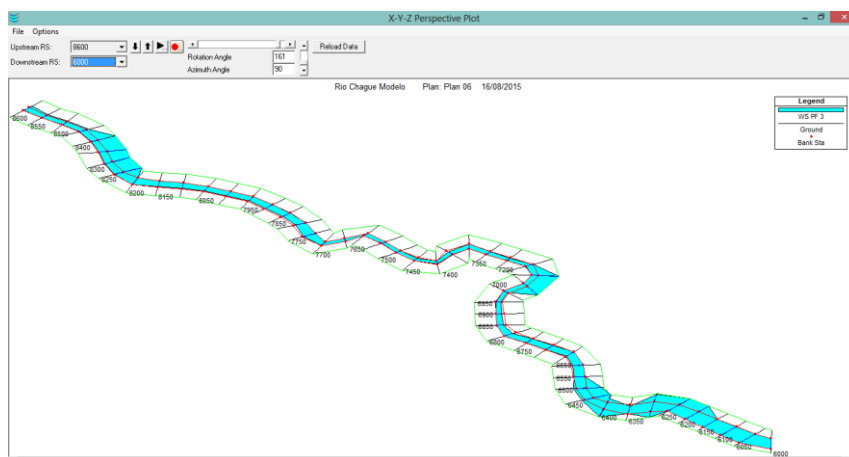
Analizando las figuras se puede observar que existe un cambio en la pendiente longitudinal del río lo que produce un remanso hidráulico, lo que ha generado en temporadas de lluvia la inundación del sector aguas arriba.

Ejecutando el programa para los diferentes caudales se puede identificar el porcentaje de inundación del tramo de estudio y las zonas que más se afectan.

**Tabla XXIV.- Tabla Caudal vs % de inundación en la zona**

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	% de inundación
10	1.5
15	3.75
20	4.5
30	11
50	40
100	80

Para cada caudal se identificó los sectores o zonas vulnerables a inundación y se determinó que abscisas del alineamiento se inundan primero, siendo el intervalo [6+200 - 8+350] el más afectado, tal como se muestra en la Figura 22.



**Figura 28.- Zonas de desbordamiento del río**

# **CAPITULO III**

## **3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN GENERADA**

### **3.1 Identificación de la zona más afectada**

Una vez examinada la topografía y realizado el análisis hidráulico del Río Chagüe, se pudo determinar la zona más afectada, es decir, la más propensa a desbordamientos y posible inundación. En la Lamina 2 de Anexo 3 y en la Figura 23 se muestra la zona de inundación del tramo de río estudiado, así como también las obras civiles cercanas a esta área afectada.

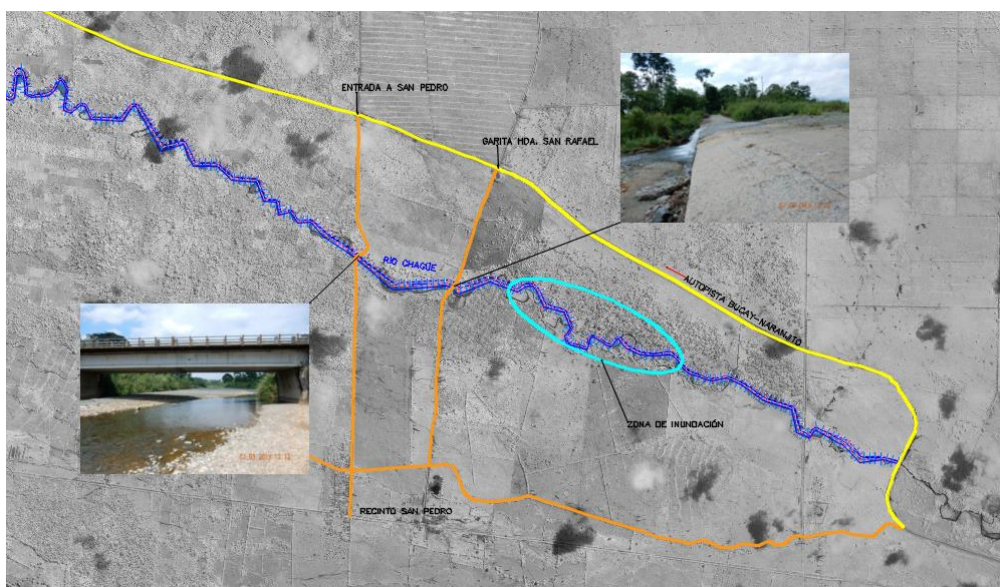


Figura 29.- Ubicación de la zona de inundación aguas arriba

Esta área se encuentra dentro de la hacienda San Rafael y posee una extensión de 2150 m a lo largo del río, se encuentra rodeada sobre todo de potreros y pastizales. En la Figura 24 se observa el remanso hidráulico que se genera en esta zona, lo que provoca inundaciones aguas arriba. También se puede observar la caída hidráulica provocada por el dique de una carretera que sirve de acceso hacia el interior de la hacienda.

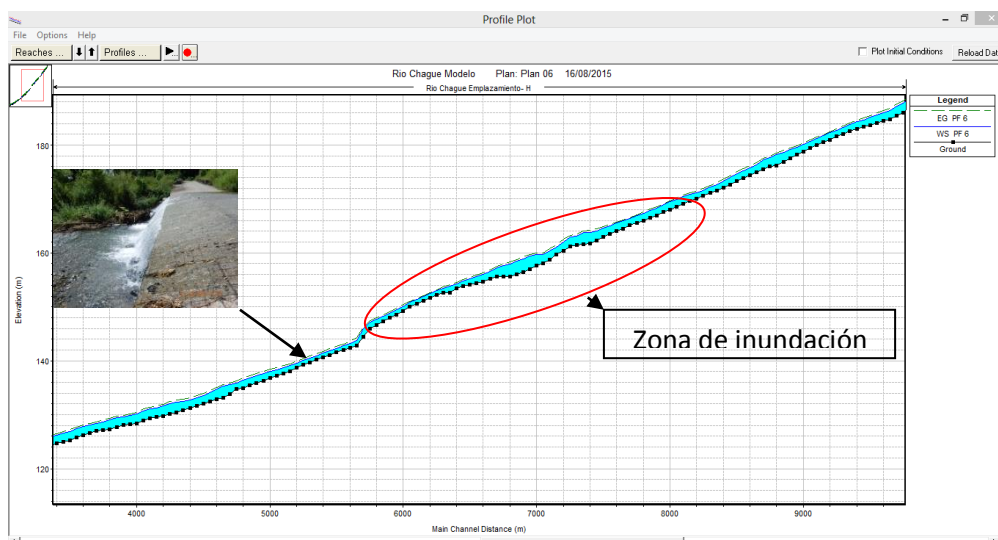


Figura 30.-Remanso y Caída hidráulica en el río

Gracias a las visitas de campo realizadas se pudo constatar el problema existente en esta zona, pues debido al dique construido para cruzar el río y servir de vía de acceso se han ido acumulando sedimentos, provocando irregularidades en la pendiente del río, tal como se muestra en la Figura 25. Este dique ha retenido gran cantidad de sedimentos haciendo que estos se vayan acumulando hacia aguas arriba, alterando la forma de sus secciones transversales y disminuyendo su capacidad hidráulica, en las Fotografías siguientes se muestra con más detalle este problema.



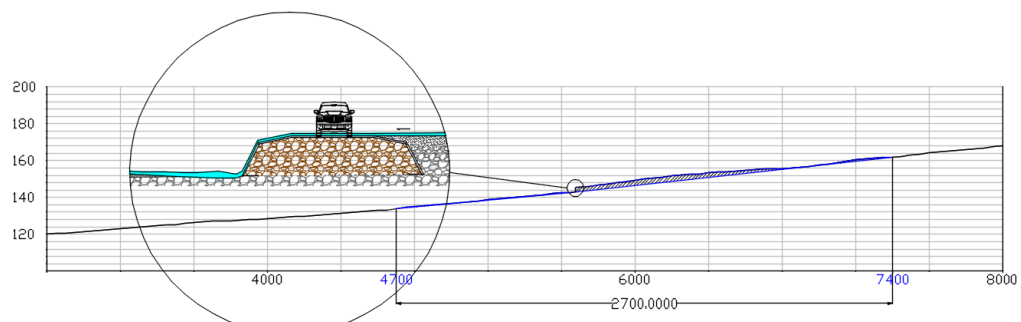


Figura 31.-Esquema del Problema en el perfil longitudinal



Fotografía 16.- Vista Transversal del Dique  
Tomado por el autor



Fotografía 17.- Material retenido y acumulado por el Dique  
Tomado por el autor



Fotografía 18.- Material retenido y acumulado por el Dique  
Tomado por el autor



Fotografía 19.-Acumulación de sedimentos aguas arriba del Dique  
Tomado por el autor



Fotografía 20.- Socavación aguas abajo del Dique  
Tomado por el autor

### 3.2 Descripción de las alternativas posibles

Se propone para solucionar los problemas antes mencionados rectificar la pendiente longitudinal del río, es decir, se propone retirar los sedimentos acumulados aguas arriba y aguas abajo del dique en una extensión de 2.7 km y dejar una pendiente regular, tal como se muestra en la Figura 26. En la Lamina 3 del Anexo 3 se muestra la vista en planta y el perfil longitudinal del tramo del río a tratar.

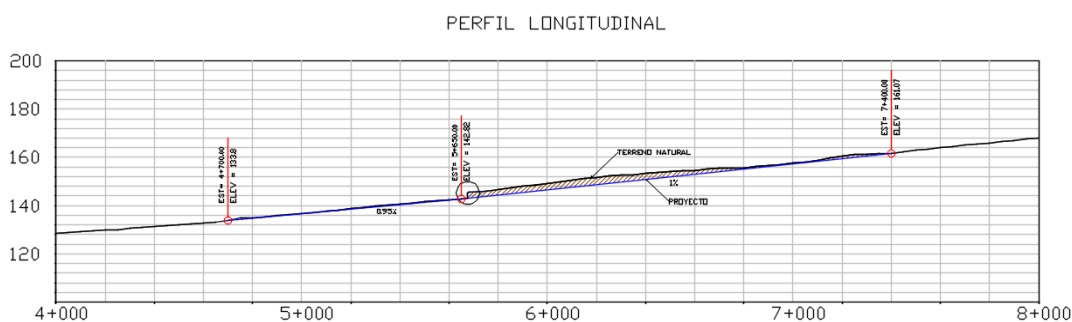


Figura 32.-Rectificación de pendiente longitudinal del río

Al retirar los sedimentos acumulados se busca eliminar el resalto hidráulico producido aguas arriba y con ello prevenir futuras

inundaciones. Al mismo tiempo pretende mejorar las secciones transversales del río tendiendo taludes  $2H:1V$ , aumentando así su capacidad hidráulica, tal como se muestra en la Figura 27.

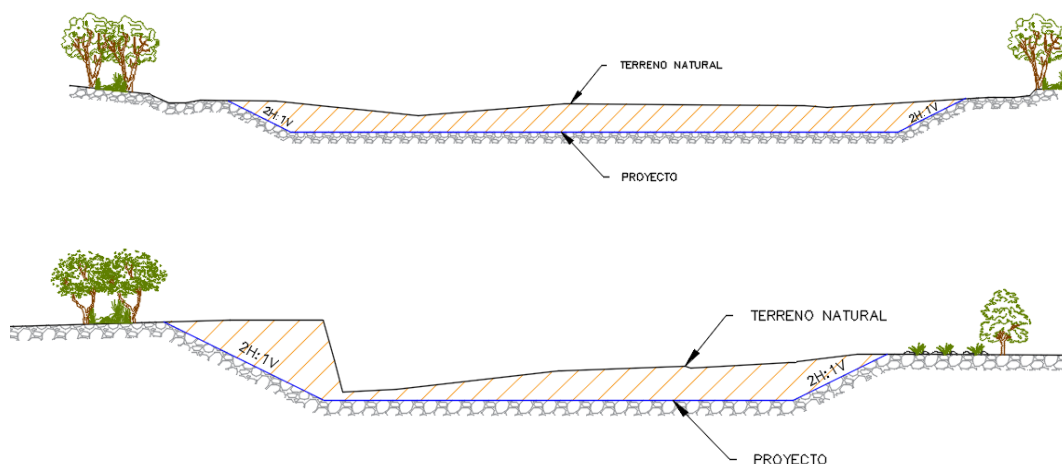


Figura 33.- Optimización de secciones transversales del río

En las Láminas 4-8 del Anexo 3 se muestran las secciones transversales modificadas con su respectiva área de corte.

El principal obstáculo que retiene sedimentos es el dique existente en la Hacienda San Rafael, sin embargo, este sirve de medio para cruzar el río en ese sector, es por ello que se plantearan tres soluciones para evitar la retención de sedimentos sin que se elimine la vía de acceso.

Todas las soluciones presentadas deben tener como aspecto fundamental la adecuación del Río Chagüe, para que tenga la

capacidad de drenar las aguas tanto de su propia cuenca como de aquellas que se acumulan en la planicie por donde circula.

Otro aspecto fundamental es que este río no debe generar inundaciones, para de esta manera evitar el incremento de caudales en los esteros y también en los conductos que se han formado al pie de la carretera lastrada.

Teniendo en cuenta lo antes señalado es posible tener las siguientes alternativas:

### **Alternativa #1**

**Extracción del dique existente y construcción de un badén como vía de acceso.-** Una vez realizada la extracción de sedimentos aguas arriba y aguas abajo del dique se removerá éste de su lugar actual y se procederá a construir un badén en ese sitio. Este badén tendrá una longitud igual al cauce del río para evitar alterar la topografía natural, se tenderán pendientes del 10% a cada lado para continuar con la vía.

Esta alternativa es una solución temporal pues solo podrá ser usada en épocas de estiaje cuando el nivel de agua sea bajo y los vehículos puedan cruzar sin ninguna dificultad. En épocas de mayores caudales en los cuales se imposibilite el paso por este sitio se tendrán que usar las dos vías alternas hacia el recinto San Pedro las mismas que se conectan con este lugar, tal como se muestra en la Figura 23.

### **Alternativa #2**

**Rediseño de dique existente.-** El dique actual no permite el flujo correcto del agua, por el contrario acumula sedimentos, por lo que su rediseño se lo considera inmediato. Una vez realizada la extracción de

sedimentos aguas arriba y aguas abajo del dique se procederá al mejoramiento del mismo.

Esta propuesta es una solución temporal, que consiste en un dique formado por el material granulométricamente variado del sector, que trabaja en conjunto con alcantarillas de PVC para permitir el flujo libre de agua y evitar el estancamiento total del recurso hídrico, así los vehículos podrán transitar normalmente cuando existan caudales mínimos, siendo esta una solución desmontable y económica. Esta es una obra de retención con descargas semipermanentes.

### **Alternativa #3**

**Extracción del dique existente y construcción de un Puente-Alcantarilla como vía de acceso.-** Una vez realizada la extracción de sedimentos aguas arriba y aguas abajo del dique se removerá éste de su lugar actual y se procederá a construir un puente mixto, el cual asegure el tránsito de vehículos tanto en épocas de estiaje como en época de caudales máximos.

Esta alternativa fue analizada tomando en consideración que debido a su ubicación y al flujo vehicular bastante reducido construir un puente convencional resultaría costoso. Este puente está constituido de



varios tramos; 3 tramos conformados de vigas metálicas y losa de hormigón y 2 tramos conformados de 4 alcantarillas de hormigón armado.

En todas las alternativas que se están proponiendo se deben tener en cuenta la necesidad de almacenar en un sitio previamente elegido, todos los materiales producto de las excavaciones. Parte de las soluciones constituyen las necesarias recomendaciones para la realización de futuras explotaciones en el cauce del Río Chagüe.

### **3.3 Diseños a nivel de prefactibilidad**

#### Alternativa 1.-

El flujo normal del río se ve afectado por la presencia de un dique que sirve de vía de acceso a la Ha. San Rafael, el cual acumula sedimentos y cuyo funcionamiento se limita a épocas de estiaje. La acumulación de sedimentos a lo largo de los años ha provocado un cambio brusco en la pendiente longitudinal del río como se muestra en la Figura 24.

Esta alternativa busca reestablecer las propiedades hidráulicas naturales del río. Una vez que remueva el exceso de sedimentos y

reformada la sección aguas arriba del punto de estudio, se pretende eliminar el dique existente.

Las medidas adoptadas buscan favorecer al río. Sin embargo, con el fin de no afectar la movilidad del sector se pretende construir un badén, el cual se encontraría al mismo nivel de fondo del cauce. Además en el diseño se toma en cuenta las pendientes máximas para carreteras dadas en la Tabla 2A.204.12 del volumen 2A de la Norma para Estudios Viales NEVI-12 del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE).

Para asegurar un correcto funcionamiento del badén se adopta de la tabla antes mencionada una pendiente del 10 %, y se asume una altura máxima de agua de 0.15 m en el programa Hcanales para conocer el caudal y la velocidad de flujo se presentarían en la sección. De esta manera se pretende asegurar el paso de vehículos en épocas de estiaje y el normal flujo del río en épocas de invierno.

**Tabla 2A.204- 12 Pendientes Máximas**

Orografía	Terreno Plano	Terreno Ondulado	Terreno Montañoso	Terreno Escarpado
<b>Velocidad (Km/h)</b>				
20	8	9	10	12
30	8	9	10	12
40	8	9	10	10
50	8	8	8	8
60	8	8	8	8
70	7	7	7	7
80	7	7	7	7
90	6	6	6	6
100	6	5	5	5
110	5	5	5	5

Figura 34.-Pendientes Máximas

Fuente: Norma para Estudios Viales NEVI-12

Calculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:  Proyecto:

Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

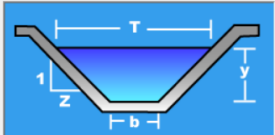
Tirante (y):  m

Ancho de solera (b):  m

Talud (Z):

Coefficiente de rugosidad (n):

Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s

Area hidráulica (A):  m<sup>2</sup>

Radio hidráulico (R):  m

Número de Froude (F):

Tipo de flujo:

Velocidad (v):  m/s

Perímetro (p):  m

Espejo de agua (T):  m

Energía específica (E):  m-Kg/Kg

Figura 35.- Caudal proyectado para la alternativa 1 usando programa Hcanales.

En la Lamina 8 del Anexo 3 se muestra con más detalle esta alternativa.

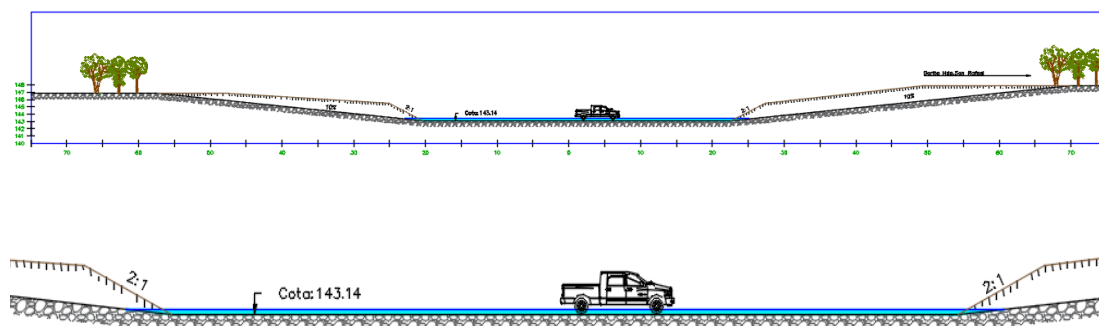


Figura 36.- Esquema de la Alternativa 1

### Alternativa 2.-

El dique existente conformado por muros de gaviones interrumpe el flujo natural del agua al no contar con un sistema de alcantarillado adecuado, sin embargo, no se puede obviar su función, que es ser conexión de la vía Naranjito-Bucay con la Hacienda San Rafael, por lo que dentro de esta alternativa se propone su rediseño como una solución desmontable.

Si consideramos la naturaleza del Río Chagüe, notamos que su nivel de agua es variante al ser un río de estación. Por lo general, el río permanece seco en épocas de estiaje, y es ahí donde se implementa esta medida.

La solución consiste en conformar un dique con el material de sector, cuya granulometría nos aprueba aprovechar el material granular con gran cantidad de finos.

El nuevo dique tendrá una altura de 1.5 m de altura, con una corona de 5m y una base de 10 m. Y su función estaría dada de acuerdo a las especificaciones del MTOP con una pendiente máxima de 10 % luego del dique, lo cual nos proyecta un volumen de excavación menor a la alternativa 1. Se implementará tuberías NovaFort PVC de 0.8 m de diámetro por 6 m de longitud en la base del dique para el libre flujo del agua.

Se mencionó que en épocas de estiaje el río se encuentra seco, pero debido a las mejoras en la sección y limpieza del fondo del cauce del río, se podría presentar un nivel de agua mínimo, mayor al que se registró en las visitas el cual era de 150 mm de altura en ese sector.

### Selección de tubería

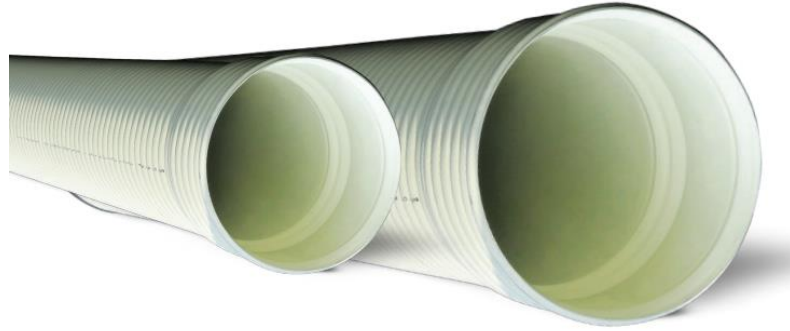


Figura 37.-Tubería Novafort  
Fuente: Plastigama

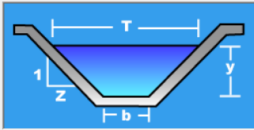
Dado que la solución en estudio es considerada desmontable, se ha seleccionado tuberías de PVC, por su costo en comparación con las tuberías de H.S. y H.A. La selección de la tubería está en función de un nivel de agua promedio de 350 mm, que según el programa Hcanales generaría un caudal de: 13.41 m<sup>3</sup>/s

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **Río Chague** Proyecto: **Rehabilitación R. Chague**  
Tramo: **4+700 - 7+400** Revestimiento: **Terreno Natural**

**Datos:**

Tirante (y):  m  
Ancho de solera (b):  m  
Talud (Z):   
Coeficiente de rugosidad (n):   
Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s Velocidad (v):  m/s  
Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup> Perímetro (p):  m  
Radio hidráulico (R):  m Espejo de agua (T):  m  
Número de Froude (F):  Energía específica (E):  m·Kg/Kg  
Tipo de flujo:

Calcular Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Figura 38.- Caudal proyectado para la alternativa 2 usando programa Hcanales

La tubería tiene las siguientes propiedades:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS TUBERÍAS DE PVC PARED ESTRUCTURADA NOVAFORT PLUS						
Diámetro Nominal	Diámetro Interior	Longitud Útil (NO incluye campana)	RIGIDEZ			
			Rigidez Anular ISO 9969 kPa (kN/m <sup>2</sup> )		Rigidez del Tubo ASTM D-2412 lb/plg <sup>2</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	
			INEN 2059		Serie 5	*Serie 6
mm	mm	m	Serie 5	*Serie 6	Serie 5	*Serie 6
110	100,00	6	-	8	-	57 (394)
125	110,00	6	-	8	-	57 (394)
* 160	146,00	6	6	8	43 (296)	57 (394)
175	160,00	6	4	-	29 (199)	-
* 200	183,00	6	6	8	43 (296)	57 (394)
220	200,00	6	4	-	29 (199)	-
* 250	228,00	6	6	8	43 (296)	57 (394)
280	250,00	6	4	-	29 (199)	-
* 315	287,00	6	6	8	43 (296)	57 (394)
335	300,00	6	4	-	29 (199)	-
400	364,00	6	6	8	43 (296)	57 (394)
440	400,00	6	4	-	29 (199)	-
500	450,00	6	4	-	29 (199)	-
540	500,00	6	4	-	29 (199)	-
650	600,00	6	4	-	29 (199)	-
760	700,00	6	4	-	29 (199)	-
875	800,00	6	4	-	29 (199)	-
* 975	900,00	6	4	-	29 (199)	-

Figura 39.-Propiedades de las tuberías  
Fuente: Plastigama

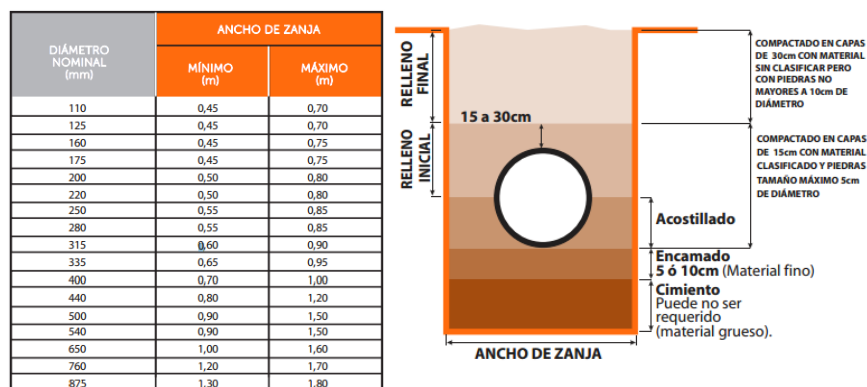


Figura 40.- Condiciones de excavación

Fuente: Plastigama

Dada que el dique tiene un a base de 10 m, la tubería constaría de esta longitud, se ha dejado una pendiente del 0.5% a la tubería cumpliendo con la pendiente establecida en los catálogos de Plastigama.



Figura 41.-Pendiente de tubería

Fuente: Plastigama

Se ha diseñado un drenaje con 11 tuberías de 800 mm de diámetro, dando un total de 22 tuberías dada la longitud y la unión que se debe de cubrir. Con lo cual se puede cubrir una caudal de 1.26 m<sup>3</sup>/s por tubería, lo que nos permite drenar un caudal de 13.86 m<sup>3</sup>/s. Cumpliendo de manera parcial con un drenaje adecuado para las condiciones planteadas.



De presentarse eventos de mayor magnitud ( $> 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) el nivel de agua pasaría la altura del dique, y debido a los sedimentos que acarrearía, se espera el fallo del mismo.

Por tal motivo, se plantea esta medida como temporal, para época de estiaje, que se compensa con el costo propuesto que se presenta en el Anexo 4.

En la Lamina 9 del Anexo 3 se muestra con más detalle esta alternativa.

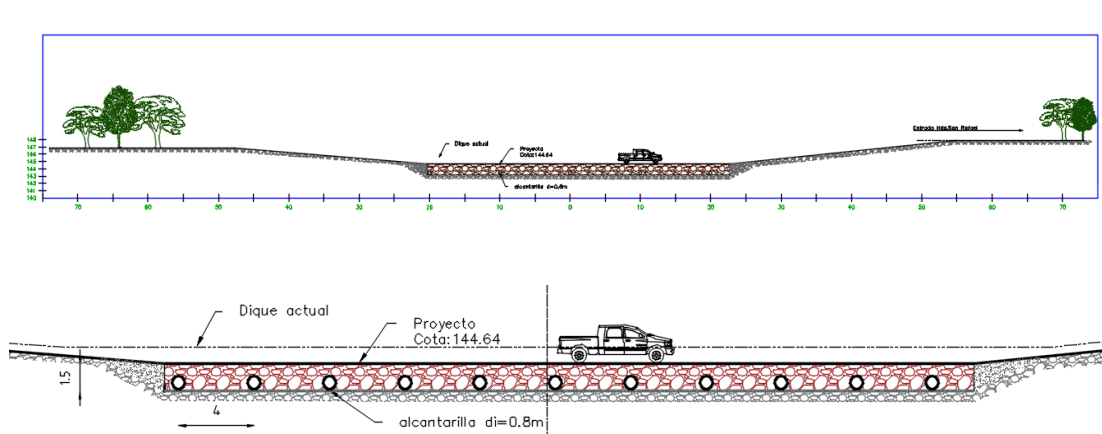


Figura 42.- Esquema de la Alternativa 2

### Alternativa 3.-

Para realizar este diseño se tomaron en cuenta varios aspectos fundamentales. Debido al reducido flujo vehicular, la ubicación de la vía y tomando como referencias las dimensiones del dique existente se decidió diseñar este acceso de un solo carril.

Las alcantarillas de hormigón armado fueron diseñadas para cumplir las condiciones de alcantarillas tipo estándar, estableciendo un flujo con superficie libre y control de entrada, usando métodos iterativos y ábacos para definir sus dimensiones, esta metodología según (Chanson, 2004). Todos los datos hidráulicos necesarios para los cálculos fueron tomados del modelo en Hec-Ras explicado anteriormente. En este diseño se propuso poner dos tramos de 4 alcantarillas de hormigón armado separadas una distancia de 5.40 m tal como se muestra en la Figura 27. Una vez dimensionadas las alcantarillas se optó por trabajar con alcantarillas prefabricadas de hormigón armado, seleccionando Ductos Cajones de 2 x 2 m ( $e=20\text{cm}$ ) tal como se muestra en la Figura 37.

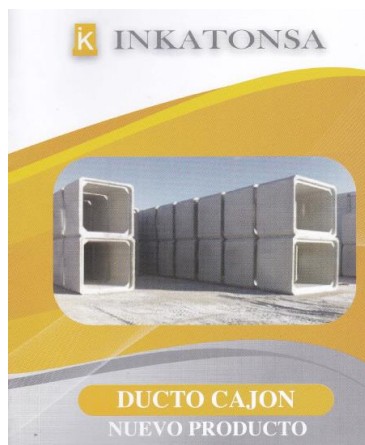
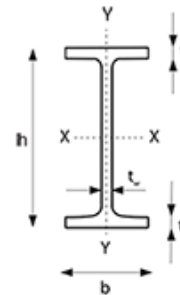


Figura 43.- Ducto Cajón Prefabricado  
Fuente: Inkantonsa

Las vigas metálicas fueron diseñadas tomando en cuenta un camión de diseño HS20-44, su resistencia y comportamiento antes las cargas impuestas fueron comprobadas en el programa SAP 2000. Estos tramos constan de 5 vigas metálicas sobre las cuales se asienta una losa de hormigón. Las vigas I metálicas escogidas para este diseño fueron las IPE 300. En la Figura 38 se muestran las propiedades de diseño de estas vigas.



### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



Dimensiones y propiedades para el diseño

Design.	Peso	Área	Dimensiones			
			Alto	Ancho	Espesor	
	P	A	h	b	Ala	Alma
	kg/m	cm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm
IPE 80	6.00	7.64	80	46	5.20	3.80
IPE 100	8.10	10.30	100	55	5.70	4.10
IPE 120	10.40	13.20	120	64	6.30	4.40
IPE 140	12.90	16.40	140	73	6.90	4.70
IPE 160	15.80	20.10	160	82	7.40	5.00
IPE 180	18.80	23.90	180	91	8.00	5.30
IPE 200	22.40	28.50	200	100	8.50	5.60
IPE 240	30.70	39.10	240	120	9.80	6.20
IPE 300	42.20	53.80	300	150	10.70	7.10

Figura 44.- Vigas Metálicas IPE  
Fuente: Novacero

Se hizo un análisis para estimar la profundidad de socavación general en el cauce y así prevenir la misma incluyendo dentellones en el diseño de las alcantarillas, los cálculos realizados fueron analizados según (Díaz, 2001).

En la Lamina 10 del Anexo 3 se muestran más detalles de esta alternativa.

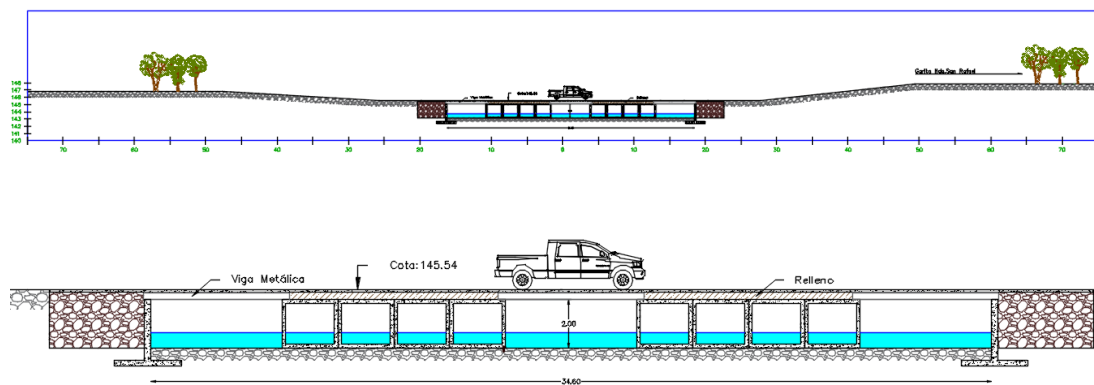


Figura 45.- Esquema de la Alternativa 3

### 3.4 Análisis de los parámetros ambientales

a)	<b>Nombre del proyecto:</b>	"REHABILITACIÓN DEL CAUCE DEL RÍO CHAGUE EN EL AREA DE PROYECTO DE RIEGO BUCAY"										
	<b>Cantón:</b>	Bucay										
	<b>Provincia:</b>	Guayas										
	<b>Localización:</b>	Referenciado en el Sistema de Coordenadas DATUM WGS 84.										
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Punto</th> <th>Este</th> <th>Norte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>692699</td> <td>976228 7</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>700625</td> <td>975901 5</td> </tr> </tbody> </table>	Punto	Este	Norte	1	692699	976228 7	2	700625	975901 5	
Punto	Este	Norte										
1	692699	976228 7										
2	700625	975901 5										
<b>Fase del proyecto:</b>	Pre factibilidad.											
b)	<b>Consultor responsable</b>	Soledispa Roger Soledispa Mario										
	<b>Dirección</b>	Escuela Superior Politécnica del Litoral Km. 30.5 Vía Perimetral Campus "Gustavo Galindo"										
	<b>Teléfono</b>	(593) (04) 2269400 / 401										
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:mxsoledi@gmail.com">mxsoledi@gmail.com</a> <a href="mailto:rsoledis@gmail.com">rsoledis@gmail.com</a>										

## **Introducción**

El GAD de la provincia del Guayas se encuentra empeñado en mejorar el sistema existente de red de canales de riego en el cantón Bucay, con la intención de mejorar la producción y abastecer a sus cultivos en sequías.

Como estudio adicional al el pre diseño de dichos canales, es necesario controlar los caudales que se generan en el río. Se espera usar al río como drenaje. Sin embargo las condiciones hidráulicas del mismo no son las adecuadas.

El presente estudio pretende conocer la situación actual del río y proponer soluciones que nos permitan rehabilitar su cauce en los sectores que sean necesarios.

## **Alcance**

La situación actual del Río Chagüe no permitiría su uso ni como sistema de riego ni como drenaje para el riego, es por tal motivo que el análisis ambiental no solo se enfoca en aspectos negativos del presente proyecto, sino en las condiciones que se generarían al momento de rehabilitar el cauce.

Se pudo observar que a lo largo del área de estudio el cauce se encuentra desestabilizado, debido a la introducción de maquinarias con el objetivo de usar al río como cantera; y explotar los sedimentos de fondo. Generando cambios de secciones y de pendiente.

### **Antecedentes**

Se ha definido a este Río Chagüe como un río de estación. Los datos proporcionados por el INAMHI señalan que el río en su máxima capacidad puede transportar caudales considerables como los registrados por el INAMHI en el fenómeno del niño del 98 ( $Q = 214 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Lo que califica al río como drenaje para proyectos de riego o futuras avenidas.

### **Descripción del proyecto**

Luego de realizar la topografía geo-referenciada del sector, se pudo comprobar que el cauce del río esta cambiado con respecto a la ortofoto proporcionada por el IGM (2008). Esto nos sugiere que es necesaria una rehabilitación hidráulica urgente.

Para lo cual se considerará:



La estabilización de los meandros, con el fin de no afectar a los asentamientos cercanos al río.

La ampliación de secciones del río, con el fin de permitir un mayor caudal y disminuir velocidades que generan erosión en los taludes aguas abajo.

La restitución de la pendiente longitudinal, esto evitaría los cambios bruscos de pendiente existentes.

Un caso particular dentro de este estudio se encuentra en la entrada a la hacienda San Rafael abscisa 5+800, en donde existe un dique enrocado que obstruye el correcto flujo del agua.

El efecto del dique en el ambiente ha generado la acumulación de sedimentos y el desborde e inundación en zonas aledañas.

### **Influencia del proyecto**

Recuperar el flujo natural del río representa un potencial para el sucesivo, intensivo y progresivo desarrollo de cultivos de cacao piña, plátano, banano, etc. actividad que reactivará la economía de los habitantes del sector y evitar las inundaciones.

### **Descripción de línea base**

Tanto en el área de estudio, así como en la zona para la cual se propone las soluciones, no se observó la presencia de industrias que puedan contaminar el río. La presencia de peces fue casi nula, debido a la escasez de agua propia de la estación.

La presencia de cultivos fue evidente, así como la introducción de maquinaria para la explotación del agregado de fondo del río. Como dato relevante se pudo observar que las zonas explotadas cuentan con un fácil acceso desde la vía Naranjito – Bucay. Motivo por el cual han sido seleccionadas ya que constituyen una afectación global dentro del área de proyecto.

**Normativa ambiental**

<b>INSTRUMENTO LEGAL APLICABLE</b>	<b>PUBLICACIÓN DEL INSTRUMENTO LEGAL APLICABLE</b>
Constitución de la República del Ecuador.	R.O. N° 449 - Octubre 20, 2008.
Ley de Gestión Ambiental (Codificación 19).	R.O. Suplemento No. 418 - 10 Septiembre, 2004.
Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.	R.O. Suplemento No. 418 - 10 Septiembre, 2004.
Ley Orgánica de Salud	Ley 67, R. O. Suplemento No. 423 - 22 Diciembre, 2006.
Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y Aprovechamiento del Agua.	6 de agosto de 2014
Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).	R.O. Edición Especial N° 2- Marzo 31, 2003. Última modificación: 14-ago-2012
Acuerdo Ministerial No. 028 Sustituyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria.	R.O. Edición especial N° 270 del Viernes 13 de Febrero del 2015
Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.	TULSMA. Libro VI, Anexo 1. R.O. Edición especial N° 270 del Viernes 13 de Febrero del 2015
Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos	TULSMA. Libro VI, Anexo 2. R.O. Edición especial N° 270 del Viernes 13 de Febrero del 2015

INSTRUMENTO LEGAL APLICABLE	PUBLICACIÓN DEL INSTRUMENTO LEGAL APLICABLE
Contaminados.	
Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión	TULSMA. Libro VI, Anexo 4. Acuerdo Ministerial No. 50, publicado en Registro Oficial 464 de 7 de Junio del 2011
Límites Máximos Permisibles de Niveles de Ruido Ambiente para Fuentes Fijas y para Vibraciones.	TULSMA. Libro VI, Anexo 5. R.O. Edición especial N° 270 del Viernes 13 de Febrero del 2015
Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos No-peligrosos.	TULSMA. Libro VI, Anexo 6.

### **Análisis ambiental**

Los efectos en el ambiente debido a los cambios en las condiciones actuales del río serán analizados desde dos puntos de vista:

- 1) La falta de rehabilitación hidráulica.
- 2) La fase de rehabilitación.

### 1) Falta de rehabilitación (estado actual)

El estado actual del río afecta al ambiente del sector al no encontrarse funcional, esto debido a la acumulación de sedimentos y a los efectos antrópicos que afectan la naturaleza del río. Comprometiendo así los caudales de avenida, nivel de agua, velocidades erosivas en una crecidas, la posibilidad de una inundación en el caso de grandes crecidas y su capacidad para permitir el drenaje.

Se presenta un esquema simplificado del río en época de estiaje (E) e invierno (I).

**Tabla XXV.-Condiciones Hidráulicas del Río Chagüe**

CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL RÍO CHAGÜE					
	Caudal Mínimo (E)	Nivel de agua (E)	Velocidades (I)	Desborde/ Inundaciones (I)	Capacidad de drenaje (I)
<b>SITUACION ACTUAL</b>	No existente	No existente	Elevadas	Existente	No optima
<b>REHABILITACION HIDRAULICA</b>	Existente	Existente	Bajas	Controladas	Optima

Lo que nos muestra que la rehabilitación hidráulica, disminuye las velocidades y capacita al río como un drenaje potencial de las planicies de riego. Esto beneficia la estabilidad de los agricultores del sector que podrán realizar sus cultivos en áreas actualmente inundables.

## 2) Fase de rehabilitación

Dentro de la rehabilitación se considera todas aquellas actividades en las que se proyecta la extracción de sedimentos de fondo, la ampliación de taludes (secciones transversales) y rectificación de pendiente. En las que se encuentran las siguientes:

- Limpieza y desbroce del terreno.
- Movimiento de tierra.
- Transporte y almacenaje de materiales.
- Mantenimiento de maquinaria.
- Encauzamiento del río.

El análisis matricial dentro de esta fase no tendría una relevancia, las actividades que se realizan son mínimas, y se puede visualizar que las más comprometidas:

**Movimiento de Tierra**, podría generar contaminación por ruido y contaminación de aire (generación de polvo);

**Mantenimiento de maquinarias**, podría existir contaminación del suelo debido a los DERIVADOS DE HIDROCARBUROS.

### 3.5 Estimación de presupuesto

El valor estimado de las soluciones está en función del material excavado, y de los elementos estructurales implementados.

Cada solución presenta un detalle en el Anexo 4; además se sumará a cada solución el precio de movimiento de tierra que genera la estabilización de taludes y rectificación de pendiente en el área seleccionada.

#### SOLUCION GENERAL

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO USD	SUBTOTAL USD	PRECIO TOTAL USD
1.1	OBRAS PRELIMINARES					\$ 118.800.00
1.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS					\$ 995.358.83
1.3	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL					\$ 4.039.61
<b>TOTAL</b>						<b>\$ 1.118.198.43</b>

## ALTERNATIVA #1

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL USD
1.1	OBRAS PRELIMINARES	\$ 849.05
1.2	TRABAJOS DE DEMOLICIÓN	\$ 29.131.74
1.3	MOVIMIENTO DE TIERRAS	\$ 6.785.52
1.4	OBRAS MISCELANEAS	\$ 9.903.66
1.5	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	\$ 42.23
<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 46.712.20</b>

## ALTERNATIVA #2

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL USD
1.1	OBRAS PRELIMINARES	\$ 695.60
1.2	TRABAJOS DE DEMOLICIÓN	\$ 29.131.74
1.3	MOVIMIENTO DE TIERRAS	\$ 18.074.32
1.4	OBRAS MISCELANEAS	\$ 16.167.78
1.5	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL	\$ 63.15
<b>SUB TOTAL</b>		<b>\$ 64.132.58</b>



### ALTERNATIVA #3

ITEM	DESCRIPCION	PRECIO TOTAL USD
1.1	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>	\$ 438.80
1.2	<b>TRABAJOS DE DEMOLICIÓN</b>	\$ 19.466.10
1.3	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>	\$ 2.996.32
1.4	<b>ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>	\$ 60.737.84
1.5	<b>PLAN DE MANEJO AMBIENTAL</b>	\$ 97.18
<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 83.736.25</b>

### 3.6 Elección de la alternativa

Los aspectos a analizar para seleccionar la alternativa más conveniente para este proyecto son las siguientes:

#### **Técnico.-**

Hace referencia a los procesos constructivos de cada alternativa, tomando en cuenta el grado de complejidad y dificultad operacional. Se seleccionara la alternativa más ágil de construir.

**Económico.-**

Se analiza el costo estimado de las alternativas. Escogiendo la alternativa que presente menor costo.

**Impacto Ambiental.-**

Se toma en cuenta los efectos positivos y negativos que cada alternativa podría ocasionar al funcionamiento del río y al del medio que lo rodea. Se selecciona la alternativa con menos efectos negativos.

**Impacto Social.-**

Se analiza el efecto que cada alternativa va a tener a beneficio de la comunidad. Se selecciona la alternativa con más beneficios.

**Vida Útil.-**

Hace referencia a la duración estimada de cada alternativa y al mantenimiento que esta requieren para su normal funcionamiento. Se selecciona la alternativa que requiera

menos mantenimiento y que perdure en el tiempo con comparación con las otras.

### **Funcionabilidad.-**

Se analiza las funciones cumplidas por cada alternativa, considerando entre ellas: facilitar el paso libre del río, permitir el paso de vehículo por ese sector y evitar acumulación de sedimentos. Se selecciona la alternativa que cumpla con el objetivo de este proyecto y demás propuestas.

En la siguiente tabla se simplifica la selección de la alternativa óptima, que se propone en el presente proyecto. Se ha calificado cada alternativa dependiendo de su efecto en cada aspecto considerado.

La calificación ésta dada en un rango entre [1-3], siendo 1 la más óptima y 3 la menos óptima. De esta manera se puede apreciar la incidencia de las alternativas en conjunto.

Tabla XXVI.- Cuadro de selección de alternativa óptima.

ASPECTOS	ALTERNATIVAS			
	Badén	Dique	Puente- Alcantarilla	
Técnico	1	2	3	Badén
Económico	1	2	3	Badén
Impacto Ambiental	1	3	2	Badén
Impacto Social	2	3	1	Puente
Vida Útil	2	3	1	Puente
Funcionabilidad	2	3	1	Puente
Menor puntuada, más óptima	<u>9</u>	16	11	

Si comparamos alternativa Vs. Aspecto de manera individual obtenemos un empate entre la alternativa Badén y la alternativa Puente alcantarilla. Esto se debe a que las alternativas se compensan; Sin embargo, en el análisis global, la alternativa Badén resulta la menos puntuada debido a que ha sido seleccionada en primer lugar en la mayoría de las alternativas.

De esta manera se confirma la alternativa 1 (Badén) como la más factible, debido a que cumple de manera eficiente en la mayoría de los aspectos considerados.

# CAPITULO IV

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

1. Las diferentes acciones antrópicas realizadas a lo largo del cauce del Río Chagüe han afectado indudablemente su capacidad de conducir caudales de avenidas y también de captar los flujos que se generan en la zona del Proyecto de Riego Bucay.
2. Comparando la ortofotografía IGM del sector con la topografía actual realizada para este proyecto se ha podido constatar el estado cambiante del río, lo que nos sugiere la rehabilitación necesaria del mismo.

3. El mencionado río a ha sido significativamente modificado por una agresiva explotación pétreo, que se ha llevado a cabo tanto en las riberas como en el fondo del cauce.
4. Otras acciones que han afectado el drenaje natural de la zona constituyen la construcción de vías y caminos, además de diques construidos en el mismo río, para atravesarlo sin utilizar puentes, lo que ha generado retención excesiva de sedimentos y por ende inundación aguas arriba.
5. El estudio realizado demuestra que es posible implementar soluciones y construir obras para rescatar las capacidades de conducción de caudales y drenaje natural de las aguas lluvias que se acumulen en la planicie del proyecto de Riego Bucay.
6. Hasta que no se implementen las soluciones, debido a que las crecidas pueden generar desbordes e inundaciones, que incluyen cambios de cauce, se deben tener en cuenta la posibilidad de que las viviendas ribereñas y los cultivos puedan sufrir daños e inclusive su destrucción.

7. Los efectos del proyecto sobre el ambiente dentro del estado actual, no compromete su estabilidad, por el contrario, realizar una mejora en su condición hidráulica permitiría beneficiar al sector agrícola. Además permitiría menguar los efectos de futuras crecidas.

## 4.2 Recomendaciones

1. Es importante tener presente que las acciones antrópicas en los cauces naturales se traducen en afectaciones directas a su funcionamiento. Esto incide directamente en la actividad socioeconómico de la población dedicada a la agricultura, en los dos costados del río.
2. Los ríos como el Chagüe deben ser estudiados a partir de su cuenca drenaje y se debe analizar las características propias de su cauce si se pretende realizar proyectos de riego y drenaje en sus alrededores.
3. Dentro del tramo de estudio existen pérdidas y aportaciones de caudal que no fueron analizados en este proyecto se recomienda hacer un análisis hidráulico más profundo considerando este aspecto.
4. El control de sedimentos ni estudio del sistema biótico no son parte de este trabajo; se recomienda realizar un estudio a fondo para no afectar al ecosistema y además evitar acumulación de sedimentos y socavación.



5. Con la finalidad de lograr un mejor control de las inundaciones es importante que se realice un estudio de la incidencia de las vías y diques construidos en la planicie de una gran producción agrícola.
6. Se recomienda hacer una limpieza general del cauce retirando escombros y sedimentos superficiales acumulados a lo largo del río.
7. La extracción de áridos en el lecho de ríos es beneficioso porque permite mantener estable el régimen de flujo, previniendo inundaciones y erosión en su cauce y taludes. Sin embargo, se recomienda para que esta actividad sea sostenible que la tasa de extracción no exceda a la tasa de recarga.
8. Para la extracción de áridos en el cauce de ríos es primordial la participación de entidades especializadas en manejo de recursos hídricos, que regulen la extracción definiendo fechas y lugares para esta actividad, precautelando el buen funcionamiento del río.

**ANEXOS**

# ANEXO 1

INFORMACIÓN DISPONIBLE

# ANEXO 2

## INFORMACIÓN GENERADA

# ANEXO 3

## SOLUCIONES

# ANEXO 4

PRESUPUESTOS

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. **Pindo, J. C. (2013).** *Perfil Territorial con Enfoque en Gestión de Riesgos del Cantón Gral. Antonio Elizalde-Bucay.*
2. **Aparicio, F. 1997.** Fundamentos de Hidrología de Superficie. Balderas, México: Limusa. 303 p
3. **Campos-Aranda D.F. (2001).** *Contraste de cinco métodos de ajuste de la distribución GVE en 31 Registros Históricos de Eventos Máximos anuales.* Ingeniería Hidráulica en México, XVI (2): 77-92.
4. **Pizarro, r.; Novoa, P. 1986.** Instructivo n° 5. *Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas.* Elementos técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal (CONAF). Chile. 78 p.
5. **Chanson, H. (2004).** *The Hydraulics of Open Channel Flow (Second Ed.).* Oxford, UK, Butterworth-Heinemann.
6. **Díaz, J. S. (2001).** *Control de Erosión en Zonas Tropicales.* Ediciones Monserrat.
7. **Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2011).** *Morfología de las Cuencas Hidrográficas.*

8. **Chow Ven Te**, *“Hidrología Aplicada”*, Mc. Graw Hill Interamericana S.A, Colombia, octubre de 1993
9. **Colegio de Ingenieros Civiles del Guayas**, *“Proyecto de Obras de Drenaje en Carreteras”*, Guayaquil .1987.
10. **Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones del Ecuador**, *“Curso de Drenaje de Obras Viales”*, Publicación N° 23, marzo de 1983.
11. **Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones del Ecuador**, *“Normas de Diseño Geométrico de Carreteras”*.2003
12. **INAMHI (1998)**. *Evaluación Hidráulica para la rehabilitación de la red vial del Litoral Ecuatoriano. Fenómeno de “El Niño” 1997-1998.*
13. **Ministerio de Transporte y Obras Publicas del Ecuador (2013)**. *Libro A Norma para Estudios y Diseños Viales*. Norma Ecuatoriana Vial, Volumen 2.
14. **Ministerio de Transporte y Obras Publicas del Ecuador (2013)**. *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Norma Ecuatoriana Vial, Volumen 3.



15. Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (2013).

*Conservación Vial. Norma Ecuatoriana Vial, Volumen 6.*

16. IGM. Geoportal. Obtenido de [http:// www.geopoetaligm.gob.ec/portal/](http://www.geopoetaligm.gob.ec/portal/)