



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**CARRERA: INGENIERIA CIVIL**

**TÍTULO:**

**SIMULACIONES HIDROLÓGICAS HIDRÁULICAS EN EL SISTEMA DEL RÍO  
CHONE, HASTA LA CIUDAD DEL MISMO NOMBRE, CONSIDERANDO LA  
PRESENCIA DE LAS OBRAS YA CONSTRUIDAS DEL PROYECTO DE  
PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE.**

**AUTORA:**

**CABRERA PUGA, MARIA GABRIELA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCION DEL  
TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**CABRERA SANTOS, MIGUEL OCTAVIO**

**Guayaquil, Ecuador**

**2016**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**CARRERA: INGENIERIA CIVIL**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Cabrera Puga, María Gabriela**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniera civil**.

**TUTOR**

---

**ING. MIGUEL CABRERA SANTOS**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**ING. STEFANY ALCIVAR BASTIDAS**

**Guayaquil, a los 23 del mes de Marzo del año 2016**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**CARRERA: INGENIERIA CIVIL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **María Gabriela Cabrera Puga**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación **Simulaciones hidrológicas hidráulicas en el sistema del río Chone, hasta la ciudad del mismo nombre, considerando la presencia de las obras ya construidas del proyecto de Propósito Múltiple Chone**, previo a la obtención del Título **de Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación, de tipo referido.

**Guayaquil, a los 23 del mes de Marzo del año 2016**

**LA AUTORA**

---

**María Gabriela Cabrera Puga**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**CARRERA: INGENIERIA CIVIL**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **María Gabriela Cabrera Puga**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Simulaciones hidrológicas hidráulicas en el sistema del río Chone, hasta la ciudad del mismo nombre, considerando la presencia de las obras ya construidas del proyecto de Propósito Múltiple Chone**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 23 del mes de Marzo del año 2016**

**LA AUTORA:**

---

**María Gabriela Cabrera Puga**



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todas las personas que contribuyeron en la realización de este trabajo, en especial al Ing. Miguel Cabrera y al Ing. Pedro Castro.

**María Gabriela Cabrera Puga**

## **DEDICATORIA**

A Miguel y Jacqueline, mis padres.

**María Gabriela Cabrera Puga**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**CARRERA: INGENIERIA CIVIL**

**CALIFICACION**

---

**ING. MIGUEL CABRERA SANTOS**

**PROFESOR TUTOR**

# ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	13
1.1 ANTECEDENTES.....	13
1.2 OBJETIVO.....	17
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
1.3 ALCANCE.....	18
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....	20
2.1 INUNDACIÓN.....	20
2.1.1 FACTORES NATURALES.....	20
2.1.2 FACTORES ANTRÓPICOS .....	23
2.2 MODELACIÓN HIDROLÓGICA – HIDRÁULICA.....	25
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA .....	26
3.3 MODELO HIDROLÓGICO.....	26
3.3.1 MODELACIÓN ESPACIAL.....	27
3.3.2 LLUVIA DE DISEÑO .....	34
3.3.3 ESCURRIMIENTO DIRECTO.....	43
3.3.4 HIDROGRAMAS .....	46
3.3.5 TRÁNSITO DE AVENIDAS .....	54
3.3.6 TRÁNSITO EN EL EMBALSE .....	57
3.4 TRÁNSITO HIDRÁULICO.....	59
3.4.1 MODELO MATEMÁTICO DEL FLUJO EN RÉGIMEN NO PERMANENTE (HEC RAS).....	60
3.4.2 MODELO EN HEC RAS .....	60
CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....	64
4.5 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO GRANDE .....	65
4.6 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA RÍO MOSQUITO .....	66
4.7 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA RÍO GARRAPATA.....	67
4.8 SIMULACIONES HIDRÁULICAS.....	68
CAPÍTULO 5: ANALISIS DE RESULTADOS .....	81

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES .....	88
CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES .....	92
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS .....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: COORDENADAS DE LA CIUDAD DE CHONE.....	13
TABLA 2: ÁREA Y LONGITUD DEL CAUCE DE LAS SUBCUENCAS PRINCIPALES.....	28
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DE SUBCUENCAS .....	33
TABLA 4: VALORES HISTÓRICOS DE LLUVIAS MÁXIMAS DE 24 HORAS DE CHONE.....	34
TABLA 5: VALORES DE INTENSIDAD MEDIA DE UNA LLUVIA DE 24 HORAS .....	35
TABLA 6: ECUACIONES DEL INAMHI PARA ESTACIÓN M162-CHONE .....	35
TABLA 7: MÉTODO DE LOS BLOQUES ALTERNOS PARA UNA DURACIÓN DE LLUVIA DE 3 HORAS Y UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS ..	37
TABLA 8: HIETOGRAMAS ADIMENSIONALES MEDIOS EN ÁREAS DE 25 A 130 KM <sup>2</sup> .....	39
TABLA 9: HIETOGRAMA POR EL MÉTODO DE HUFF PARA PRIMER CUARTIL .....	40
TABLA 10: HIETOGRAMA MEDIO DE 3 HORAS PARA CHONE .....	42
TABLA 11: TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y RETARDO POR EL MÉTODO DEL SCS Y POR EL DE KIRPICH.....	53
TABLA 12: TABLA DE VALORES PARA CURVAS "ALTURA-VOLUMEN" Y "VOLUMEN – CAUDAL" PARA EL VERTEDOR DE LA PRESA DEL RÍO GRANDE .....	58
TABLA 13: NIVELES Y CAUDALES MÁXIMOS EN SECCIONES DE INTERÉS CON EMBALSE Y CON BYPASS .....	84
TABLA 14: NIVELES Y CAUDALES MÁXIMOS EN SECCIONES DE INTERÉS SIN EMBALSE Y CON BYPASS .....	85
TABLA 15: NIVELES Y CAUDALES MÁXIMOS EN SECCIONES DE INTERÉS CON EMBALSE Y SIN BYPASS .....	86
TABLA 16: NIVELES Y CAUDALES MÁXIMOS EN SECCIONES DE INTERÉS SIN EMBALSE Y SIN BYPASS .....	87

TABLA 17: NIVELES Y CAUDALES MÁXIMOS EN 2 SECCIONES EN CHONE SIN EMBALSE Y SIN BYPASS .....	88
TABLA 18: NIVELES Y CAUDALES MÁXIMOS EN 2 SECCIONES EN CHONE CON EMBALSE Y CON BYPASS .....	88

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

IMAGEN 1: CUENCA Y SUBCUENCAS RÍO CHONE .....	14
IMAGEN 2: INUNDACIÓN EN CHONE .....	15
IMAGEN 3: ESQUEMA DE RED DE DRENAJE DEL SISTEMA CHONE .....	19
IMAGEN 4: DELIMITACIÓN DE ZONAS INUNDABLES.....	25
IMAGEN 5: DIVISIÓN DE SUBCUENCAS PRINCIPALES .....	29
IMAGEN 6: DIVISIÓN DE SUBCUENCAS DE MENOR TAMAÑO .....	30
IMAGEN 7: HIETOGRAMA DE LA TORMENTA.....	38
IMAGEN 8: HIETOGRAMA POR EL MÉTODO DE HUFF.....	40
IMAGEN 9: HIETOGRAMA MEDIO PARA CHONE .....	41
IMAGEN 10: SOLUCIÓN GRAFICA DE LA ECUACIÓN DE ESCORRENTÍA SCS .....	45
IMAGEN 11: HIDROGRAMA UNITARIO DEL S.C.S .....	48
IMAGEN 12: RELACIÓN ENTRE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y RETARDO .....	49
IMAGEN 13: CURVA VOLUMEN – CAUDAL DEL VERTEDOR DE LA PRESA DEL RÍO GRANDE.....	58
IMAGEN 14: CURVA ALTURA – VOLUMEN DEL VERTEDOR DE LA PRESA DEL RÍO GRANDE.....	59
IMAGEN 15: ESQUEMA DE TRAMOS ANALIZADOS EN EL MODELO DEL HEC RAS .....	61
IMAGEN 16: SECCIÓN DEL VERTEDOR EN EL CANAL BYPASS. HEC-RAS.	62
IMAGEN 17: HIDROGRAMA RÍO GRANDE HASTA EL SITIO DE PRESA. HEC HMS .....	65
IMAGEN 18: HIDROGRAMA RÍO MOSQUITO. HEC HMS.....	66
IMAGEN 19: HIDROGRAMA RÍO GARRAPATA. HEC HMS .....	67
IMAGEN 20: PERFIL DEL CANAL BYPASS .....	68
IMAGEN 21: PERFIL DEL RÍO GARRAPATA .....	69
IMAGEN 22: PERFIL DEL RÍO GRANDE. DESDE LA PRESA HASTA PUENTE BEJUCO .....	69



IMAGEN 23: PERFIL DEL RÍO CHONE. DESDE PUENTE BEJUCO HASTA INGRESO DEL RÍO GARRAPATA.....	70
IMAGEN 24: PERFIL DEL RÍO CHONE. DESDE INGRESO DEL RÍO GARRAPATA HASTA PUERTO LARREA.....	70
IMAGEN 25: SECCIÓN DEL RÍO GARRAPATA (18500). INICIO .....	71
IMAGEN 26: SECCIÓN DEL RÍO GARRAPATA (9000). MITAD DEL RÍO DEL GARRAPATA.....	71
IMAGEN 27: SECCIÓN DEL RÍO GARRAPATA (0). ANTES DE INGRESAR AL RÍO CHONE .....	72
IMAGEN 28: SECCIÓN DEL RÍO MOSQUITO (18000). AL INICIO DEL RIO.....	72
IMAGEN 29: SECCIÓN DEL RÍO MOSQUITO (0). ANTES DE INGRESAR AL RIO GRANDE .....	73
IMAGEN 30: SECCIÓN DEL RÍO GRANDE REGULADO (46000). PRESA DEL RÍO GRANDE .....	73
IMAGEN 31: SECCIÓN DEL RÍO GRANDE (35100). ANTES DEL INGRESO DEL RÍO MOSQUITO .....	74
IMAGEN 32: SECCIÓN DEL RÍO CHONE (34600). DESPUÉS DEL INGRESO DEL RÍO MOSQUITO .....	74
IMAGEN 33: SECCIÓN DEL RÍO CHONE (28100). ANTES DE DERIVACIÓN DEL CANAL BYPASS .....	75
IMAGEN 34: SECCIÓN DEL RÍO CHONE (28000). DESPUÉS DE LA DERIVACIÓN AL CANAL BYPASS.....	75
IMAGEN 35: SECCIÓN DEL RÍO CHONE (25600). ANTES DEL INGRESO DEL RÍO GARRAPATA .....	76
IMAGEN 36: SECCIÓN DEL RÍO CHONE (25400). DESPUÉS DEL INGRESO DEL RÍO GARRAPATA.....	76
IMAGEN 37: SECCIÓN DEL RÍO CHONE (23200). JUNTO A LA AV. ELOY ALFARO .....	77
IMAGEN 38: SECCIÓN DEL RÍO CHONE (22800). JUNTO A LA CALLE SANTA MARTHA .....	77
IMAGEN 39: SECCIÓN DEL RÍO CHONE (20600). FINAL DE LA CIUDAD.....	78

IMAGEN 40: SECCIÓN DEL RÍO CHONE (9400). JUNTO A LA CALLE SAN ANTONIO .....	78
IMAGEN 41: SECCIÓN DEL RÍO CHONE (0). ULTIMA SECCIÓN .....	79
IMAGEN 42: SECCIÓN DEL CANAL BYPASS (11980). SECCIÓN ANTES DEL VERTEDOR.....	79
IMAGEN 43: SECCIÓN DEL CANAL BYPASS (11737.5). DESPUÉS DEL VERTEDOR.....	80
IMAGEN 44: SECCIÓN DEL CANAL BYPASS (6250). PUENTE CATIVO.....	80
IMAGEN 45: SECCIÓN DEL CANAL BYPASS (500). ULTIMA SECCIÓN. ....	81
IMAGEN 46: SECCIÓN DEL RIO CHONE (23200). CON EMBALSE Y CON BYPASS .....	89
IMAGEN 47: SECCIÓN DEL RIO CHONE (23200). SIN EMBALSE Y SIN BYPASS .....	89
IMAGEN 48: SECCIÓN DEL RIO CHONE (20600) CON EMBALSE Y CON BYPASS .....	90
IMAGEN 49: SECCIÓN DEL RIO CHONE (20600). SIN EMBALSE Y SIN BYPASS .....	90

## RESUMEN

A lo largo del tiempo la ciudad de Chone ha sufrido inundaciones por el desbordamiento del río del mismo nombre. Como solución a este problema se está desarrollando el proyecto Multipropósito Chone. Hasta la presente fecha se ha culminado la construcción de la presa del río Grande y el canal Bypass.

En el presente trabajo se realizó el análisis hidrológico hidráulico del sistema hidrográfico de la cuenca, considerando en este la presencia de las estructuras antes mencionadas en el párrafo anterior. El objetivo fundamental de este trabajo fue analizar la variación de los niveles de inundación en la ciudad de Chone.

Para estos estudios se efectuaron simulaciones hidrológicas hidráulicas del sistema hidrográfico del río, lo que permitió determinar hidrogramas y niveles en secciones de interés, y de esta manera definir el impacto que estas obras tienen en el control de las inundaciones de la ciudad de Chone.

Los resultados de las simulaciones determinan que la presencia del embalse de río Grande y del canal Bypass incide de una manera positiva, reduciendo los niveles de inundación en la ciudad de Chone. Así por ejemplo sin considerar, en la simulación, la presencia del embalse y del canal Bypass el nivel de inundación en una sección ubicada en la mitad del tramo del río que cruza la ciudad es de aproximadamente 17.22 m.s.n.m., en tanto que considerando la presencia de estas obras este nivel baja a la cota 14.60 m.s.n.m..

Para las simulaciones hidrológicas hidráulicas se utilizó información topográfica de diversas fuentes, obtenidas en épocas diferentes. Por esta razón los resultados obtenidos podrían no ser muy confiables.

**Palabras Claves:** Chone, Inundaciones, Hidrogramas, Niveles, Modelación hidrológica, Modelación Hidráulica.

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

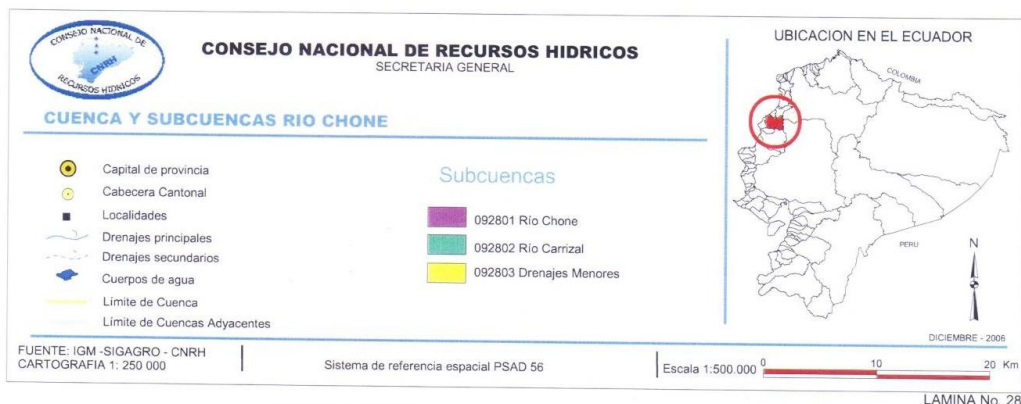
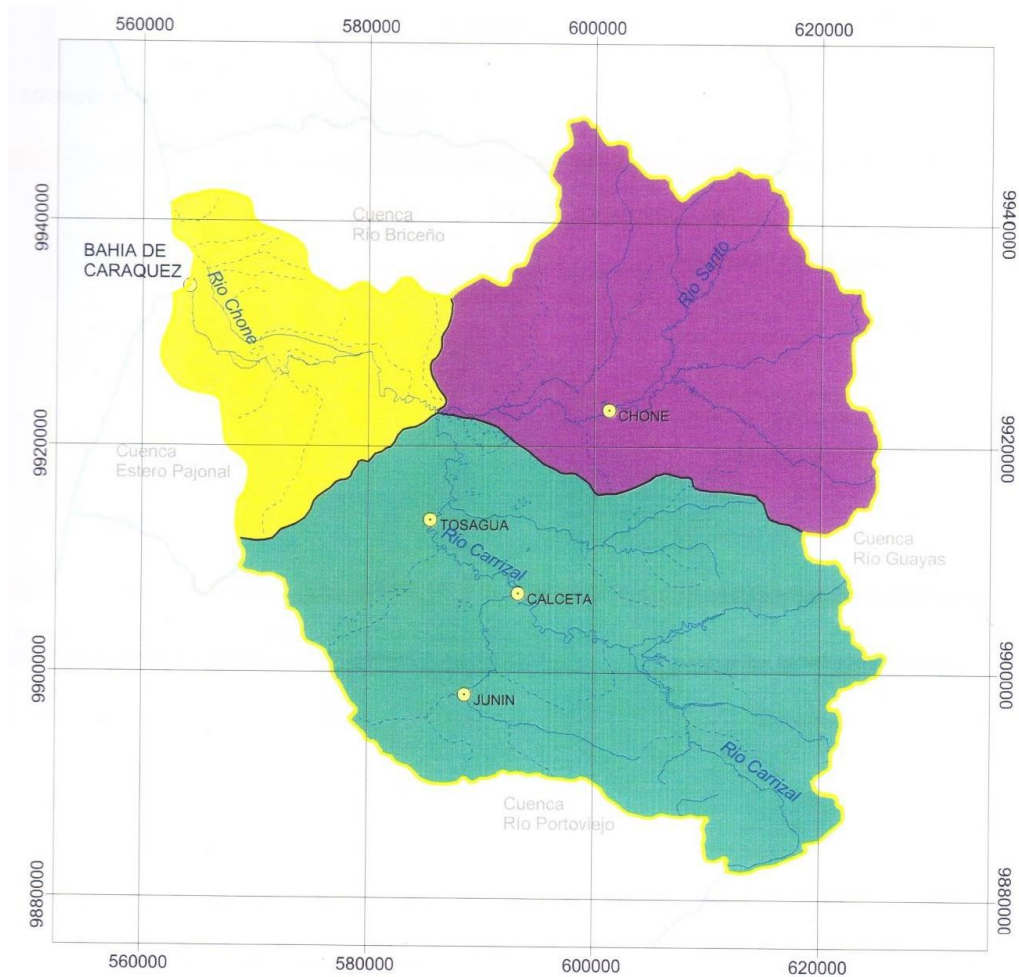
Chone es la cabecera del cantón de su mismo nombre, ubicado en la provincia de Manabí. La ciudad se desarrolla dentro de un rectángulo geográfico cuyos vértices aproximados son:

<b>N</b>	<b>E</b>
9925000	596000
9925000	605000
9922000	596000
9922000	605000

***Tabla 1: Coordenadas de la ciudad de Chone***

La ciudad de Chone se ha desarrollado en la parte baja de la cuenca del río del mismo nombre y hacia el sur de este. El río Chone junto con el Carrizal forma la cuenca hidrográfica denominada río Chone, cuya área de drenaje hasta la ciudad de Bahía de Caráquez es de 2698 km<sup>2</sup>. (Ver esquema general en anexos: plano #1)

Al estar ubicada en la cuenca baja, la ciudad de Chone siempre ha sufrido inundaciones por los desbordamientos del río de su mismo nombre. Estas inundaciones comprometen no solo a la ciudad sino también a los valles de los cursos inferiores de los ríos que forman el sistema.



***Imagen 1: Cuenca y subcuencas río Chone***

***Tomada: Atlas hidrográfico. Consejo Nacional de Recursos Hídricos. (2006)***



***Imagen 2: Inundación en Chone***

***Tomada: (27 de Febrero 2014) Diario el Universo. Intensa lluvia inundó calles de Chone.***

Los factores que provocan estas inundaciones son básicamente tres:

- Precipitaciones de gran intensidad en las cuencas de los Ríos Chone, Mosquito, Grande y Garrapata.
- Falta de capacidad de drenaje del río Chone.
- Falta de un sistema de alcantarillado pluvial adecuado en la ciudad de Chone.

En la zona se han presentado precipitaciones mayores a los 3500 mm en situaciones extremas como fenómenos El niño, y menores a 500 mm en los años más secos. La temperatura media es de 25 °C y la humedad relativa de 80 %.

En los años 80 se formuló un proyecto con propósitos múltiples, que entre ellos consideró el control de las inundaciones en la ciudad de Chone y en sectores vecinos. Posteriormente se realizaron otros estudios con el propósito exclusivo del control de inundaciones de esta ciudad.

En los estudios para el Proyecto Multipropósito Chone se determinó que el caudal máximo que puede conducir el río Chone sin desbordarse es de 150 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo la avenida promedio anual es de 170 m<sup>3</sup>/s, valor que genera inundaciones en Chone.

En el año 2000 se construyó un canal by-pass y una obra de derivación, a la altura de un puente denominado “El Bejuco” al Este de la ciudad. Esta obra tiene como propósito, extraer parte de los caudales que traen los ríos Grande y Mosquito, para de esta manera reducir el riesgo de inundación de la ciudad. Cuando se construyó este Bypass se conectó su descarga al río Chone a la altura del puente Cativo, antes del cruce por el puente del Olimpo. Esta descarga produce remanso en el río, lo que reduce el beneficio del Bypass, en el control de inundaciones. Junto con el inicio de las obras de la presa del río Grande, se construyó la prolongación del canal Bypass hasta su descarga en el humedal la Segua. Este elemento del sistema no ha sido aún concluido, ya que no está construida la obra de cruce del canal con la vía Bypass de San Antonio.

En el año 2012 se inició la construcción de la presa del río Grande, la que concluyó a finales del año 2015. Este embalse, regulará la aportación de la cuenca intervenida, lo que tendrá un efecto positivo en la reducción de los caudales máximos de las crecientes del sistema.

Entre los planes, con propósitos de control de inundaciones, también se proyecta la construcción de un Bypass desde el río Garrapata hasta el Chone, a una distancia de alrededor de 1 km aguas arriba del puente El Bejuco, para de esta forma reducir el aporte del primero en el segundo a la altura de la ciudad

de Chone. Esto último con el propósito de reducir aún más los riesgos de inundación en la ciudad de Chone. Debe indicarse que independientemente de los caudales que transporten el Grande y el Mosquito, el Garrapata presenta avenidas que pueden inundar a la ciudad.

Se analizará el impacto de la presencia del embalse del río Grande en la reducción de los niveles de inundaciones en la ciudad de Chone. Se considerará también el efecto del vertedor en El Bejuco y del canal by-pass, en la derivación de los caudales del río Chone, previo a su ingreso a la ciudad del mismo nombre.

## **1.2 OBJETIVO**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar, mediante simulaciones hidrológicas-hidráulicas, la variación de los niveles de avenidas en la ciudad de Chone, considerando a la presencia del embalse del río Grande y el canal by-pass.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Generar hidrogramas de las cuencas Mosquito, Garrapata y Grande para las frecuencias de 100 y 200 años.
- Transitar los hidrogramas a través de los cursos de agua.
- Estimar los caudales y niveles en el río para las frecuencias indicadas a la altura del puente Bejuco, así como los que se generan en el canal Bypass y en el río Chone luego de la derivación.



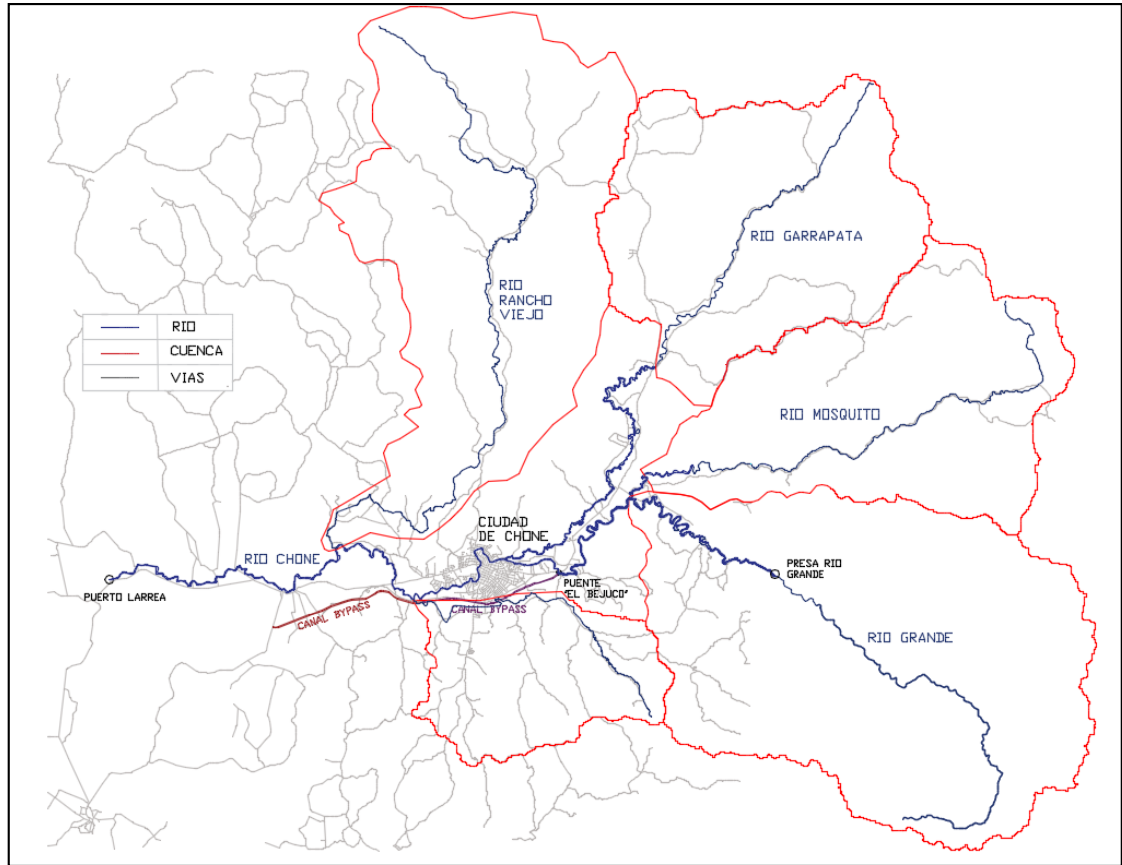
- Determinar el comportamiento hidráulico del río Garrapata en su parte alta y en su llanura de inundación en el tramo comprendido entre la descarga y el estero Chagualú y su ingreso a la ciudad de Chone.
- Analizar la incidencia de la descarga del Garrapata en el río Chone debido al remanso que genera en este último su ingreso.
- Determinar hidrogramas y niveles del río Chone en su paso por la ciudad del mismo nombre.
- Determinar hidrogramas y niveles del río Chone en la salida de la ciudad hasta Puerto Larrea.

### **1.3 ALCANCE**

Se estructurará la red de drenaje del sistema Chone hasta Puerto Larrea, el que se encuentra ubicado 4 km aguas arriba de la presa de Simbocal. (Ver esquema)

Se generarán los hidrogramas de cada una de las subcuencas, los que serán transitados a lo largo de toda la red hidrográfica del sistema. Para las partes altas de la cuenca, el tránsito de los hidrogramas será de tipo hidrológico (tránsito agregado). En las partes bajas donde existen llanuras de inundación se ha empleado, el tránsito hidráulico (tránsito distribuido), mediante el uso del HEC-RAS unidimensional y en régimen no permanente. En el análisis hidrológico-hidráulico que se realizará se considerará la regulación que va a producir la presa del río Grande y el desvío de los caudales del río Chone, en el puente del Bejuco, por el canal Bypass.

Finalmente lo que se pretende lograr es determinar los niveles máximos del río Chone para frecuencias de 100 y 200 años, y con ello determinar el riesgo de inundación en la ciudad Chone y el impacto positivo que producirá la presencia de la presa del río Grande y del canal Bypass.



***Imagen 3: Esquema de red de drenaje del sistema Chone***

Los resultados obtenidos de las simulaciones serán aproximados, ya que la información topográfica que se utilizó para modelar los ríos y llanuras de inundación ha sido muy limitada. Sin embargo estos dan una idea del comportamiento hidrológico - hidráulico de los ríos que forman la cuenca del Chone.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 INUNDACIÓN**

Se denomina inundación a la cobertura temporal de agua de una zona normalmente seca, que ocurre por el desbordamiento de un río, lluvias torrenciales, niveles de marea altos, etc.

Las inundaciones se deben a factores naturales y humanos. Los factores naturales se refieren a todos aquellos aspectos de la naturaleza que intervienen en la generación de inundaciones, entre ellas:

- Las características fisiográficas de las cuencas.
- La precipitación

Y entre los factores humanos:

- Crecimiento de ciudades sin un adecuado manejo de sistemas de drenaje pluvial.
- Ocupación de zonas muy cercanas a los cauces o ubicados en la llanura de inundación del río.

#### **2.1.1 FACTORES NATURALES**

Se analizará brevemente la incidencia de estos factores en las inundaciones.

##### **2.1.1.1 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DE LA CUENCA**

Una cuenca según el DLE (Diccionario de la Lengua Española, 2014) es “un territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar”, lo que quiere decir que toda el agua que llega a este territorio drena por un mismo punto.

Entre las características fisiográficas de las cuencas se tiene:

- Área: Proyección horizontal de terreno delimitado por la divisoria de aguas, que drena directa o indirectamente por un mismo cauce natural. La extensión superficial de la cuenca tiene un impacto directo en la generación del escurrimiento superficial producido por la lluvia. De manera general a mayor extensión superficial le corresponde una mayor producción de escurrimiento.
- Pendiente media: La pendiente de la cuenca juega un rol importante en la respuesta de esta a una lluvia. Si la pendiente es alta la respuesta es rápida, lo que produce un pico elevado del hidrograma del escurrimiento superficial. Además la pendiente incide también en la infiltración del agua en el subsuelo, para fuertes pendientes este parámetro se reduce.
- Longitud del cauce principal: Es el recorrido más largo a través del cual fluye el agua desde la divisoria hasta la descarga. En cuencas con longitudes de cauce principal que definan una cuenca alargada, la respuesta de esta a una lluvia será más lenta y por lo tanto el pico del hidrograma mas achatado.
- Pendiente del cauce: En términos generales, la pendiente del cauce es el desnivel que existe de los extremos del río, dividido para la longitud horizontal del mismo. Como en el caso de la longitud del cauce, bajas pendientes determinan respuestas más lentas de la cuenca, lo que incide en el pico del hidrograma.
- Red de drenaje: Trayectoria o arreglo de los cauces. La razón de su importancia se manifiesta en la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante. Por otra parte, la forma de drenaje proporciona indicios de las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca. (Springall, n.d) Las características de la red de drenaje se pueden describir por medio de:
  - Orden de corriente: Grado de bifurcación dentro de la cuenca.
  - Longitud de tributarios: Longitud total de todos los ríos que aportan a la escorrentía.

- Densidad de corriente: Relación entre el número de corrientes y el área de la cuenca.
- Densidad de drenaje: Relación entre la longitud de tributarios y el área de la cuenca.

### **2.1.1.2 PRECIPITACIÓN**

El otro factor que interviene en la generación de los hidrogramas, que son los que generan las inundaciones cuando viajan por la red de drenaje, es la precipitación. Según el (DEL, 2014) el término precipitación se refiere al “agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra”.

La precipitación se da cuando las masas de aire de la atmósfera se elevan y enfrían, lo que ocasiona que el aire se sature con el vapor de agua, originando la condensación del vapor atmosférico. Esta se mide con respecto a la altura del agua en milímetros, por medio de pluviómetros o pluviógrafos.

La precipitación tiene variaciones temporales y espaciales. La variación temporal está dada por ciclos, los mismos que pueden ser diarios, mensuales, estacionales o anuales. Por ejemplo en el Ecuador los meses de mayores precipitaciones se dan entre Diciembre y Abril. Por otra parte la variación espacial se refiere a la distribución geográfica de la lluvia. Un ejemplo de ello son los desiertos donde se registran precipitaciones anuales que van en el orden de 0 y 200 mm, y en otras partes 10 000 mm.

La precipitación se puede clasificar en 3 tipos de acuerdo a la condición que genera la elevación del aire (Springall, 1970):

- Precipitación por convección: Esta se debe a la diferencia de calor entre la superficie terrestre y las masas de aire, o también por la elevación de masas

de aire caliente al encontrarse con masas de aire más fría y densas, este tipo de precipitación se encuentra mucho en los trópicos.

- Precipitación orográfica: Se llama así a la precipitación ocasionada por la elevación del aire que se ve influida por barreras montañosas.
- Precipitación ciclónica: Es la que está asociada con el paso de ciclones, y se da por el contacto de masas de aire, de manera frontal, de diferentes temperaturas y contenidos de humedad.

La distribución espacial y temporal de la lluvia en una cuenca, junto con las características fisiográficas de estas, determinan los picos y formas de los hidrogramas. A lo largo del desarrollo de este trabajo se analizará cada uno de estos parámetros, al momento de definir su selección.

## **2.1.2 FACTORES ANTRÓPICOS**

Factores humanos se refiere a todos aquellos aspectos que intervienen en la generación de inundaciones que se ven directamente relacionados con la acción del hombre.

Tucci (2007) clasifica las inundaciones urbanas en 2 tipos:

- Inundaciones provocadas por el crecimiento urbano.
- Inundaciones ribereñas, que se ven relacionadas con la ocupación de zonas muy cercanas o dentro de una llanura de inundación.

### **2.1.2.1 CRECIMIENTO DE CIUDADES SIN UN ADECUADO MANEJO DE SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL**

El desarrollo urbano genera varios cambios en el drenaje natural de una cuenca, por ejemplo la construcción de las viviendas y la pavimentación de los

caminos genera una impermeabilización del suelo, lo que hace que el agua que antes se infiltraba en el suelo ahora simplemente escurra. Al aumentar el escurrimiento superficial, aumentan los caudales pico. Estos caudales elevados afectan a las ciudades que se encuentran aguas abajo.

Según Tucci (2007), los problemas que existen en los sistemas de drenaje pluvial se dan por dos razones:

- Principio de proyecto de drenaje: que se refiere al diseño del drenaje basándose en la premisa que *“el mejor sistema de drenaje es el que retira el agua excedente de la manera más rápida posible de su lugar de origen”*, lo que él considera un error.
- Evaluación y control por tramos: que se refiere a darle una solución a los tramos críticos sin evaluar las consecuencias que estas tienen en el resto de tramos y sin considerar otros horizontes de ocupación urbana. Lo que lleva a simplemente transferir la inundación de un lugar de la cuenca a otro.

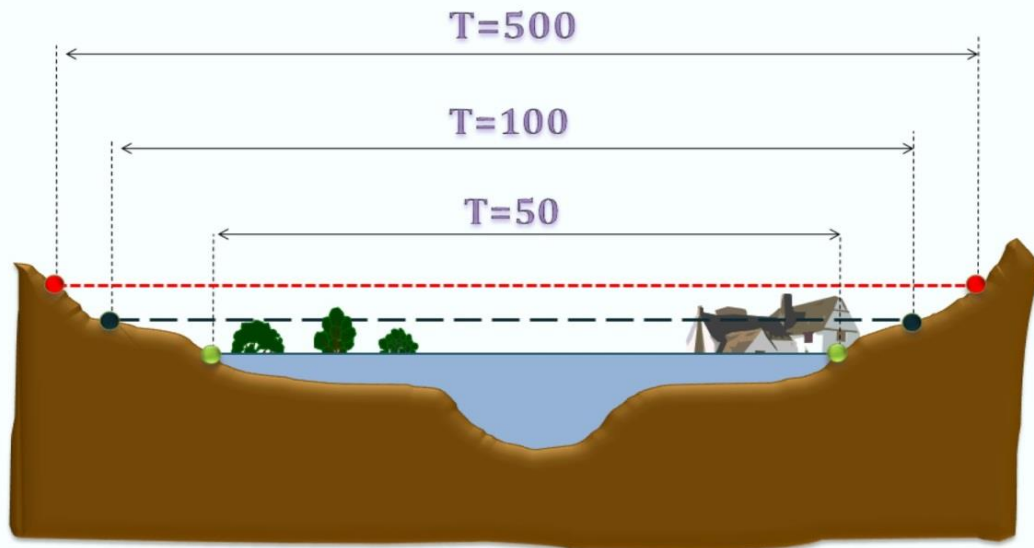
### **2.1.2.2 OCUPACIÓN DE ZONAS MUY CERCANAS O DENTRO DE UNA LLANURA DE INUNDACIÓN.**

A lo largo de la historia el hombre ha tenido la costumbre de ocupar las zonas cercanas al río, debido a que lo usaba como medio de transporte, y fuente de agua; muchas ciudades importantes se desarrollaban cerca de los ríos.

Una de las razones por las que se sigue ocupando estas zonas de riesgo es porque son zonas planas y normalmente secas, ya que los eventos que provocan inundación en estas llanuras no ocurren muy a menudo, sin embargo cuando llegan a suceder pueden ocasionar grandes daños.

A continuación se muestra una imagen que muestra la relación entre los periodos de recurrencia y los niveles de agua en las llanuras de inundación.

## Delimitación Zonas Inundables Avenidas referenciales



*Imagen 4: Delimitación de zonas inundables*

*Tomada: Obtenida de curso online HEC-HMS- Universidad de Valladolid (2015)*

## 2.2 MODELACIÓN HIDROLÓGICA – HIDRÁULICA

Debido a la ausencia de información hidrométrica, en secciones de interés en el sistema del río Chone, que permitan hacer análisis estadísticos con propósitos de extrapolaciones, ha sido necesario utilizar métodos indirectos para la generación de hidrogramas, a través de modelos lluvia escurrimiento. Los hidrogramas se han transitado mediante modelos hidráulicos para de esta manera definir caudales y niveles en las secciones que sean de interés.

Estos modelos permiten definir, la magnitud de las ondas de crecientes, el tiempo de tránsito de la onda, los niveles de inundación, etc.



El software empleado para la modelación hidrológica es el HEC HMS, mediante el cual se han generado los caudales producidos por lluvias de frecuencias de 100 y 200 años. Los caudales generados en las subcuencas se han adicionado y transitado de forma hidrológica hasta las secciones donde se inician los cursos bajos de los ríos, desde donde se dispone de levantamientos topográficos de los cauces. A partir de estas secciones se ha efectuado un tránsito hidráulico con el empleo del Software HEC RAS, en estado no permanente y considerando flujo unidimensional.

La modelación hidrológica permite conocer los hidrogramas generados por las lluvias en las secciones de interés, previamente definidas en el cálculo. Con la simulación hidráulica se calculan los hidrogramas y la variación de los niveles en cualquiera de las secciones geoméricamente definidas en la modelación. Estos resultados permiten conocer de forma aproximada los niveles de inundación, que es uno de los objetivos. Los resultados son aproximados debido a que la información topográfica es un tanto incompleta y en algunas secciones ha sido extrapolada.

### **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

El propósito es estimar los niveles de avenidas del río Chone y sus afluentes en diversas secciones de interés, por lo que ha sido necesario crear modelos hidrológicos e hidráulicos de los cursos de agua que forman parte del sistema. Los programas utilizados para la modelación hidrológica e hidráulica son el HEC-HMS y el HEC-RAS respectivamente.

#### **3.3 MODELO HIDROLÓGICO**

El modelo hidrológico tiene como propósito la generación de hidrogramas en secciones de interés y para lluvias de frecuencias seleccionadas. Debido a la

inexistencia de registros históricos de caudales, es necesario utilizar metodologías que permitan generar los hidrogramas de manera indirecta, lo que se logra con la modelación hidrológica.

La modelación hidrológica considera básicamente dos unidades que interactúan para generar los hidrogramas. Estas dos unidades son la cuenca y la tormenta que genera el hidrograma. Los aspectos fisiográficos de la cuenca definen la respuesta, de esta a una lluvia cualquiera. Por otro lado la forma del hietograma de la tormenta también incide en el tiempo de ocurrencia y pico del hidrograma, así como en el volumen.

### **3.3.1 MODELACIÓN ESPACIAL**

La modelación espacial tiene como objetivo realizar la delimitación de la cuenca y posteriormente la subdivisión en cuencas de menor tamaño. Para cada una de estas subcuencas se debe determinar las características fisiográficas. Por último se define hasta qué lugar se van a realizar las simulaciones.

#### **3.3.1.1 DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS**

La cuenca del río Chone se subdivide en 5 subcuencas:

- Cuenca del río Grande
- Cuenca del río Mosquito
- Cuenca del río Garrapata
- Cuenca del río Rancho Viejo
- Cuenca del estero Bejuco

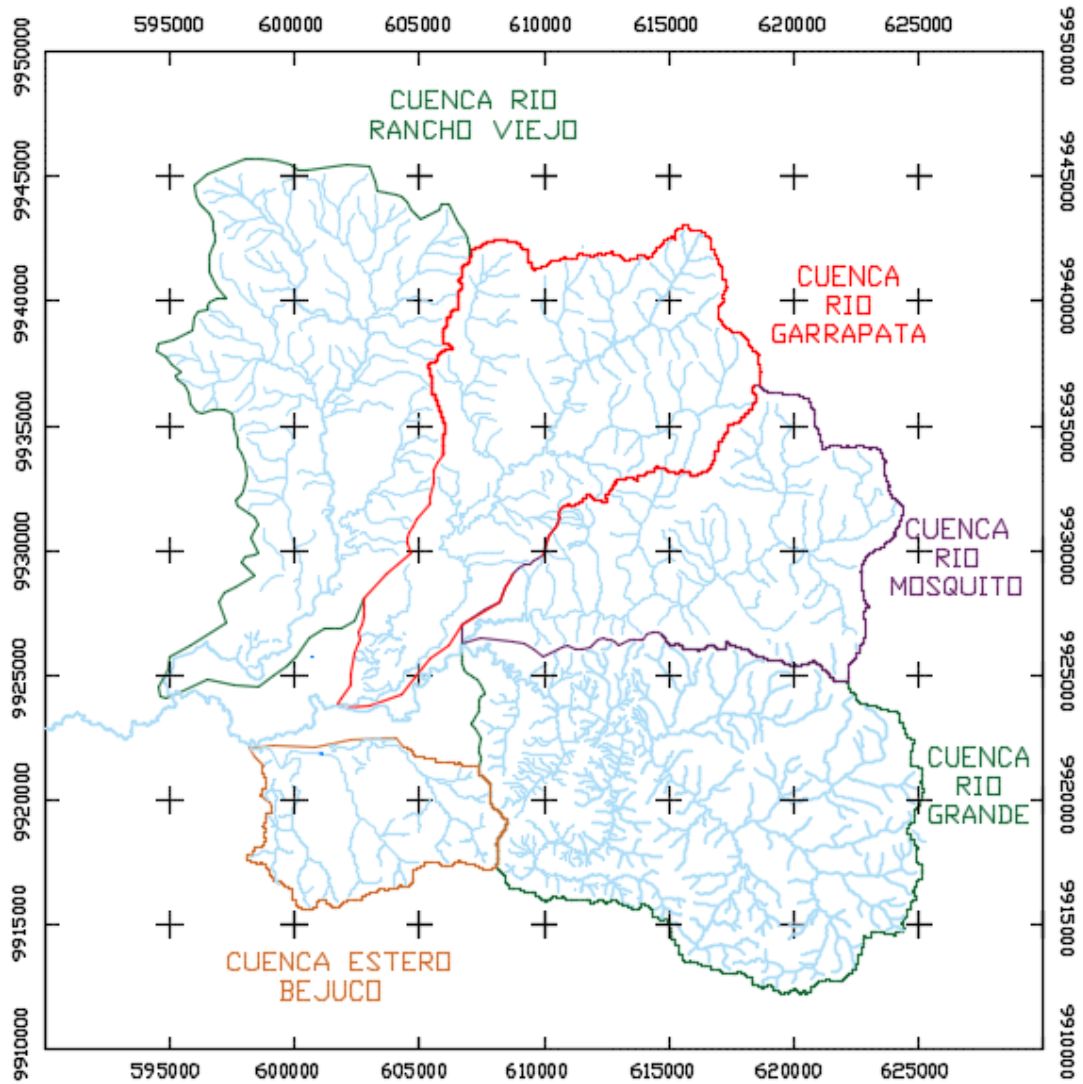
Cuyas áreas y longitud de cauce principal se muestran en la tabla siguiente:

<b>Cuenca</b>	<b>Area (km2)</b>	<b>Longitud del Cauce (m)</b>
Grande	156.767	21416.54
Mosquito	112.449	26324.73
Garrapata	126.402	23473.79
Rancho Viejo	165.404	38038.29
Bejuco	50.109	15017.15

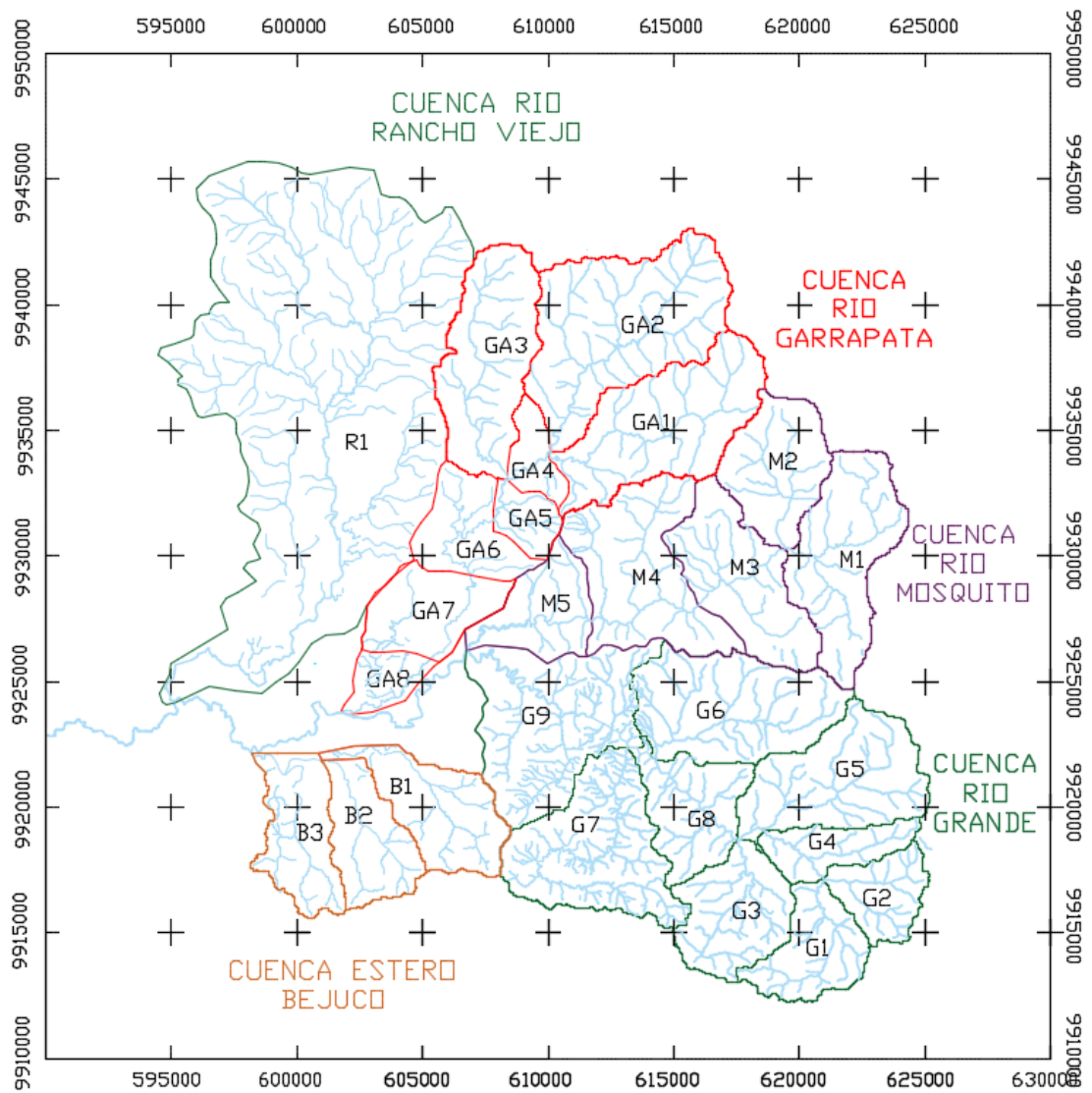
***Tabla 2: Área y longitud del cauce de las subcuencas principales***

Para esta modelación es recomendable no trabajar con cuencas de grandes dimensiones, ya que estas tienden a presentar características fisiográficas no homogéneas en toda su área. Debido a esto se decidió subdividir las cuencas, en pequeñas subcuencas como se muestra en la imagen 6.

La cuenca del río Mosquito y Grande se la trazó hasta la unión de ambas, sin embargo la modelación hidrológica del río Grande se realizó solo hasta el sitio de presa, por lo que no se consideró para este la subcuenca G9. Por otro lado el modelo del río Garrapata se realizó hasta la unión con el estero Chagualú. Por lo que solo se consideraron las subcuencas de la GA1 a la GA5



***Imagen 5: División de subcuencas principales***

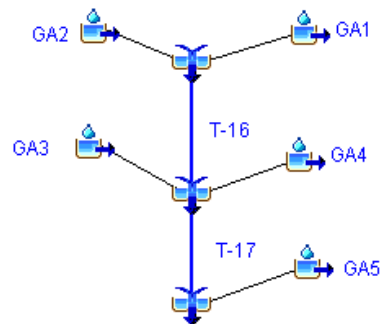


***Imagen 6: División de subcuencas de menor tamaño***

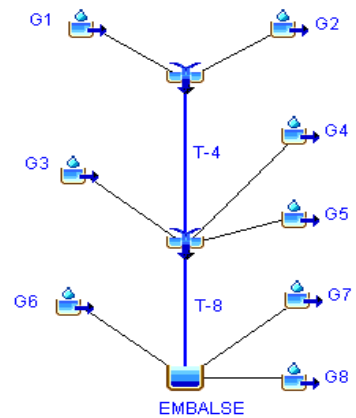
La cuenca del río Rancho Viejo no se la ha considerado para la simulación hidráulica, ya que este río descarga en una gran laguna que lo regula, y de la cual no se tiene información cartográfica.

Con este esquema se obtienen las redes de drenaje de las cuencas de los ríos Grande, Mosquito y Garrapata como se muestran a continuación.

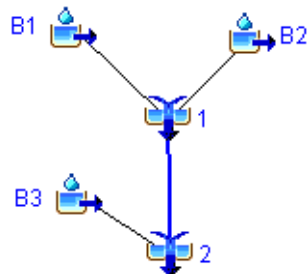
Red de drenaje río Garrapata



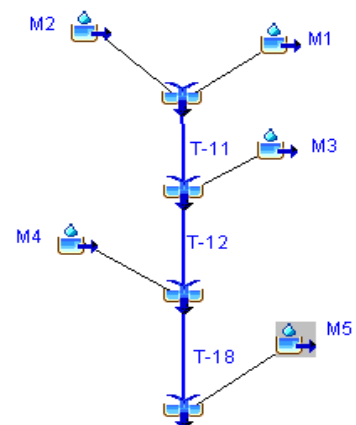
Red de drenaje río Grande (hasta la presa)



Red de drenaje estero Bejuco



Red de drenaje río Mosquito



### 3.3.1.2 CARACTERÍSTICAS FISIográfICAS DE LAS SUBCUENCAS.

Para poder realizar un modelo, se necesitan las características fisiográficas de cada subcuenca dentro del área de trabajo. A continuación se presenta una explicación más detallada de cada una y como se obtuvieron.

#### Área de la cuenca y longitud del cauce principal:

Ambas características fueron obtenidas de los planos.

#### Pendiente de la cuenca:

Para el cálculo de pendiente de una cuenca existen varios métodos. En este trabajo se ha utilizado el método de Alvord, que define a la pendiente como:

$$Sc = \frac{D}{A} \times \sum_{i=1}^n Li$$

Donde:

Sc = Pendiente de la cuenca analizada (Adimensional)

Li = Longitud de la curva de nivel "i" (km)

D = Desnivel entre 2 curvas de nivel consecutivas (km)

A = Área total de la cuenca (km<sup>2</sup>)

<b>CUENCA RIO GRANDE</b>			
<b>CUENCA</b>	<b>AREA</b>	<b>LONG. CAUCE</b>	<b>PENDIENTE</b>
	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>m</b>	<b>m/m</b>
<b>G1</b>	14.245	8549.09	0.493
<b>G2</b>	10.378	5109.80	0.514
<b>G3</b>	18.298	10226.32	0.453
<b>G4</b>	9.708	7892.76	0.441
<b>G5</b>	26.827	9787.78	0.449
<b>G6</b>	30.465	10451.26	0.325
<b>G7</b>	30.363	19075.71	0.417
<b>G8</b>	16.485	7073.21	0.360
<b>G9</b>	35.342	15213.97	0.319
<b>CUENCA RIO MOSQUITO</b>			
<b>CUENCA</b>	<b>AREA</b>	<b>LONG. CAUCE</b>	<b>PENDIENTE</b>
	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>m</b>	<b>m/m</b>
<b>M1</b>	26.545	8734.06	0.440
<b>M2</b>	18.688	6899.17	0.407
<b>M3</b>	23.507	6256.04	0.429
<b>M4</b>	29.698	9755.56	0.414
<b>M5</b>	14.012	10575.67	0.322
<b>CUENCA RIO GARRAPATA</b>			
<b>CUENCA</b>	<b>AREA</b>	<b>LONG. CAUCE</b>	<b>PENDIENTE</b>
	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>m</b>	<b>m/m</b>
<b>GA1</b>	31.686	10600.34	0.447
<b>GA2</b>	41.624	12773.86	0.483
<b>GA3</b>	27.455	11978.94	0.234
<b>GA4</b>	6.006	2716.09	0.554
<b>GA5</b>	5.886	3551.13	0.083
<b>GA6</b>	13.734	5668.89	0.151
<b>GA7</b>	14.932	4985.86	0.127
<b>GA8</b>	6.104	5627.06	0.112
<b>CUENCA ESTERO BEJUCO</b>			
<b>CUENCA</b>	<b>AREA</b>	<b>LONG. CAUCE</b>	<b>PENDIENTE</b>
	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>m</b>	<b>m/m</b>
<b>B1</b>	18.561	10258.44	0.287
<b>B2</b>	15.030	7121.29	0.276
<b>B3</b>	15.032	8503.75	0.218
<b>CUENCA RIO RANCHO VIEJO</b>			
<b>CUENCA</b>	<b>AREA</b>	<b>LONG. CAUCE</b>	<b>PENDIENTE</b>
	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>m</b>	<b>m/m</b>
<b>R1</b>	165.404	38038.29	0.178

***Tabla 3: Características de subcuencas***



### 3.3.2 LLUVIA DE DISEÑO

En la cuenca del río Chone existe una sola estación pluviográfica con registros de una duración superior a los 20 años. Por lo que se ha utilizado esa información para, mediante un análisis estadístico, determinar la precipitación máxima diaria para la frecuencia de 100 y 200 años. Con estos valores se procedió a determinar las ecuaciones pluviométricas, para estas frecuencias, a partir de la calculada en el Estudio de Lluvias Intensas, por el INAMHI, para la estación M162- CHONE. Los valores históricos empleados para el análisis de información se presentan a continuación.

AÑO	ALTURA LLUVIA 24 HORAS
	mm
1968	36
1969	64.8
1970	76.8
1971	76.8
1994	60
1996	51.1
1997	133.2
1998	144
1999	100.08
2000	58
2001	140.6
2002	73.9
2003	58.1
2004	99.4
2005	77.3
2006	112.3
2007	81.4
2008	55.4
2009	53.9
2011	60.1

***Tabla 4: Valores históricos de lluvias máximas de 24 horas de Chone***

Utilizando un software para análisis de información, se determinó que el mejor ajuste se consigue mediante el método de los momentos mediante la distribución Log normal.

log normal		
TR (Años)	ALTURA (mm)	Idtr (mm/h)
20	137.28	5.72
50	159.84	6.66
100	177.12	7.38
200	194.4	8.1

**Tabla 5: Valores de intensidad media de una lluvia de 24 horas**

Las ecuaciones pluviométricas propuestas en el Estudio de Lluvias Intensas del INAMHI son.

Para un "t"	Ecuación
5 min < 40 min	$i = \left(\frac{43.903}{t^{0.2787}}\right) \times Idtr$
40 min < 1440 min	$i = \left(\frac{269.56}{t^{0.7759}}\right) \times Idtr$

**Tabla 6: Ecuaciones del INAMHI para estación M162-Chone**

Donde:

t = tiempo de concentración (min)

i = intensidad de la lluvia (mm/h)

Idtr = intensidad media de una lluvia de 24 horas (mm/h)

### **3.3.2.1 HIETOGRAMA DE DISEÑO**

Un hietograma representa la variación temporal de una lluvia de cualquier duración. En el país no existen estudios, basados en registros históricos que definan una tendencia, que permita elaborar hietogramas a ser empleados en estudios hidrológicos. Se ha analizado el método de los bloques alternos de Ven Te Chow; el estudio de distribución temporal de lluvias intensas realizado por Huff y se elaboró un hietograma medio a partir de hietogramas históricos, de la estación de Chone, preparados por el Ing. Antonio Dorigo en su trabajo de graduación.

Es importante destacar la alta incidencia que tiene en la generación de los hidrogramas la forma y duración del hietograma. Mientras mas tarde se presente el pico del hietograma más bajos será el caudal máximo generado por este.

### **3.3.2.2 MÉTODO DE LOS BLOQUES ALTERNOS**

El método de los bloques alternos utiliza las ecuaciones pluviométricas para elaborar hietogramas sintéticos. Los pasos a seguir son los siguientes:

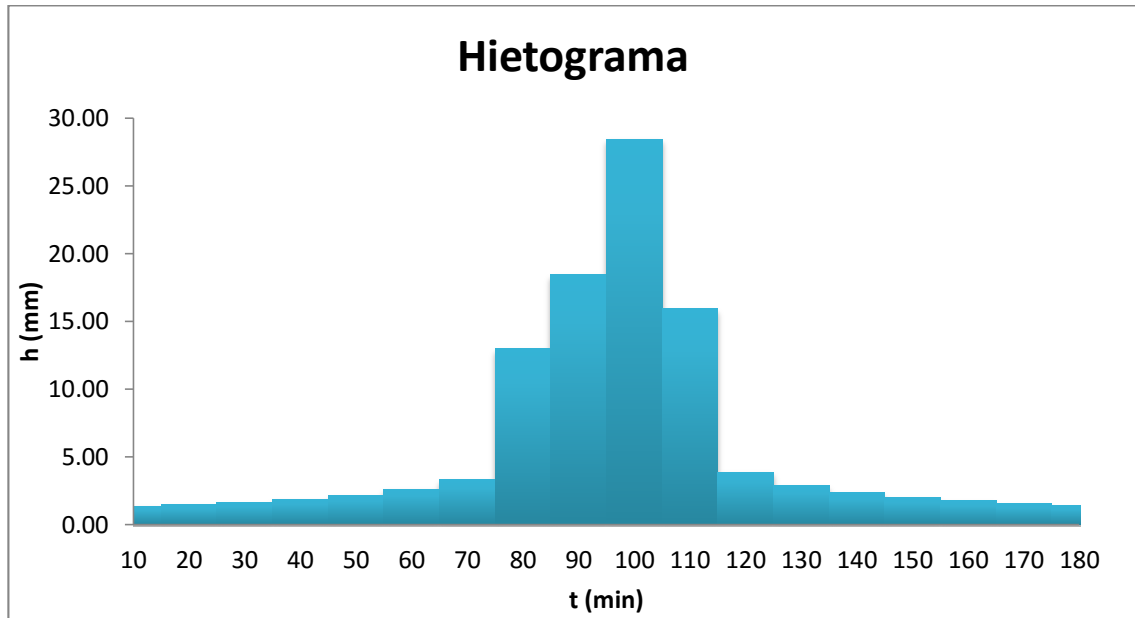
1. Se definen: ecuación pluviométrica y duración de la tormenta (D).
2. Se selecciona un intervalo ( $\Delta t$ )
3. Se calcula la intensidad de la lluvia para duraciones,  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ ,  $n\Delta t$ , hasta completar la duración de la tormenta.
4. Se calcula la altura de la lluvia para cada duración a partir de la intensidad para cada duración.
5. Se calcula el incremento de las alturas de lluvia ( $\Delta h$ ) para las duraciones parciales.
6. Se orden los incrementos ( $\Delta h$ ). El orden con el que se ubiquen los incrementos definirá la forma del hietograma.

Se ordenaron de tal forma que el hietograma presente un pico cerca de la mitad de la duración de la tormenta. Lo anterior significa que el hietograma representa una lluvia que se inicia con baja intensidad, la que se va incrementando hasta llegar a un máximo en un tiempo aproximadamente igual a la mitad de la duración y luego empieza a descender. Debe indicarse que la forma del hietograma incide de manera muy importante en el resultado de la modelación hidrológica.

A continuación se presenta la tabla obtenida para una lluvia de 3 horas, con intervalos de 10 minutos y un periodo de retorno de 100 años.

CHONE						
5 min < 40 min		$i = \frac{43.903}{t^{0.2787}} \times Id_{TR}$		40 min < 1440 min		$i = \frac{269.56}{t^{0.7759}} \times Id_{TR}$
ITR (mm/h) = 7.38						
t	i	h	incremento	alternados	acumulado	adimensional
min	mm/h	mm				
10	170.55	28.42	28.42	1.35	1.35	0.013
20	140.59	46.86	18.44	1.48	2.84	0.027
30	125.57	62.78	15.92	1.65	4.49	0.042
40	113.68	75.78	13.00	1.87	6.36	0.060
50	95.61	79.67	3.89	2.17	8.53	0.080
60	82.99	82.99	3.32	2.61	11.14	0.105
70	73.64	85.91	2.92	3.32	14.46	0.136
80	66.39	88.52	2.61	13.00	27.47	0.259
90	60.59	90.89	2.37	18.44	45.90	0.432
100	55.84	93.06	2.17	28.42	74.33	0.700
110	51.86	95.07	2.01	15.92	90.25	0.850
120	48.47	96.94	1.87	3.89	94.14	0.887
130	45.55	98.70	1.75	2.92	97.05	0.914
140	43.01	100.35	1.65	2.37	99.42	0.936
150	40.76	101.91	1.56	2.01	101.43	0.955
160	38.77	103.40	1.48	1.75	103.18	0.972
170	36.99	104.81	1.41	1.56	104.75	0.987
180	35.39	106.16	1.35	1.41	106.16	1.000

**Tabla 7: Método de los bloques alternos para una duración de lluvia de 3 horas y un periodo de retorno de 100 años**



**Imagen 7: Hietograma de la tormenta**

*Nota:* en los anexos se presentan las tablas con el método de los bloques alternos realizado para:

- 100 años de periodo de retorno y 3 horas de duración.
- 100 años de periodo de retorno y 6 horas de duración.
- 200 años de periodo de retorno y 3 horas de duración.
- 200 años de periodo de retorno y 6 horas de duración.

### **3.3.2.3 MÉTODO DE HUFF**

Huff a partir de información registrada en un punto y en cuencas de hasta 1036 km<sup>2</sup> en Illinois y en el Medio Oeste, definió tendencias de la distribución de la precipitación a lo largo del tiempo. La información la presentó en forma de familias de curva, derivadas para grupos de tormentas, clasificadas como de primer, segundo, tercer o cuarto cuartil, dependiendo del cuartil que presenta el mayor porcentaje de lluvia acumulada.

Huff elaboró para cada tipo de tormenta (cuartil) curvas con diversas probabilidades de ocurrencia, en rangos que van del 10 al 90%. Huff también elaboró una curva media a partir de la combinación de 261 tormentas de la red central de Illinois, sin embargo las curvas para los diversos cuartiles y probabilidades de ocurrencia pueden permitir al usuario analizar situaciones más extremas de escurrimiento, en la cuenca debido a la distribución de la tormenta.

Tiempo acumulado %	Precipitación Acumulada %			
	Primer cuartil	Segundo cuartil	Tercer cuartil	Cuarto cuartil
5	12	3	2	2
10	25	6	5	4
15	38	10	8	7
20	51	14	12	9
25	62	21	14	11
30	69	30	17	13
35	74	40	20	15
40	78	52	23	18
45	81	63	27	21
50	84	72	33	24
55	86	78	42	27
60	88	83	55	30
65	90	87	69	34
70	92	90	79	40
75	94	92	86	47
80	95	94	91	57
85	96	96	94	74
90	97	97	96	88
95	98	98	98	95
100	100	100	100	100

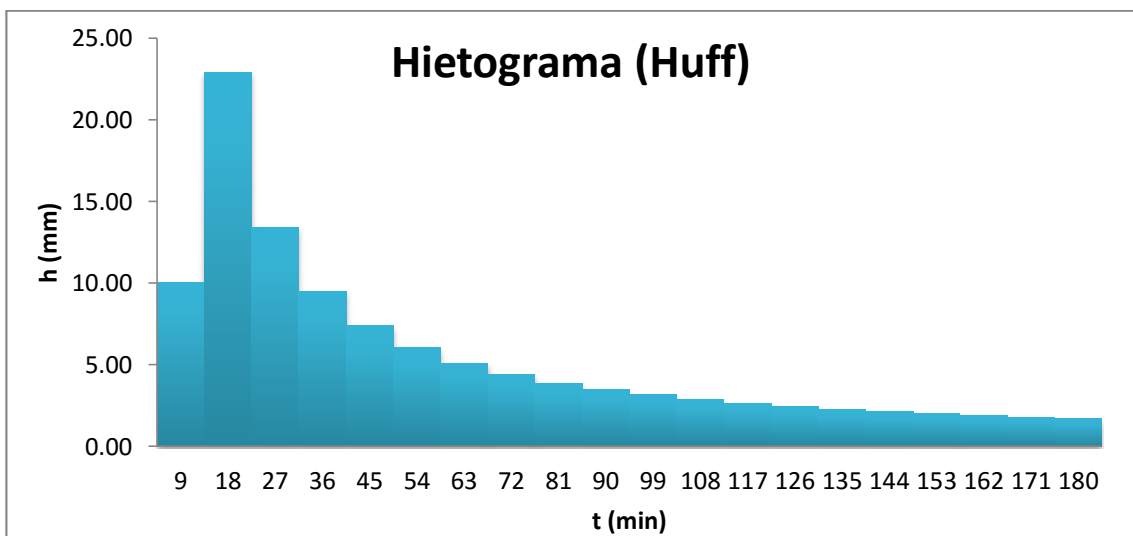
**Tabla 8: Hietogramas adimensionales medios en áreas de 25 a 130 km<sup>2</sup>**

**Tomado: Libro Time Distribution of Heavy Rainstorms in Illinois.**

Lluvia total 106

Tiempo (%)	Intensidad (%)	Tiempo (min)	h (mm)		
			Acumulado	ajustado a curva	Incremento
0	0	0	0	0	0
5	12	9	12.72	10.05	10.05
10	25	18	26.50	32.96	22.92
15	38	27	40.28	46.37	13.40
20	51	36	54.06	55.88	9.51
25	62	45	65.72	63.26	7.38
30	69	54	73.14	69.28	6.03
35	74	63	78.44	74.38	5.10
40	78	72	82.68	78.79	4.41
45	81	81	85.86	82.69	3.89
50	84	90	89.04	86.17	3.48
55	86	99	91.16	89.32	3.15
60	88	108	93.28	92.20	2.88
65	90	117	95.40	94.85	2.65
70	92	126	97.52	97.30	2.45
75	94	135	99.64	99.58	2.28
80	95	144	100.70	101.71	2.13
85	96	153	101.76	103.71	2.00
90	97	162	102.82	105.60	1.89
95	98	171	103.88	107.39	1.79
100	100	180	106.00	109.09	1.70

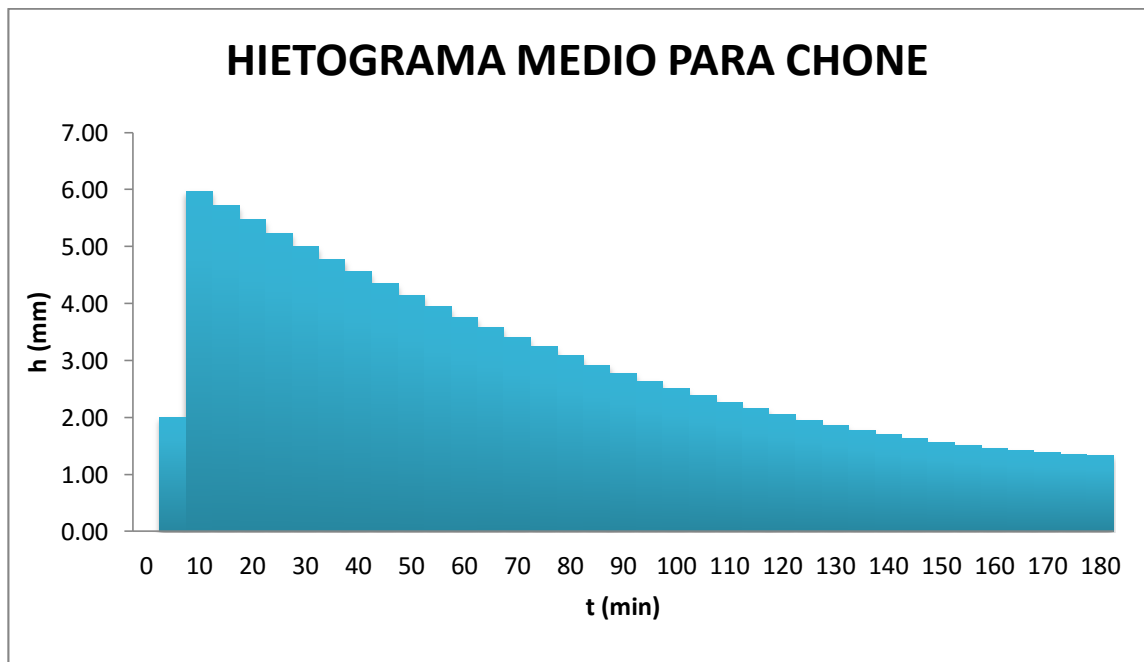
**Tabla 9:** *Hietograma por el método de Huff para primer cuartil*



**Imagen 8:** *Hietograma por el método de Huff*

### 3.3.2.4 HIETOGRAMA MEDIO HISTÓRICO PARA CHONE

Para determinar el hietograma medio histórico, se promediaron alrededor de 90 hietogramas registrados en la estación M162 ubicada en la ciudad de Chone. Se seleccionaron los tramos más intensos para duraciones 3 y 6 horas, dentro de hietogramas de 24 horas de duración.



**Imagen 9: Hietograma medio para Chone**

*Nota: El hietograma de 6 horas se presenta en los anexos.*



lluvia total	106.16
--------------	--------

t (min)	h (mm)	
	acumulado	incremento
0	0.00	0.00
5	2.00	2.00
10	7.97	5.97
15	13.68	5.71
20	19.15	5.47
25	24.38	5.23
30	29.38	5.00
35	34.16	4.78
40	38.72	4.56
45	43.07	4.35
50	47.22	4.15
55	51.17	3.95
60	54.93	3.76
65	58.51	3.58
70	61.92	3.41
75	65.16	3.24
80	68.24	3.08
85	71.16	2.92
90	73.94	2.78
95	76.58	2.64
100	79.08	2.51
105	81.46	2.38
110	83.72	2.26
115	85.87	2.15
120	87.92	2.05
125	89.87	1.95
130	91.72	1.86
135	93.50	1.77
140	95.20	1.70
145	96.83	1.63
150	98.39	1.57
155	99.91	1.51
160	101.37	1.46
165	102.79	1.42
170	104.18	1.39
175	105.54	1.36
180	106.88	1.34

***Tabla 10: Hietograma medio de 3 horas para Chone***

### 3.3.3 ESCURRIMIENTO DIRECTO

El escurrimiento directo llamado también lluvia efectiva o exceso de precipitación, es la parte de la precipitación que no queda retenida en la superficie del suelo y que tampoco se infiltra. La lluvia en exceso escurre por la superficie del suelo transformándose en lo que se conoce como escurrimiento superficial. La diferencia entre la lluvia total y la lluvia efectiva se denomina pérdida, y debe ser estimada de alguna forma para elaborar el hietograma que generará el hidrograma del escurrimiento superficial. El método para estimar la pérdidas, más conocido y utilizado es el del National Resource Conservation Service (NRCS), antes llamado Soil Conservation Service (S.C.S).

#### 3.3.3.1 MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA DEL S.C.S.

El SCS desarrollo un método para calcular las pérdidas de precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación  $P_e$  es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación  $P$ ; de manera similar después que la escorrentía se inicia la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca  $F_a$  es menor o igual a alguna retención potencial máxima  $S$ . Existe una cierta cantidad de precipitación  $I_a$  (pérdida inicial antes del encharcamiento) para lo cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es  $P - I_a$ . La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, esto es

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Del principio de continuidad

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Combinando y resolviendo para P, se encuentra

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Que es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad del exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método del SCS. (Chow, 1994)

En estudios realizados en muchas cuencas experimentales pequeñas, en los Estados Unidos de Norte América, el SCS determino la relación empírica siguiente

$$I_a = 0.2 S$$

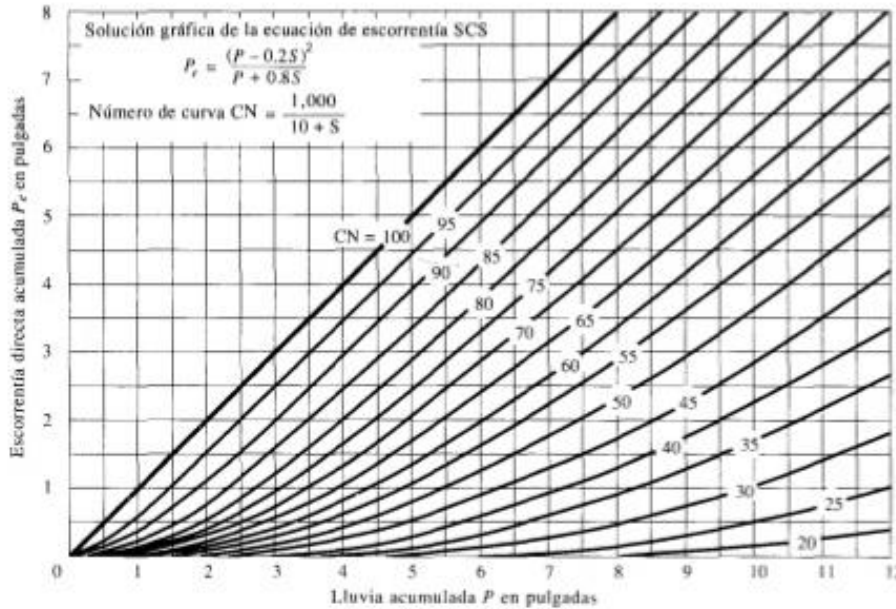
Con lo cual la fórmula de la precipitación efectiva queda como

$$Pe = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S}$$

En investigaciones que realizó el SCS en muchas cuencas, se graficó la relación P contra Pe y se obtuvieron graficas como las que se presentan a continuación donde se determinó lo que se llamó CN (Numero de curva con sus siglas en ingles). El número de curva y la retención potencial quedan relacionados de la siguiente forma:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

S = Retención potencial en mm.



**Imagen 10: Solución gráfica de la ecuación de escorrentía SCS**

**Tomado: Hidrología aplicada, Ven Te Chow (1994)**

Los números de curva son una función de lo que se denomina grupo hidrológico de suelo y del uso del suelo. Para mayor información sobre este tema se puede revisar la literatura técnica donde se presentan tablas con números de curva para suelos de diferentes características y cobertura vegetal.

El número de curva que se presenta en las tablas, es el que se denomina CNII para condiciones medias de humedad antecedente.

Para condiciones secas (CNI) y para condiciones húmedas (CNIII) los números de curva se calculan a partir del CNII mediante las siguientes fórmulas:

$$CN(I) = \frac{4.2 \text{ CN}(II)}{10 - 0.058 \text{ CN}(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \text{ CN}(II)}{10 - 0.13 \text{ CN}(II)}$$

Para calcular los hietogramas efectivos es necesario determinar la distribución temporal de las perdidas, ya que las fórmulas anteriores permiten estimar la pérdida total y la lluvia efectiva a partir de la precipitación total y del número de curva. Las pérdidas temporales se pueden calcular utilizando la pérdida subsecuente que se estima con la siguiente formula:

$$F_a = \frac{S (P - I_a)}{P - I_a + S}$$

Al ser este método (SCS-CN) simple y bien establecido, se ha vuelto uno de los métodos más populares. Una de las ventajas es que incorpora muchos de los factores que afectan al escurrimiento superficial en un solo parámetro. Sin embargo los problemas que tiene es que no considera el impacto de la intensidad de lluvia, y es muy sensible a cambios en el parámetro CN.

El CN es un valor adimensional que va en el rango de 0 a 100. Normalmente este factor se lo trabaja con valores que varían entre 40 y 98. Mientras mayor sea el valor de CN se considera menos permeable el suelo.

Como no hay información ni registros suficientes para determinar de manera precisa este valor de CN, se optó por un valor de 75 para todas la subcuencas, considerando el uso del suelo, y que las cuencas estudiadas en esta parte se encuentran en las zonas altas y no en las zonas urbanizadas del sector.

### **3.3.4 HIDROGRAMAS**

Un hidrograma es la representación gráfica del escurrimiento con respecto al tiempo. El hidrograma tiene implícito en su forma y volumen las características fisiográficas de la cuenca y la forma e intensidad de la lluvia. Para el diseño de las obras hidráulicas es necesario el conocimiento de los hidrogramas en

secciones de interés y resulta muy difícil contar, en la mayoría de los casos, con esta información. Esta situación, ha llevado a especialistas e investigadores a desarrollar modelos sintéticos de hidrogramas a partir de las características fisiográficas de las cuencas.

En 1932 Sherman propuso el primer hidrograma unitario que fue conocido como gráfico unitario. Se define al hidrograma unitario como el hidrograma del escurrimiento superficial generado por una lluvia efectiva de altura unitaria distribuido de manera uniforme en el tiempo y en el espacio.

Después de Sherman otros investigadores han desarrollado hidrogramas unitarios, entre los que se puede mencionar a Clark, Snyder, Mockus (S.C.S), Oakes, y otros.

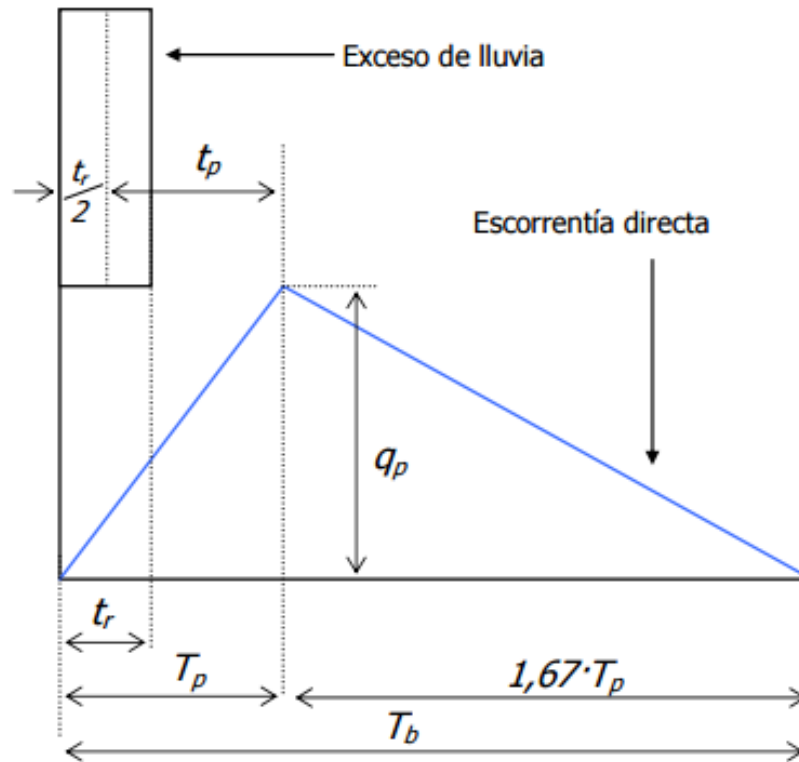
Se ha utilizado el método del Soil Conservation Service (S.C.S).

#### **3.3.4.1 HIDROGRAMA S.C.S.**

Este hidrograma fue desarrollado en los años 50, a partir de observaciones en un gran número de cuencas de diversas extensiones y localizadas en Estados Unidos.

En el hidrograma unitario el caudal se expresa como la relación  $q/q_p$  (caudal sobre caudal pico), y el tiempo se expresa como la relación  $t/t_p$  (tiempo sobre tiempo pico). Los valores  $t_p$  y  $q_p$  se pueden calcular por medio de un hidrograma unitario triangular, que es función del área de la cuenca y de su tiempo de retardo  $t_p$ .

El valor del tiempo de recesión puede ser considerado como  $1.67 T_p$ , esto ha sido determinado por el S.C.S por medio de observaciones a un gran número de hidrogramas unitarios. (Chow. et al. 1994).



**Imagen 11: Hidrograma unitario del S.C.S**

El caudal pico se puede estimar como:

$$q_p = \frac{C \cdot A}{T_p}$$

Siendo

$C = 2.08$

$A = \text{área de la cuenca. km}^2$ .

El tiempo de pico:

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p$$

Siendo

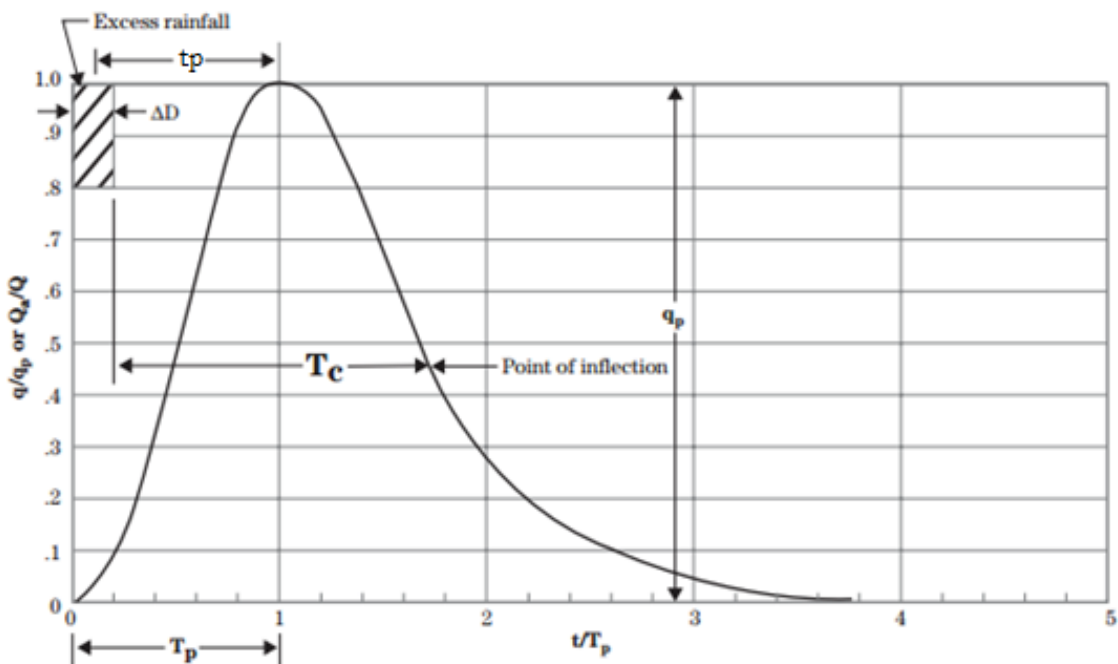
$t_r$  = duración de la lluvia efectiva o neta.

$t_p$  = tiempo de retardo.

### 3.3.4.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración ( $T_c$ ) es el tiempo requerido para que el escurrimiento viaje desde el punto hidráulicamente más lejano en la cuenca hasta la salida de esta. El punto hidráulicamente más distante es el que tiene el tiempo de viaje más largo hasta la salida de la cuenca.

El tiempo de retardo ( $t_p$ ) o Lag ( $L$ ) es el tiempo que existe entre el centro de masa de la tormenta y a ocurrencia del pico del escurrimiento.



**Imagen 12: Relación entre tiempo de concentración y retardo**

**Tomado: National Engineering Handbook, NRCS (2010)**



Varios investigadores, entre ellos Mockus en (1957) y Simas (1996) encontraron que en promedio en cuencas el tiempo de retardo ( $t_p$ ) es

$$t_p = 0.6 T_c$$

Muchos investigadores a través de estudios realizados en cuencas en los Estados Unidos, han determinado modelos para calcular el tiempo de concentración, entre otros se pueden nombrar:

- **Natural Resource Conservation Service (NRCS).** Mockus en 1961 usando información de 24 cuencas con áreas que variaban entre 0.05 y 23.8 km<sup>2</sup> desarrollo la siguiente expresión.

$$t_c = \frac{0.136 L_c^{0.8} \left[ \left( \frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{S_c^{0.5}}$$

Donde:

$L_c$  = Longitud del cauce principal (m)

$CN$  = Número de curva

$S_c$  = Pendiente de la cuenca (m/m).

Luego Folmar y Miller (2000) revisaron la ecuación usando información adicional y llegaron a la conclusión de que esta fórmula puede ser aceptable en cuencas de hasta 49 km<sup>2</sup> aproximadamente.

- **Ecuación de Kirpich (1940).** Para desarrollar esta ecuación Kirpich estudio 7 cuencas de drenes bien definidos y pendientes pronunciadas, ubicadas en una granja en Tennessee. El área de drenaje para esta ecuación tiene un rango de 0.5 a 45.3 ha.

$$Tc = 0.01947 x L^{0.77} x S^{-0.385}$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración (min)

L = longitud del cauce principal (m)

S = pendiente media del cauce (m/m)

- **Ecuación de Kerby (1959).** Esta ecuación fue desarrollada para cuencas pequeñas y cuyo cauce principal no sea mayor a 305 m. aproximadamente. (1000 pies).

$$Tc = \frac{0.606 (Ln)^{0.467}}{S^{0.234}}$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración (h)

L = longitud del cauce principal (km)

S = pendiente media del cauce (m/m)

n = coeficiente de rugosidad de Manning

- **Ecuación de Sheridan (1994).** Para determinar esta expresión se estudiaron 9 cuencas en zonas planas localizadas en Georgia y Florida, con tamaños que iban desde 2.62 a 334.34 km<sup>2</sup>. Se realizó un análisis de regresión para determinar cuál característica de la cuenca tenía mayor peso en la definición del tiempo de concentración. La ecuación que se obtuvo se presenta a continuación.

$$T_c = 2.20 l^{0.92}$$

Donde:

T<sub>c</sub> = tiempo de concentración (h)

l = longitud del cauce principal (km)

*Esta ecuación tiene un coeficiente de correlación (R<sup>2</sup>) del 96 por ciento.*

*Nota: La expresión original de las formulas está en Unidades Inglesas. Se las ha transformado al Sistema Internacional.*

Se optó por utilizar la fórmula del NRCS, ya que como se indicó en las limitaciones es un método aceptable para cuencas con áreas menores a 49 km<sup>2</sup>, y ninguna de las 19 subcuencas que se van a analizar sobrepasan este valor. Como dato adicional y a manera de comparación se calculó también el tiempo de concentración por la ecuación de Kirpich. Estos valores se muestran en la tabla 10.

CUENCA	SCS		kirpich	
	Tc	tp	Tc	tp
	min	min	min	min
<b>G1</b>	75.62	45.37	67.03	40.22
<b>G2</b>	49.05	29.43	42.30	25.38
<b>G3</b>	90.99	54.59	82.29	49.37
<b>G4</b>	75.00	45.00	63.14	37.89
<b>G5</b>	88.30	52.98	73.62	44.17
<b>G6</b>	109.37	65.62	92.28	55.37
<b>G7</b>	156.18	93.71	158.48	95.09
<b>G8</b>	75.99	45.59	63.59	38.15
<b>G9</b>	149.03	89.42	157.51	94.51
<b>M1</b>	81.38	48.83	72.10	43.26
<b>M2</b>	70.11	42.07	60.49	36.29
<b>M3</b>	63.13	37.88	57.33	34.40
<b>M4</b>	91.71	55.03	84.72	50.83
<b>M5</b>	110.80	66.48	83.99	50.39
<b>GA1</b>	94.24	56.55	80.72	48.43
<b>GA2</b>	105.26	63.16	103.54	62.12
<b>GA3</b>	143.66	86.20	120.44	72.27
<b>GA4</b>	28.48	17.09	97.08	58.25
<b>GA5</b>	51.37	30.82	43.48	26.09
<b>GA6</b>	98.47	59.08	78.10	46.86
<b>GA7</b>	96.60	57.96	84.03	50.42
<b>GA8</b>	113.72	68.23	89.45	53.67
<b>B1</b>	114.59	68.75	115.907	69.54
<b>B2</b>	87.28	52.37	70.095	42.06
<b>B3</b>	113.19	67.91	91.297	54.78
<b>R1</b>	415.30	249.18	417.845	250.71

**Tc:** Tiempo de concentracion

**tp:** Tiempo de retardo

***Tabla 11: Tiempo de concentración y retardo por el método del SCS y por el de Kirpich***

### 3.3.5 TRÁNSITO DE AVENIDAS

El tránsito de avenidas es un procedimiento matemático que predice el cambio de magnitud, velocidad y forma de una onda de creciente como función del tiempo en uno o más puntos a lo largo de un río (Maidment, 1993). Con este método se puede predecir los niveles de crecida, el volumen del agua y el desarrollo temporal del flujo.

Los métodos empleados se clasifican en hidrológicos e hidráulicos. Los hidrológicos son aquellos que utilizan la ecuación de la conservación de la masa, y una relación entre el almacenamiento temporal y la descarga, en el cauce o en el reservorio. Los métodos hidráulicos utilizan además del principio de conservación de la masa, el de la conservación del momentum.

Los métodos hidrológicos más utilizados son el Muskingum y Muskingum Cunge, los mismos que se describen a continuación.

#### 3.3.5.1 MÉTODO MUSKINGUM

Este método fue desarrollado en la década de los 30, para el diseño de obras de protección contra inundaciones en el río Muskingum, Ohio. (Ponce, 1994). Este método se basa en 2 ecuaciones, la primera es la ecuación de continuidad (conservación de masa).

$$\frac{(I_{i-1} + I_i)}{2} \Delta t - \frac{(O_{i-1} + O_i)}{2} \Delta t = S_i - S_{i-1}$$

Esta ecuación propone que la diferencia entre el flujo que entra y sale es igual al cambio de almacenamiento.

El almacenamiento S en un tramo del río puede descomponerse en:

- Almacenamiento en prisma que es proporcional al caudal de salida ( $O$ ).

- Almacenamiento en cuña que es función de la diferencia entre el caudal de entrada y el de salida.  $(I - O)$

$$S_{prisma} = K O$$

$$S_{cuña} = b (I - O)$$

Donde:

S = almacenamiento del cauce ( $m^3/s$ )

K = constante para ese tramo de cauce referente al almacenamiento en prisma

I = caudal de entrada ( $m^3/s$ )

O = caudal de salida ( $m^3/s$ )

b = constante para ese tramo de cauce referente al almacenamiento en cuña.

Sumando las dos expresiones anteriores, se obtiene:

$$\begin{aligned} S &= S_{cuña} + S_{prisma} \\ &= K O + b(I - O) = b I + (K - b)O = \\ &= K \left[ \frac{b}{K} I + \frac{(K - b)}{K} O \right] = K \left[ \frac{b}{K} I + \left( 1 - \frac{b}{K} \right) O \right] \end{aligned}$$

Si denominamos X a la relación b/K se obtiene:

$$S = K[X I + (1 - X)O]$$

(Sánchez, 2013)

Combinando ambas ecuaciones y simplificando se obtienen las siguientes ecuaciones (Ponce 1981; Linsley, Kohler y Paulus 1982).

$$O_i = C_1 I_{i-1} + C_2 I_i + C_3 O_{i-1}$$

Donde:

$$C_1 = \frac{\left[\left(\frac{\Delta t}{K}\right) + 2X\right]}{C_0}$$

$$C_2 = \frac{\left[\left(\frac{\Delta t}{K}\right) - 2X\right]}{C_0}$$

$$C_3 = \frac{\left[2(1 - X) + \frac{\Delta t}{K}\right]}{C_0}$$

$$C_0 = \left(\frac{\Delta t}{K}\right) + 2(1 - K)$$

Donde  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  son coeficientes adimensionales y la suma de  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  es igual a 1.

El valor de  $X$  va entre 0.0 y 0.5, siendo 0 un valor para generar máxima atenuación y 0.5 mínima atenuación. El valor de  $X$  es difícil de estimar.

### 3.3.5.2 MÉTODO MUSKINGUM CUNGE

Cunge (1969) desarrollo ecuaciones para determinar  $K$  y  $X$ , a partir de las características propias del tramo del río en análisis. Estos valores se obtienen de las siguientes fórmulas:

$$K = \frac{\Delta x}{c}$$

$$X = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{Q}{B S_o c \Delta x} \right)$$

Donde:

$\Delta x$  = longitud del tramo del cauce considerado

$c$  = “celeridad” = velocidad media. m.

$m$  = aproximadamente 5/3 para cauces naturales amplios.

$S_0$  = pendiente media del cauce (adimensional)

$Q$  = caudal

$B$  = anchura del cauce.

La correcta aplicación de este método requiere elegir correctamente  $\Delta x$  y  $\Delta t$ . Para ellos se divide el tramo estudiado en subtramos, de modo que el caudal de salida de uno de ellos será el caudal de entrada del siguiente. (Sánchez, 2013).

### 3.3.6 TRÁNSITO EN EL EMBALSE

Para el tránsito en el embalse se parte de la ecuación general del tránsito

$$\frac{(I_{i-1} + I_i)}{2} - \frac{(O_{i-1} + O_i)}{2} = \frac{S_i - S_{i-1}}{\Delta t}$$

Llevando las incógnitas a la izquierda:

$$\left(\frac{2S_i}{\Delta t} + O_i\right) = (I_{i-1} + I_i) + \left(\frac{2S_{i-1}}{\Delta t} - O_{i-1}\right)$$

En cada incremento de tiempo, los valores de la parte derecha son conocidos y se calcula el valor  $\left(\frac{2S_i}{\Delta t} + O_i\right)$ .

Finalmente a partir de  $\left(\frac{2S_i}{\Delta t} + O_i\right)$  se obtiene un valor de  $O_i$  utilizando un gráfico, tabla o ecuación que relacione  $O$  con el grupo  $\left(\frac{2S}{\Delta t} + O\right)$ . Por lo que es necesario elaborar previamente dicha relación, que se consigue a través de estas otras dos:

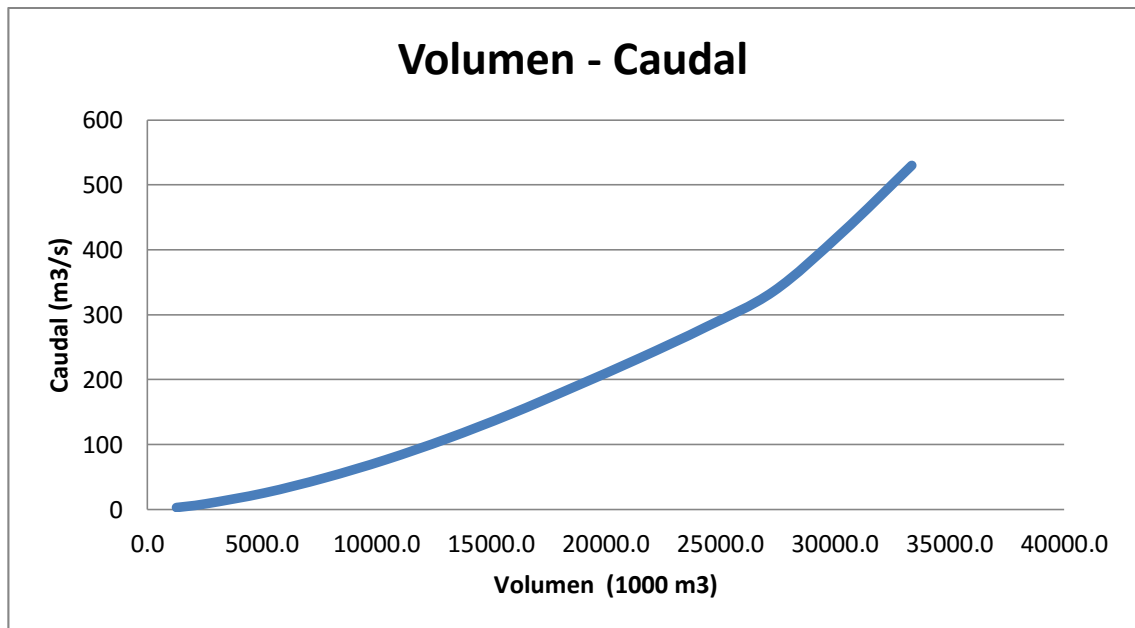
- Variación del caudal de salida con la altura de embalse



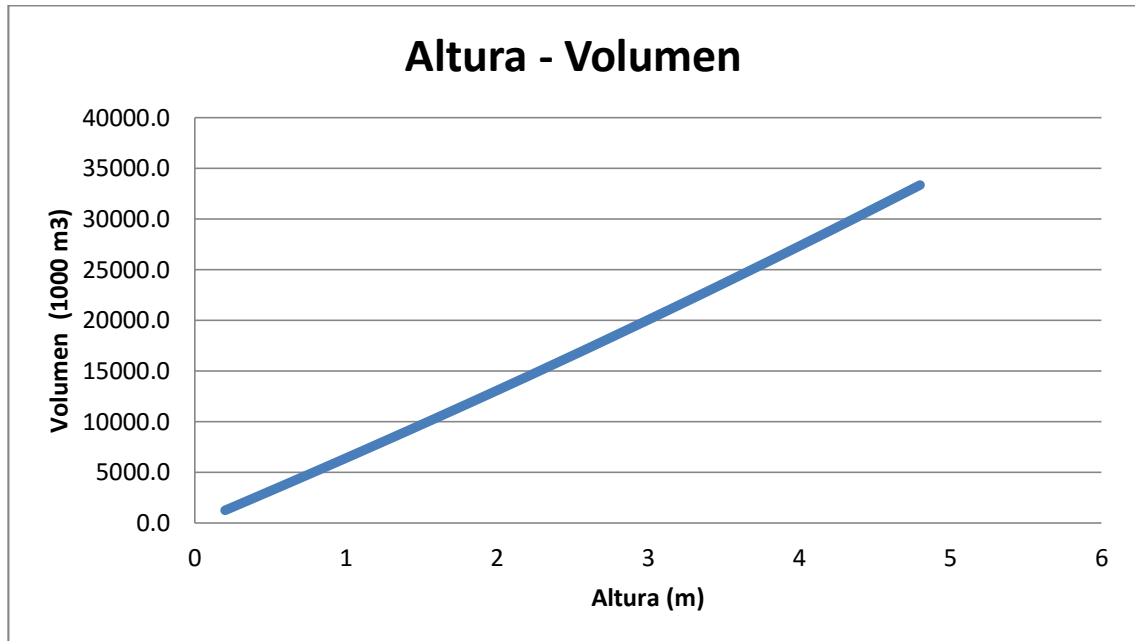
- Variación del volumen almacenado con la altura del embalse.  
(Sánchez, 2013).

H	Volumen	Q
m	1000 m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s
		0
0.2	1261.5	3.01
0.4	2533.6	8.71
0.8	5109.2	25.54
1.2	7726.7	48.59
1.6	10386.3	76.50
2	13087.9	109.29
2.4	15835.1	146.79
2.8	18631.3	188.91
3.2	21476.7	233.21
3.6	24371.1	281.14
4	27314.6	336.00
4.4	30307.2	426.40
4.8	33348.9	530.02

**Tabla 12:** Tabla de valores para curvas "Altura-Volumen" y "Volumen – Caudal" para el vertedor de la presa del río Grande



**Imagen 13:** Curva Volumen – Caudal del vertedor de la presa del río Grande.



***Imagen 14: Curva Altura – Volumen del vertedor de la presa del río Grande***

Estas curvas fueron obtenidas del *Estudio Hidrológico para la generación de hidrogramas del escurrimiento superficial de la cuenca del río Grande, a la altura de la presa del mismo nombre*, realizado por el Ing. Miguel Cabrera.

### **3.4 TRÁNSITO HIDRÁULICO**

Las leyes físicas que gobiernan el flujo del agua en una corriente son:

- El principio de conservación de la masa (ecuación de continuidad)
- El principio de conservación del momentum

En un régimen no permanente y unidimensional, los principios anotados anteriormente se expresan matemáticamente de la siguiente forma:

Continuidad

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0$$

Estas ecuaciones se conocen como las ecuaciones de Saint-Venant en forma conservativa.

### 3.4.1 MODELO MATEMÁTICO DEL FLUJO EN RÉGIMEN NO PERMANENTE (HEC RAS)

Para el tránsito de las crecientes en régimen no permanente en el presente trabajo se ha utilizado el programa HEC RAS. Las ecuaciones de continuidad y de momentum que utiliza el programa son:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A_T}{\partial t} - q_1 = 0$$

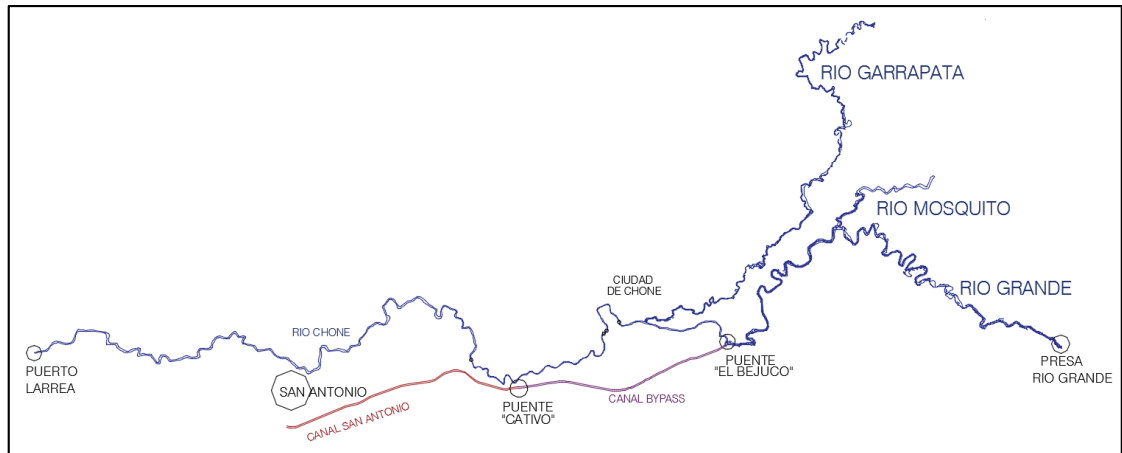
Donde  $q_1$  es el flujo que ingresa de forma lateral

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

Estas ecuaciones son resueltas por un esquema implícito de 4 puntos, también conocido como esquema de cajón. Para mayor información sobre este particular se puede revisar el manual de referencia hidráulica del HEC RAS.

### 3.4.2 MODELO EN HEC RAS

Para realizar la modelación en el HEC RAS es necesario ingresar la geometría de los tramos a analizar. En la imagen 13 se muestra los tramos de los ríos que han sido modelados.



***Imagen 15: Esquema de tramos analizados en el modelo del HEC RAS***

### **3.4.2.1 GEOMETRÍA**

La geometría de los cauces se obtuvo de levantamientos de secciones transversales de todos los ríos. Los levantamientos topográficos utilizados corresponden a trabajos efectuados en diversas fechas y por diferentes profesionales.

Los tramos de los ríos Mosquito y Grande desde la sección donde se inicia la simulación hasta el puente de El Bejuco y el río Garrapata desde el inicio de la simulación hasta su desembocadura en el río Chone corresponden a un levantamiento que fue proporcionado por SENAGUA.

Los tramos del río Chone desde el Puente El Bejuco hasta 6.6 km aguas abajo, y desde ese punto hasta Puerto Larrea corresponden a dos levantamientos efectuados por CORPECUADOR para propósitos de dragado. Se consideró la sección propuesta para el dragado.

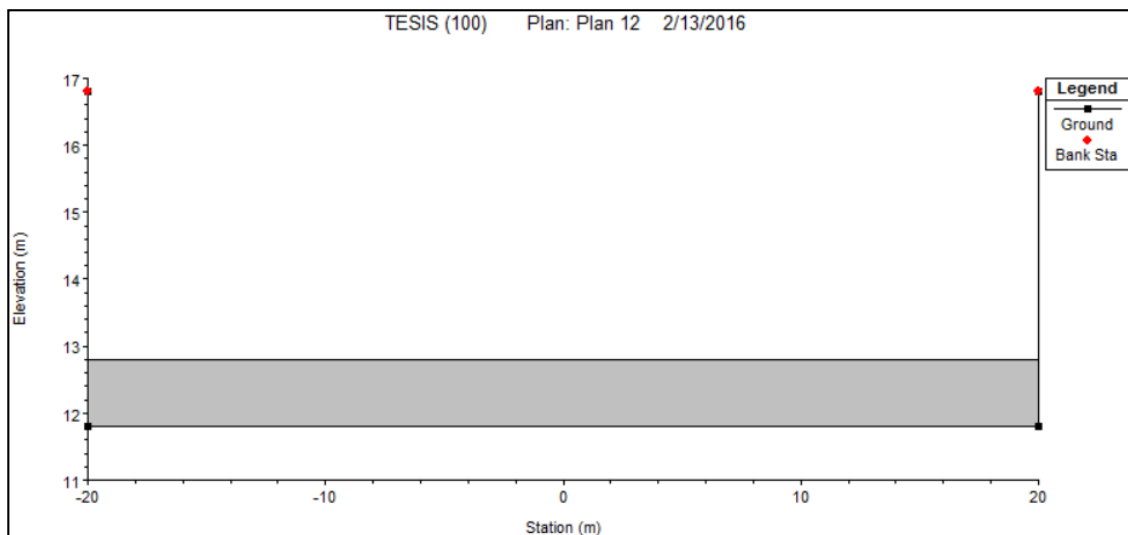
Para el canal Bypass desde el puente de El Bejuco hasta el puente Cativo se consideró la sección y pendiente de los diseños elaborado por la Asociación ASTEC-HIDROESTUDIOS en 1999.

Desde el puente Cativo hasta la vía Bypass San Antonio se utilizó la sección y pendiente de diseño, proporcionado por Senagua.

Los tramos considerados en la simulación hidráulica forman parte de la cuenca baja de la red fluvial y cruzan por llanuras que se inundan. Las secciones transversales no incluyen las llanuras de inundación por lo que a falta de esta información se prolongaron los bancos hasta tener anchos promedios de 350 m.

Al inicio del Bypass se colocó el vertedor de 40 m. de longitud, con una cota de cresta de 12.80 m. y con un coeficiente de descarga de 1.4. (ASTEC-HIDROESTUDIOS en 1999).

En la geometría de los ríos no se incluyeron puentes, ni ninguna otra estructura.



***Imagen 16: Sección del vertedor en el canal Bypass. HEC-RAS***

Como coeficiente de rugosidad de Manning se utilizó 0.035 para el cauce y 0.08 para la planicie de inundación. En las imágenes de Google es posible observar que estas planicies tienen mucha vegetación baja y árboles.

### **3.4.2.2 CONDICIONES DE FRONTERA**

Como sección de frontera, de aguas arriba, de los ríos Grande y Garrapata se consideró las primeras secciones, de ambos ríos, que tienen información topográfica. En la modelación hidrológicas los hidrogramas se calcularon justamente hasta estas secciones, por lo que en la modelación hidráulica estos son considerados como los hidrogramas de entrada a estos ríos.

Por problemas de inestabilidad en la simulación para el río Mosquito se transitó el hidrograma que se calculó en la modelación hidrológica, desde la primera sección que tiene información topográfica hasta la confluencia, de este con el río Grande. El hidrograma transitado del Mosquito, se introdujo como un flujo lateral en el río Grande, en la sección correspondiente.

En el río Chone a la altura del puente del Bejuco se consideró una bifurcación para simular el bypass. Al inicio de la bifurcación se incluyó un vertedor como una estructura en línea.

Como condición de frontera aguas abajo, esto es las últimas secciones del río Chone y del Bypass, se supuso régimen uniforme, considerando el gradiente del fondo del río de los tramos finales.

Una vez introducida la geometría de los ríos, y las condiciones de frontera del sistema se procedió a efectuar las simulaciones.

Después de algunos intentos, se seleccionó un intervalo de simulación de 12 minutos, y un tiempo total de 26 horas. Pasado este periodo la simulación se vuelve inestable.

El intervalo de los hidrogramas y de los reportes de las simulaciones es de 3 minutos.

## **CAPÍTULO 4: RESULTADOS**

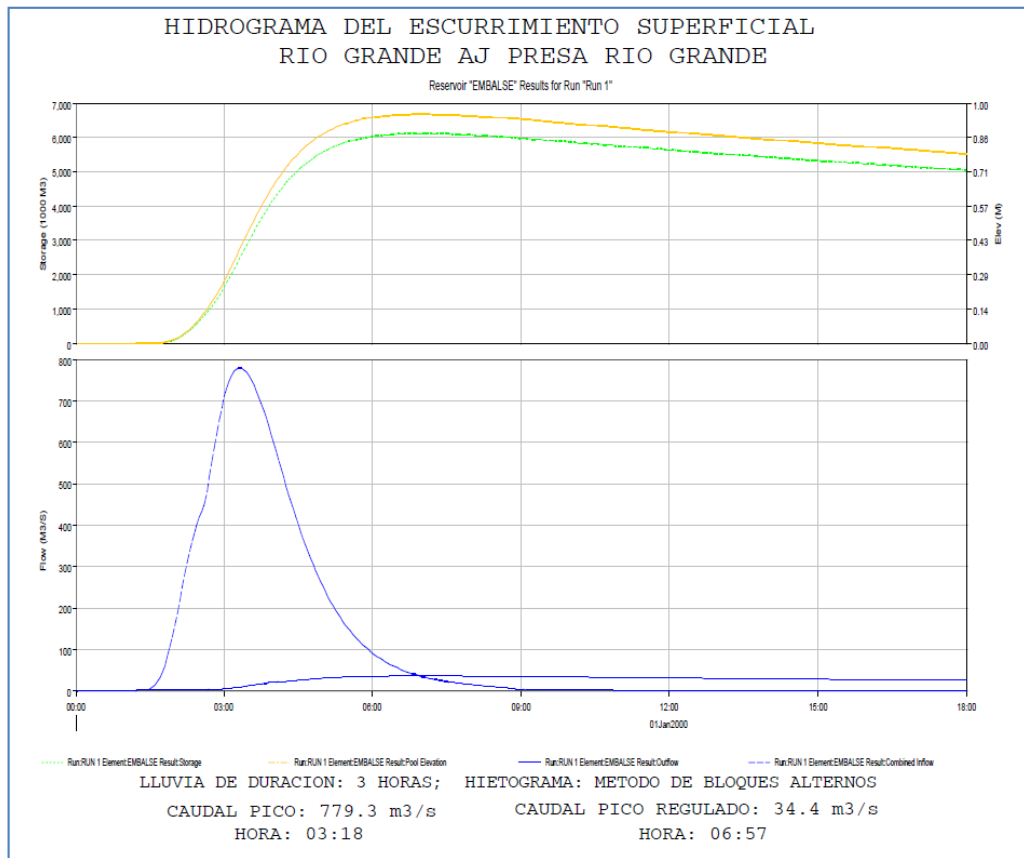
A continuación se presentan los resultados obtenidos en las simulaciones hidrológicas e hidráulicas.

De las primeras se presentan los hidrogramas estimados para las secciones de entrada al sistema de los ríos que se simulan hidráulicamente. Los hidrogramas corresponden al periodo de retorno de (100 años) y la duración y distribución temporal de la tormenta aplicada a la cuenca. Considerando que las cuencas tienen tiempos aproximados de concentración de 3 horas, se seleccionó tormentas de esa duración y la distribución temporal obtenida mediante el método de los bloques alternos. Los gráficos de los hidrogramas para tormentas de frecuencia de 200 años y otras distribuciones temporales se presentan en anexos.

Como reporte de las simulaciones hidráulicas se presentan hidrogramas y curvas de variación de niveles en secciones de interés.

## 4.5 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA EN EL RÍO GRANDE

La cuenca del río Grande, hasta el sitio de presa, tiene un área de aportación de 157 km<sup>2</sup>. El hidrograma de entrada al embalse y se salida a través del vertedor se presenta a continuación.

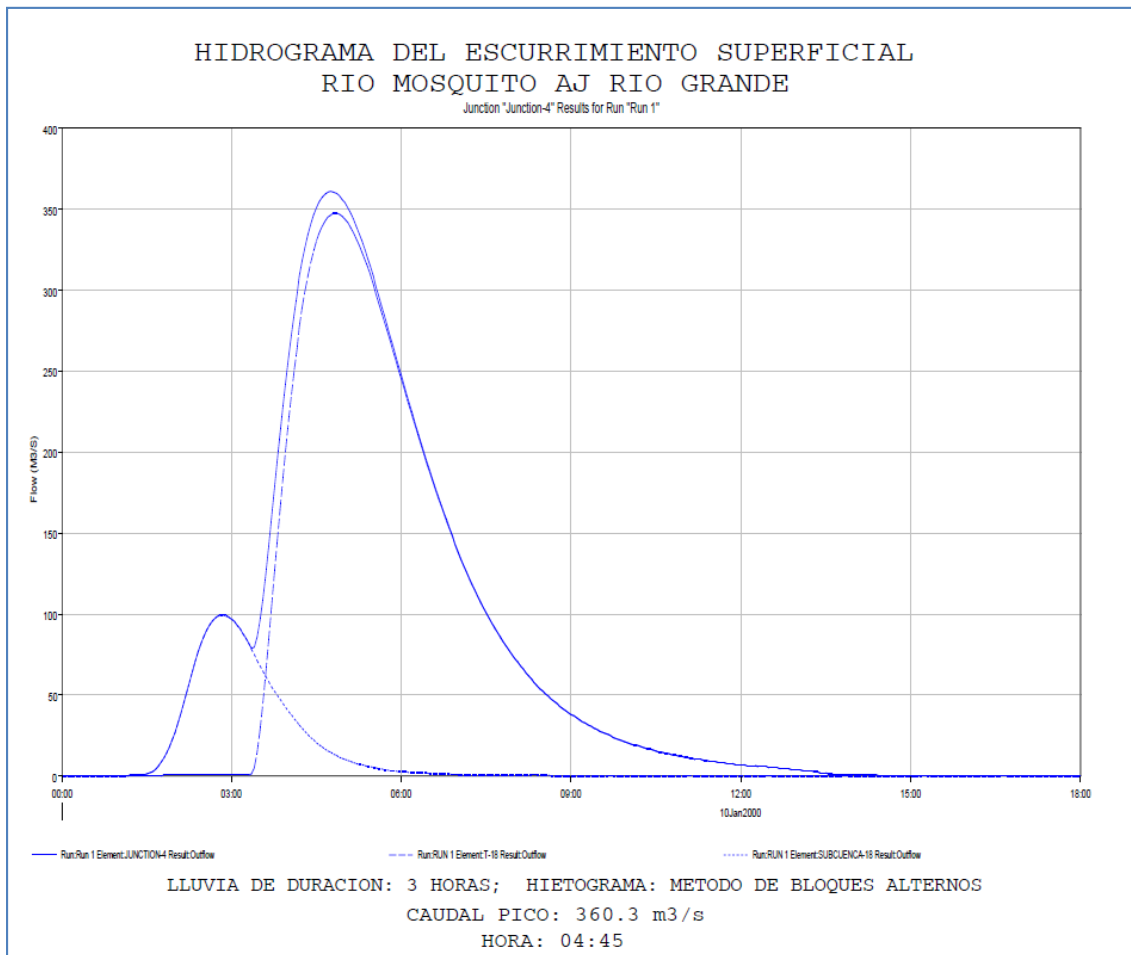


***Imagen 17: Hidrograma río Grande hasta el sitio de presa. HEC HMS***



## 4.6 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA RÍO MOSQUITO

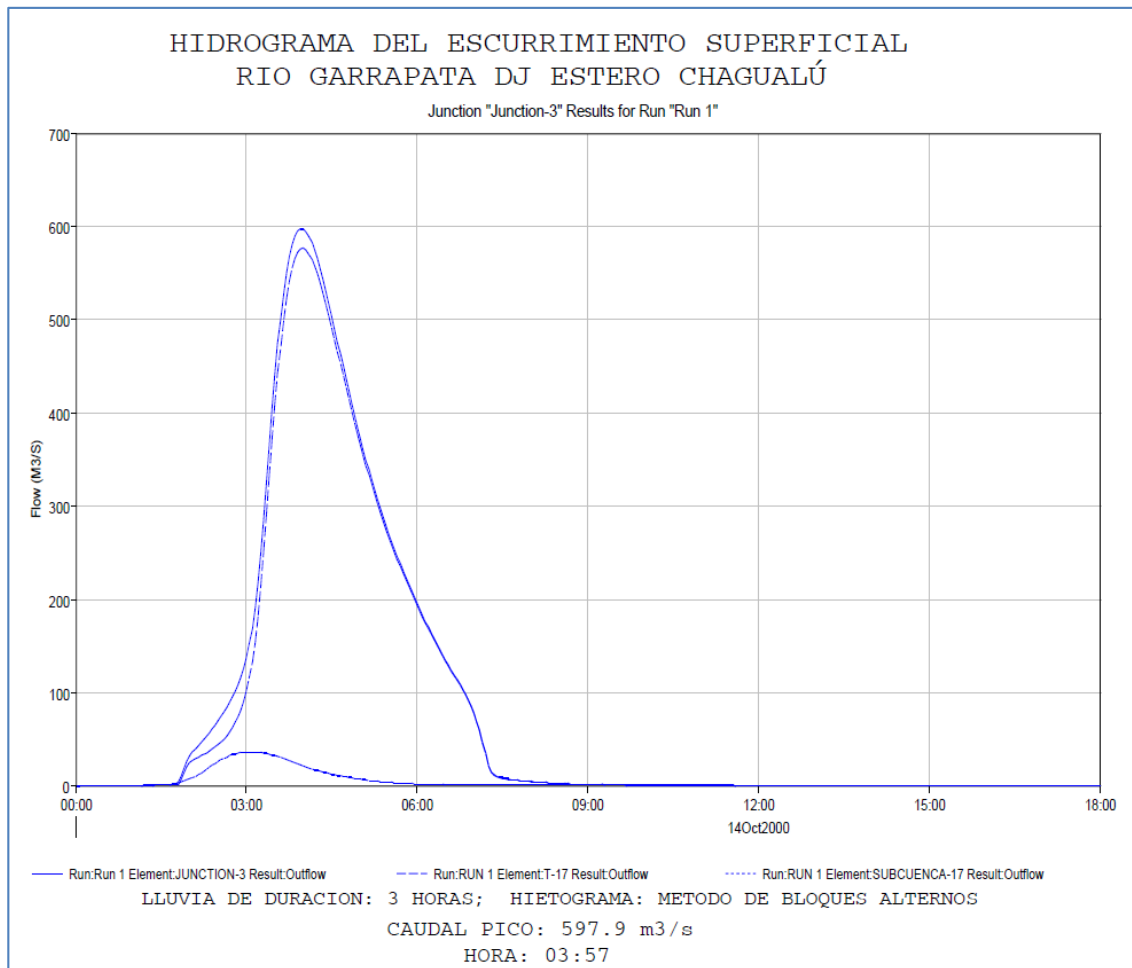
La cuenca del río Mosquito tiene un área de aportación de 113 km<sup>2</sup>, hasta la sección ubicada en las coordenadas N 9926240 E 606748.



***Imagen 18: Hidrograma río Mosquito. HEC HMS***

## 4.7 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA RÍO GARRAPATA

La cuenca del río Garrapata tiene un área de aportación de 132 km<sup>2</sup>, hasta la sección ubicada en las coordenadas N 9931395 E 607722.

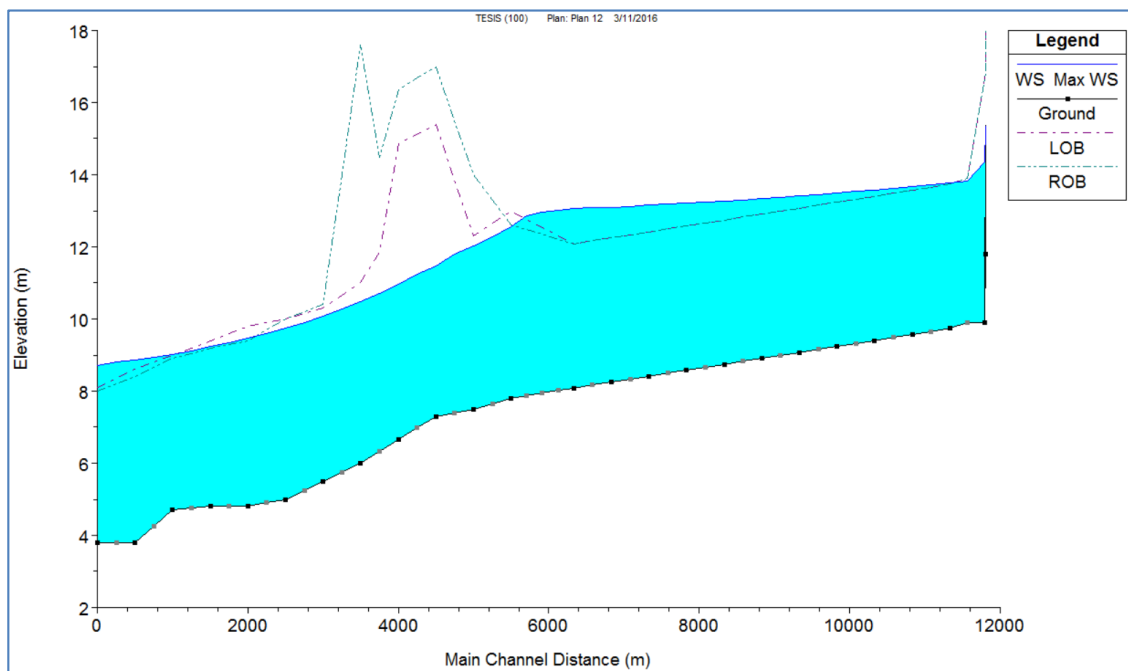


***Imagen 19: Hidrograma río Garrapata. HEC HMS***

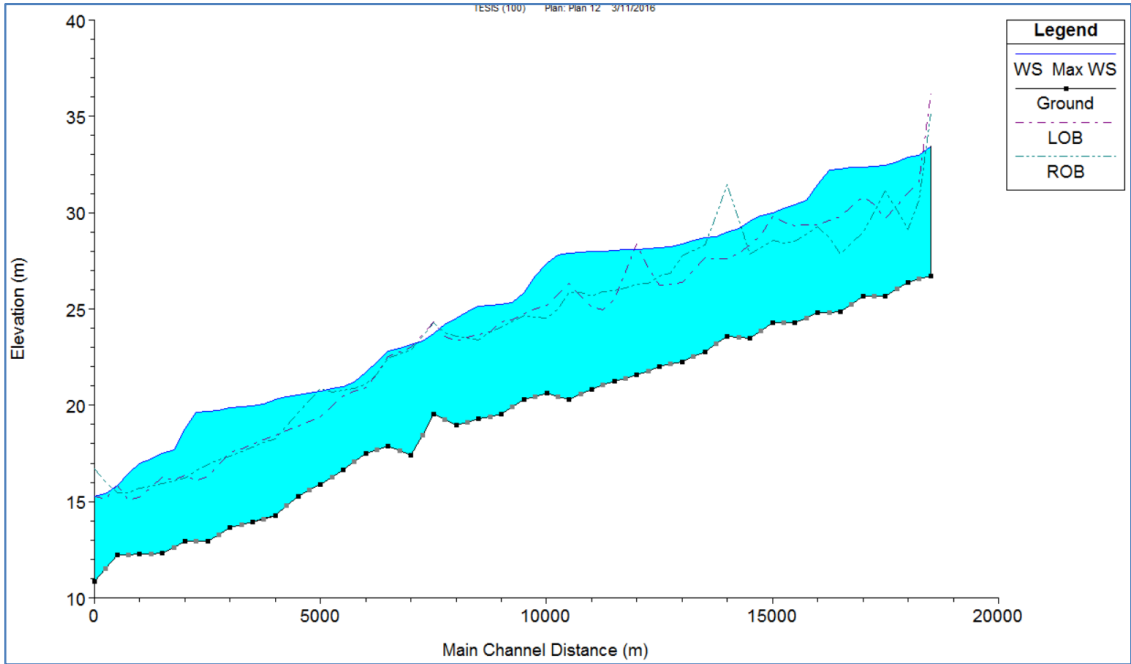
## 4.8 SIMULACIONES HIDRÁULICAS

Como resultados de la simulación hidráulica se presenta:

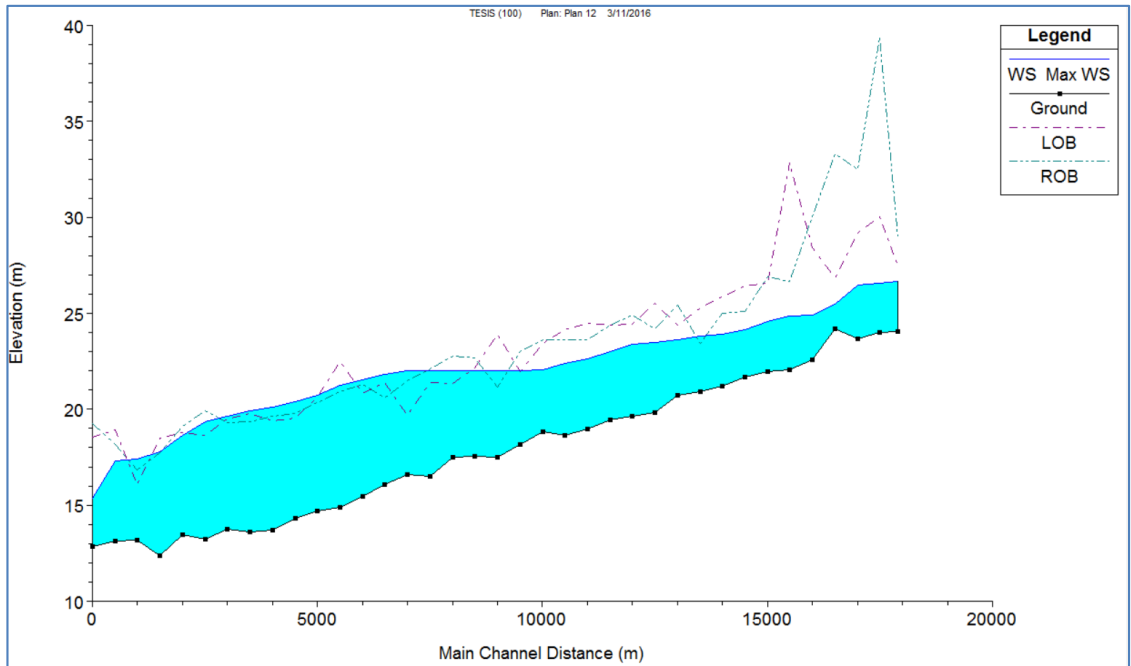
- Perfiles del nivel máximo del agua. No corresponde a un tiempo específico de la creciente, representa los niveles máximos que alcanza el agua.
- Hidrograma y variación de niveles en secciones de interés.



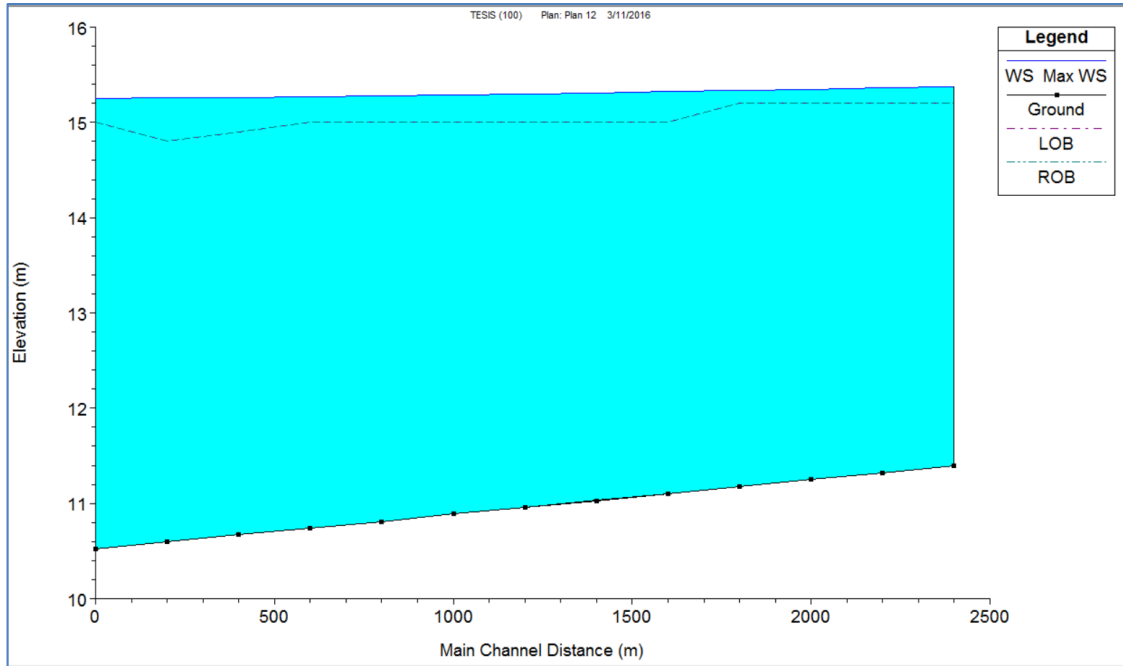
***Imagen 20: Perfil del canal bypass***



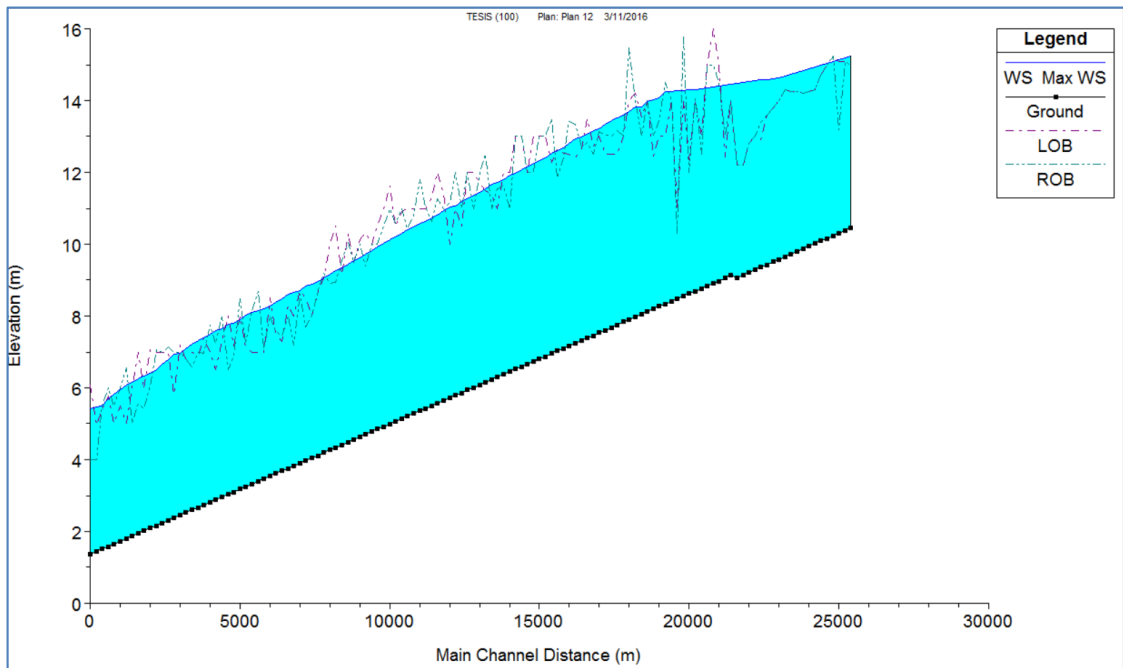
***Imagen 21: Perfil del río Garrapata***



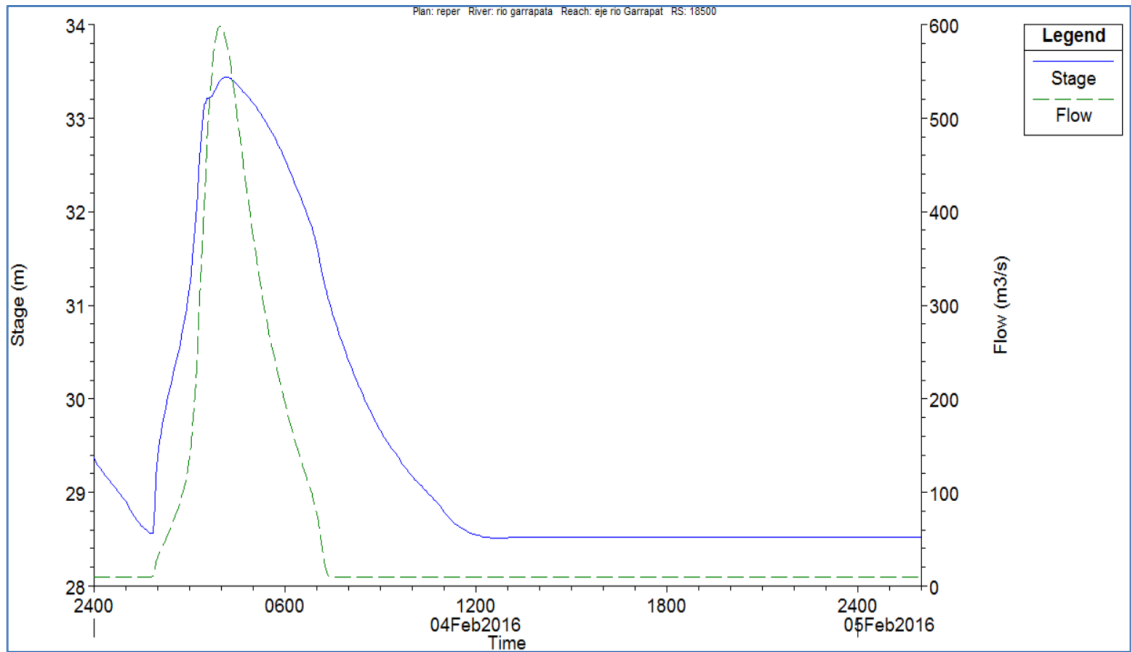
***Imagen 22: Perfil del río Grande. Desde la presa hasta puente Bejuco***



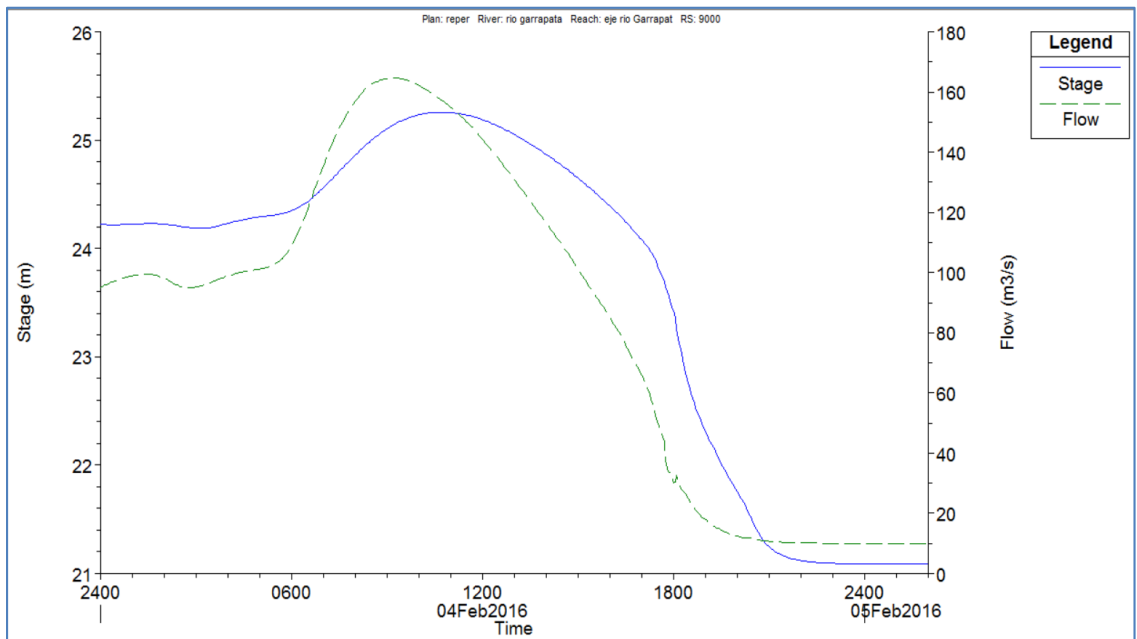
***Imagen 23: Perfil del río Chone. Desde puente Bejuco hasta ingreso del río Garrapata***



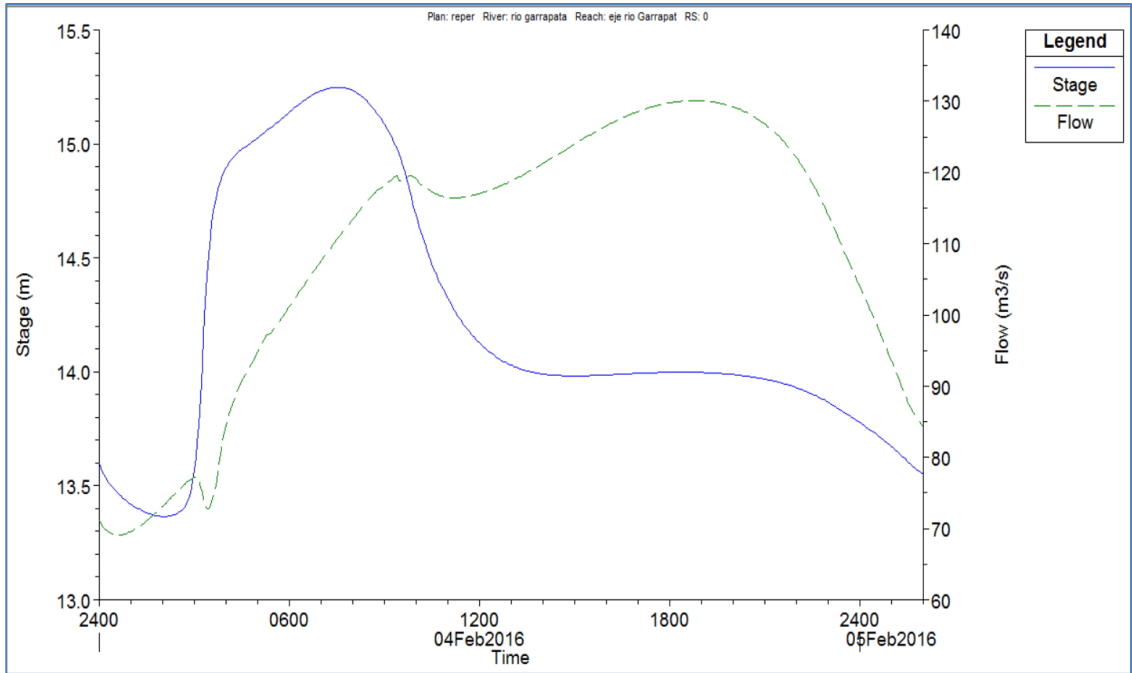
***Imagen 24: Perfil del río Chone. Desde ingreso del río Garrapata hasta Puerto Larrea***



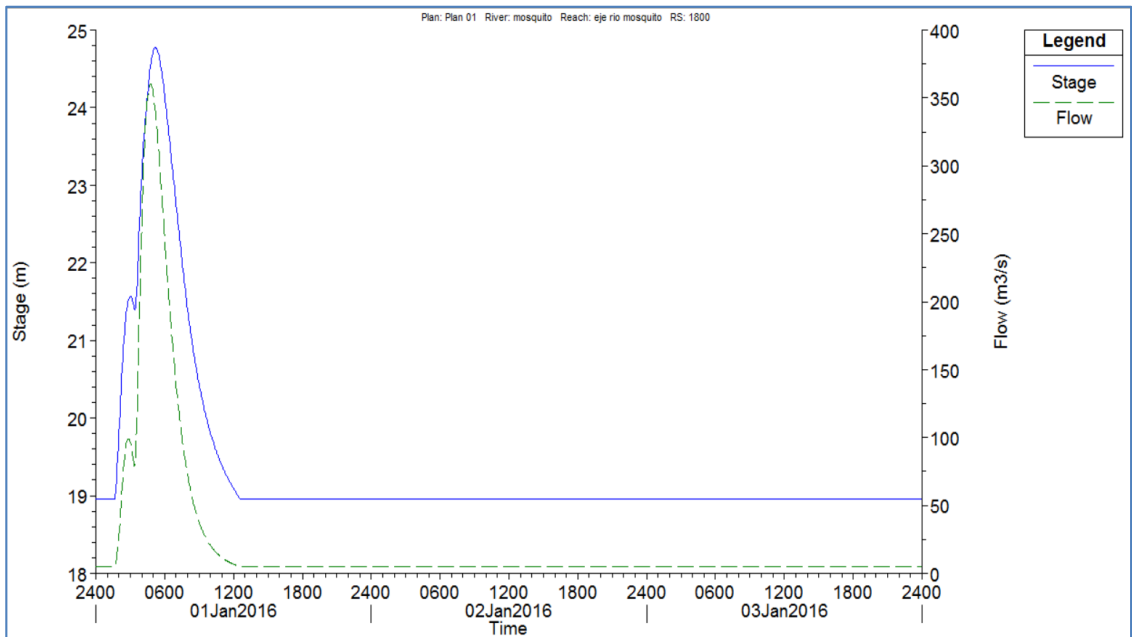
***Imagen 25: Sección del río Garrapata (18500). Inicio***



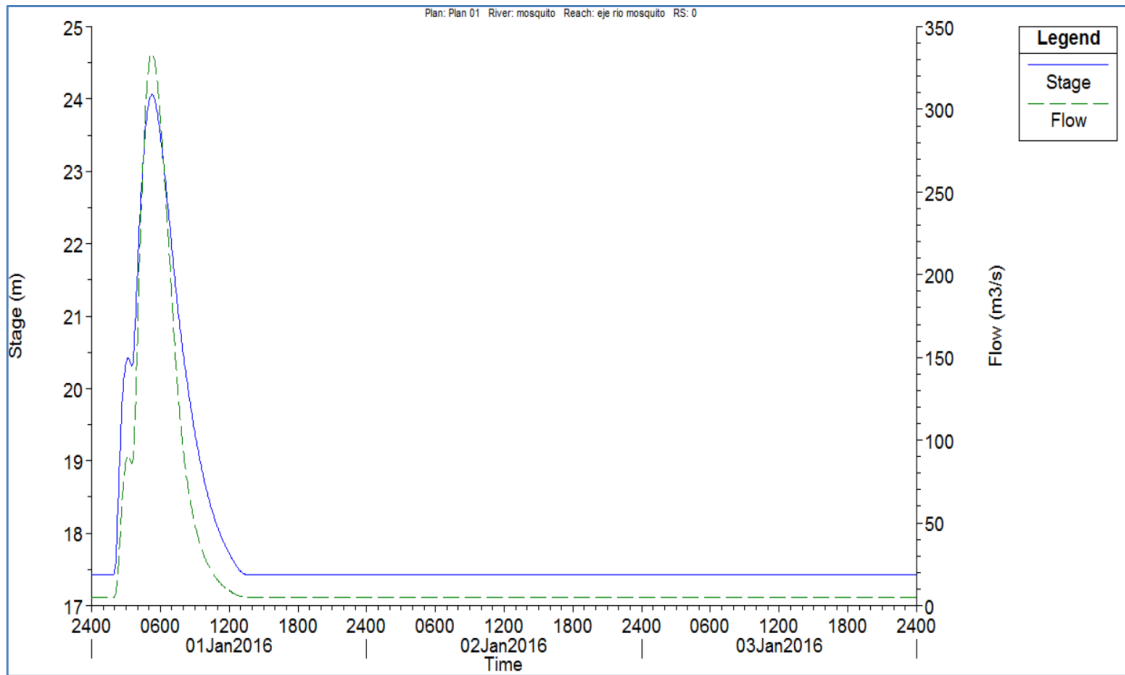
***Imagen 26: Sección del río Garrapata (9000). Mitad del río del Garrapata***



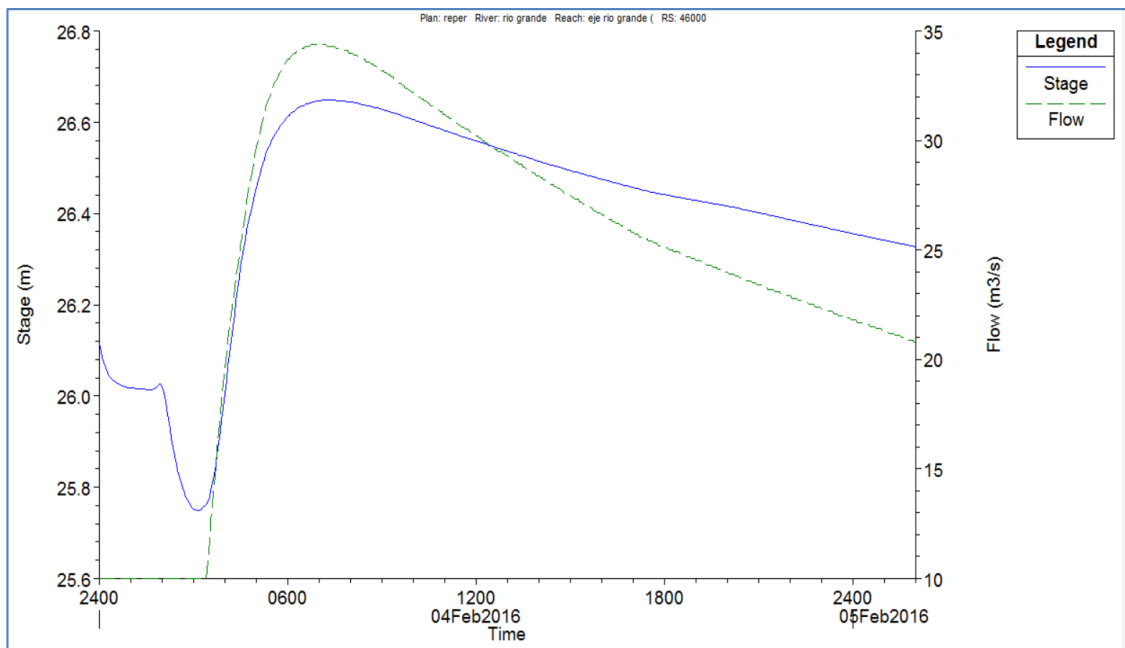
***Imagen 27: Sección del río Garrapata (0). Antes de ingresar al río Chone***



***Imagen 28: Sección del río Mosquito (18000). Al inicio del río***

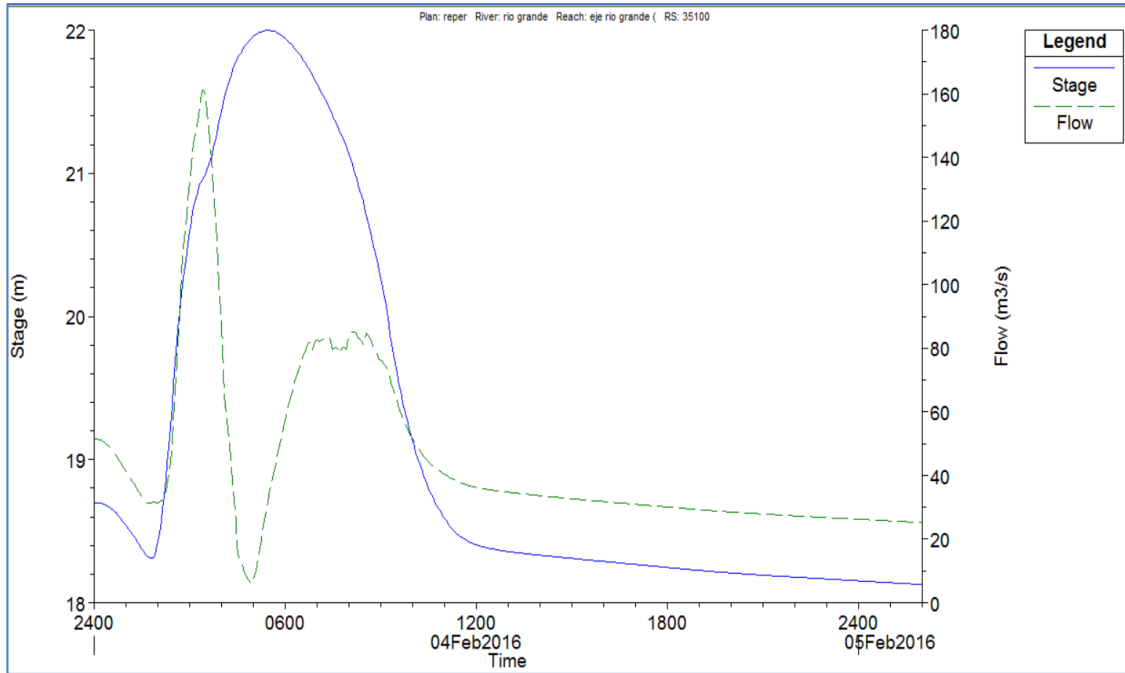


***Imagen 29: Sección del río Mosquito (0). Antes de ingresar al río Grande***

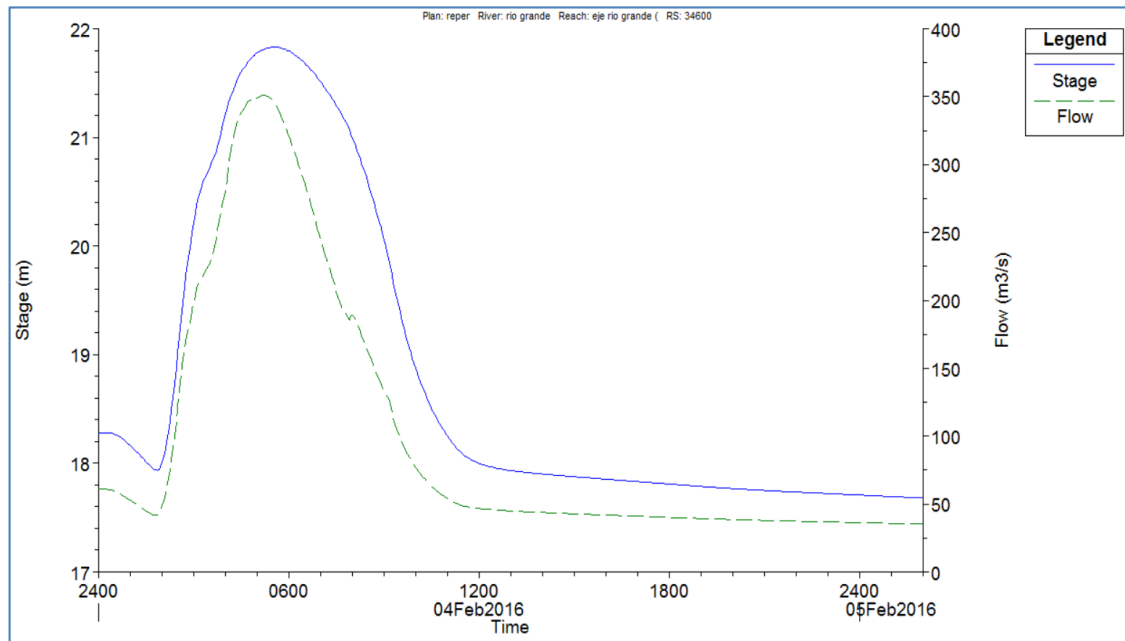


***Imagen 30: Sección del río Grande regulado (46000). Presa del río Grande***

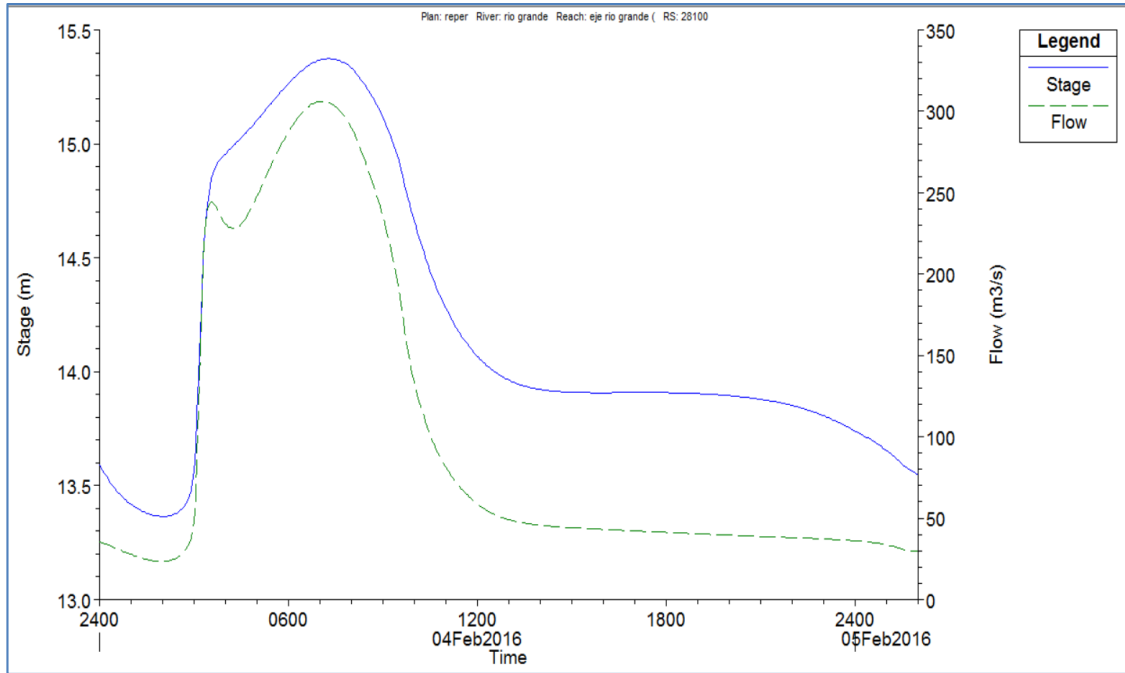




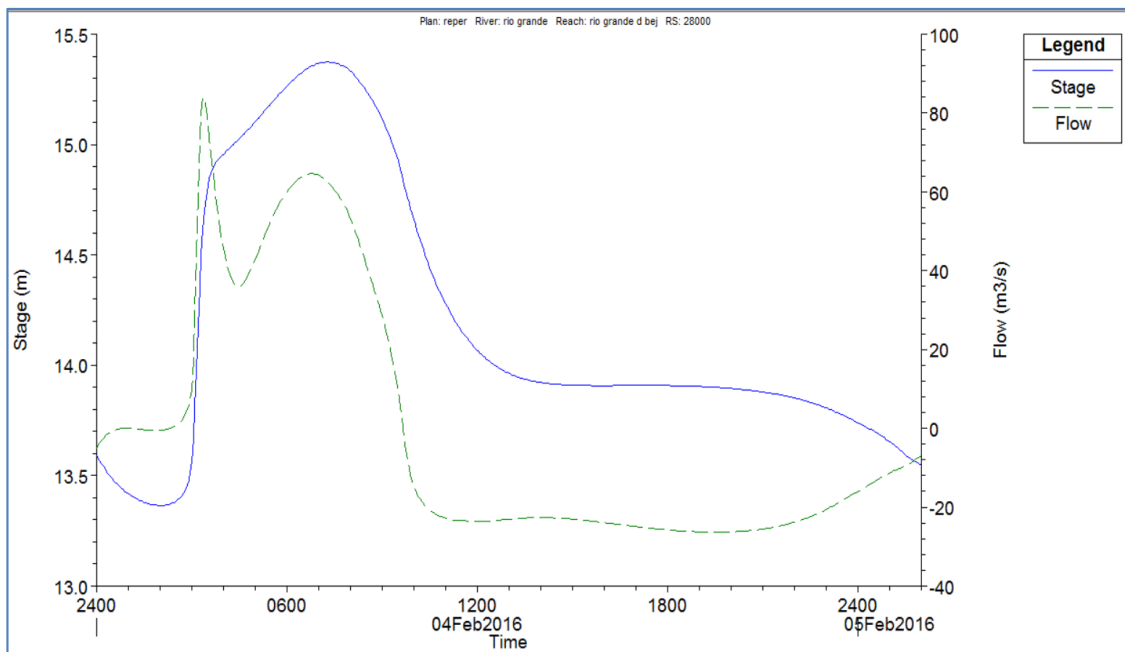
***Imagen 31: Sección del río Grande (35100). Antes del ingreso del río Mosquito***



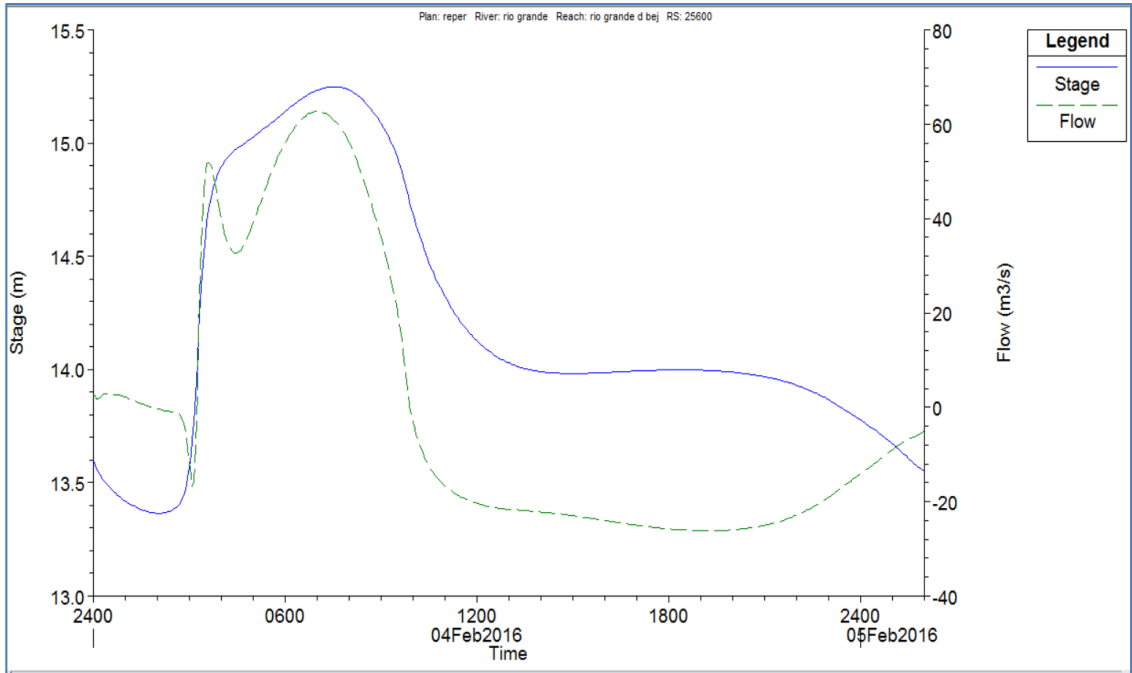
***Imagen 32: Sección del río Chone (34600). Después del ingreso del río Mosquito***



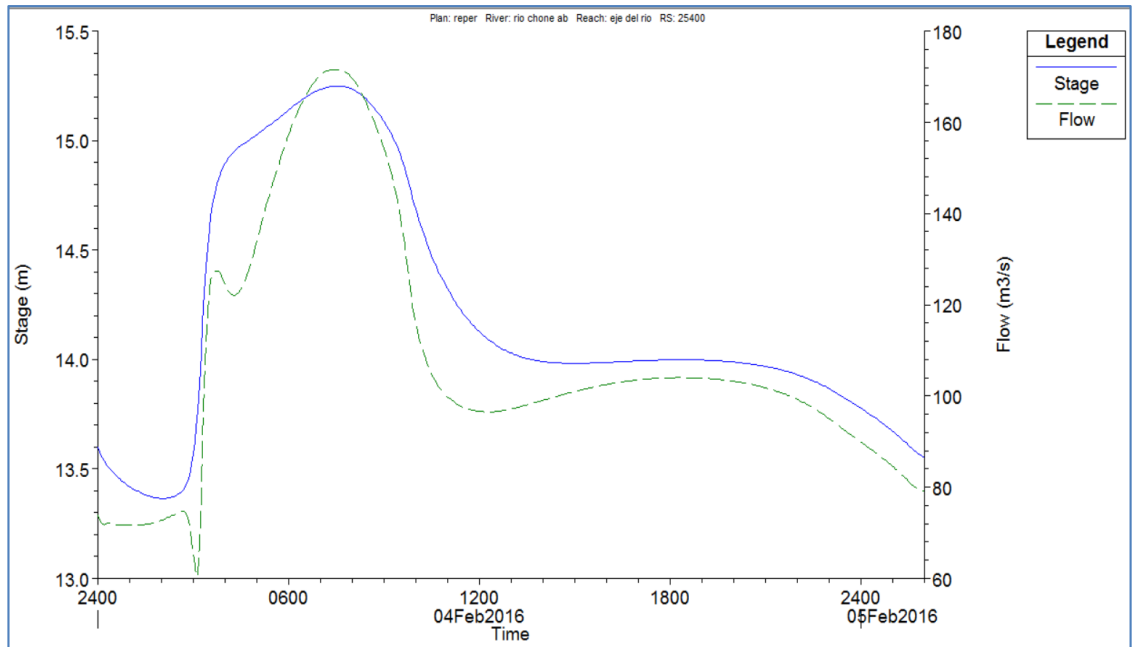
***Imagen 33: Sección del río Chone (28100). Antes de derivación del canal Bypass***



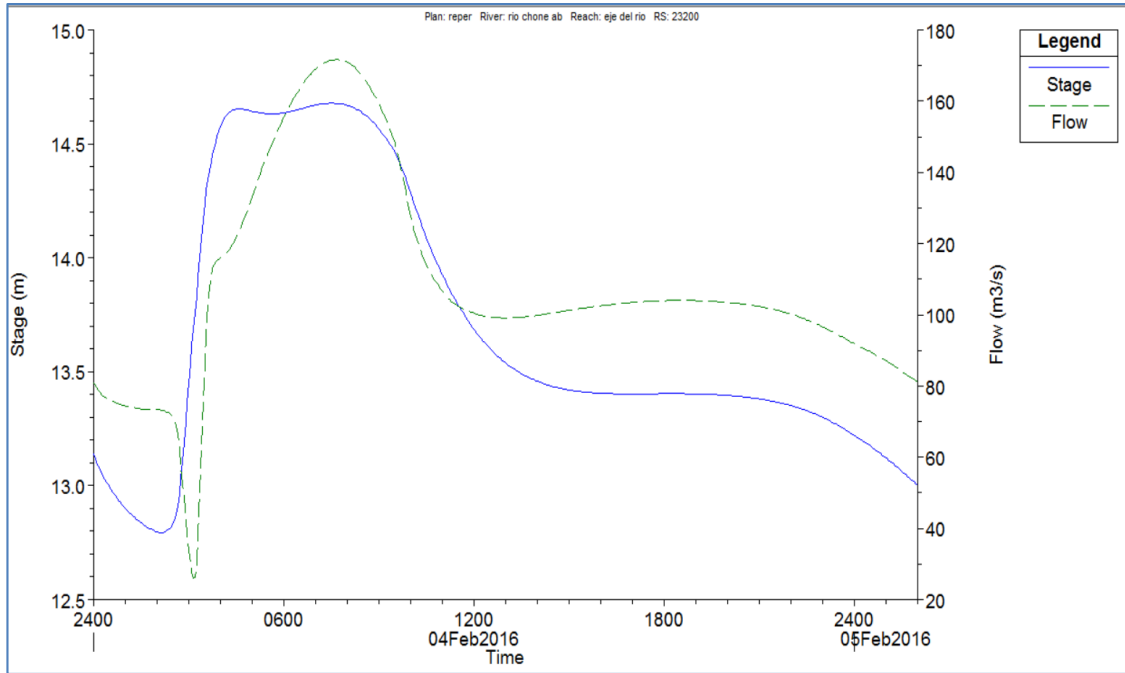
***Imagen 34: Sección del río Chone (28000). Después de la derivación al canal Bypass***



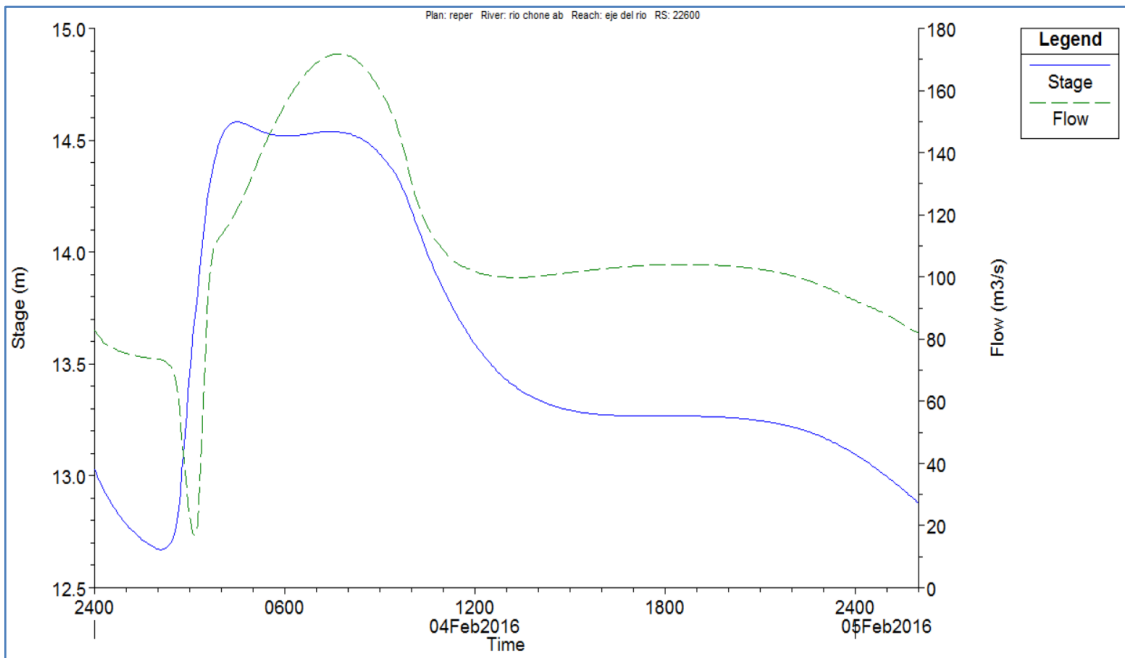
***Imagen 35: Sección del río Chone (25600). Antes del ingreso del río Garrapata***



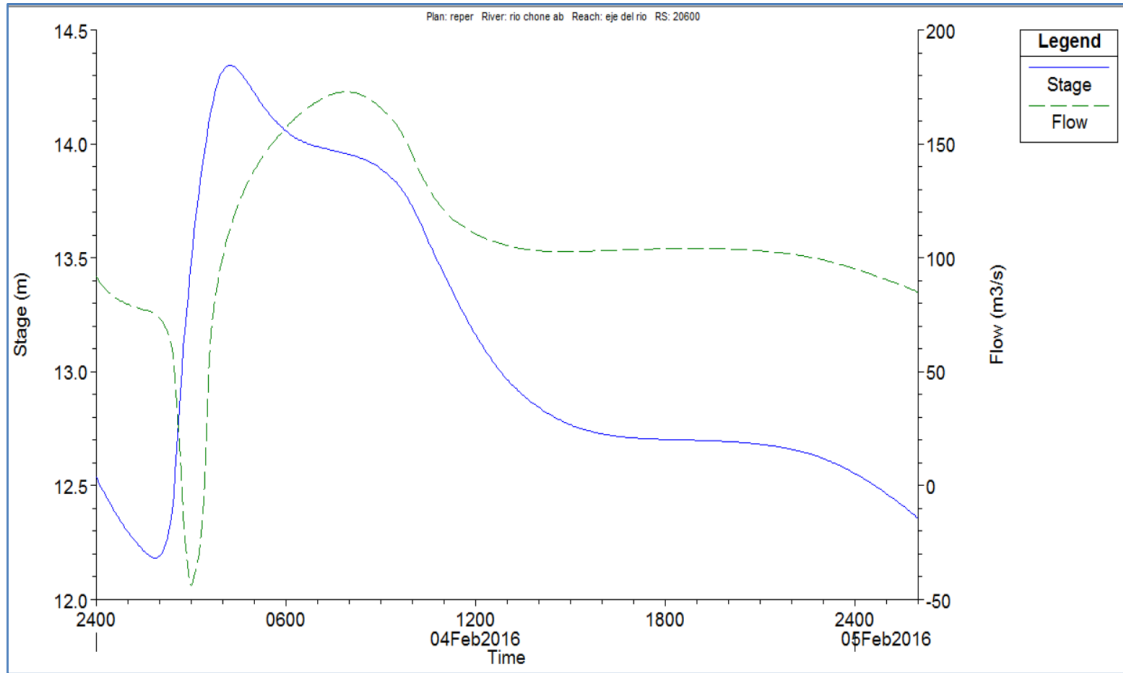
***Imagen 36: Sección del río Chone (25400). Después del ingreso del río Garrapata***



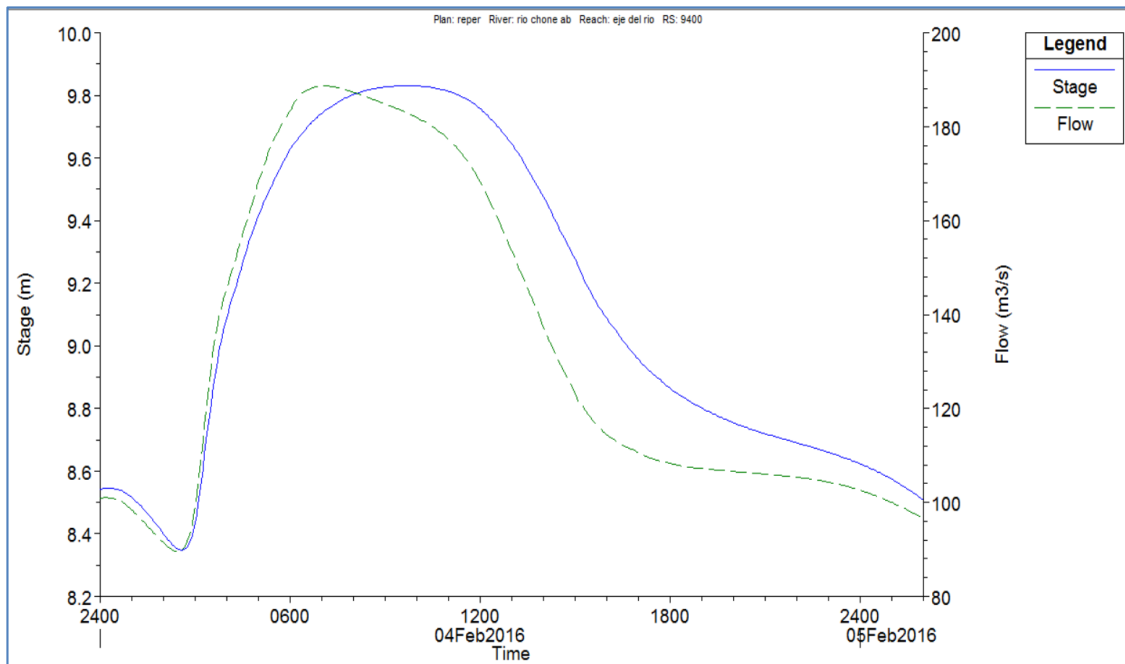
***Imagen 37: Sección del río Chone (23200). Junto a la Av. Eloy Alfaro***



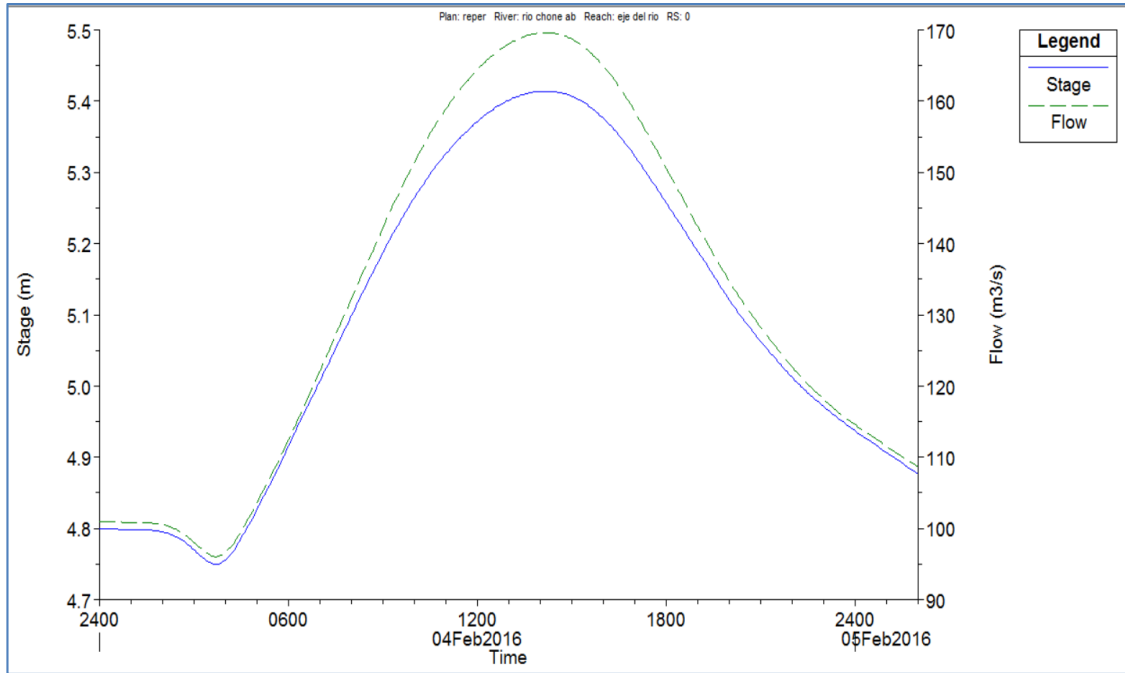
***Imagen 38: Sección del río Chone (22800). Junto a la calle Santa Martha***



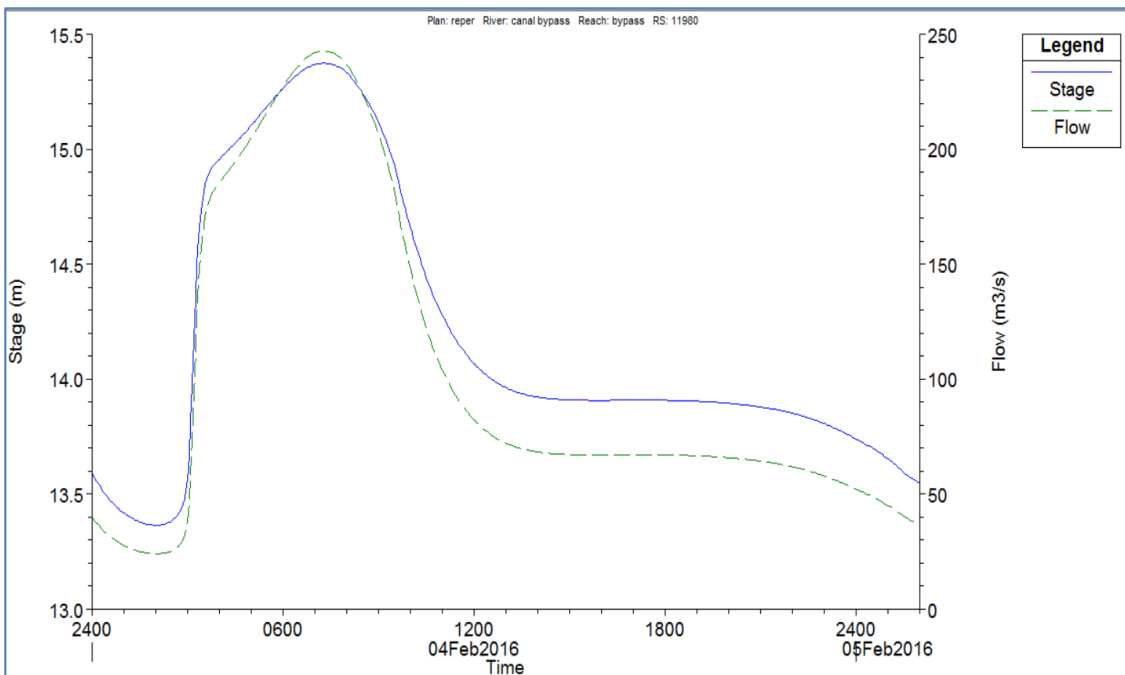
***Imagen 39: Sección del río Chone (20600). Final de la ciudad***



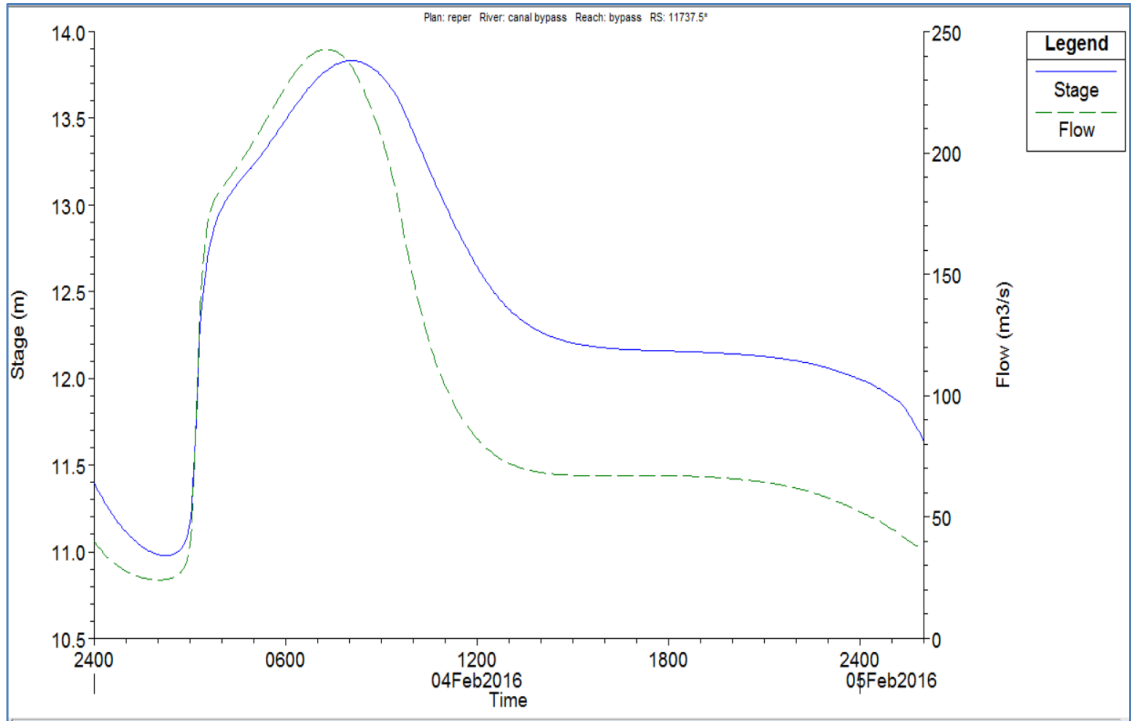
***Imagen 40: Sección del río Chone (9400). Junto a la calle San Antonio***



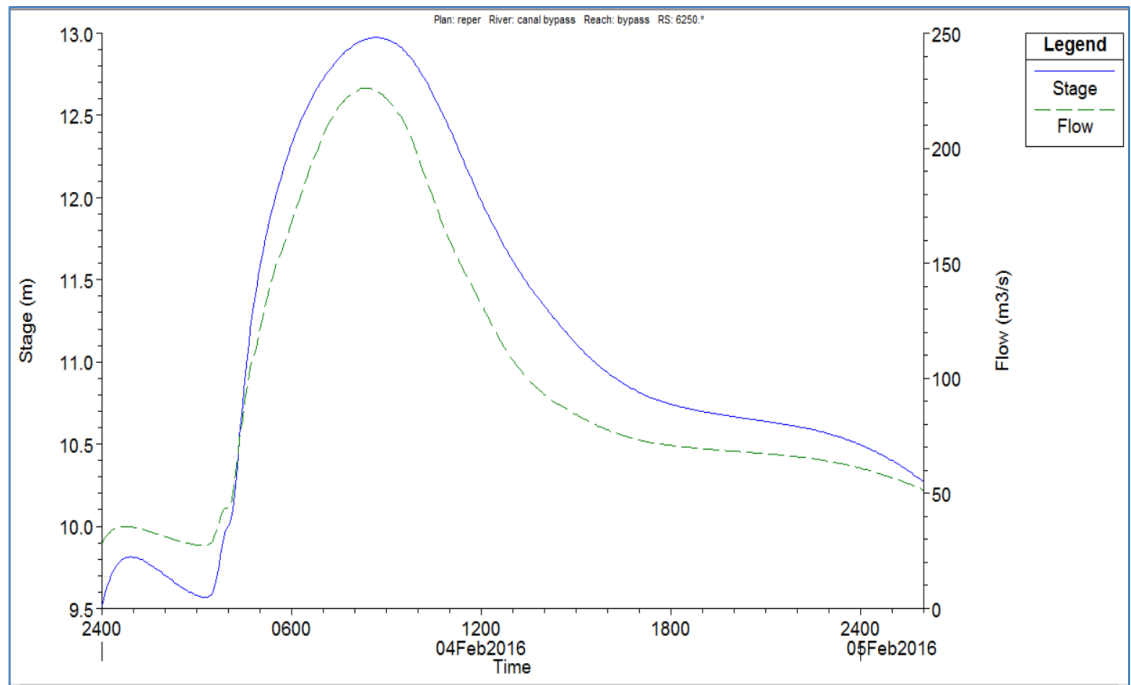
***Imagen 41: Sección del río Chone (0). Ultima sección***



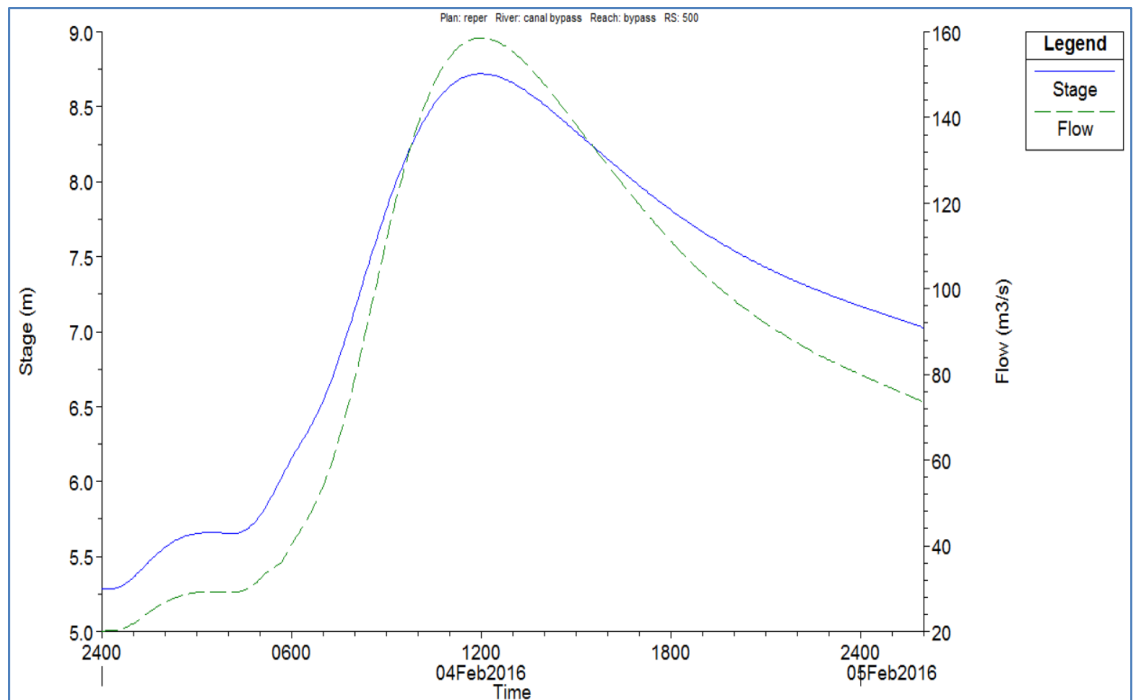
***Imagen 42: Sección del canal Bypass (11980). Sección antes del vertedor***



***Imagen 43: Sección del canal Bypass (11737.5). Después del vertedor***



***Imagen 44: Sección del canal Bypass (6250). Puente Cativo***



***Imagen 45: Sección del canal Bypass (500). Ultima sección.***

## **CAPÍTULO 5: ANALISIS DE RESULTADOS**

Antes de que el lector revise este capítulo, se debe recordar que la información topográfica utilizada para dar forma a los cauces de los ríos y a las llanuras de inundación es muy limitada y en algunos casos no tiene la confiabilidad que se requiere para la modelación hidráulica. Por lo anterior se considera que los resultados de las simulaciones son aproximados, pero que definitivamente dan una idea del comportamiento hidrológico - hidráulico de los ríos que forman la cuenca del Chone.

- ❖ Las llanuras de inundación de los ríos que conforman el sistema del Chone, producen una importante regulación de los caudales, lo que incide en la reducción de los niveles de inundación en la ciudad de Chone y en el retraso de la ocurrencia del pico.



- ❖ Como ejemplo se puede mencionar que para el río Garrapata el hidrograma en la primera sección del tramo (ubicado a 16 km de la ciudad de Chone) modelado hidráulicamente, presenta un pico de 597.9 m<sup>3</sup>/s para una frecuencia de 100 años, este pico ocurre a las 4 horas de iniciada la tormenta. En la sección donde el Garrapata confluye con el Chone, el hidrograma presenta 2 picos, uno de 120 m<sup>3</sup>/s y otro de 130 m<sup>3</sup>/s a las 10 y a las 18 horas respectivamente.
  
- ❖ La misma situación anterior, aunque en menor magnitud, se presenta en el río Chone formado por la confluencia del Grande y el Mosquito. En esta sección el caudal pico tiene un valor de 350 m<sup>3</sup>/s y se presenta a las 5:12 horas, en tanto que a la altura del puente de El Bejuco, 6.7 km aguas abajo, el caudal pico es 306 m<sup>3</sup>/s a las 7 horas.
  
- ❖ La creciente del Chone llega a la ciudad antes que la del Garrapata, por lo que represa a este último. Eso puede observarse si se analiza el hidrograma y la curva de variación de niveles en el Garrapata justo antes de la confluencia en el Chone. El hidrograma a las 10 horas presenta un pico de 120 m<sup>3</sup>/s y el nivel del agua está en 15 m.s.n.m, en tanto que a las 18 horas, presenta un caudal similar al anterior pero con un nivel mucho más bajo. (14 m.s.n.m)
  
- ❖ La presencia del embalse de río Grande reduce de forma importante los caudales del río Chone. Para una frecuencia de 100 años, a la altura del El Bejuco los caudales máximo son:
  - Con embalse: 306 m<sup>3</sup>/s
  - Sin embalse: 471 m<sup>3</sup>/s

- ❖ Con el propósito de determinar la incidencia del canal Bypass, se efectuaron simulaciones con y sin la presencia de este considerando la presencia del embalse del río Grande. Para una frecuencia de 100 años, los caudales y niveles del agua en algunas secciones del río en el tramo que este cruza por ciudad, para ambas situaciones se presentan a continuación:
  - Av. Eloy Alfaro a la altura del puente viejo.
    - Con bypass:  $Q = 171.63 \text{ m}^3/\text{s}$  – Cota = 14.68 m.s.n.m
    - Sin bypass:  $Q = 338.34 \text{ m}^3/\text{s}$  – Cota = 16.48 m.s.n.m
  - Calle Santa Martha y Av. Eugenio Espejo.
    - Con bypass:  $Q = 171.69 \text{ m}^3/\text{s}$  – Cota = 14.60 m.s.n.m
    - Sin Bypass:  $Q = 338.00 \text{ m}^3/\text{s}$  - Cota = 16.33 m.s.n.m
  - Al final de la ciudad
    - Con Bypass:  $Q = 172.76 \text{ m}^3/\text{s}$  – Cota = 14.34 m.s.n.m
    - Sin Bypass:  $Q = 333.53 \text{ m}^3/\text{s}$  – Cota = 15.38 m.s.n.m
  
- ❖ En las simulaciones que incluyen el Bypass se considera el diseño original de ambos tramos, esto es desde el Bejuco hasta el puente Cativo, y desde este hasta el humedal La Segua. En la actualidad el primer tramo está totalmente azolvado y lleno de vegetación. Y el segundo tramo no descarga en La Segua, ya que para esto se requiere la construcción de un puente en la vía Bypass de San Antonio. De acuerdo con las simulaciones la capacidad del canal esta alrededor de los  $250 \text{ m}^3/\text{s}$  lo que se indica en los *estudios de factibilidad técnica y económica del encauzamiento del río Chone*, realizado por la asociación Astec-Hidroestudios. Lo anterior significa que mantener en óptimas condiciones de operación el sistema Bypass, representa un alivio a los problemas de inundación de la ciudad de Chone.

- ❖ La simulación muestra que para una frecuencia 100 años y una operación óptima del canal Bypass, la ciudad de Chone se inunda, debido principalmente a la presencia del río Garrapata. Como se puede observar en algunas secciones transversales que se presentan en el análisis de resultados.

**Niveles, Caudales máximos en secciones de interés.**

<b>Frecuencia:</b>	100 años
<b>Escenario:</b>	Con embalse en río Grande
	Con canal Bypass

Río	Sección	Q pico (m <sup>3</sup> /s)	Nivel (max) m.s.n.m.	Observación
Garrapata	18500	597.90	33.44	Los valores no se dan a la misma hora.
Garrapata	9000	164.63	25.26	Los valores no se dan a la misma hora.
Garrapata	0	130.06	15.25	Los valores no se dan a la misma hora.
Grande	46000	34.40	26.65	Los valores no se dan a la misma hora.
Grande	35100	161.12	22.00	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	34600	350.83	21.83	
Chone	28100	306.11	15.37	
Chone	25600	62.67	15.25	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	25400	171.58	15.25	
Chone	23200	171.63	14.68	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	22800	171.69	14.60	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	20600	172.76	14.34	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	9400	188.68	9.83	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	0	169.62	5.41	
Bypass	11980	242.67	15.37	
Bypass	11737.5	242.67	13.83	Los valores no se dan a la misma hora.
Bypass	6250	226.20	12.97	Los valores no se dan a la misma hora.
Bypass	500	158.56	8.72	

***Tabla 13: Niveles y caudales máximos en secciones de interés con embalse y con bypass***

**Niveles, Caudales maximos en secciones de interes.**

<b>Frecuencia:</b>	100 años
<b>Escenario:</b>	Sin embalse en rio Grande
	Con canal Bypass

Río	Sección	Q pico (m3/s)	Nivel (max) m.s.n.m.	Observación
Garrapata	18500	597.90	33.44	
Garrapata	9000	164.63	25.26	Los valores no se dan a la misma hora.
Garrapata	0	131.67	15.84	Los valores no se dan a la misma hora.
Grande	46000	803.70	31.57	Los valores no se dan a la misma hora.
Grande	35100	351.39	23.10	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	34600	552.07	22.93	
Chone	28100	471.08	16.11	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	25600	115.30	15.84	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	25400	220.27	15.84	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	23200	218.66	15.19	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	22800	218.43	15.07	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	20600	216.06	14.35	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	9400	200.62	10.06	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	0	188.38	5.56	
Bypass	11980	355.36	16.11	
Bypass	11737.5	355.36	14.80	Los valores no se dan a la misma hora.
Bypass	6250	337.58	13.88	Los valores no se dan a la misma hora.
Bypass	500	247.14	10.42	

***Tabla 14: Niveles y caudales máximos en secciones de interés sin embalse y con bypass***

**Niveles, Caudales maximos en secciones de interes.**

<b>Frecuencia:</b>	100 años
<b>Escenario:</b>	Con embalse en rio Grande
	Sin canal Bypass

Río	Sección	Q pico (m3/s)	Nivel (max) m.s.n.m.	Observación
Garrapata	18500	597.90	33.44	
Garrapata	9000	163.99	25.24	Los valores no se dan a la misma hora.
Garrapata	0	148.74	17.29	Los valores no se dan a la misma hora.
Grande	46000	34.40	26.65	Los valores no se dan a la misma hora.
Grande	35100	160.43	21.99	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	34600	349.57	21.82	
Chone	28100	276.98	17.96	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	25600	269.94	17.29	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	25400	340.54	17.29	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	23200	338.36	16.48	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	22800	338.02	16.33	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	20600	333.53	15.38	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	9400	285.94	11.02	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	0	259.03	6.05	

***Tabla 15: Niveles y caudales máximos en secciones de interés con embalse y sin bypass***

**Niveles, Caudales maximos en secciones de interes.**

<b>Frecuencia:</b>	100 años
<b>Escenario:</b>	Sin embalse en rio Grande
	Sin canal Bypass

Río	Sección	Q pico (m3/s)	Nivel (max) m.s.n.m.	Observación
Garrapata	18500	597.90	33.44	
Garrapata	9000	164.64	25.26	Los valores no se dan a la misma hora.
Garrapata	0	188.34	18.46	Los valores no se dan a la misma hora.
Grande	46000	803.70	31.57	
Grande	35100	350.48	23.10	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	34600	551.74	22.93	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	28100	405.46	19.35	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	25400	449.97	18.46	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	23200	447.31	17.52	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	22800	446.87	17.33	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	20600	439.83	16.26	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	9400	362.29	11.96	Los valores no se dan a la misma hora.
Chone	0	326.76	6.50	Los valores no se dan a la misma hora.

***Tabla 16: Niveles y caudales máximos en secciones de interés sin embalse y sin bypass***

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

De la revisión de los resultados y de su análisis se pueden obtener conclusiones relacionadas con el impacto positivo debido a la presencia de las obras analizadas, mediante las simulaciones hidrológicas hidráulicas.

Se puede conocer la variación de caudales y niveles en diversas secciones del sistema hidrográfico para los escenarios analizados. Siendo el objetivo de este trabajo de graduación analizar el impacto del embalse del río Grande y del canal Bypass en los niveles de inundación de Chone, en este capítulo se hará referencia a la situación, relacionada con la inundación, en dos secciones dentro de la ciudad de Chone.

<b>Frecuencia:</b>	100 años
<b>Escenario:</b>	Sin embalse en río Grande
	Sin canal Bypass

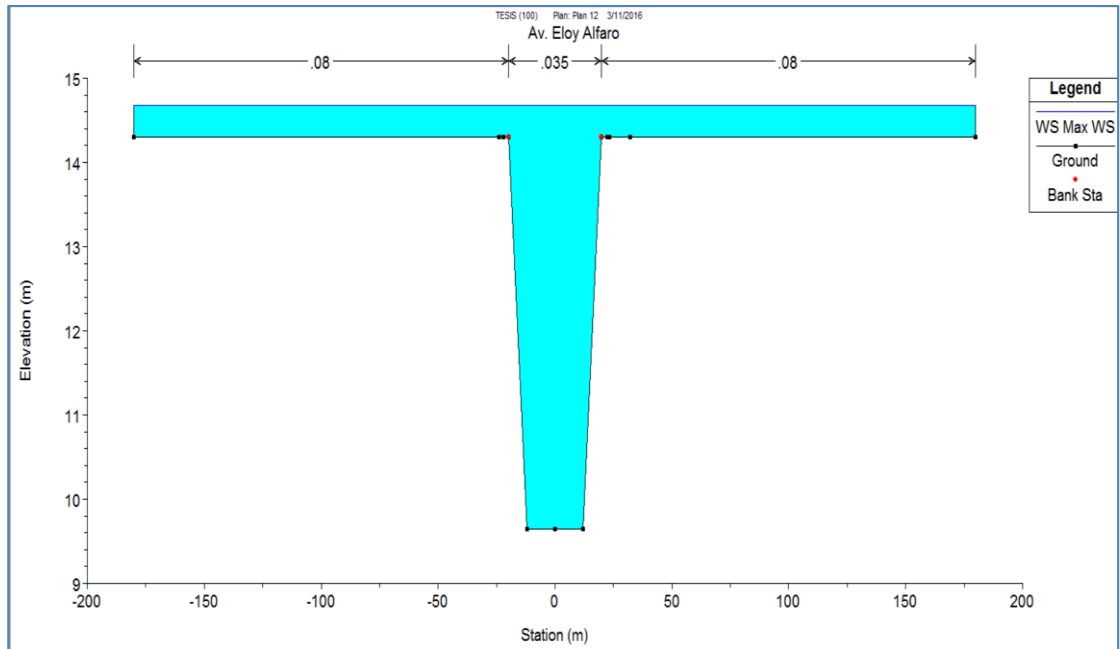
Río	Sección	Q pico (m <sup>3</sup> /s)	Nivel (max) m.s.n.m.
Chone	23200	447.31	17.52
Chone	20600	439.83	16.26

***Tabla 17: Niveles y caudales máximos en 2 secciones en Chone sin embalse y sin bypass***

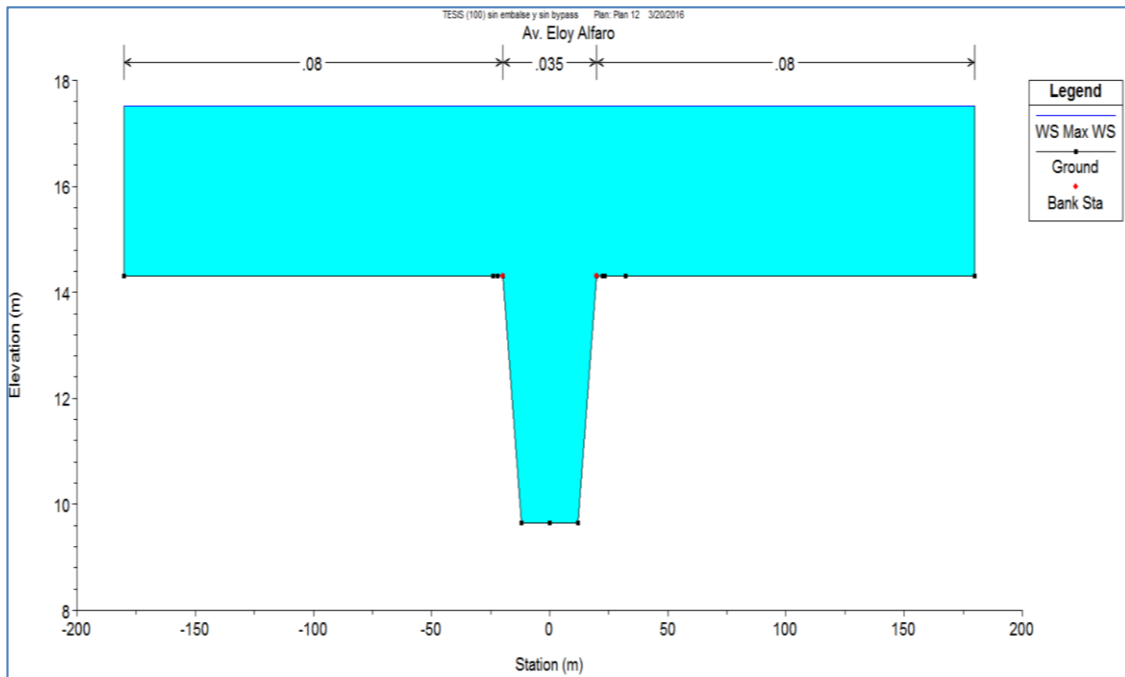
<b>Frecuencia:</b>	100 años
<b>Escenario:</b>	Con embalse en río Grande
	Con canal Bypass

Río	Sección	Q pico (m <sup>3</sup> /s)	Nivel (max) m.s.n.m.
Chone	23200	171.63	14.68
Chone	20600	172.76	14.34

***Tabla 18: Niveles y caudales máximos en 2 secciones en Chone con embalse y con bypass***

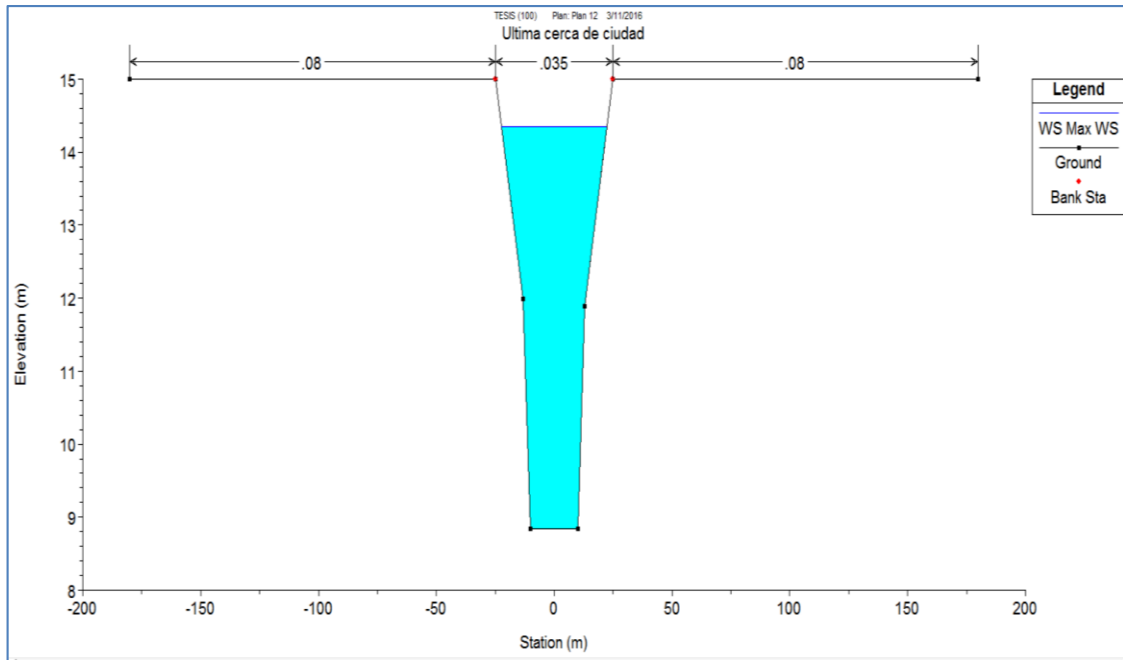


**Imagen 46: Sección del rio Chone (23200). Con embalse y con bypass**

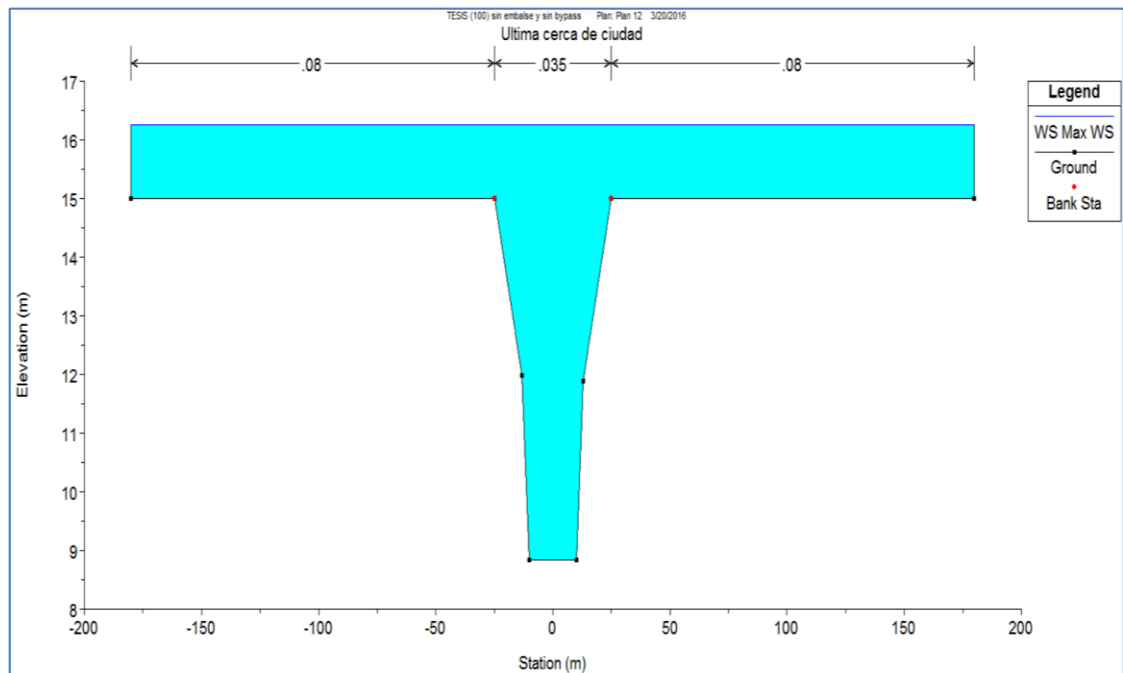


**Imagen 47: Sección del rio Chone (23200). Sin embalse y sin bypass**





***Imagen 48: Sección del rio Chone (20600) Con embalse y con bypass***



***Imagen 49: Sección del rio Chone (20600). Sin embalse y sin bypass***

- ❖ En la sección del puente El Bejuco los caudales con y sin la participación de la presa de río Grande, para una frecuencia de 100 años, son de 306 y 471 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Lo que significa que la presa alivia en un 35% los caudales combinados de los ríos Mosquito y Grande.
- ❖ El canal Bypass en óptimas condiciones puede transportar 250 m<sup>3</sup>/s, lo cual genera una reducción de los caudales que se dirigen a la ciudad de Chone.
- ❖ Según los resultados de las simulaciones hidráulicas, los niveles del agua en la ciudad de Chone, para las crecientes analizadas, seguirán produciendo inundaciones, aun con la inclusión de la presa de río Grande y del canal bypass, por efecto del río Garrapata.
- ❖ Para reducir las inundaciones en Chone se debe pensar en construir un sistema para regular los caudales del río Garrapata.

## CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES

- ❖ Se ha estructurado un modelo hidrológico hidráulico para simular el comportamiento del sistema del río Chone. La información topográfica, sobre todo en los sectores de la cuenca baja, no es de buena calidad por lo que los resultados podrían ser no muy confiables.
- ❖ El HEC RAS, que es el programa que se ha utilizado para la simulación hidráulica tiene una interface para trabajar con el Sistema de información geográfica, por lo que disponer de esta información será de gran utilidad para efectuar simulaciones que estén más ajustadas a la realidad.
- ❖ A nivel operativo y como una medida para reducir los riesgos y niveles de inundación en la ciudad de Chone, debe habilitarse el canal Bypass hasta alcanzar la descarga en La Segua, como está previsto. Además de esto se debe realizar mantenimientos del canal, para que de esta manera no se reduzca su capacidad de transporte.
- ❖ Es necesario efectuar las simulaciones hasta la descarga del sistema a través de la presa de Simbocal, la que cuenta con compuertas que permiten regular el comportamiento en la descarga. Para esto se requiere la incorporación de los hidrogramas del Carrizal y obviamente de información cartográfica.
- ❖ En el país debería existir reglamentación sobre la ocupación de las llanuras de inundación, ya que estas ayudan a la regulación de los caudales de los ríos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Ambrosino, S.; Barbeito, O.; Bertoni, J.; Daniele, A.; Maza, J.; Paoli, C.; Serra, J. (2004). *Inundaciones urbanas en Argentina*. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba.
- ✓ Chow, V.; Maidment, D.; y Ways, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia.: McGraw-Hill.
- ✓ Dorigo, A. (2013). *Derivación de las curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (i.d.t.) para las ciudades de Portoviejo y Chone*. Tesis de Ingeniero Civil. UCSG, Guayaquil, Ecuador.
- ✓ Hamill, L. (2011). *Understanding hydraulics*. New York, New York.: Palgrave Macmillan.
- ✓ National Resource Conservation Service. (n.d.). *National Engineering Handbook Hydrology Chapters*. Consultado 02 enero 2016, de USDA. Disponible en: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/?cid=stelprdb1043063>
- ✓ Ponce, V. (1989). *Engineering Hydrology: Principles and Practices*. New Jersey. Prentice-Hall.
- ✓ Sánchez, J. (2013). *Tránsito de hidrogramas*. En Universidad de Salamanca. Consultado el 01 de febrero del 2016. Disponible en [http://hidrologia.usal.es/temas/Transito\\_Hidrogramas.pdf](http://hidrologia.usal.es/temas/Transito_Hidrogramas.pdf)
- ✓ Seybert, T. (2006). *Stormwater Management for Land Development*. Hoboken, New Jersey. Wiley.
- ✓ Springall, R. (n.d.). *Hidrología. Primera parte*. México.: UNAM

- ✓ Soulis, K.; Valiantzas, J. (2012). *SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds – the two-CN system approach*. Consultado 02 de Diciembre 2015. Disponible en <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/1001/2012/hess-16-1001-2012.pdf>
- ✓ Tucci, C. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*. Córdoba, Argentina OMM – WMO.
- ✓ Universidad de Valladolid. (2014). Modelamiento hidrológico con HEC-HMS (GEO-HMS): pronóstico de crecidas. España.

## **ANEXOS**

- ✓ Hietogramas
- ✓ Hidrogramas
- ✓ Perfiles de niveles máximos del agua
- ✓ Hidrograma y variación de niveles en secciones de interés.
- ✓ Planos

**PERIODO DE RETORNO : 100 AÑOS**  
**DURACIÓN DE LLUVIA : 6 HORAS**  
**MÉTODO DE LOS BLOQUES ALTERNOS**

CHONE						
5 min < 40 min		$i = \frac{43.903}{t^{0.2787}} \times Id_{TR}$			40min < 1440 min $i = \frac{269.56}{t^{0.7759}} \times Id_{TR}$	
ITR (mm/h)= 7.38						
t	i	h	incremento	alternados	acumulado	adimensional
min	mm/h	mm				
10	170.55	28.42	28.42	0.78	0.78	0.006
20	140.59	46.86	18.44	0.82	1.60	0.013
30	125.57	62.78	15.92	0.86	2.45	0.020
40	113.68	75.78	13.00	0.90	3.35	0.027
50	95.61	79.67	3.89	0.95	4.31	0.035
60	82.99	82.99	3.32	1.01	5.31	0.043
70	73.64	85.91	2.92	1.07	6.39	0.052
80	66.39	88.52	2.61	1.15	7.54	0.061
90	60.59	90.89	2.37	1.24	8.78	0.071
100	55.84	93.06	2.17	1.35	10.13	0.082
110	51.86	95.07	2.01	1.48	11.62	0.094
120	48.47	96.94	1.87	1.65	13.27	0.107
130	45.55	98.70	1.75	1.87	15.14	0.122
140	43.01	100.35	1.65	2.17	17.31	0.140
150	40.76	101.91	1.56	2.61	19.92	0.161
160	38.77	103.40	1.48	3.32	23.25	0.187
170	36.99	104.81	1.41	13.00	36.25	0.292
180	35.39	106.16	1.35	18.44	54.69	0.441
190	33.93	107.46	1.29	28.42	83.11	0.670
200	32.61	108.70	1.24	15.92	99.03	0.799
210	31.40	109.89	1.20	3.89	102.92	0.830
220	30.28	111.04	1.15	2.92	105.84	0.853
230	29.26	112.16	1.11	2.37	108.20	0.873
240	28.31	113.23	1.07	2.01	110.21	0.889
250	27.43	114.27	1.04	1.75	111.97	0.903
260	26.60	115.28	1.01	1.56	113.53	0.916
270	25.84	116.26	0.98	1.41	114.94	0.927
280	25.12	117.21	0.95	1.29	116.24	0.937
290	24.44	118.14	0.93	1.20	117.43	0.947
300	23.81	119.04	0.90	1.11	118.55	0.956
310	23.21	119.92	0.88	1.04	119.59	0.964
320	22.64	120.77	0.86	0.98	120.56	0.972
330	22.11	121.61	0.84	0.93	121.49	0.980
340	21.60	122.42	0.82	0.88	122.37	0.987
350	21.12	123.22	0.80	0.84	123.20	0.994
360	20.67	124.00	0.78	0.80	124.00	1.000

**PERIODO DE RETORNO : 200 AÑOS**  
**DURACIÓN DE LLUVIA : 6 HORAS**  
**MÉTODO DE LOS BLOQUES ALTERNOS**

CHONE						
5 min < 40 min	$i = \frac{43.903}{t^{0.2787}} \times Id_{TR}$			$40\text{min} < 1440\text{min} \frac{269.56}{t^{0.7759}} \times Id_{TR}$		
I <sub>TR</sub> (mm/h)= 8.1						
t	i	h	incremento	alternados	acumulado	adimensional
min	mm/h	mm				
10	187.19	31.20	31.20	0.86	0.86	0.006
20	154.31	51.44	20.24	0.90	1.75	0.013
30	137.82	68.91	17.47	0.94	2.69	0.020
40	124.77	83.18	14.27	0.99	3.68	0.027
50	104.93	87.44	4.27	1.04	4.73	0.035
60	91.09	91.09	3.65	1.11	5.83	0.043
70	80.82	94.29	3.20	1.18	7.01	0.052
80	72.87	97.16	2.86	1.26	8.28	0.061
90	66.50	99.76	2.60	1.36	9.64	0.071
100	61.28	102.14	2.38	1.48	11.12	0.082
110	56.91	104.34	2.21	1.63	12.75	0.094
120	53.20	106.40	2.05	1.81	14.57	0.107
130	50.00	108.32	1.93	2.05	16.62	0.122
140	47.20	110.14	1.81	2.38	19.00	0.140
150	44.74	111.85	1.72	2.86	21.87	0.161
160	42.56	113.48	1.63	3.65	25.52	0.187
170	40.60	115.04	1.55	14.27	39.78	0.292
180	38.84	116.52	1.48	20.24	60.02	0.441
190	37.24	117.94	1.42	31.20	91.22	0.670
200	35.79	119.30	1.36	17.47	108.69	0.799
210	34.46	120.61	1.31	4.27	112.96	0.830
220	33.24	121.88	1.26	3.20	116.16	0.853
230	32.11	123.10	1.22	2.60	118.76	0.873
240	31.07	124.28	1.18	2.21	120.96	0.889
250	30.10	125.42	1.14	1.93	122.89	0.903
260	29.20	126.53	1.11	1.72	124.61	0.916
270	28.36	127.60	1.07	1.55	126.16	0.927
280	27.57	128.65	1.04	1.42	127.58	0.937
290	26.83	129.66	1.02	1.31	128.89	0.947
300	26.13	130.65	0.99	1.22	130.11	0.956
310	25.47	131.61	0.96	1.14	131.25	0.964
320	24.85	132.55	0.94	1.07	132.33	0.972
330	24.27	133.47	0.92	1.02	133.34	0.980
340	23.71	134.37	0.90	0.96	134.31	0.987
350	23.18	135.24	0.88	0.92	135.22	0.994
360	22.68	136.10	0.86	0.88	136.10	1.000



**PERIODO DE RETORNO : 100 AÑOS**  
**DURACIÓN DE LLUVIA : 3 HORAS**  
**MÉTODO DE LOS BLOQUES ALTERNOS**

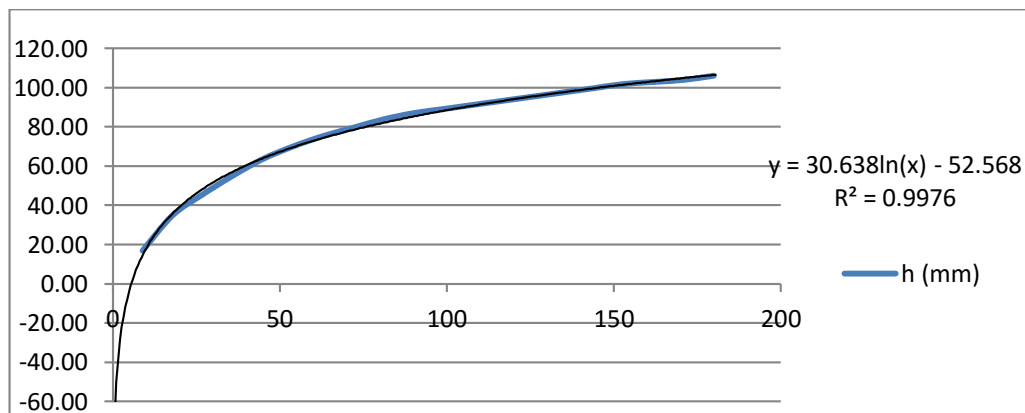
<b>CHONE</b>								
5 min < 40 min		$i = \frac{43.903}{t^{0.2787}} \times I d_{TR}$			40min < 1440 min		$i = \frac{269.56}{t^{0.7759}} \times I d_{TR}$	
<b>I<sub>TR</sub> (mm/h)= 7.38</b>								
<b>t</b>	<b>i</b>	<b>h</b>	<b>incremento</b>	<b>alternados</b>	<b>acumulado</b>	<b>adimensional</b>		
<b>min</b>	<b>mm/h</b>	<b>mm</b>						
10	170.55	28.42	28.42	1.35	1.35	0.013		
20	140.59	46.86	18.44	1.48	2.84	0.027		
30	125.57	62.78	15.92	1.65	4.49	0.042		
40	113.68	75.78	13.00	1.87	6.36	0.060		
50	95.61	79.67	3.89	2.17	8.53	0.080		
60	82.99	82.99	3.32	2.61	11.14	0.105		
70	73.64	85.91	2.92	3.32	14.46	0.136		
80	66.39	88.52	2.61	13.00	27.47	0.259		
90	60.59	90.89	2.37	18.44	45.90	0.432		
100	55.84	93.06	2.17	28.42	74.33	0.700		
110	51.86	95.07	2.01	15.92	90.25	0.850		
120	48.47	96.94	1.87	3.89	94.14	0.887		
130	45.55	98.70	1.75	2.92	97.05	0.914		
140	43.01	100.35	1.65	2.37	99.42	0.936		
150	40.76	101.91	1.56	2.01	101.43	0.955		
160	38.77	103.40	1.48	1.75	103.18	0.972		
170	36.99	104.81	1.41	1.56	104.75	0.987		
180	35.39	106.16	1.35	1.41	106.16	1.000		

**PERIODO DE RETORNO : 200 AÑOS**  
**DURACIÓN DE LLUVIA : 3 HORAS**  
**MÉTODO DE LOS BLOQUES ALTERNOS**

CHONE								
5 min < 40 min		$i = \frac{43.903}{t^{0.2787}} \times Id_{TR}$			40min < 1440 min =		$\frac{269.56}{t^{0.7759}} \times Id_{TR}$	
I <sub>TR</sub> (mm/h)= 8.1								
t	i	h	incremento	alternados	acumulado	adimensional		
min	mm/h	mm						
10	187.19	31.20	31.20	1.48	1.48	0.013		
20	154.31	51.44	20.24	1.63	3.11	0.027		
30	137.82	68.91	17.47	1.81	4.93	0.042		
40	124.77	83.18	14.27	2.05	6.98	0.060		
50	104.93	87.44	4.27	2.38	9.36	0.080		
60	91.09	91.09	3.65	2.86	12.23	0.105		
70	80.82	94.29	3.20	3.65	15.88	0.136		
80	72.87	97.16	2.86	14.27	30.15	0.259		
90	66.50	99.76	2.60	20.24	50.38	0.432		
100	61.28	102.14	2.38	31.20	81.58	0.700		
110	56.91	104.34	2.21	17.47	99.05	0.850		
120	53.20	106.40	2.05	4.27	103.32	0.887		
130	50.00	108.32	1.93	3.20	106.52	0.914		
140	47.20	110.14	1.81	2.60	109.12	0.936		
150	44.74	111.85	1.72	2.21	111.32	0.955		
160	42.56	113.48	1.63	1.93	113.25	0.972		
170	40.60	115.04	1.55	1.72	114.97	0.987		
180	38.84	116.52	1.48	1.55	116.52	1.000		

**PERIODO DE RETORNO : 100 AÑOS**  
**DURACIÓN DE LLUVIA : 3 HORAS**  
**MÉTODO DE HUFF**

Lluvia total	106			
Tiempo (%)	Intensidad (%)	Tiempo (min)	h (mm)	h ajustado a curva
0	0	0		
5	16	9	16.96	14.751
10	33	18	34.98	35.987
15	43	27	45.58	48.410
20	52	36	55.12	57.224
25	60	45	63.60	64.061
30	66	54	69.96	69.646
35	71	63	75.26	74.369
40	75	72	79.50	78.460
45	79	81	83.74	82.069
50	82	90	86.92	85.297
55	84	99	89.04	88.217
60	86	108	91.16	90.883
65	88	117	93.28	93.335
70	90	126	95.40	95.606
75	92	135	97.52	97.720
80	94	144	99.64	99.697
85	96	153	101.76	101.555
90	97	162	102.82	103.306
95	98	171	103.88	104.962
100	100	180	106.00	106.534



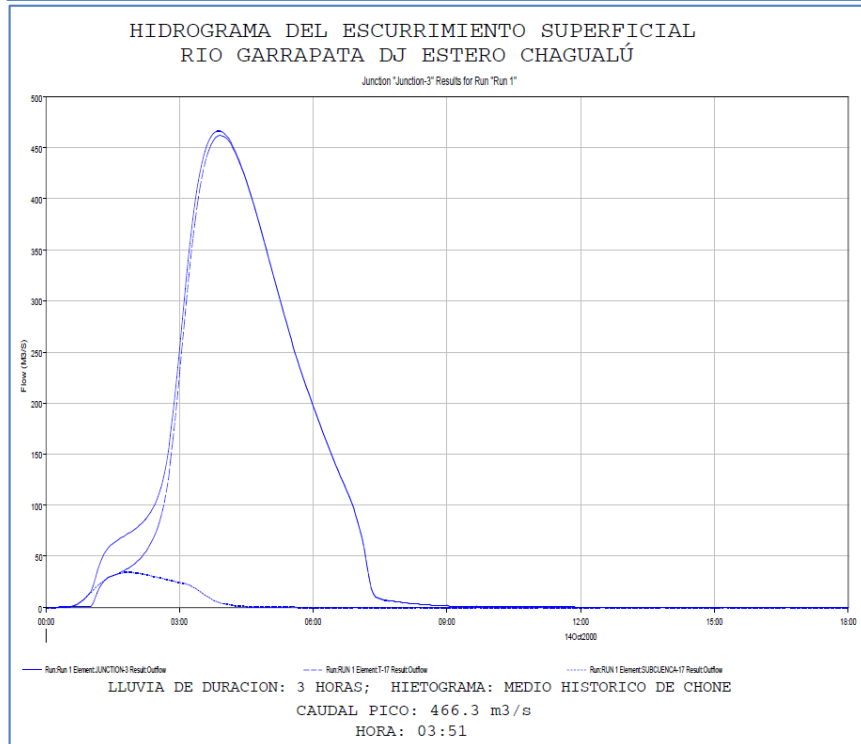
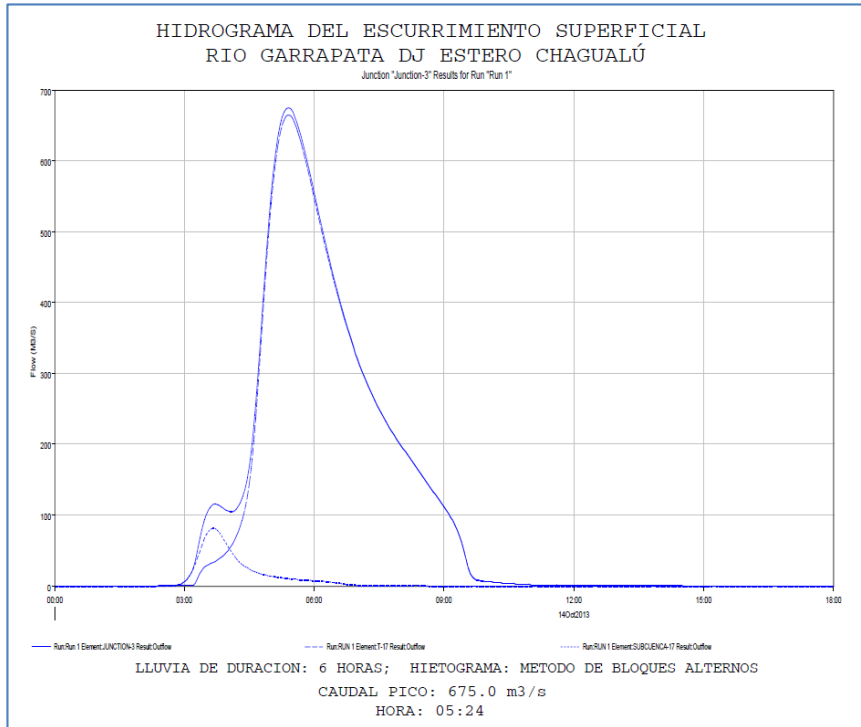
**PERIODO DE RETORNO : 100 AÑOS**  
**DURACIÓN DE LLUVIA : 6 HORAS**  
**HISTOGRAMA MEDIO HISTORICO**

Lluvia total	124	
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Tiempo Adimensional</b>	<b>h (mm)</b>
0	0	0
10	0.028	2.34
20	0.056	9.31
30	0.083	15.98
40	0.111	22.37
50	0.139	28.48
60	0.167	34.32
70	0.194	39.90
80	0.222	45.23
90	0.250	50.31
100	0.278	55.15
110	0.306	59.77
120	0.333	64.16
130	0.361	68.35
140	0.389	72.33
150	0.417	76.11
160	0.444	79.70
170	0.472	83.12
180	0.500	86.36
190	0.528	89.44
200	0.556	92.37
210	0.583	95.15
220	0.611	97.79
230	0.639	100.30
240	0.667	102.69
250	0.694	104.97
260	0.722	107.14
270	0.750	109.21
280	0.778	111.20
290	0.806	113.10
300	0.833	114.93
310	0.861	116.69
320	0.889	118.40
330	0.917	120.07
340	0.944	121.69
350	0.972	123.28
360	1.000	124.84

$$h = 0.515x(t^3) - 1.6244(t^2) + 2.156 x t - 0.0398) x (\text{lluvia total})$$

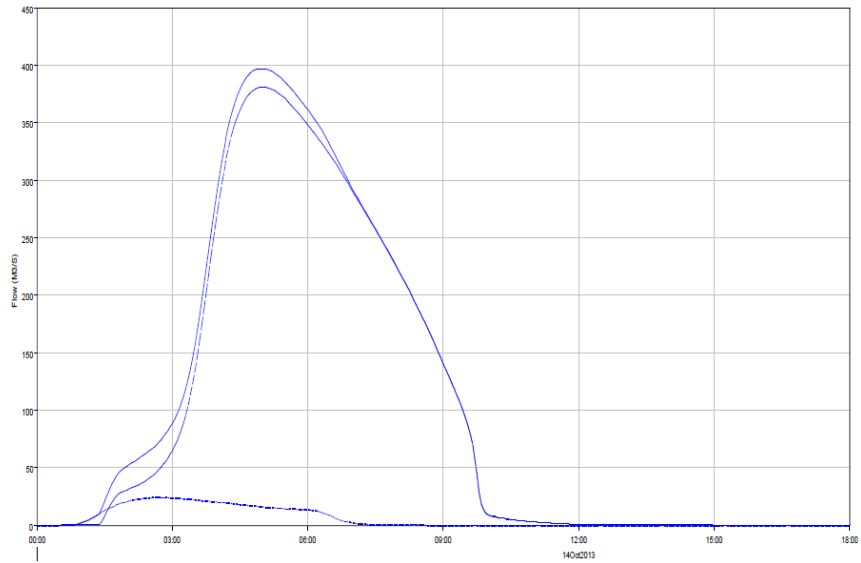
## **CUENCA RIO GARRAPATA (SIMULACIONES HEC HMS)**

### **PERIODO DE RETORNO: 100 AÑOS**



HIDROGRAMA DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL  
RIO GARRAPATA DJ ESTERO CHAGUALÚ

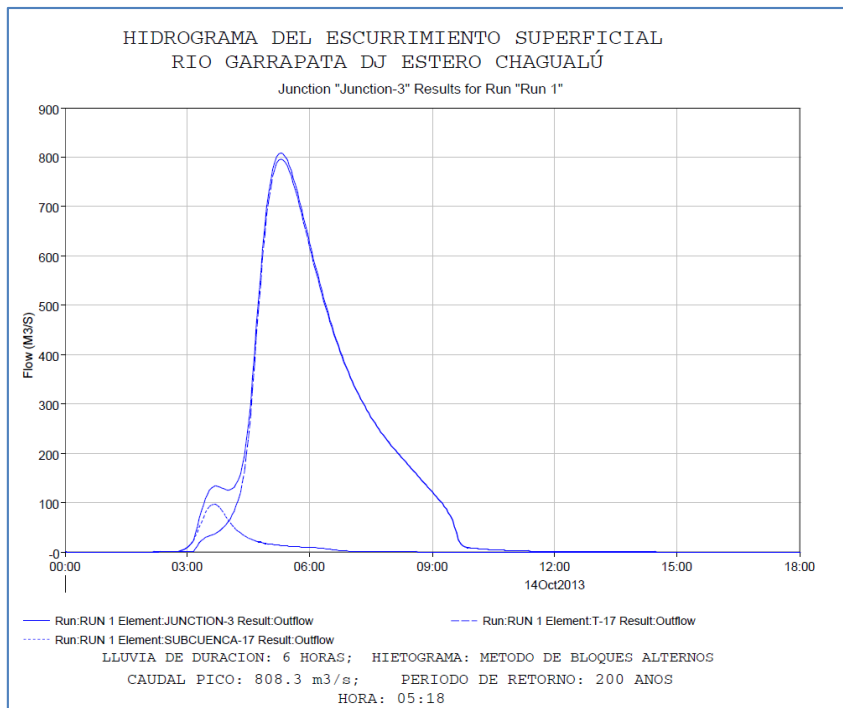
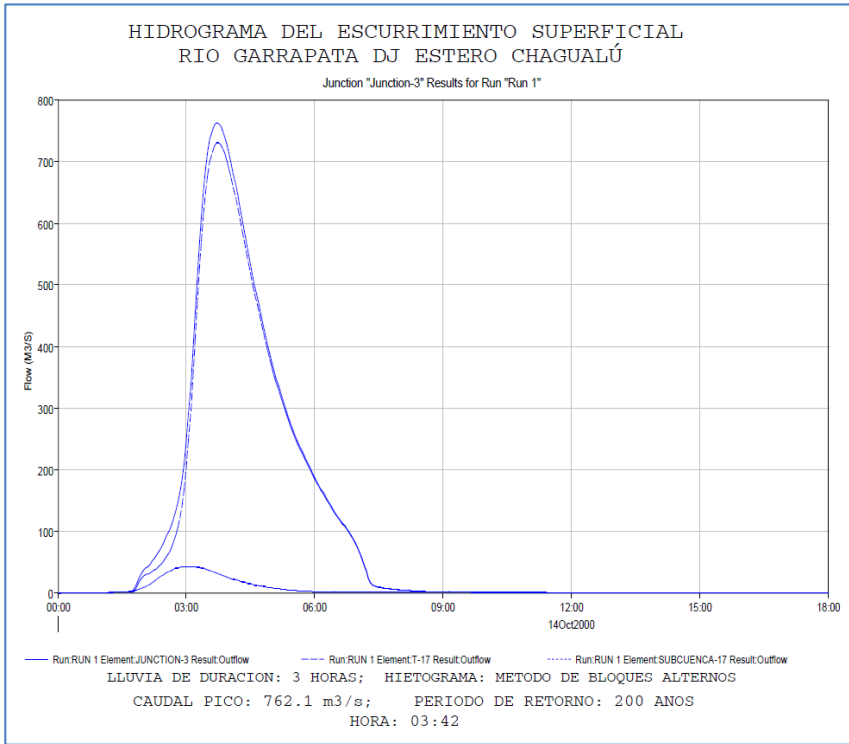
Junction "Junction-3" Results for Rain "Run 1"



Run-Run 1 Element: JUNCTION-3 Result: Outflow  
Run-Run 1 Element: T-10 Result: Outflow  
Run-Run 1 Element: SUBCUENCA-10 Result: Outflow  
LLUVIA DE DURACION: 6 HORAS; HIETOGRAMA: MEDIO HISTORICO DE CHONE  
CAUDAL PICO: 397.1 m3/s  
HORA: 04:57

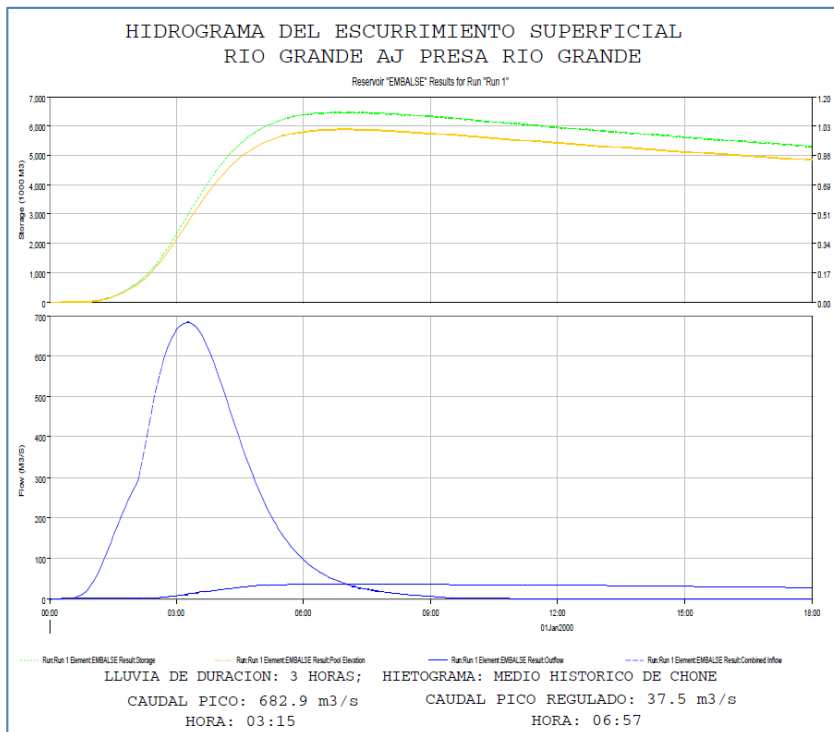
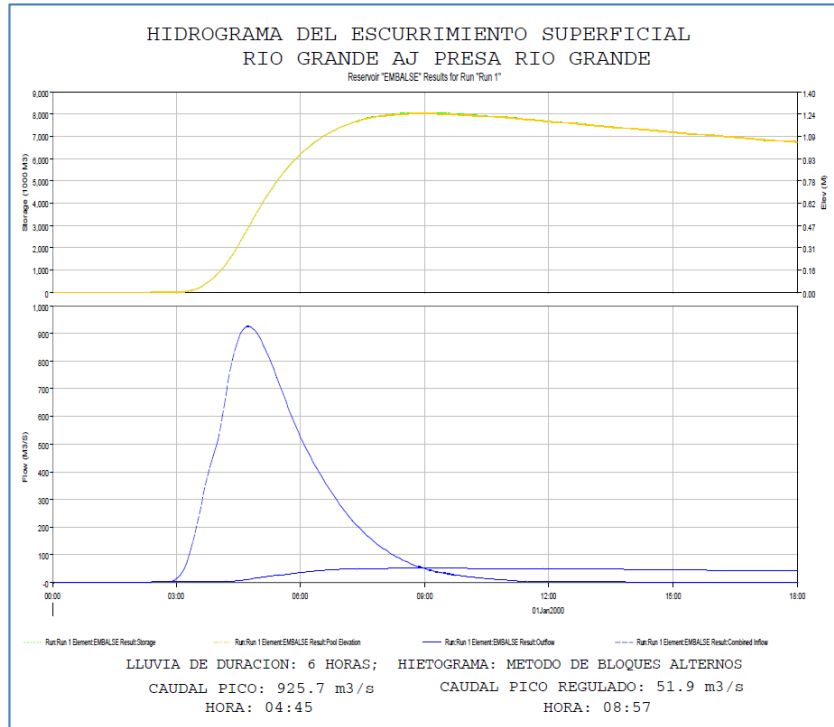
## **CUENCA RIO GARRAPATA (SIMULACIONES HEC HMS)**

### **PERIODO DE RETORNO: 200 AÑOS**



# CUENCA RIO GRANDE (SIMULACIONES HEC HMS)

## PERIODO DE RETORNO: 100 AÑOS

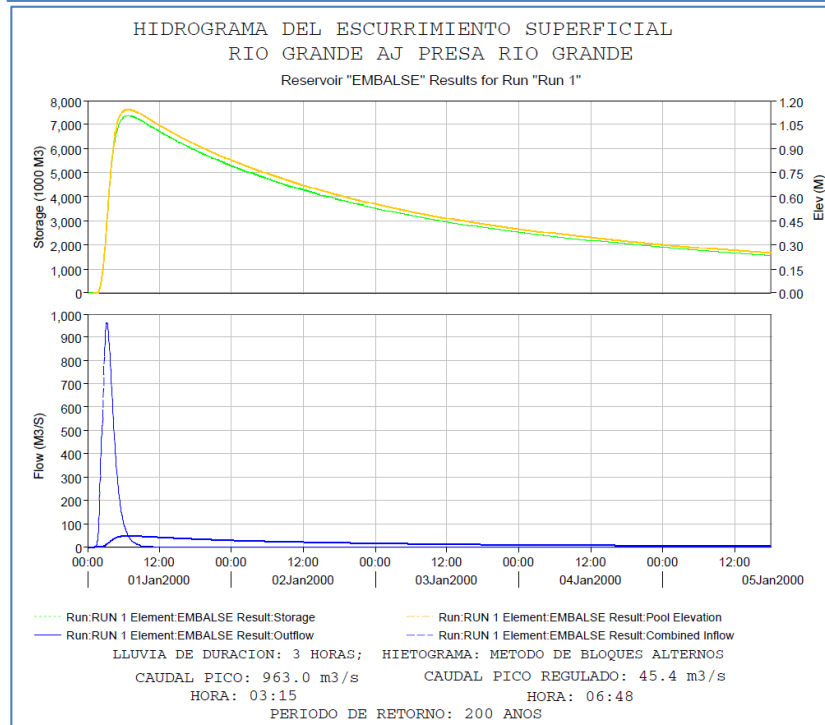
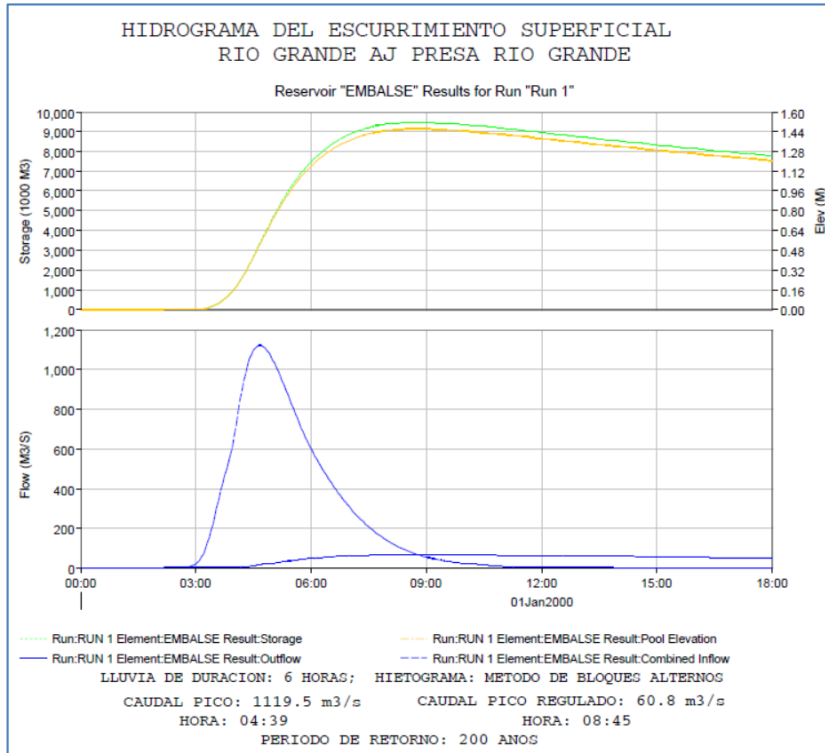






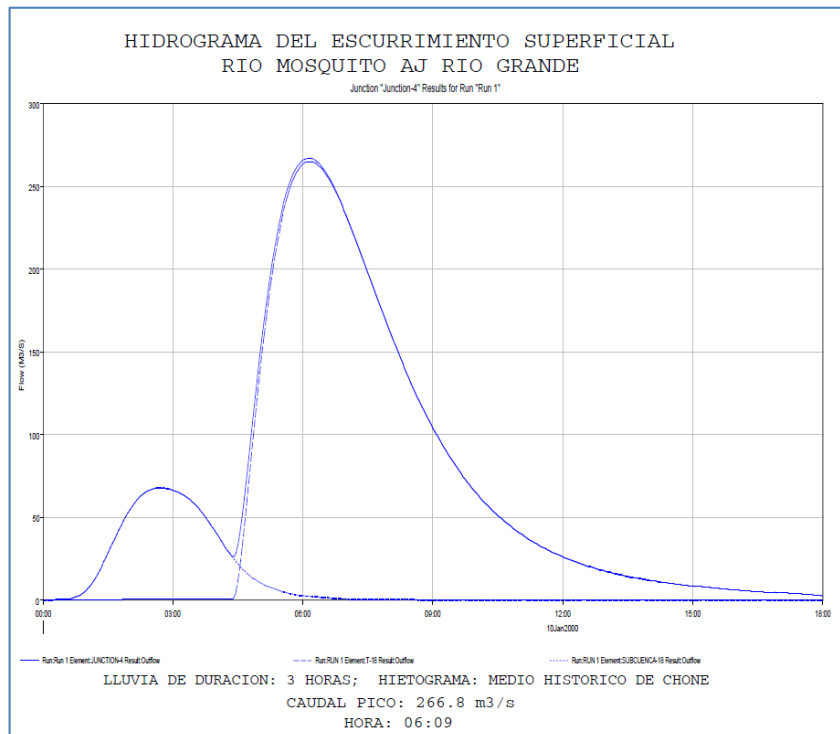
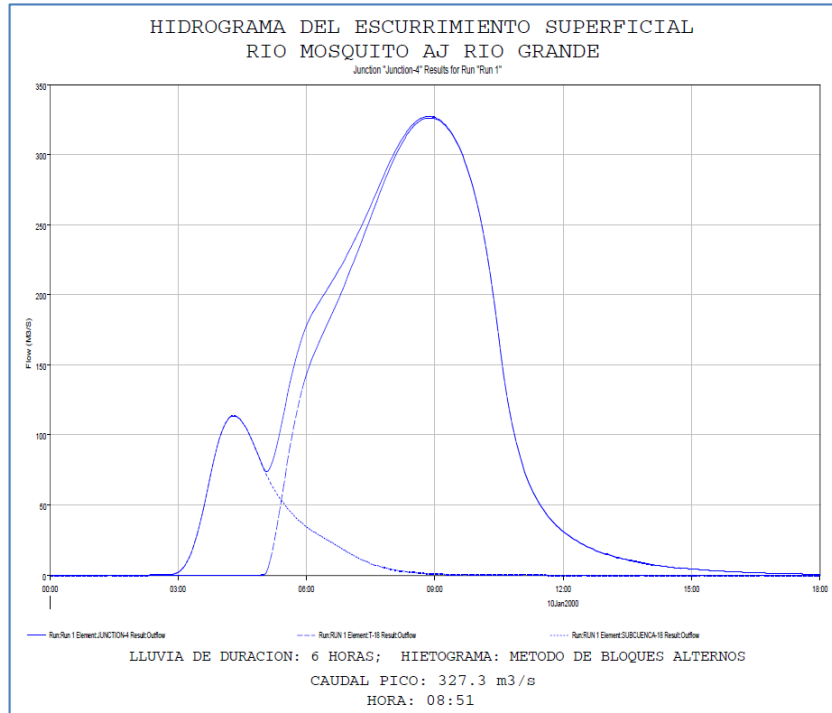
# CUENCA RIO GRANDE (SIMULACIONES HEC HMS)

## PERIODO DE RETORNO: 200 AÑOS



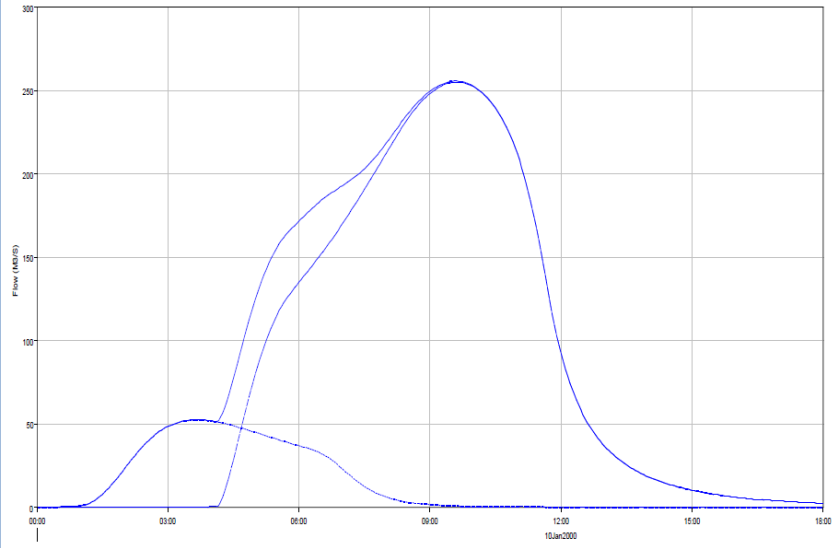
## **CUENCA RIO MOSQUITO (SIMULACIONES HEC HMS)**

### **PERIODO DE RETORNO: 100 AÑOS**



HIDROGRAMA DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL  
RIO MOSQUITO AJ RIO GRANDE

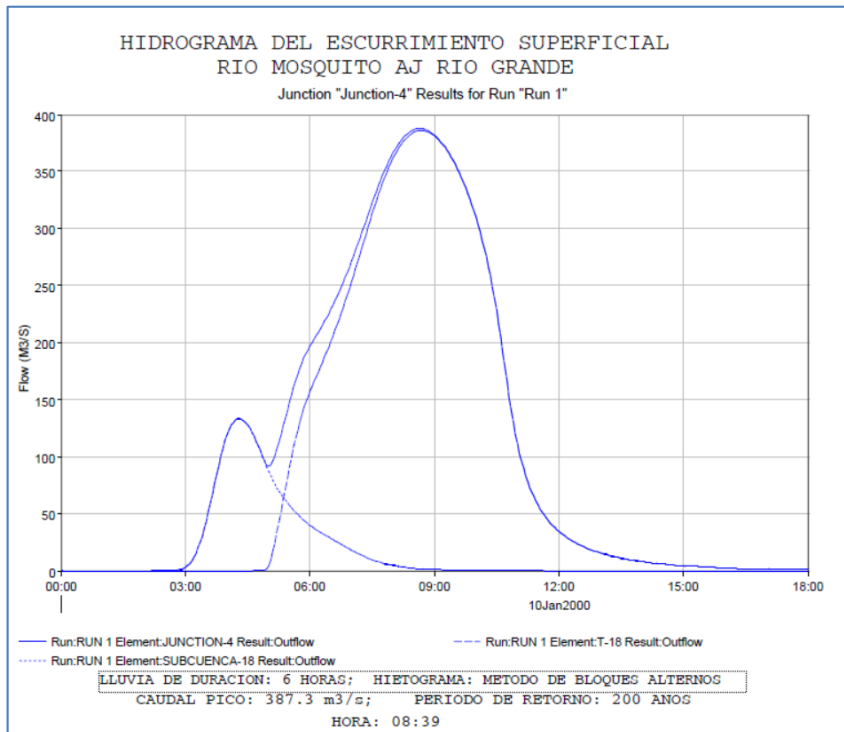
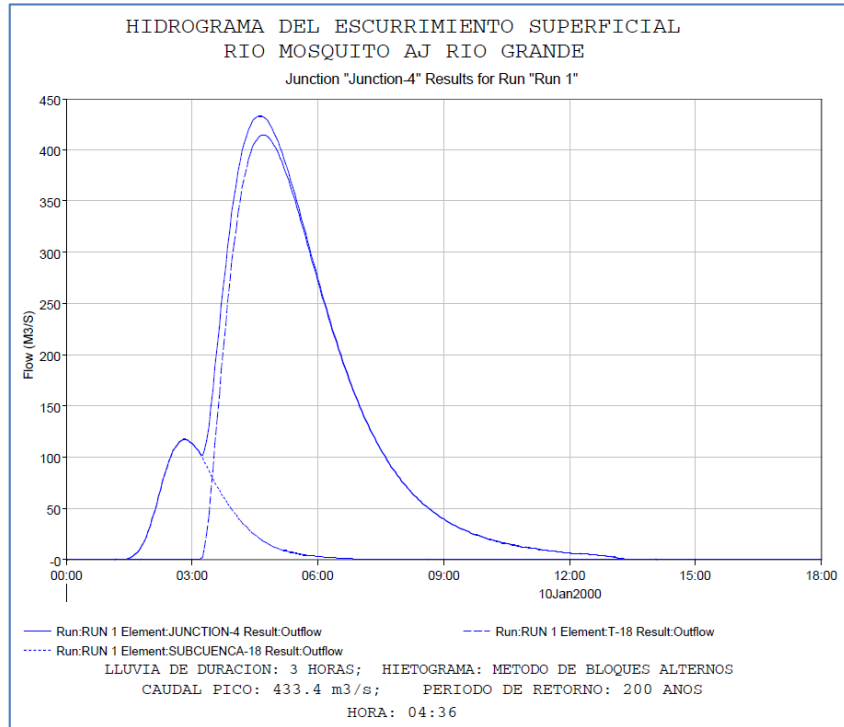
Junction 'Junction-4' Results for Run 'Run 1'



LLUVIA DE DURACION: 6 HORAS; HIETOGRAMA: MEDIO HISTORICO DE CHONE  
CAUDAL PICO: 255.3 m<sup>3</sup>/s  
HORA: 09:36

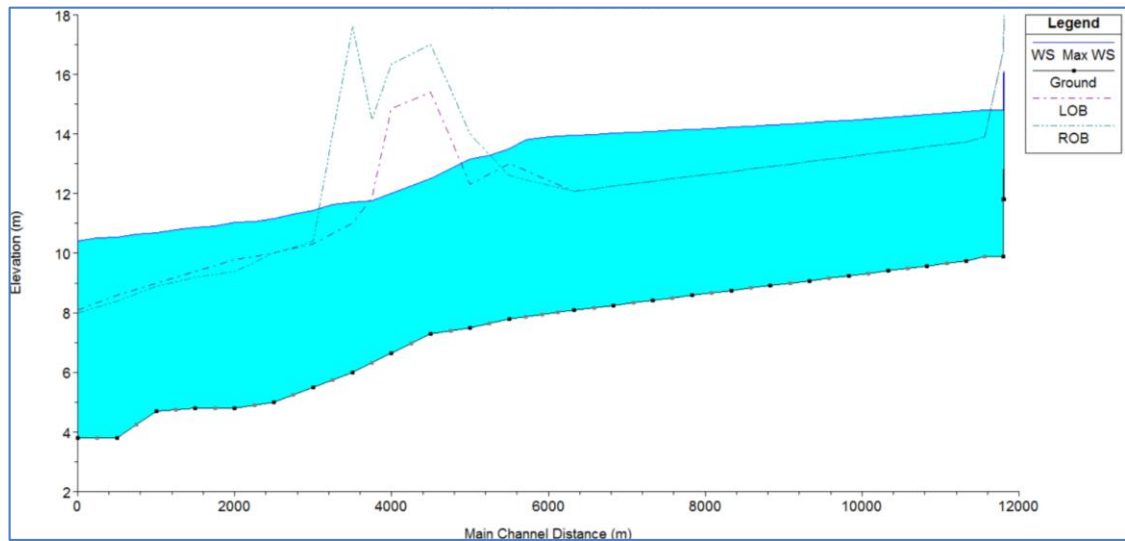
## CUENCA RIO MOSQUITO (SIMULACIONES HEC HMS)

### PERIODO DE RETORNO: 200 AÑOS

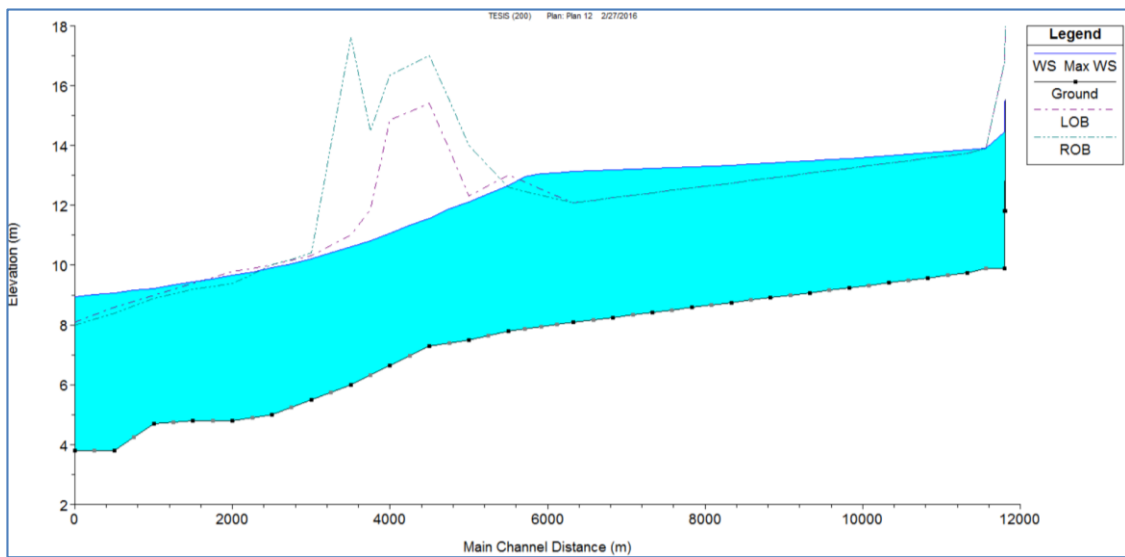


## PERFILES DE NIVELES MAXIMOS DE AGUA (SIMULACIONES HEC RAS)

### CANAL BYPASS

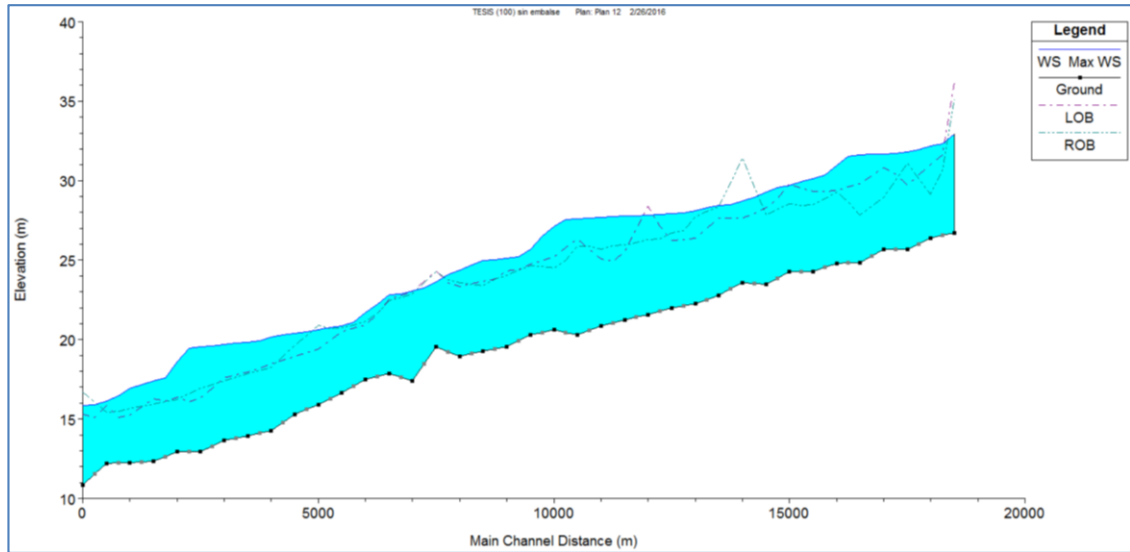


Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.

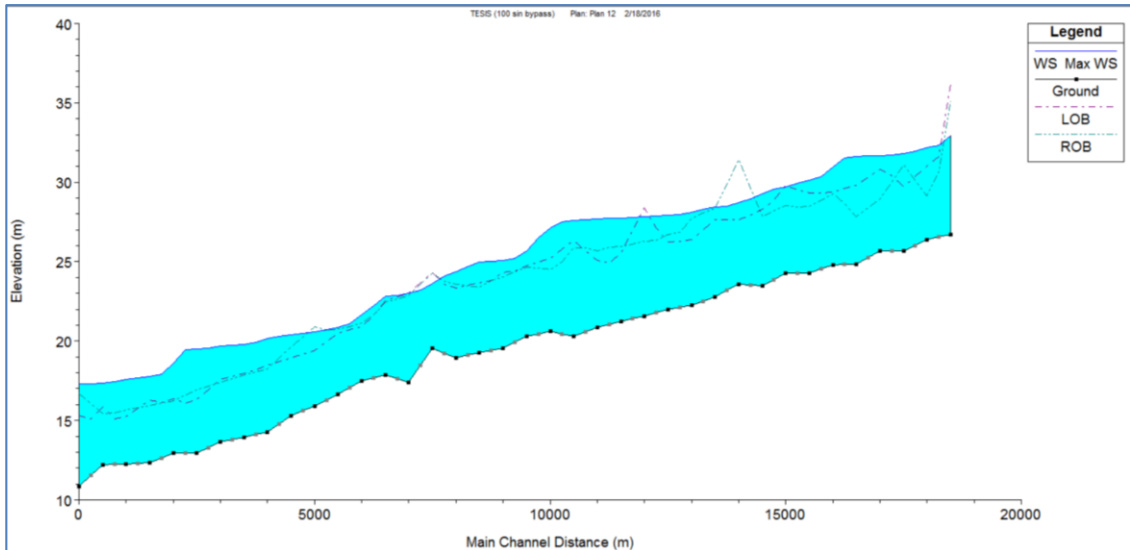


Periodo de Retorno: 200 años.

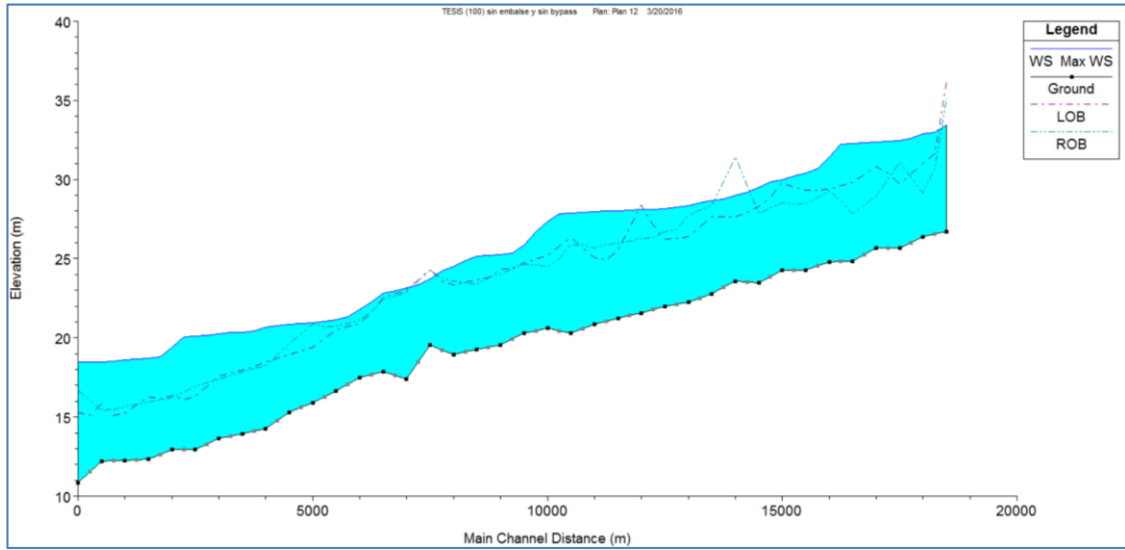
## RIO GARRAPATA



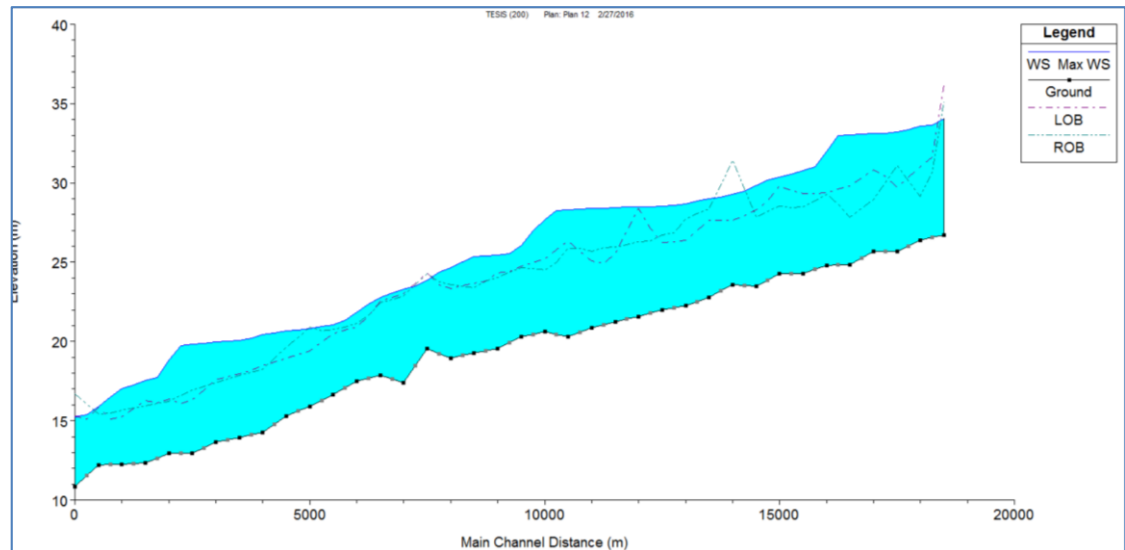
Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.



Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.



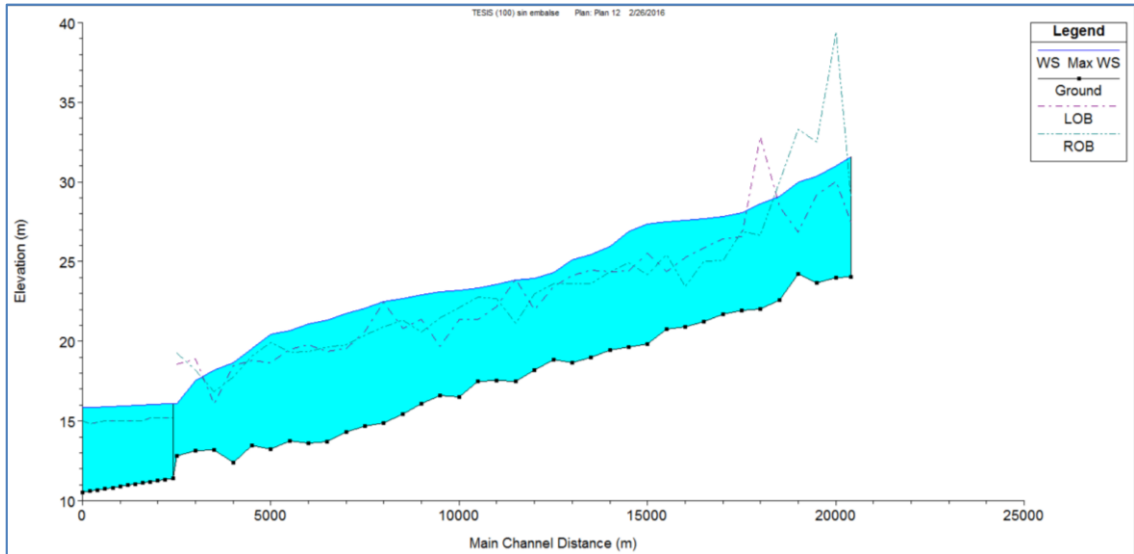
Sin embalse y sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.



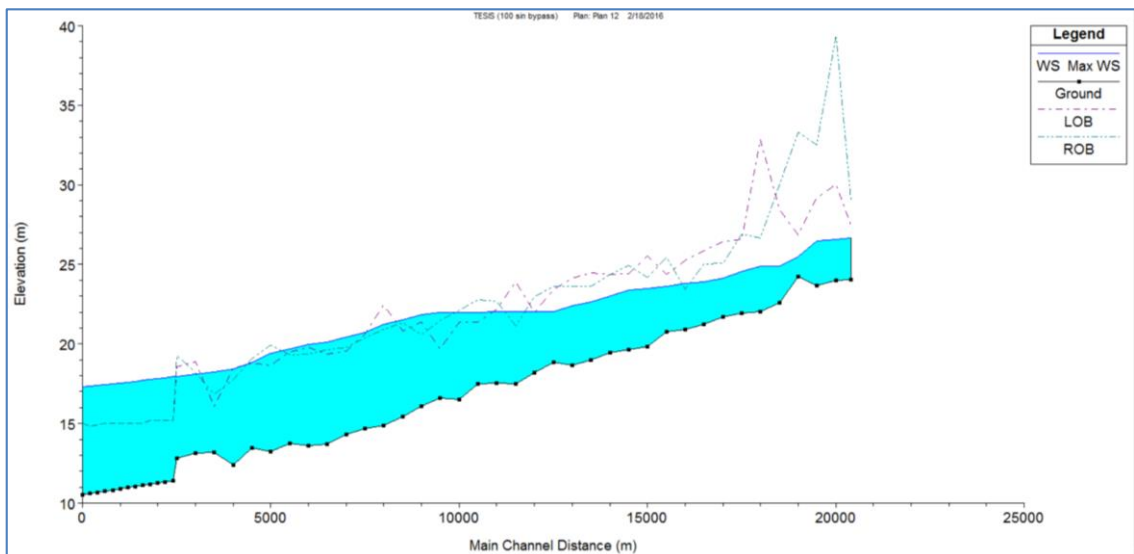
Periodo de Retorno: 200 años.



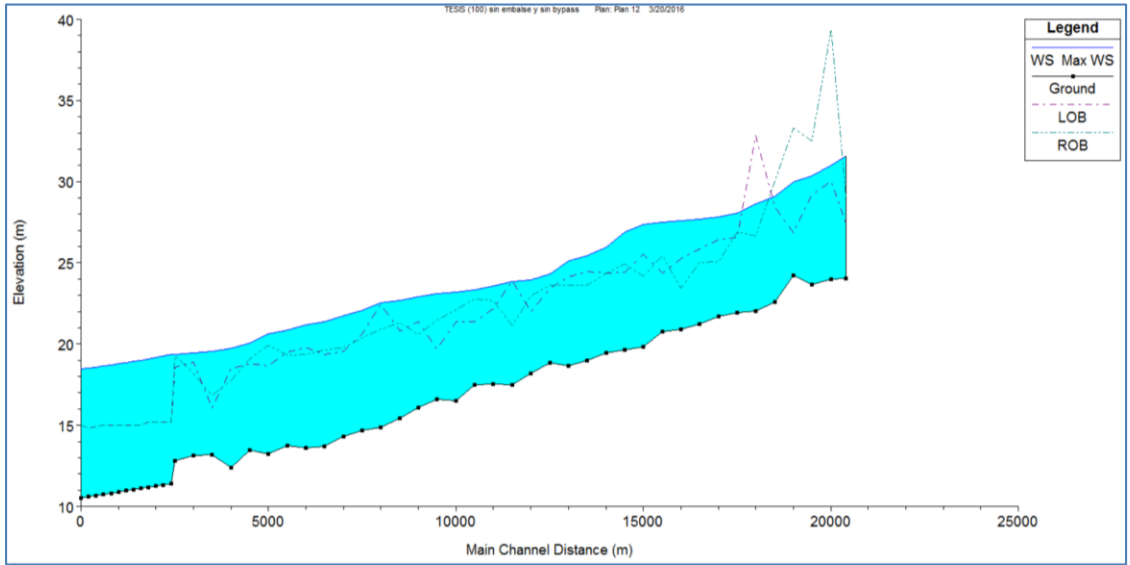
**RIO GRANDE – DESDE LA PRESA HASTA INGRESO DEL RIO GARRAPATA**



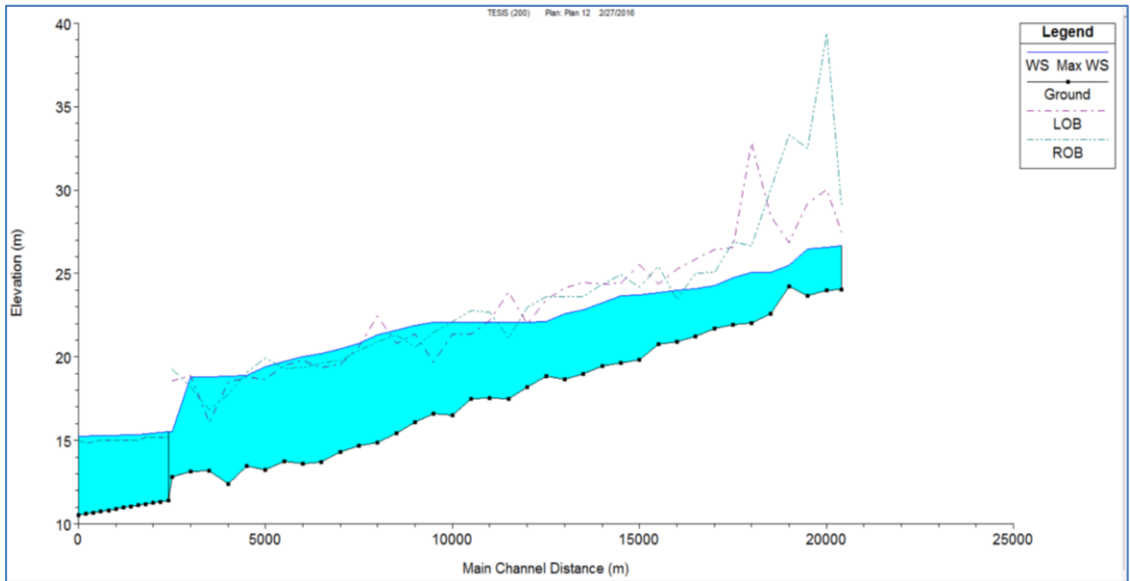
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**

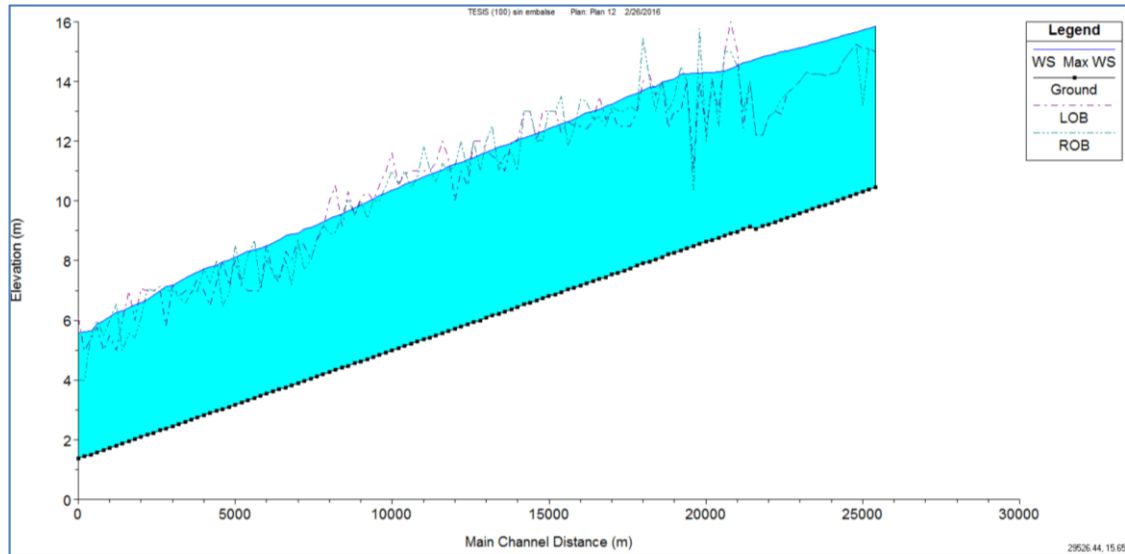


Sin embalse y sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.

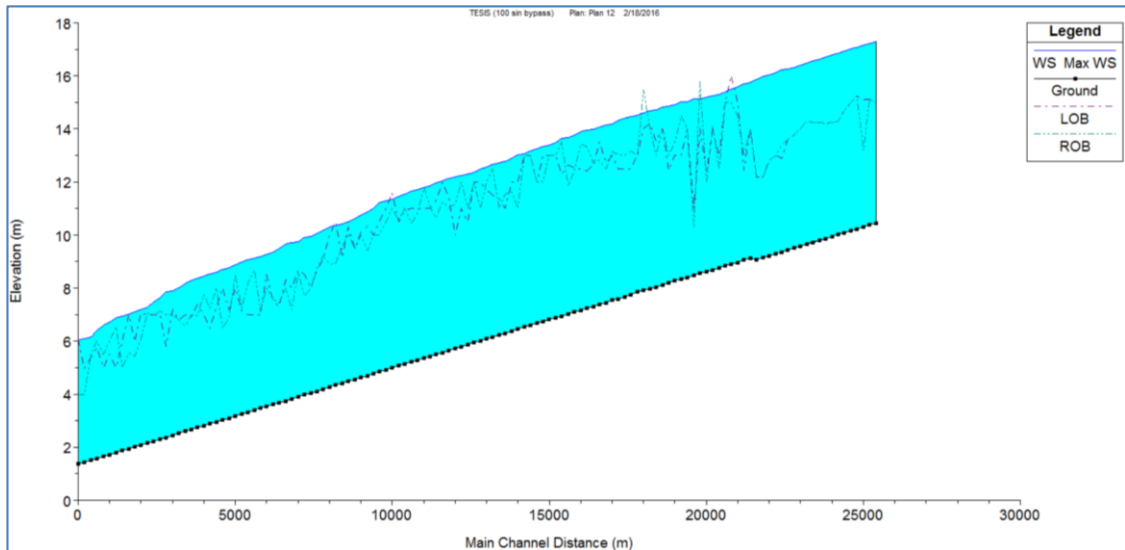


Periodo de Retorno: 200 años.

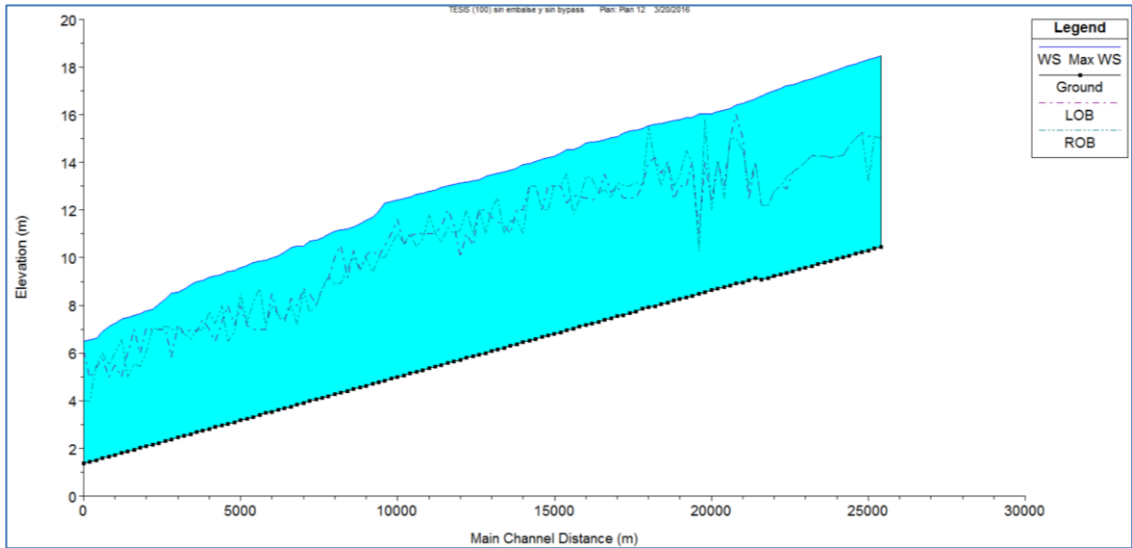
**RIO CHONE- DESDE INGRESO DEL RIO GARRAPATA HASTA PUERTO LARREA**



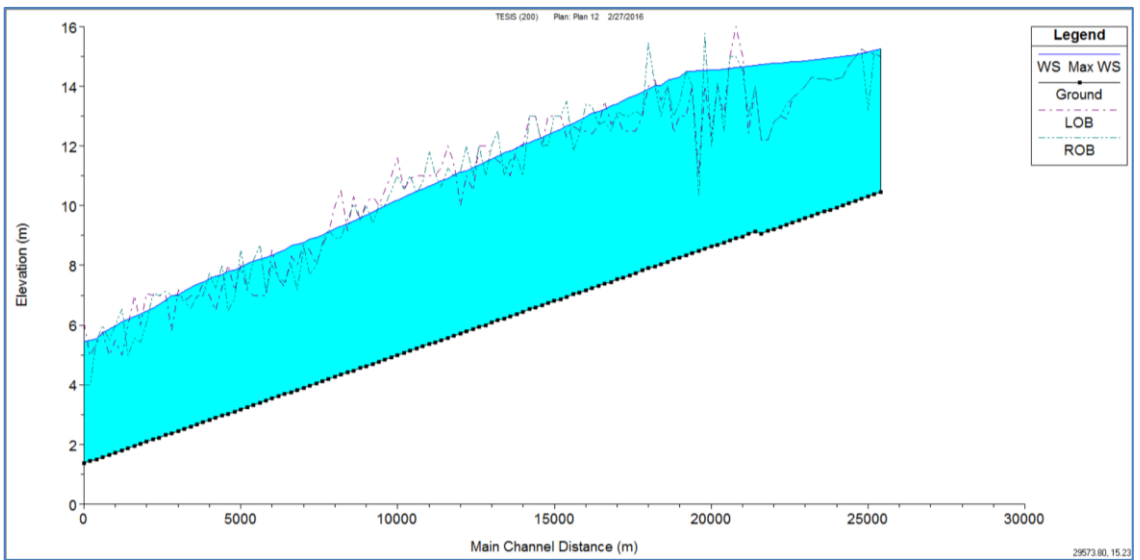
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**



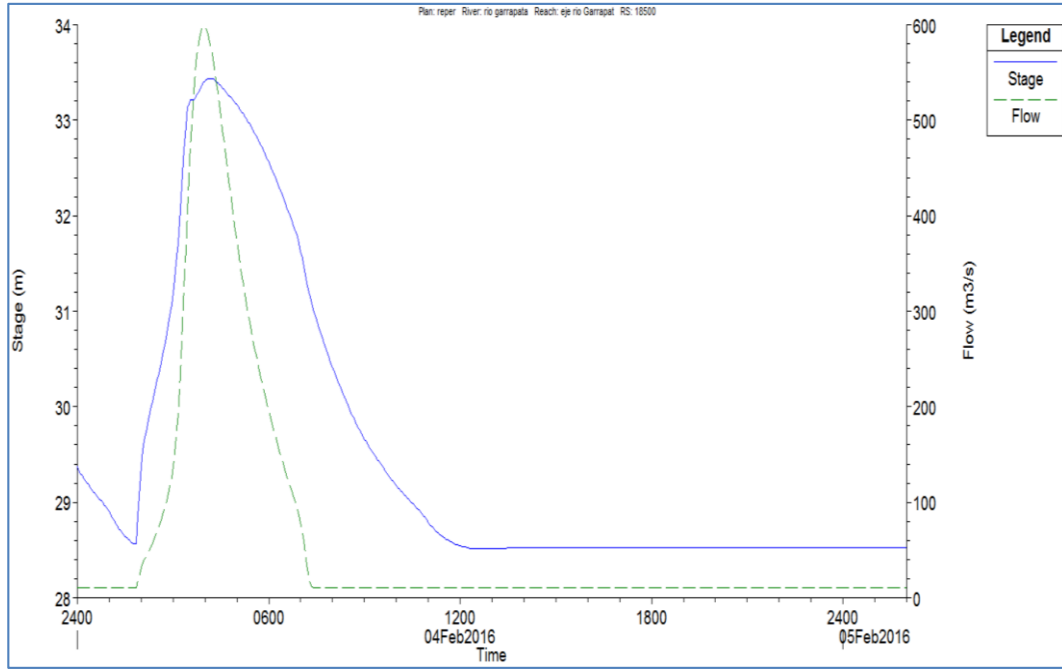
Sin embalse y sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.



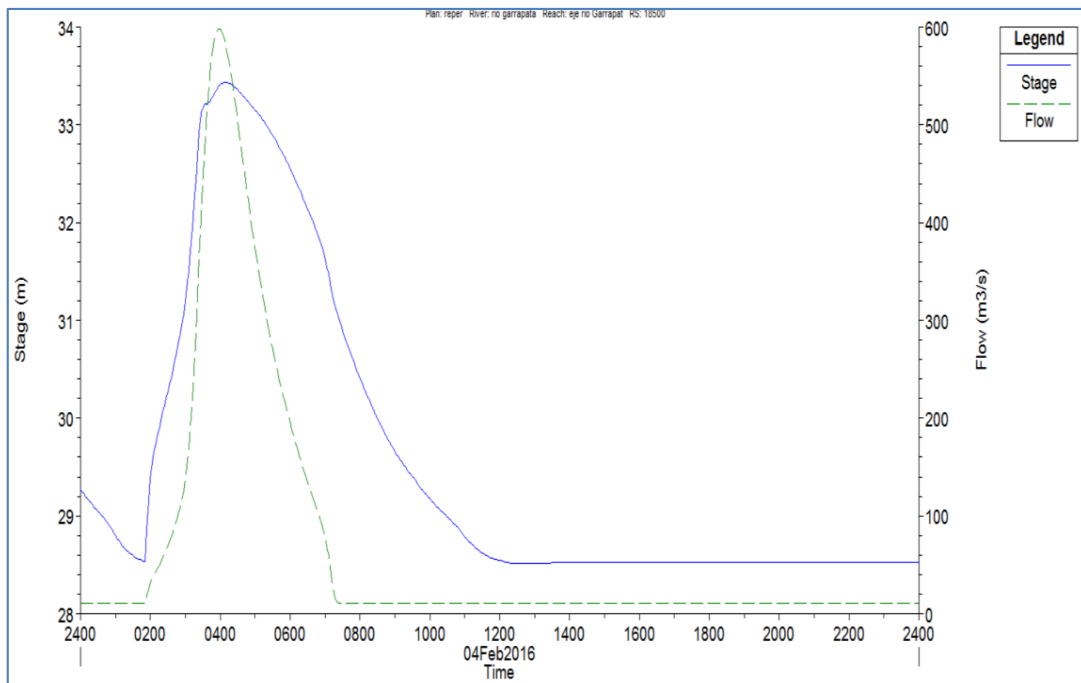
Periodo de Retorno: 200 años.

## SECCIÓN DEL RIO GARRAPATA (18500).

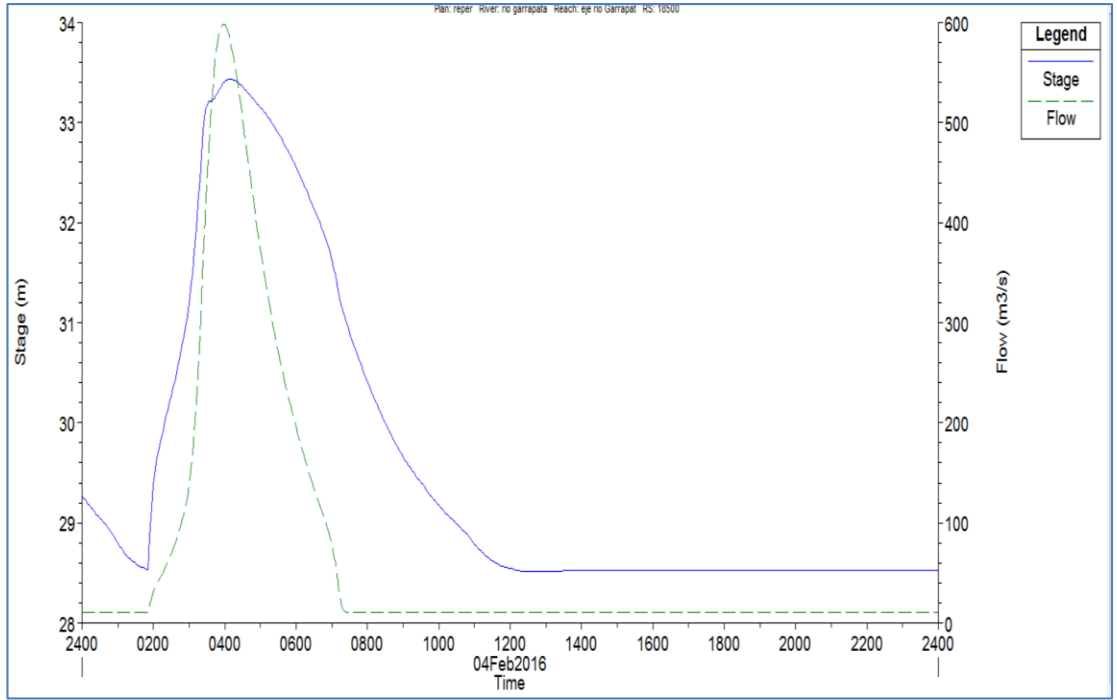
### INICIO.



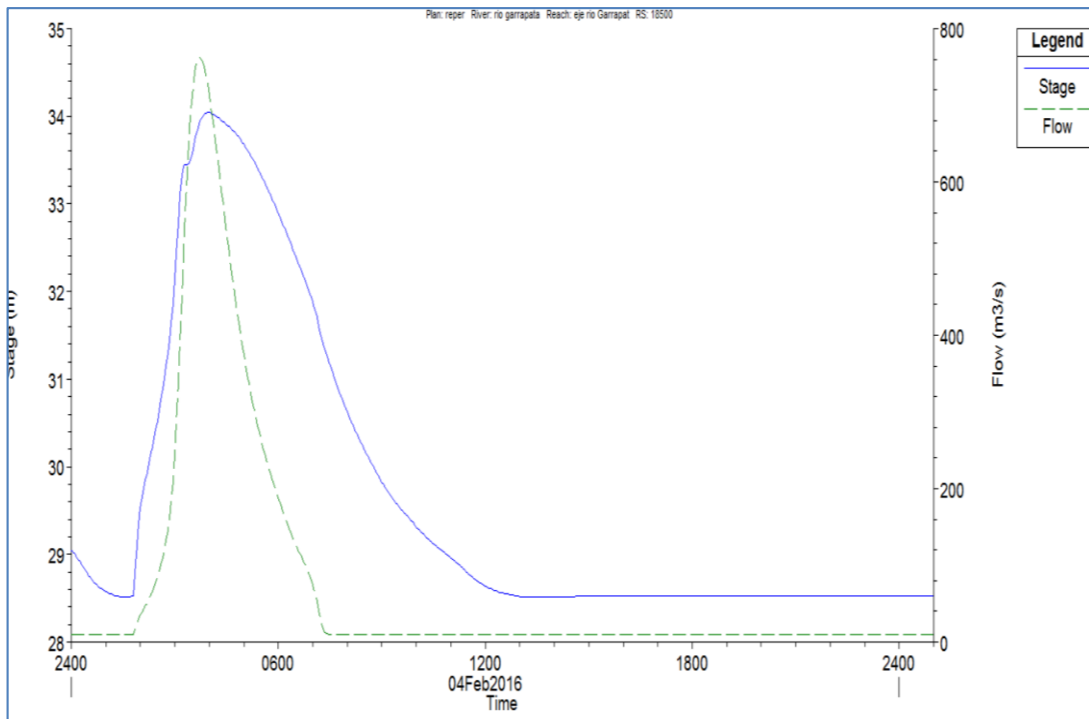
### Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.



### Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.

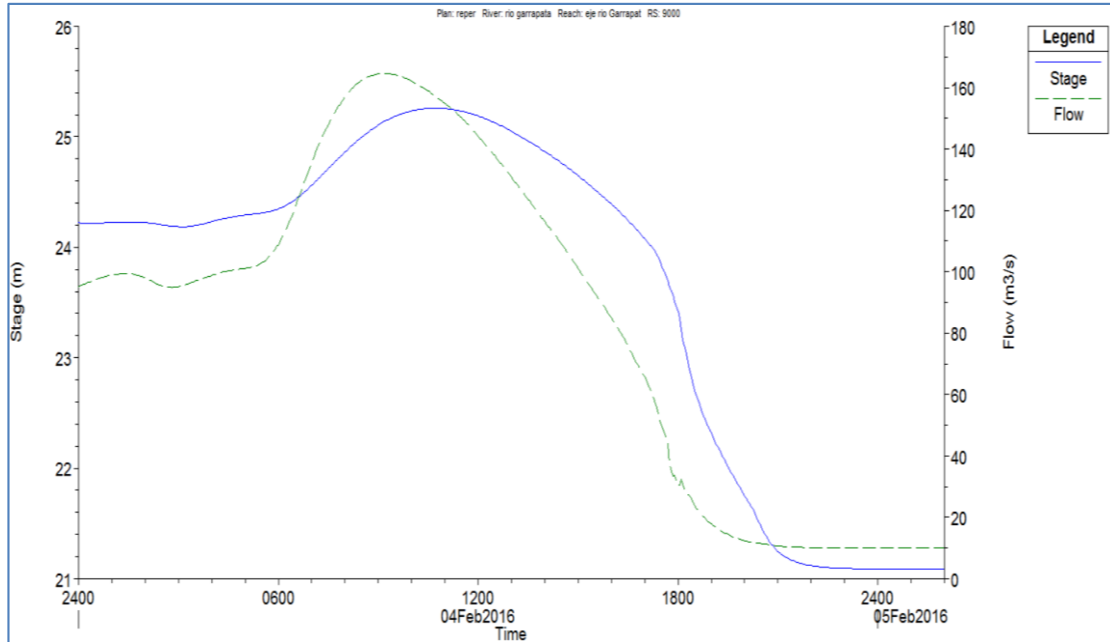


Sin embalse y Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.

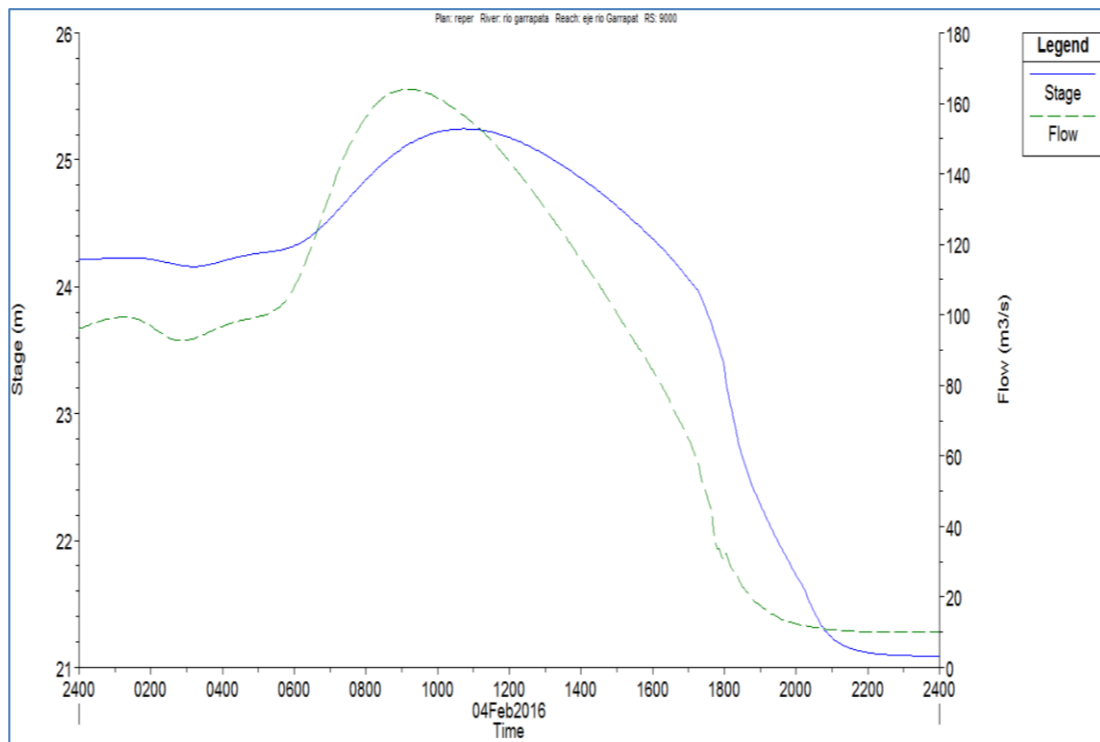


Periodo de Retorno: 200 años.

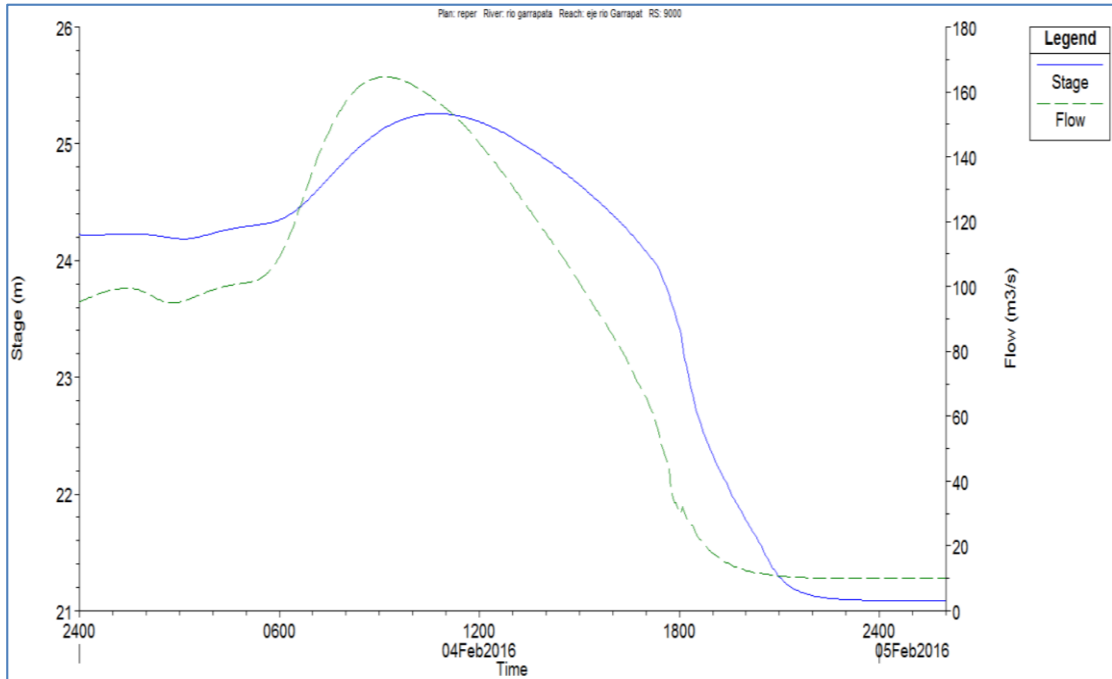
**SECCIÓN DEL RIO GARRAPATA (9000).**  
**MITAD DEL RIO DEL GARRAPATA**



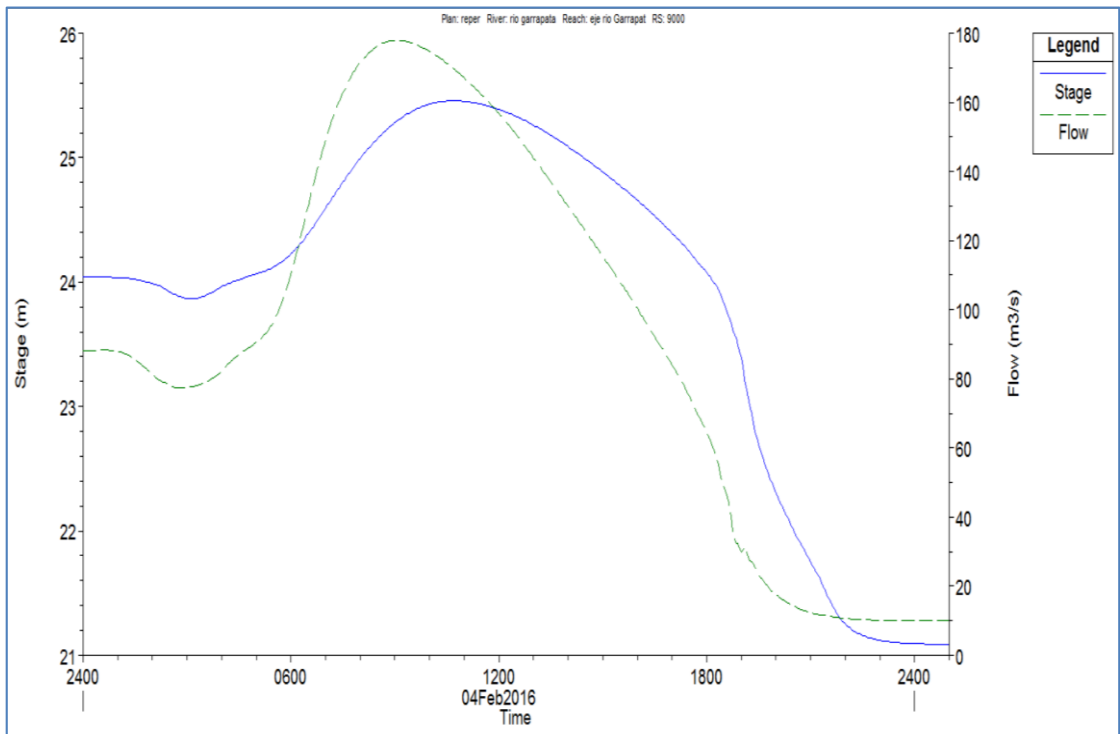
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**



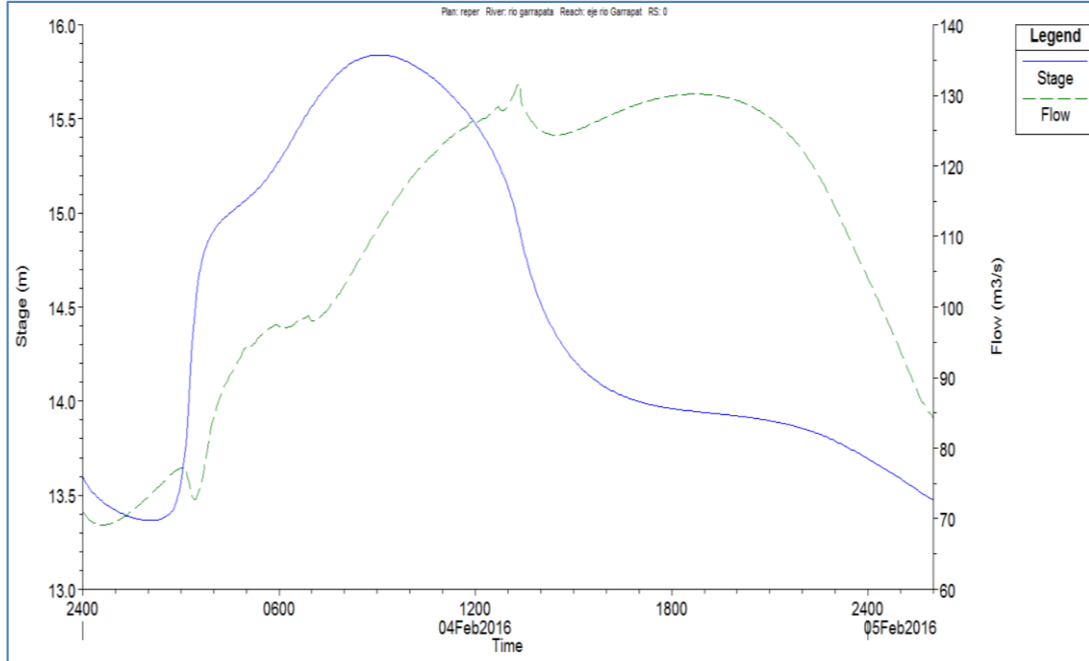
Sin embalse y Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.



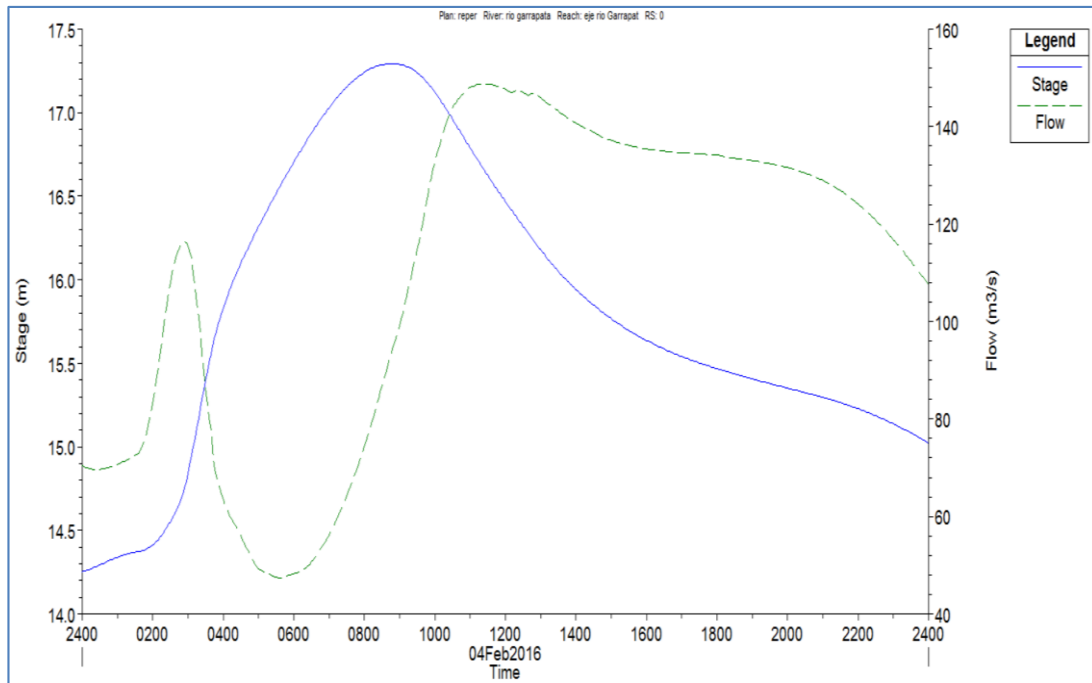
Periodo de Retorno: 200 años.



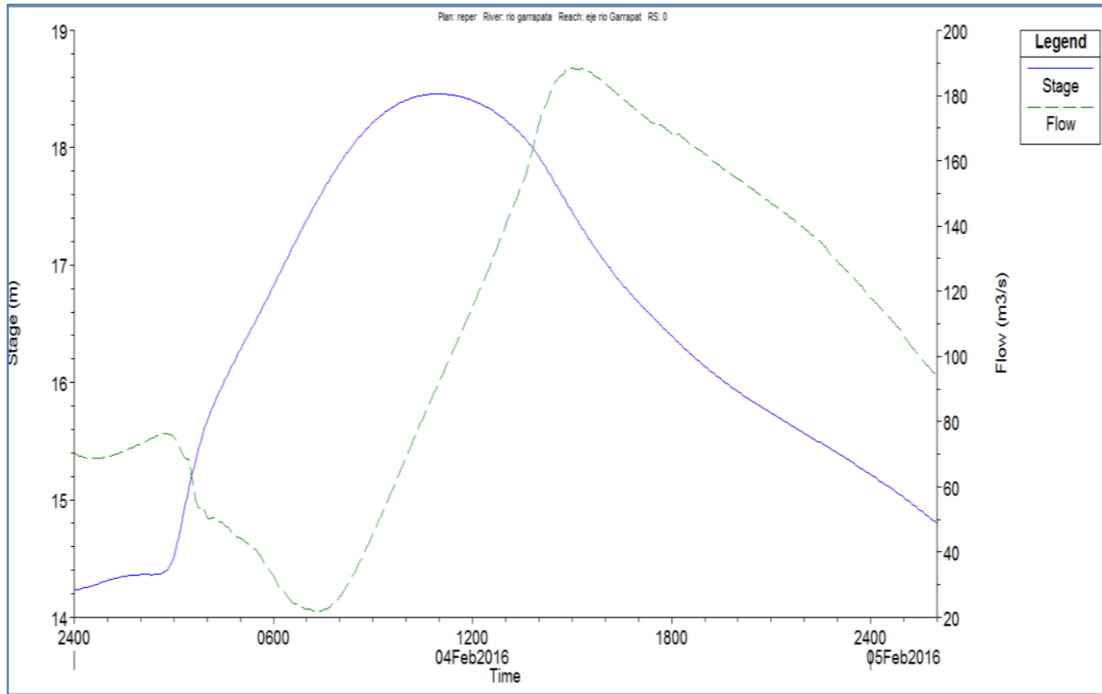
**SECCIÓN DEL RIO GARRAPATA (0).**  
**ANTES DE INGRESAR AL RIO CHONE**



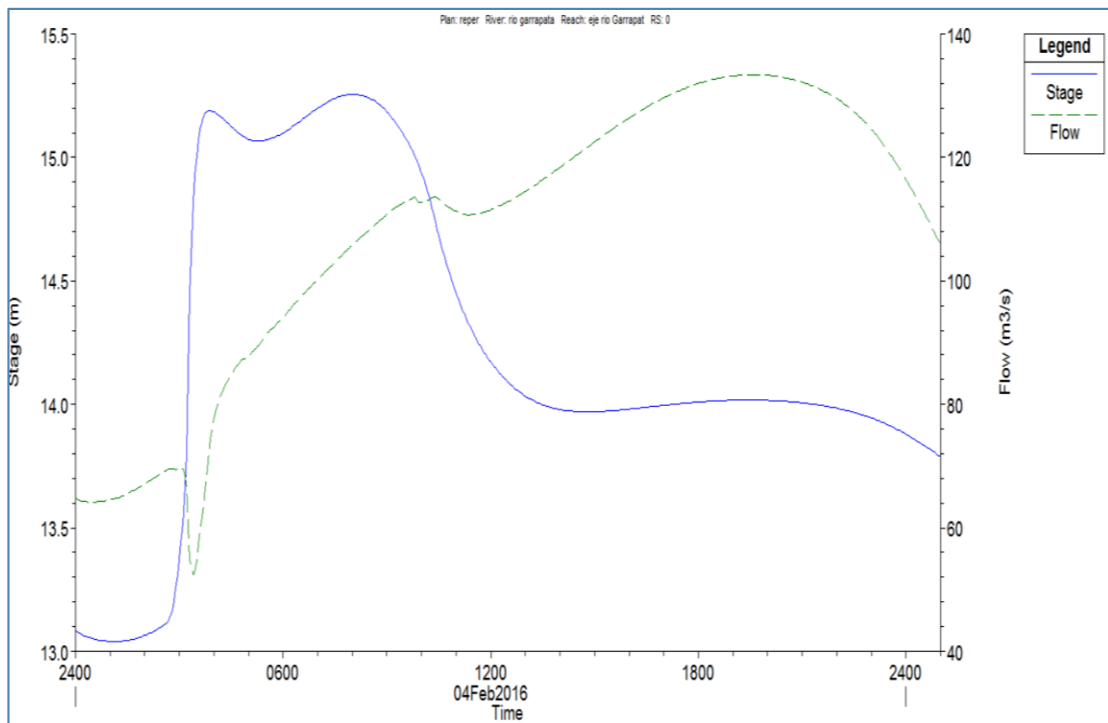
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**

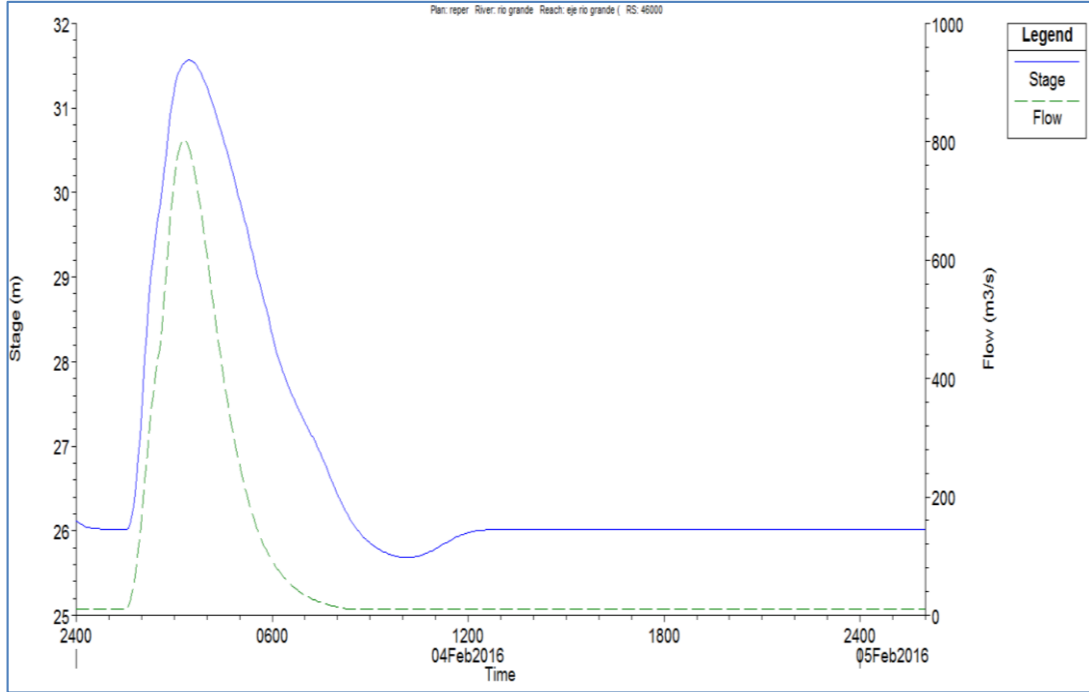


Sin embalse y Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.

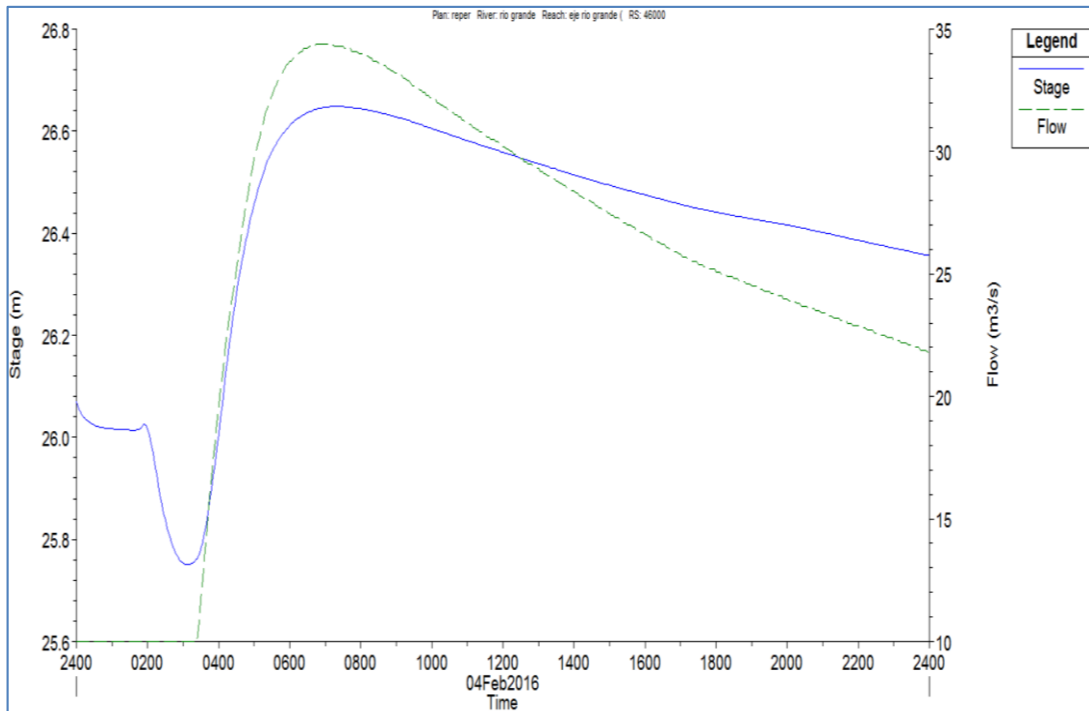


Periodo de Retorno: 200 años.

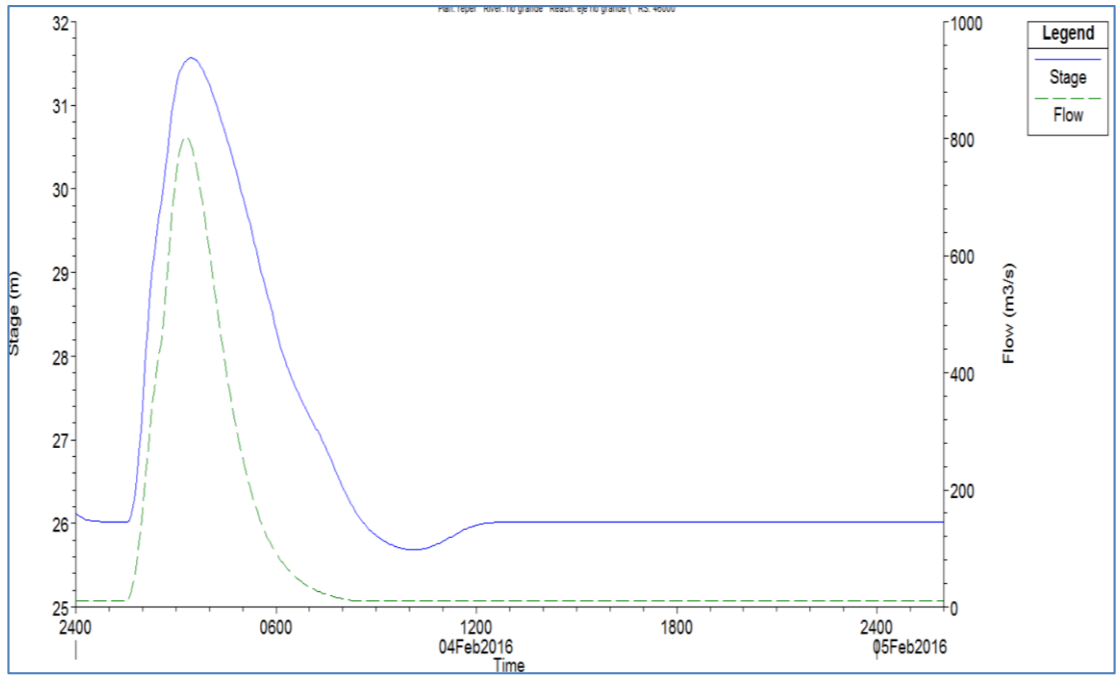
**SECCIÓN DEL RIO GRANDE (46000).**  
**PRESA DEL RIO GRANDE.**



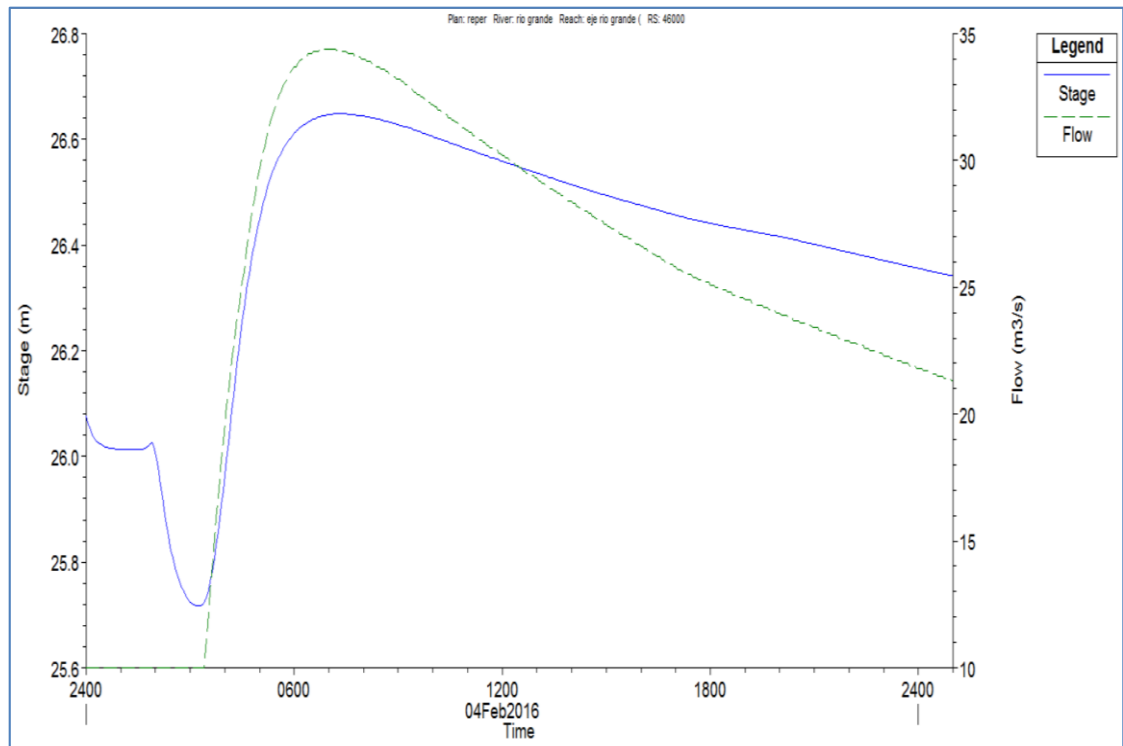
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**

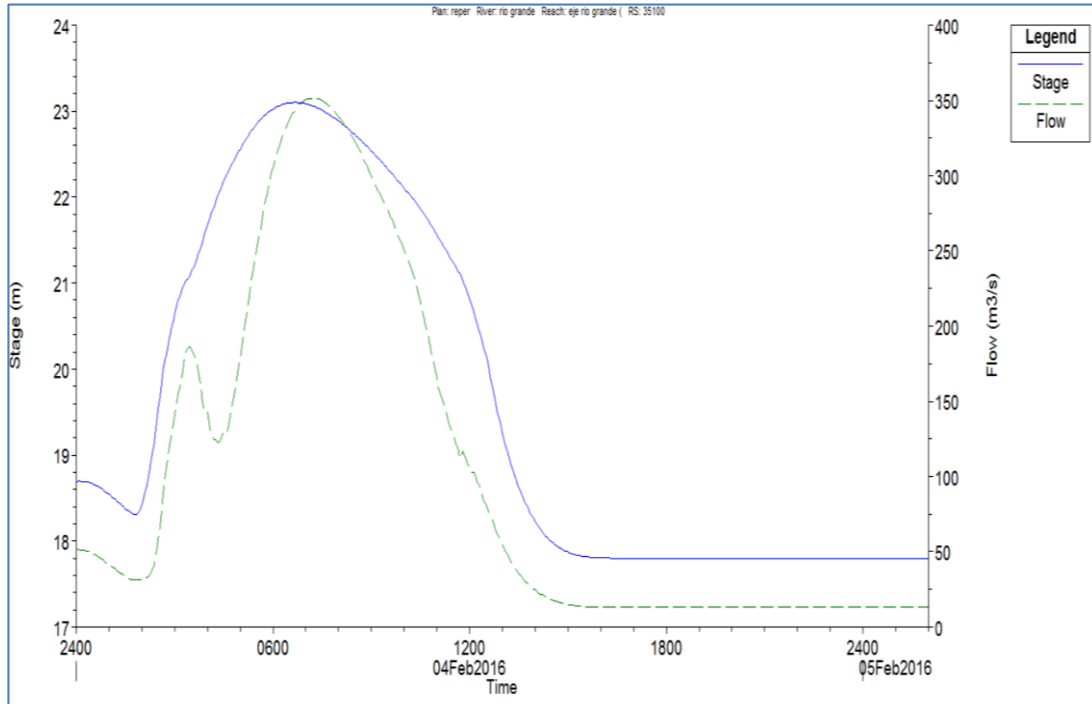


Sin embalse y Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.

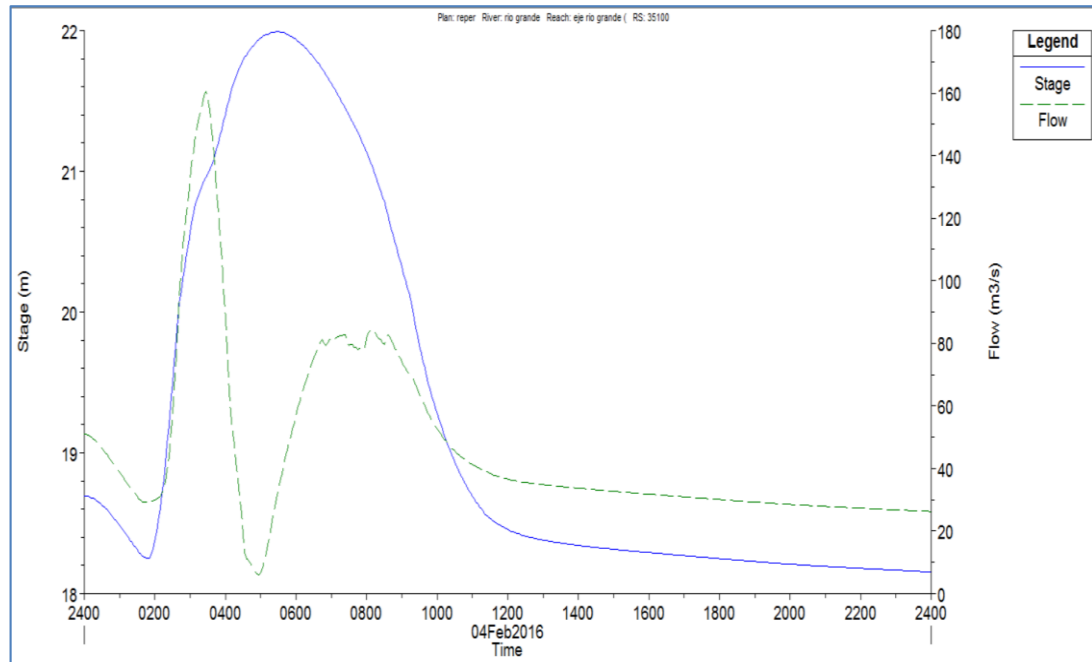


Periodo de Retorno: 200 años.

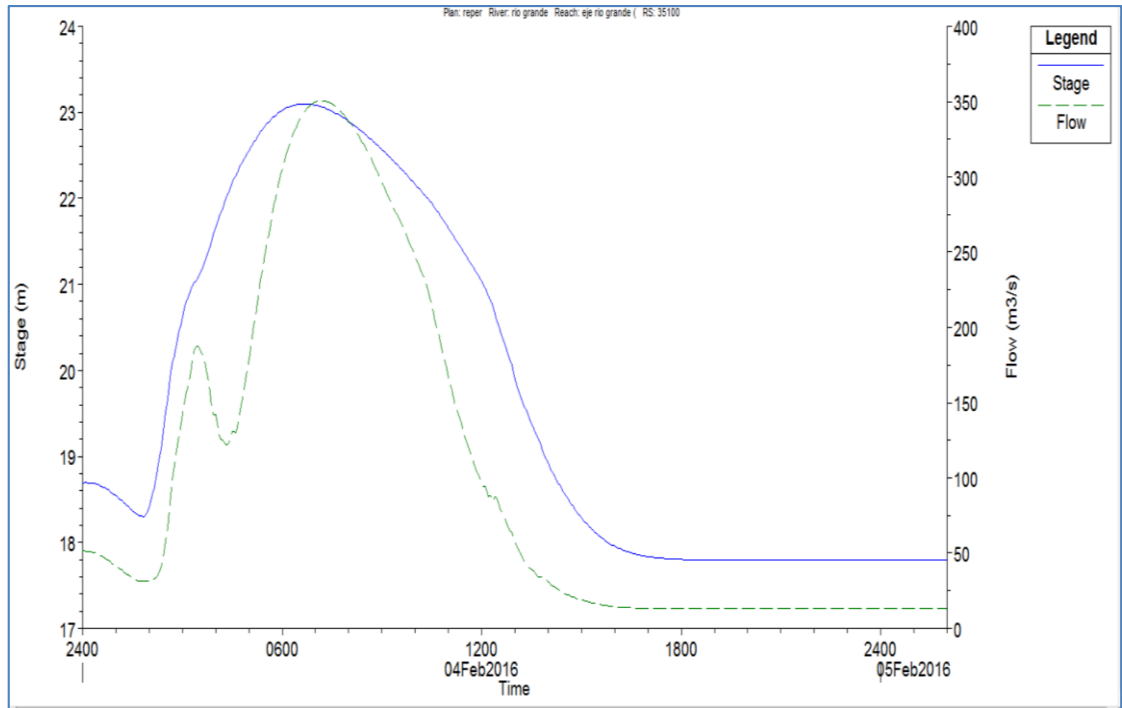
**SECCIÓN DEL RIO GRANDE (35100).**  
**JUSTO AL INGRESO DEL RIO MOSQUITO.**



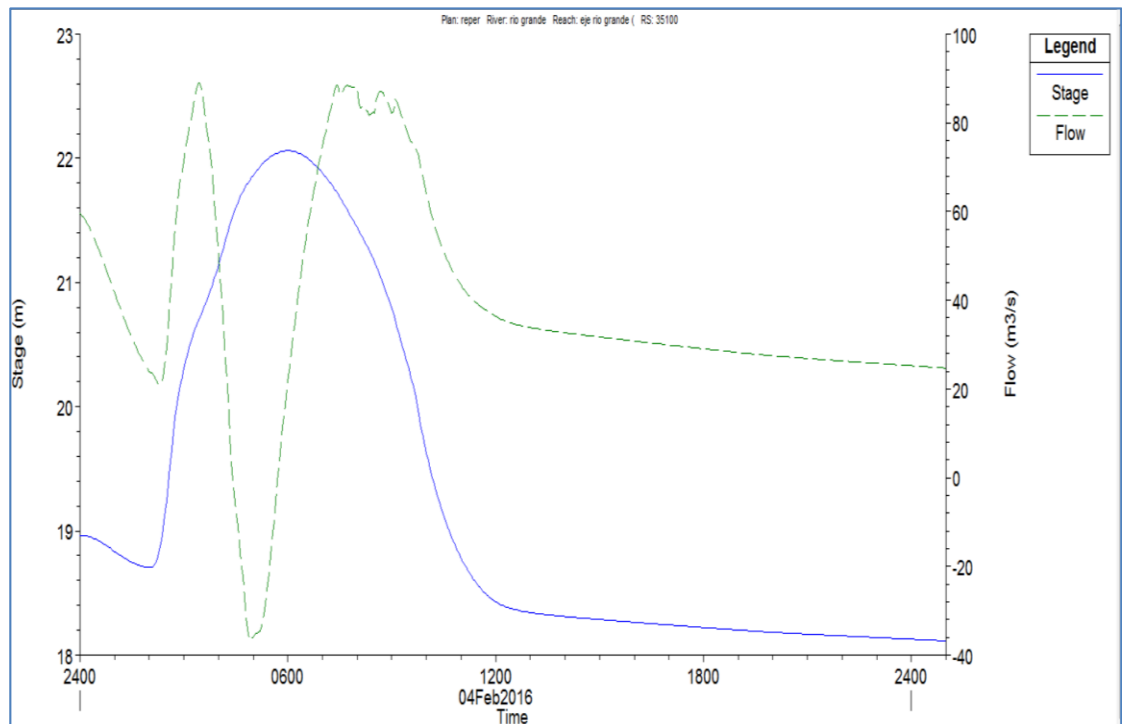
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**

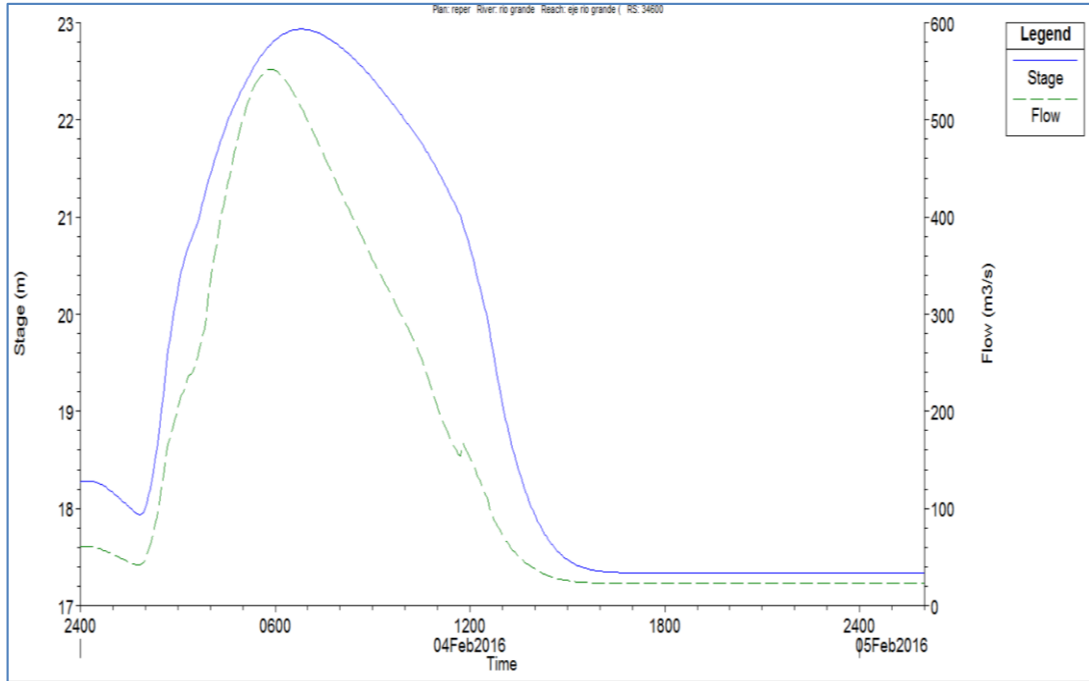


Sin embalse y Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.

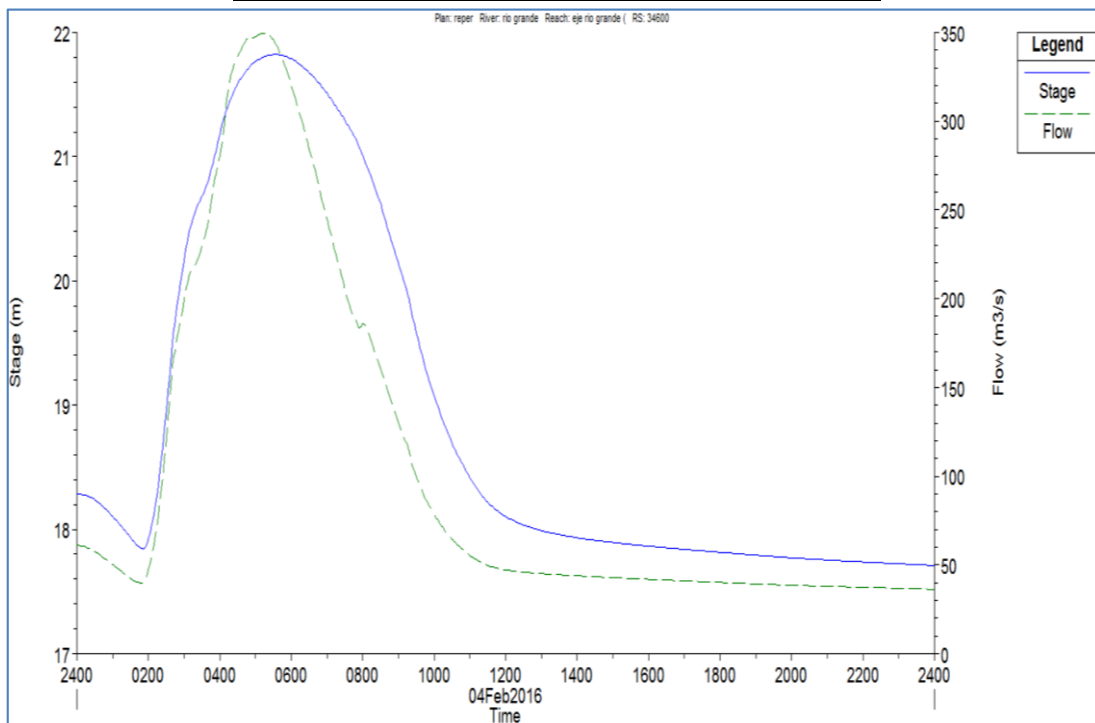


Periodo de Retorno: 200 años.

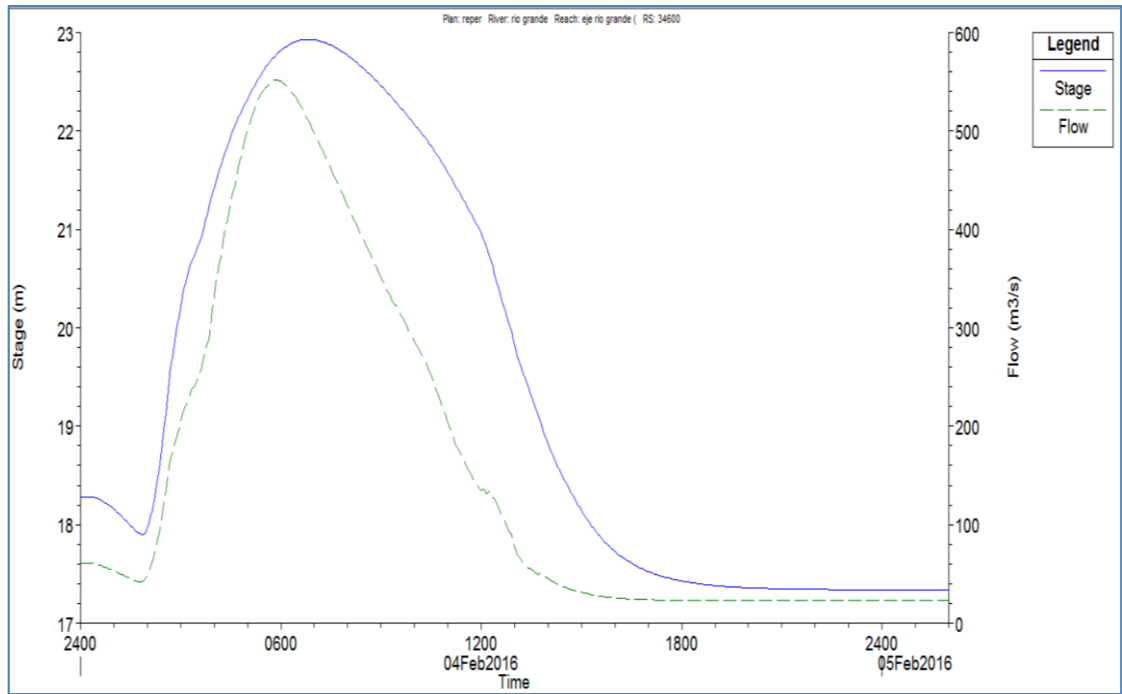
**SECCIÓN DEL RIO CHONE (34600).**  
**DESPUÉS DE INGRESO DEL RIO MOSQUITO.**



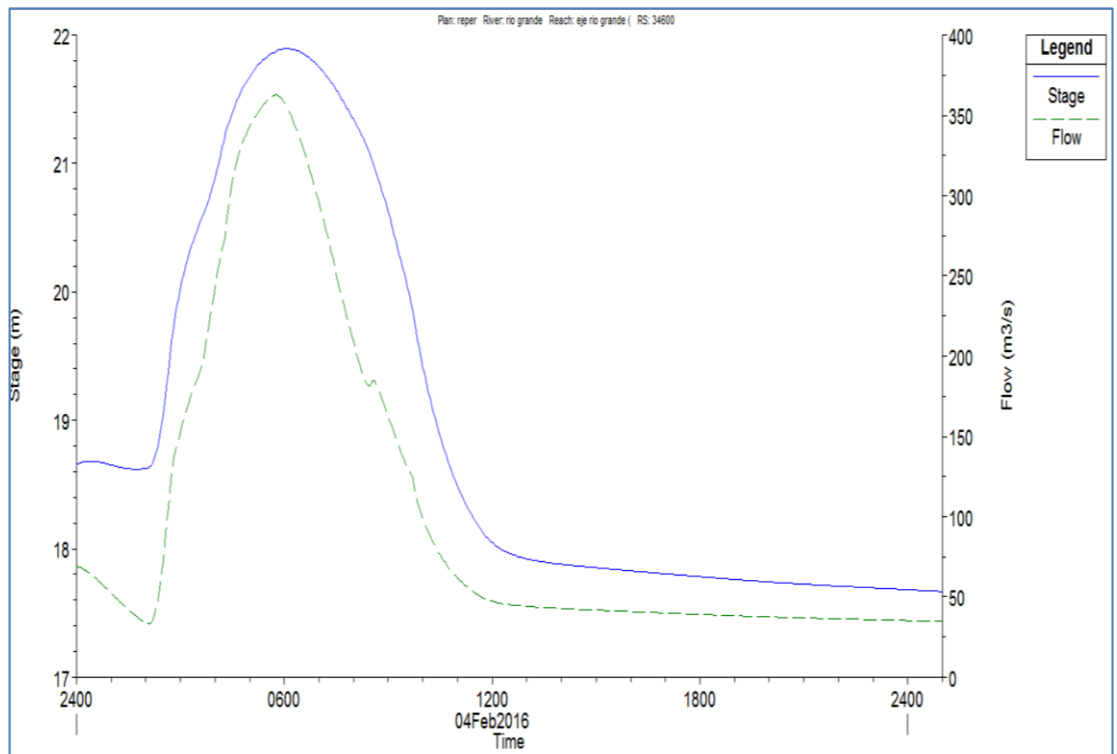
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**



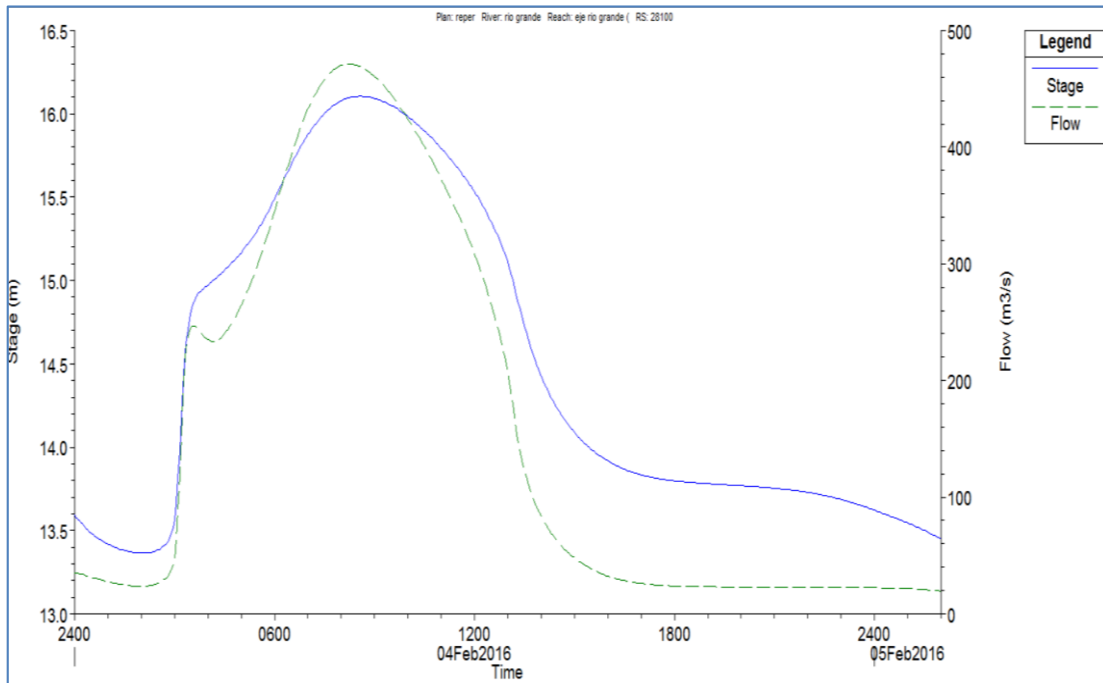
Sin embalse y Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.



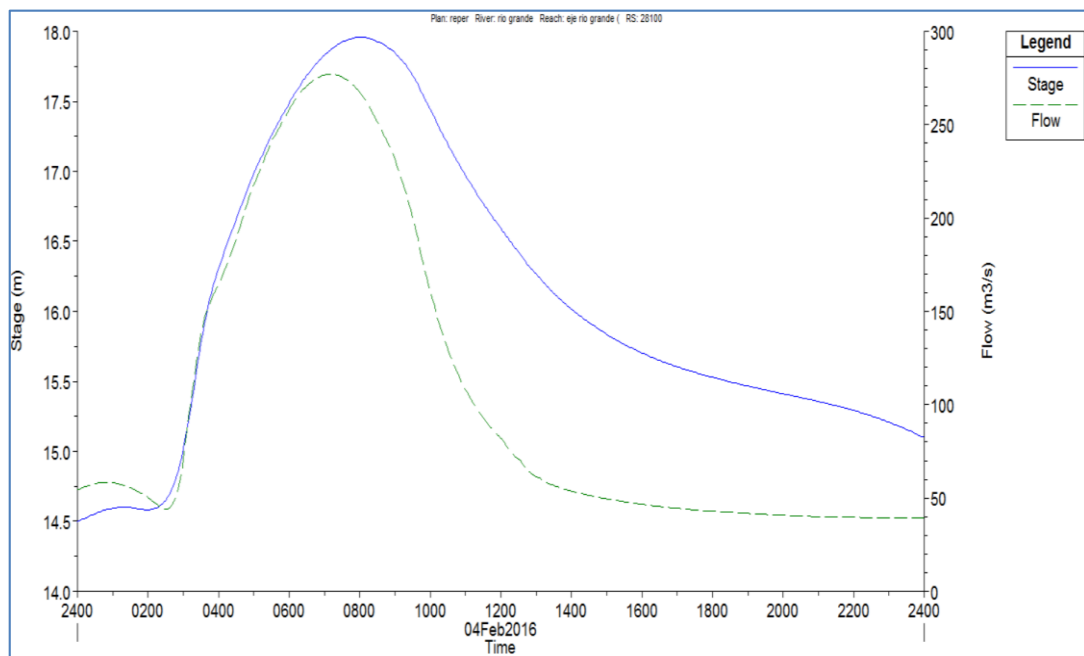
Periodo de Retorno: 200 años.



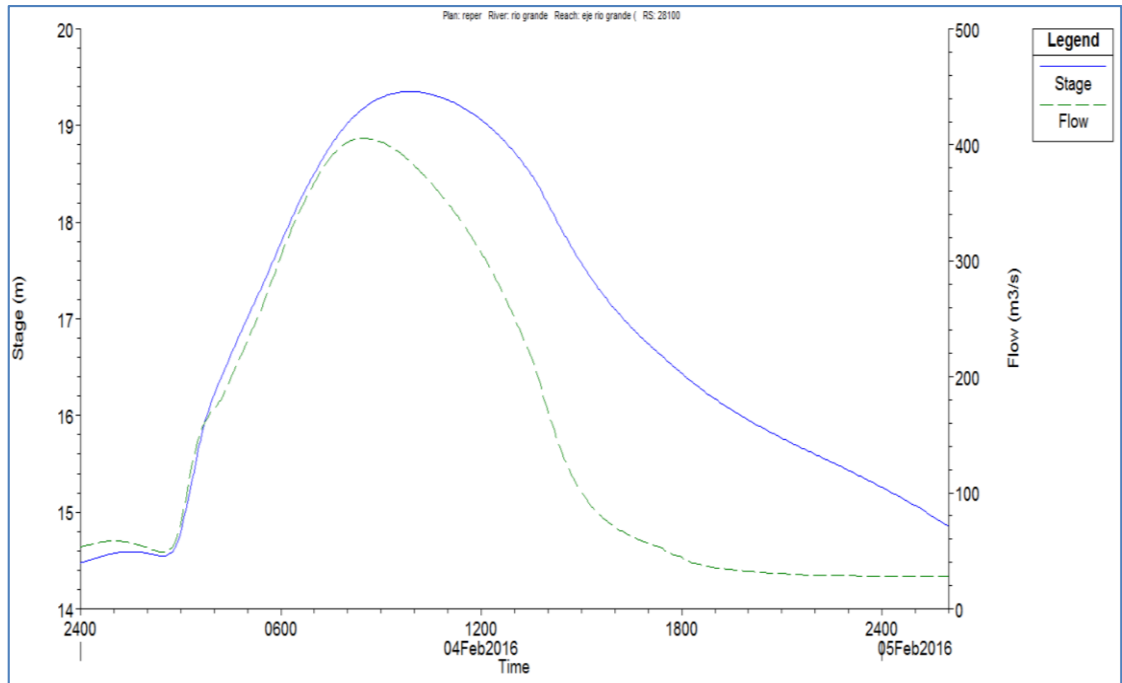
**SECCIÓN DEL RIO CHONE (28100).**  
**ANTES DE DERIVACIÓN DEL CANAL BYPASS**



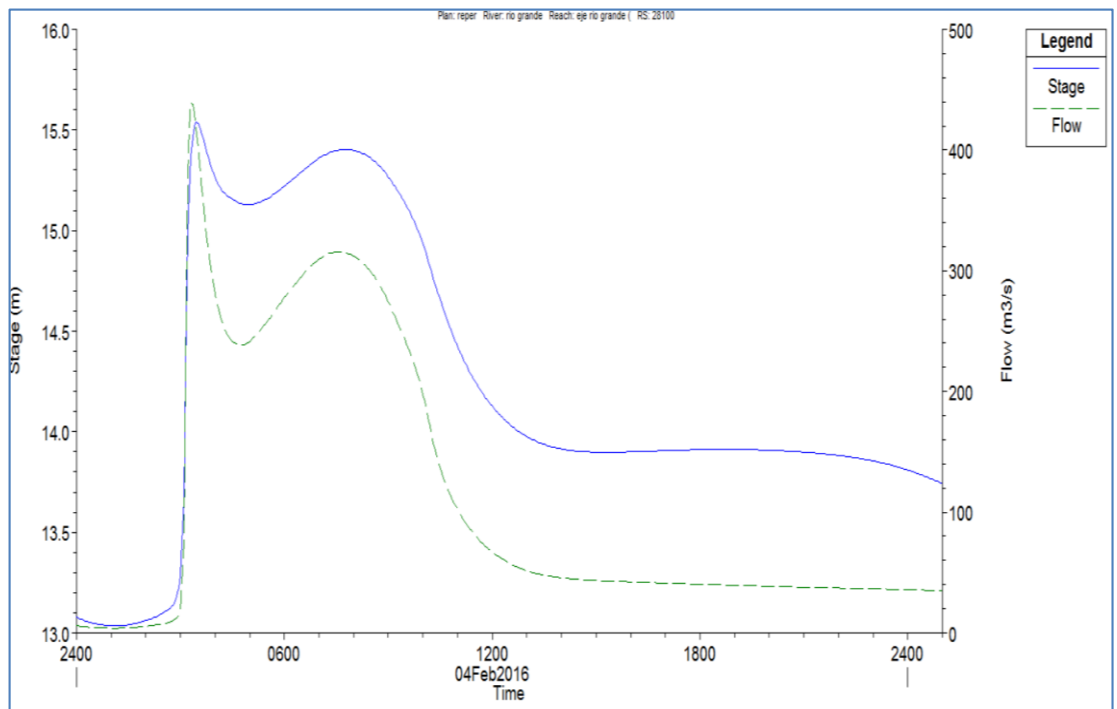
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**

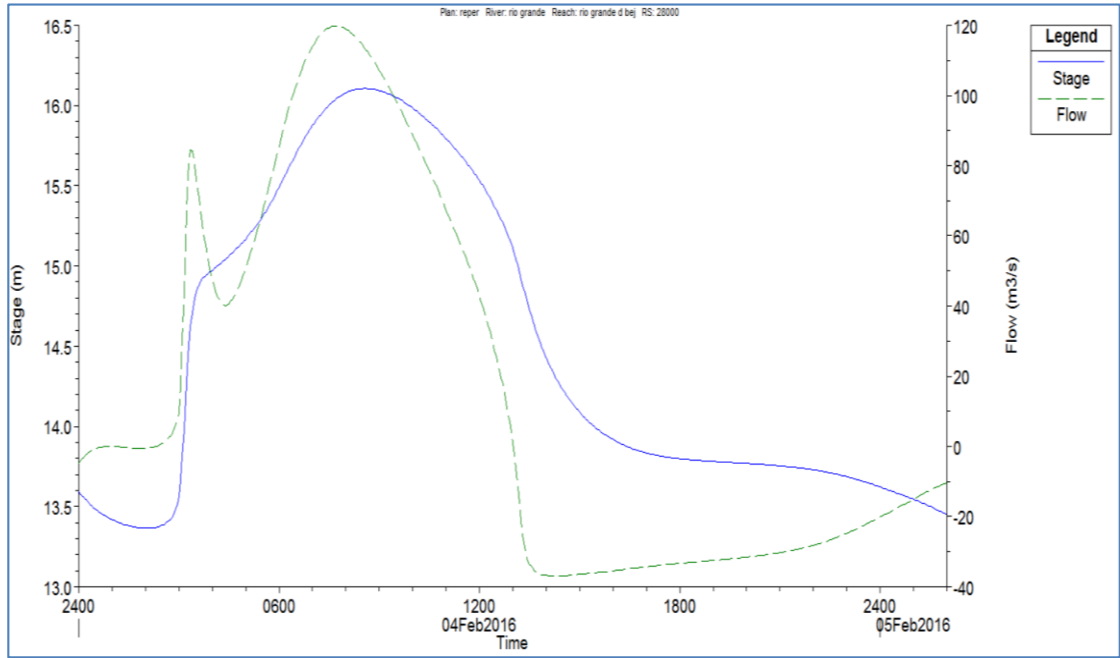


Sin embalse y Sin Bypass– Periodo de Retorno: 100 años.

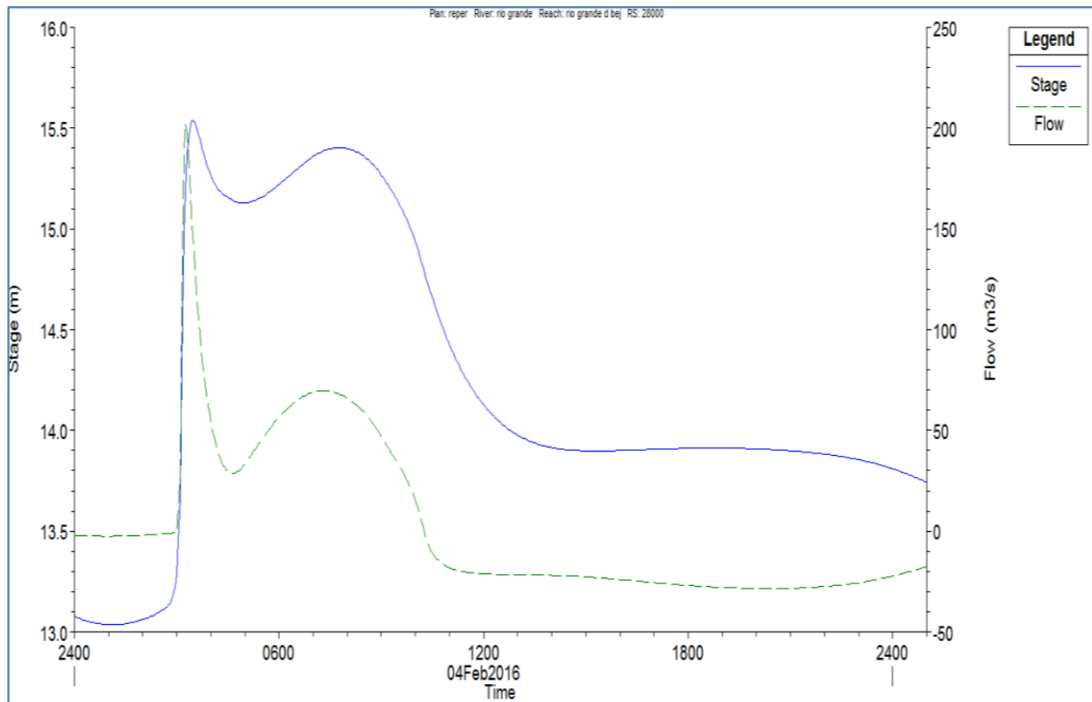


Periodo de Retorno: 200 años.

**SECCIÓN DEL RIO CHONE (28000).**  
**DESPUÉS DE LA DERIVACIÓN AL CANAL BYPASS.**

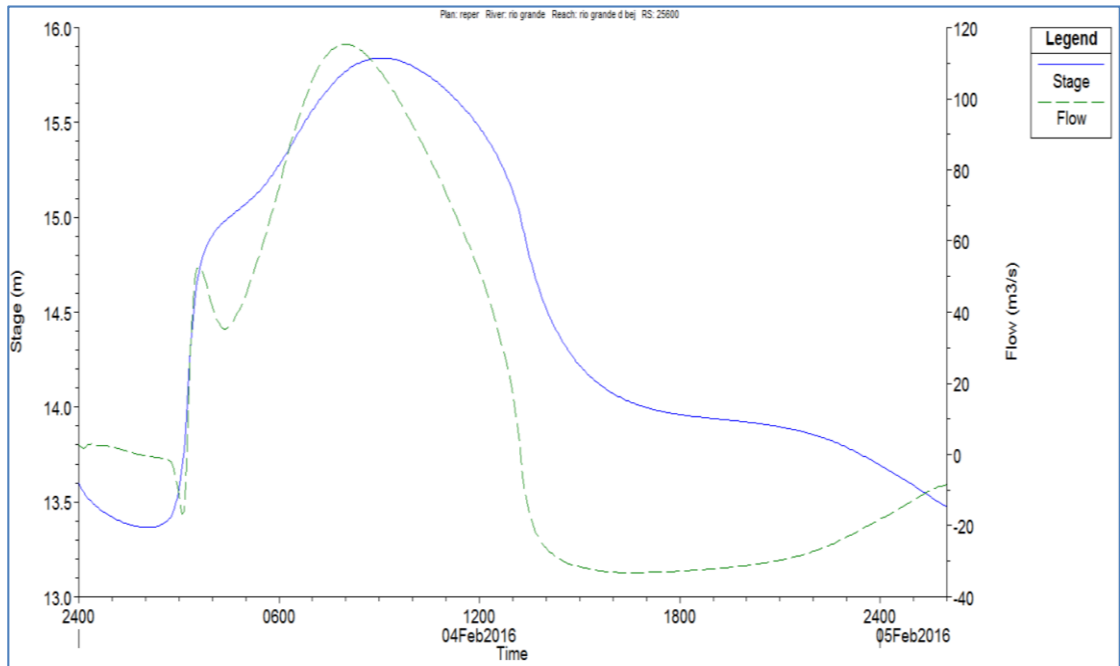


**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**

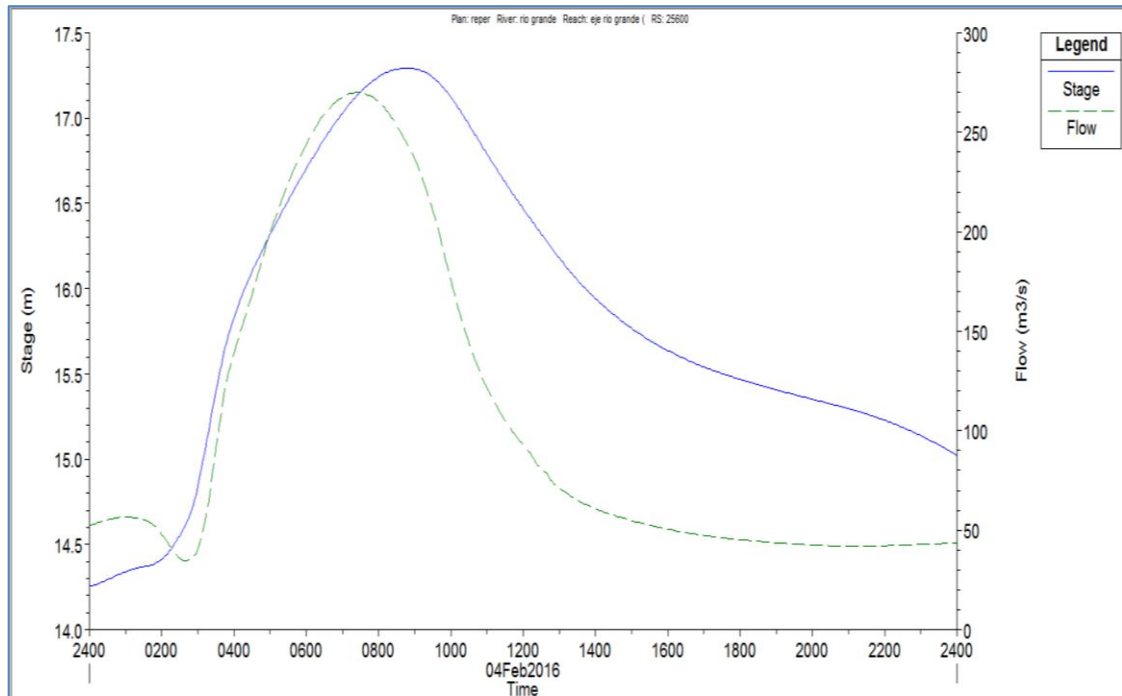


**Periodo de Retorno: 200 años.**

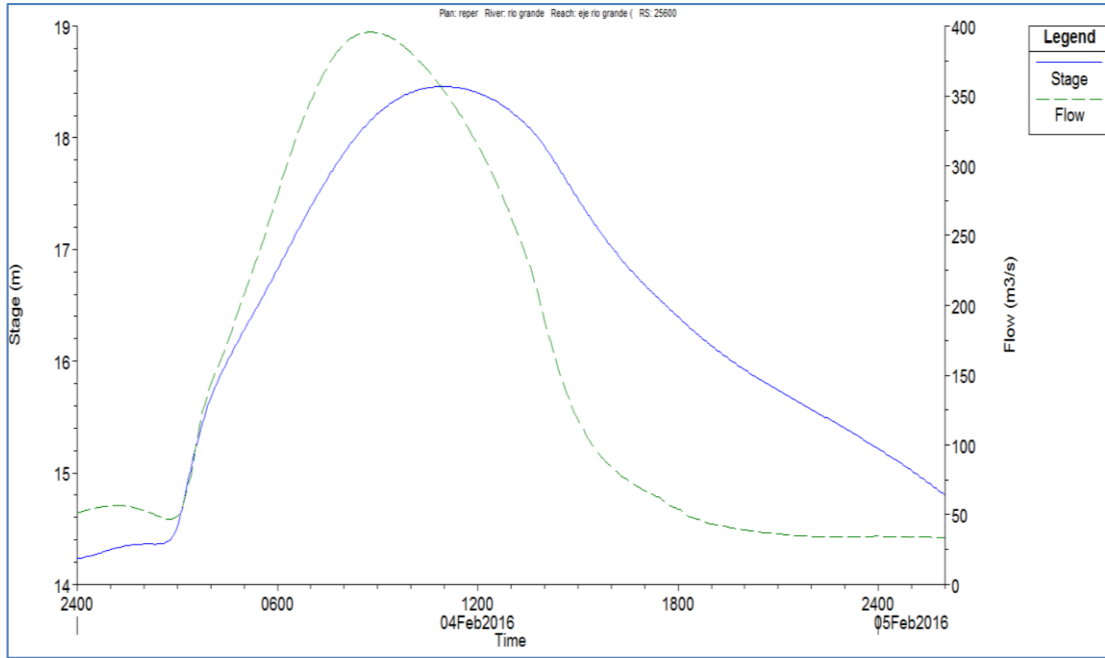
**SECCIÓN DEL RIO CHONE (25600).**  
**ANTES DEL INGRESO DEL RIO GARRAPATA.**



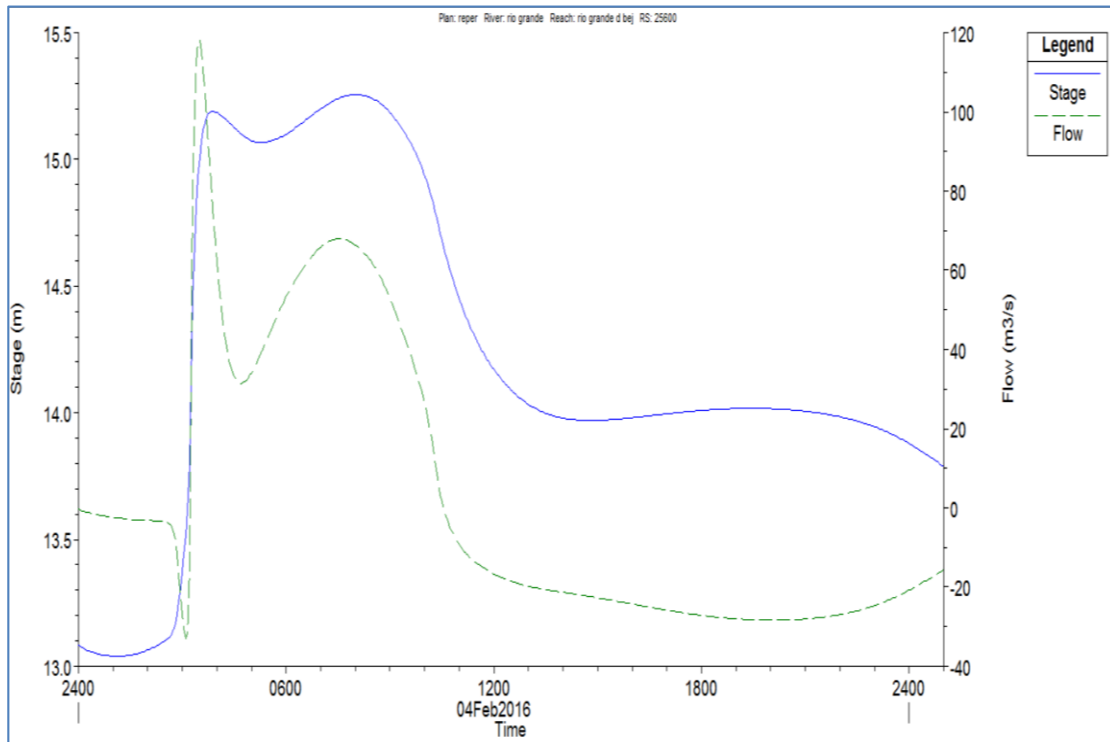
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**

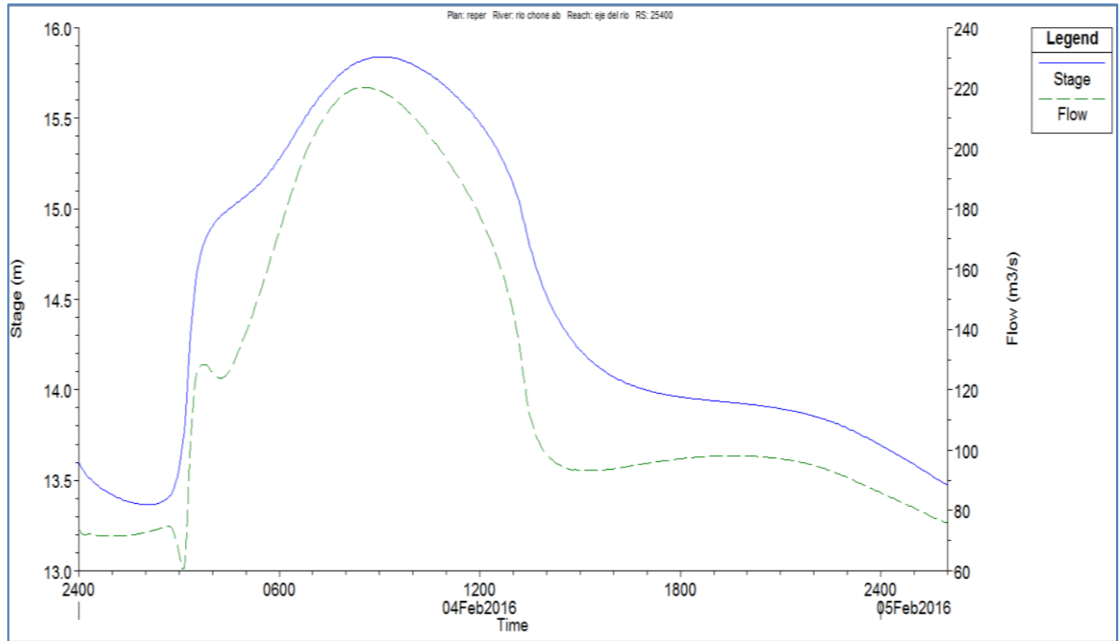


Sin embalse y Sin Bypass– Periodo de Retorno: 100 años.

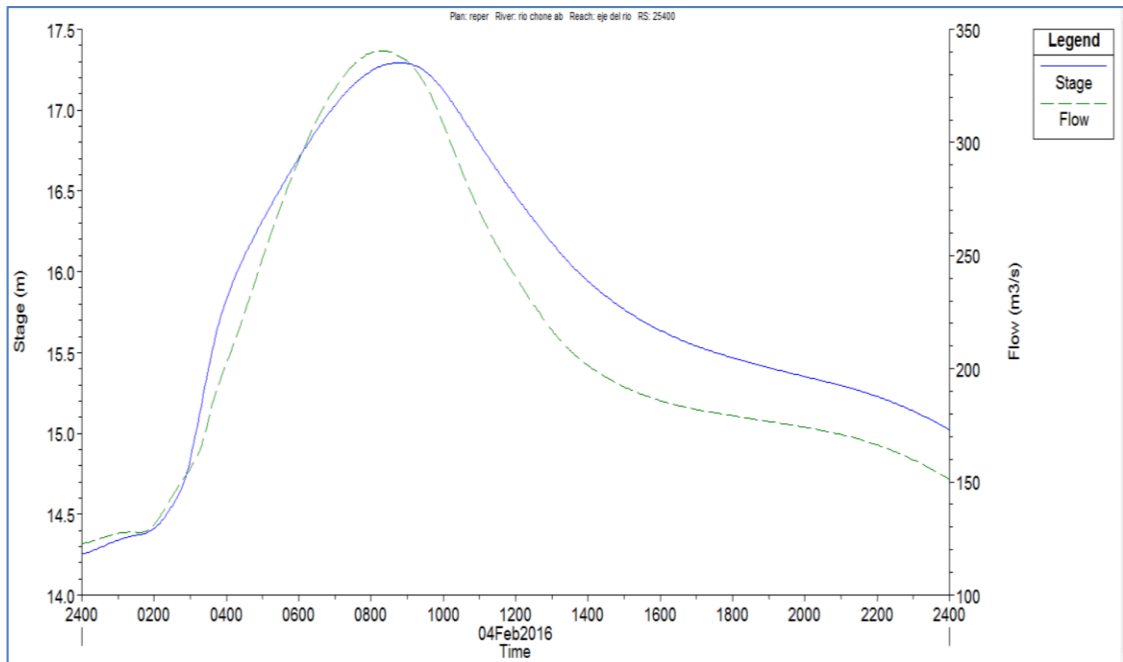


Periodo de Retorno: 200 años.

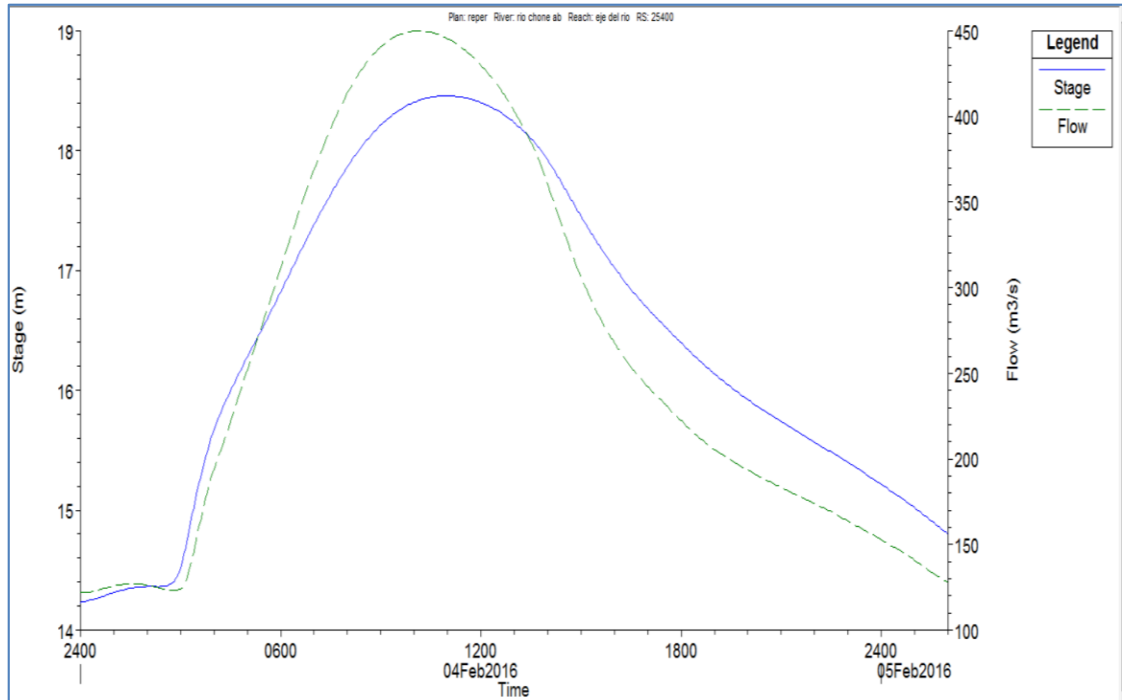
**SECCIÓN DEL RIO CHONE (25400).**  
**DESPUÉS DEL INGRESO DEL RIO GARRAPATA.**



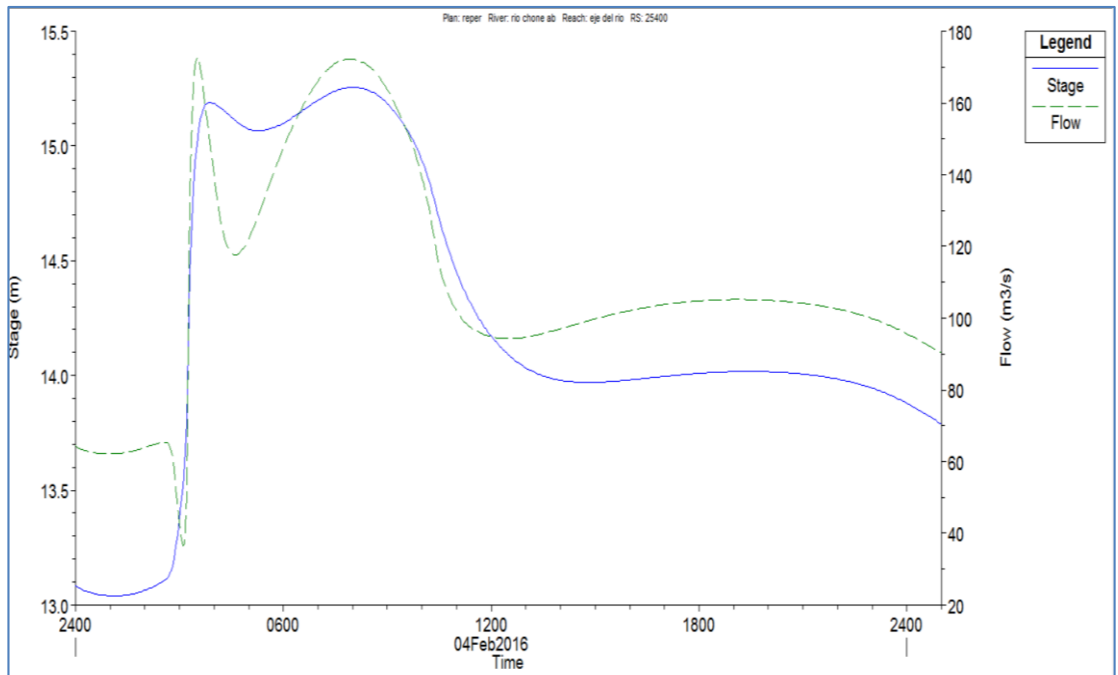
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**

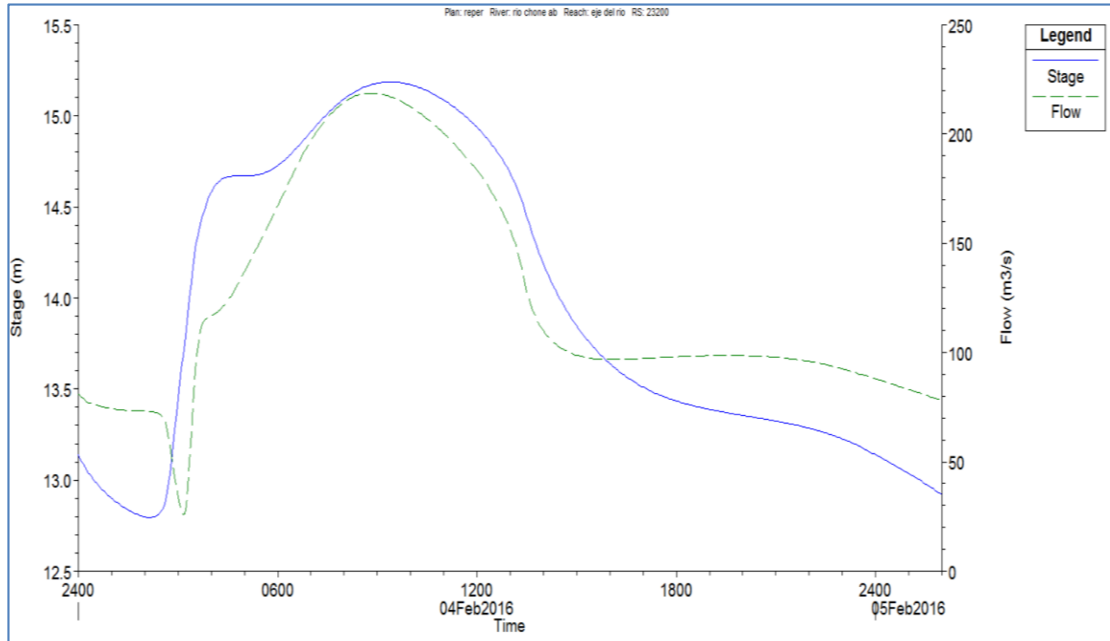


Sin embalse y Sin Bypass– Periodo de Retorno: 100 años.

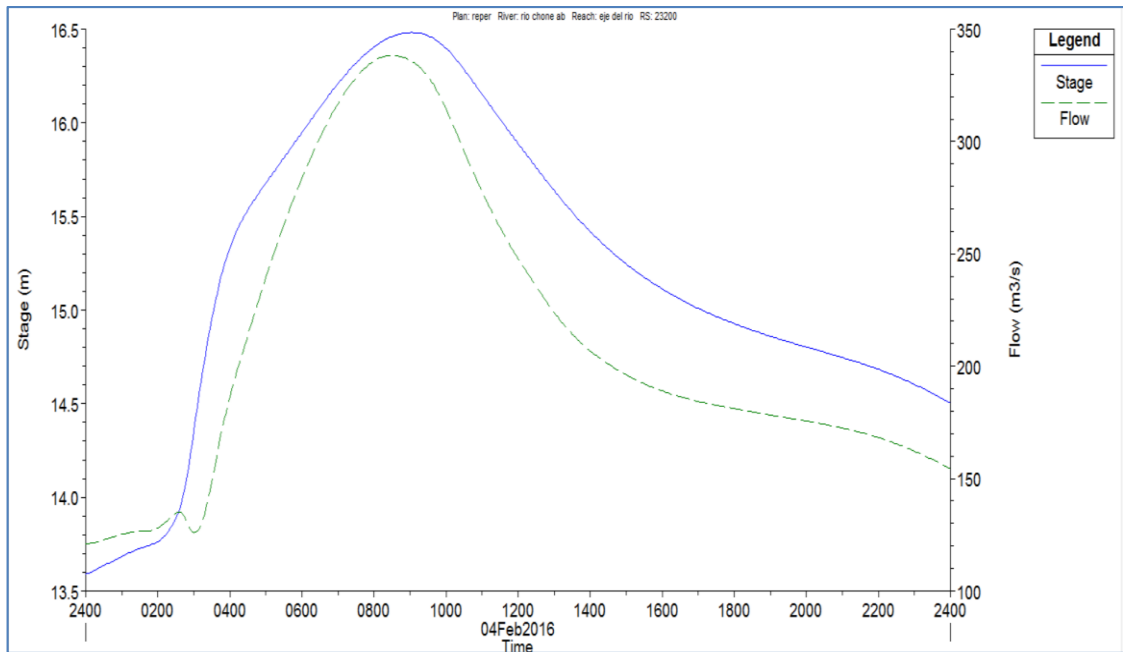


Periodo de Retorno: 200 años.

**SECCIÓN DEL RIO CHONE (23200).**  
**JUNTO A LA AV. ELOY ALFARO.**

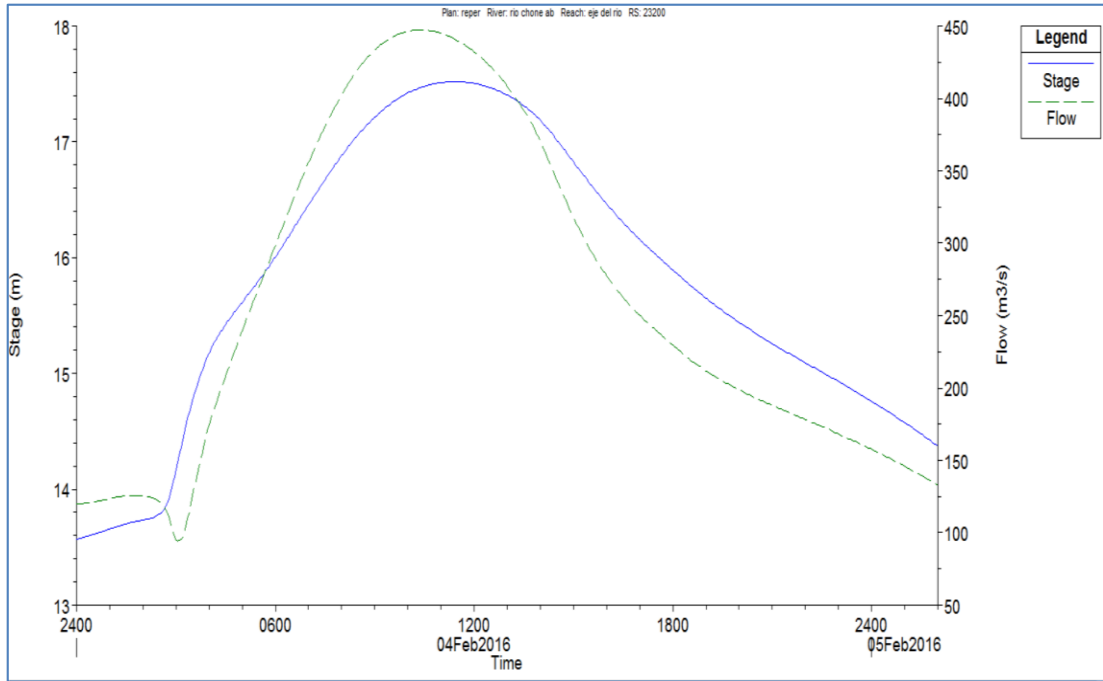


**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**

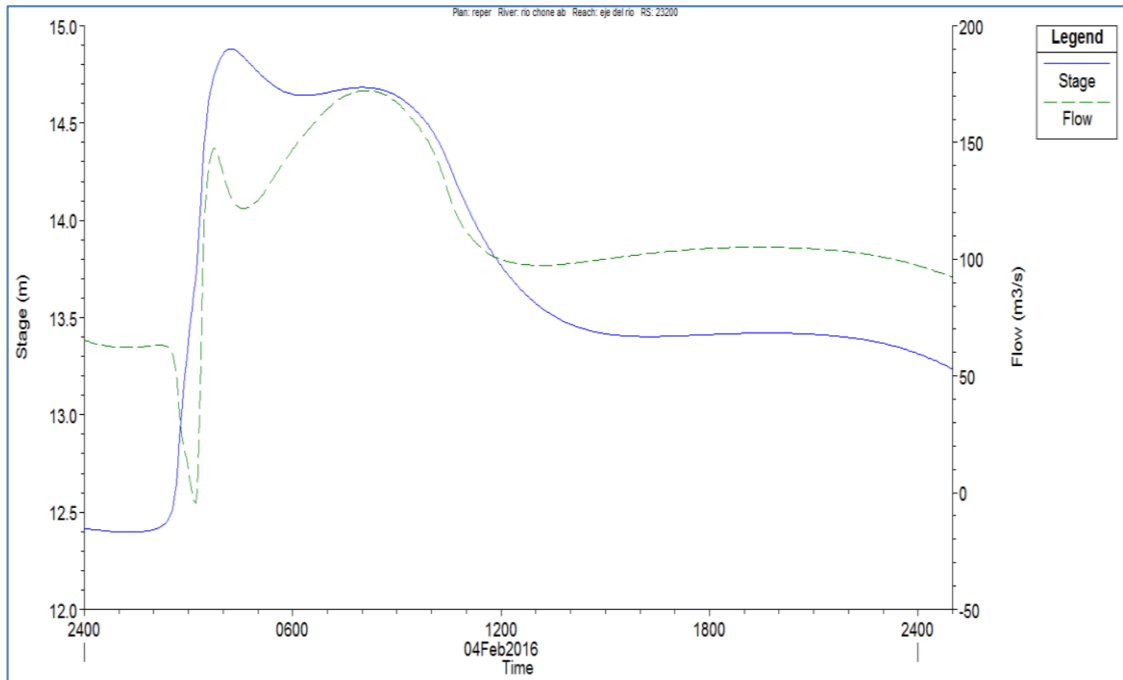


**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**



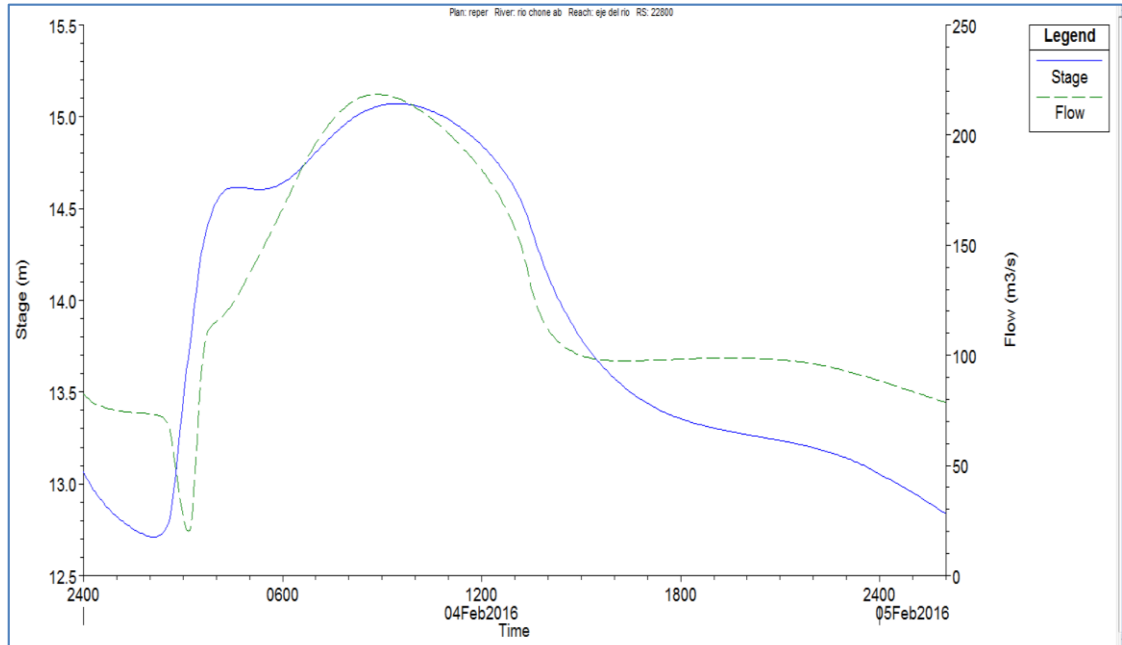


Sin embalse y Sin Bypass– Periodo de Retorno: 100 años.

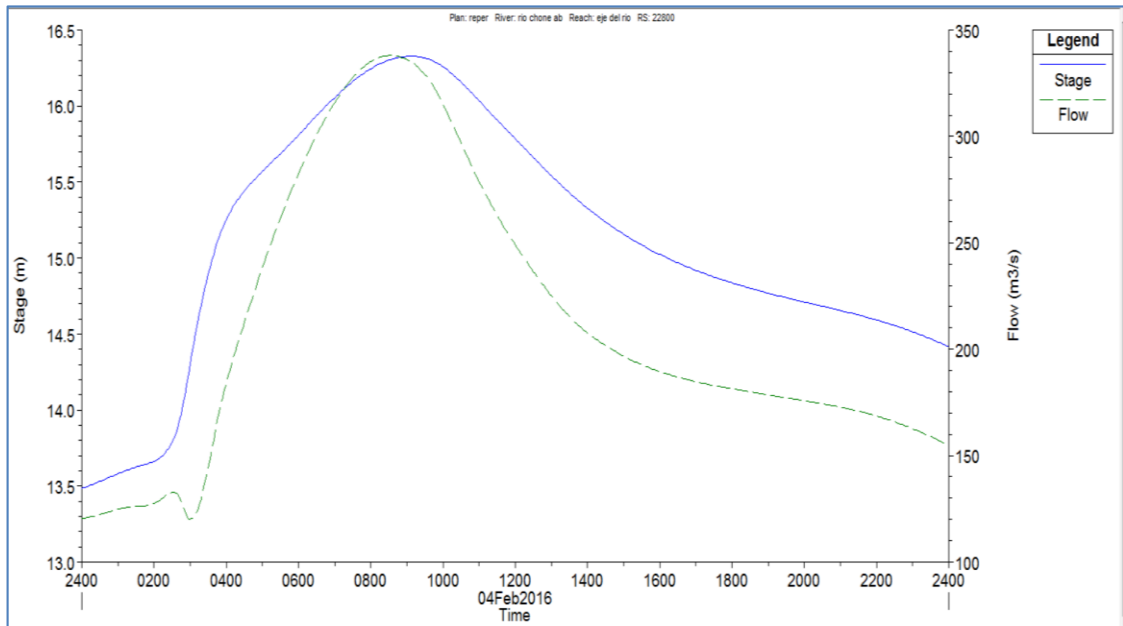


Periodo de Retorno: 200 años

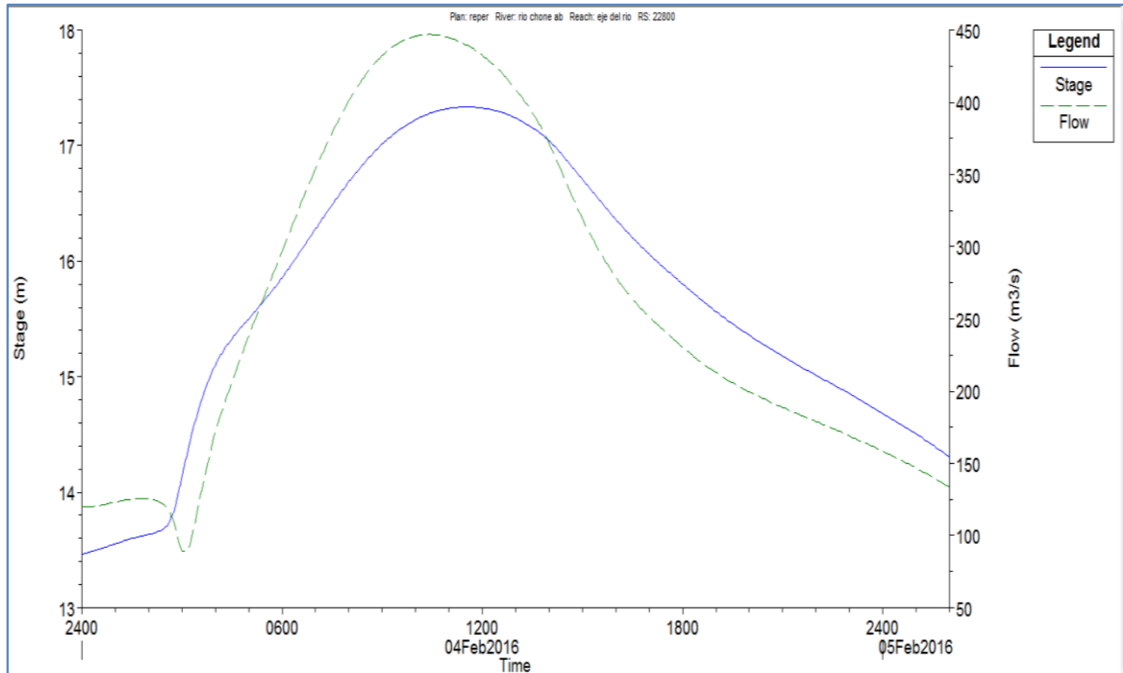
**SECCIÓN DEL RIO CHONE (22800).**  
**JUNTO A LA CALLE SANTA MARTHA**



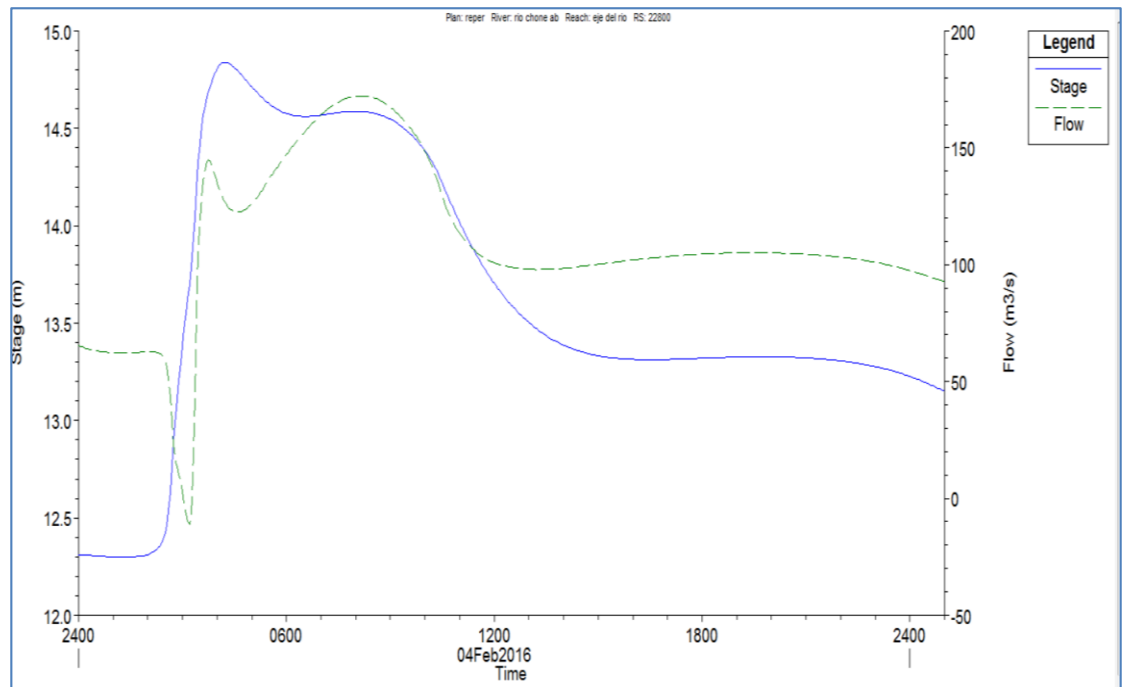
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**

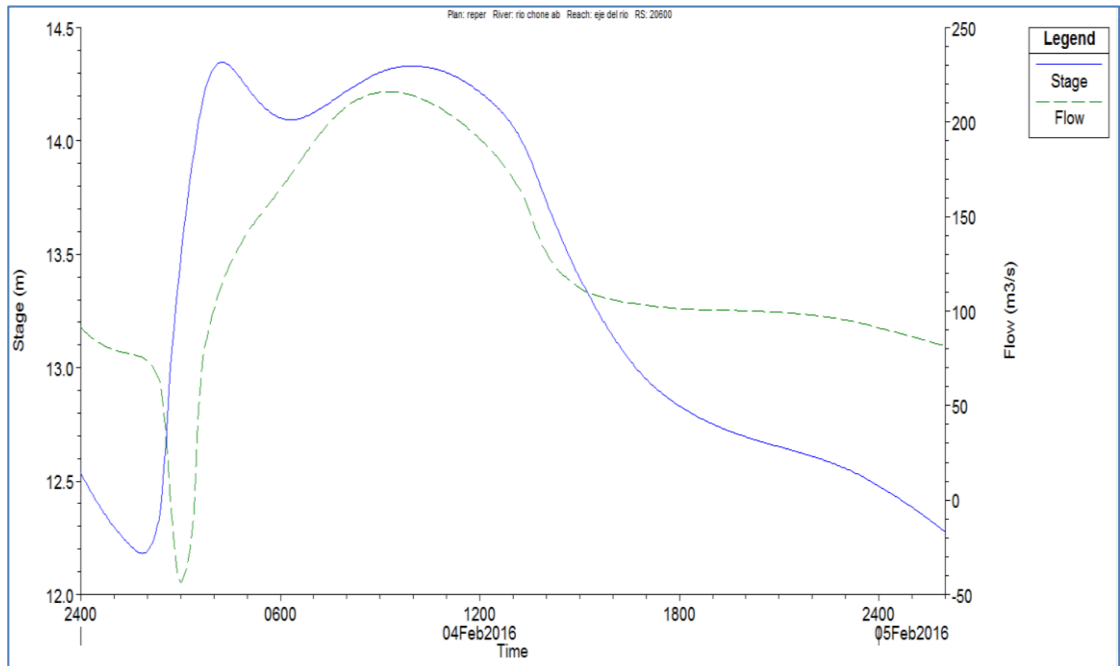


Sin embalse y Sin Bypass– Periodo de Retorno: 100 años.

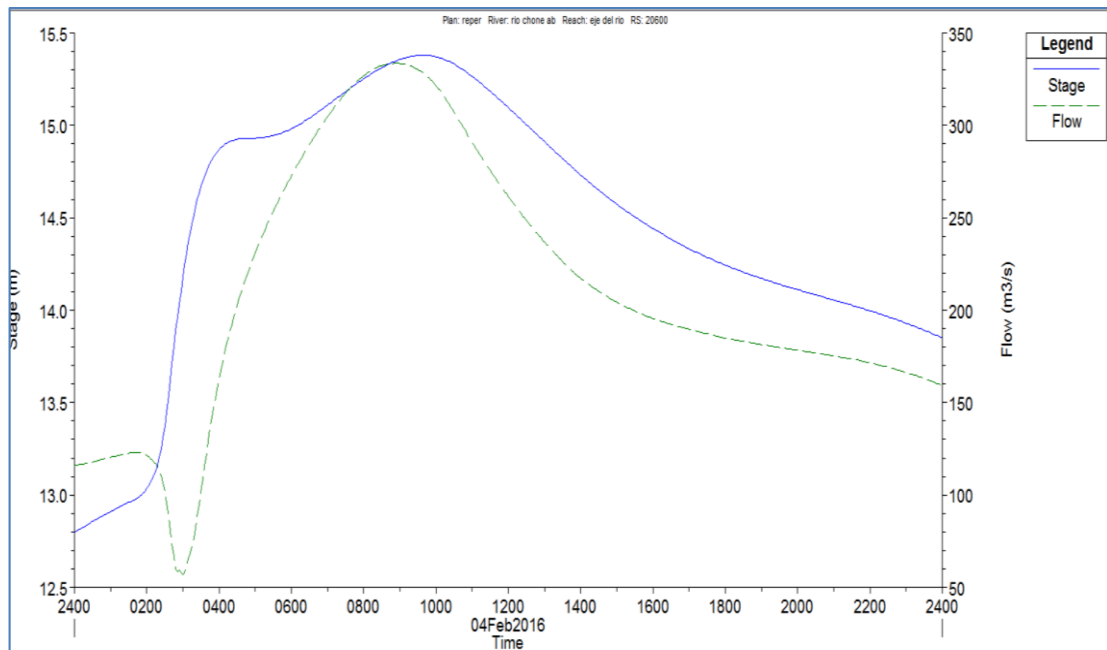


Periodo de Retorno: 200 años.

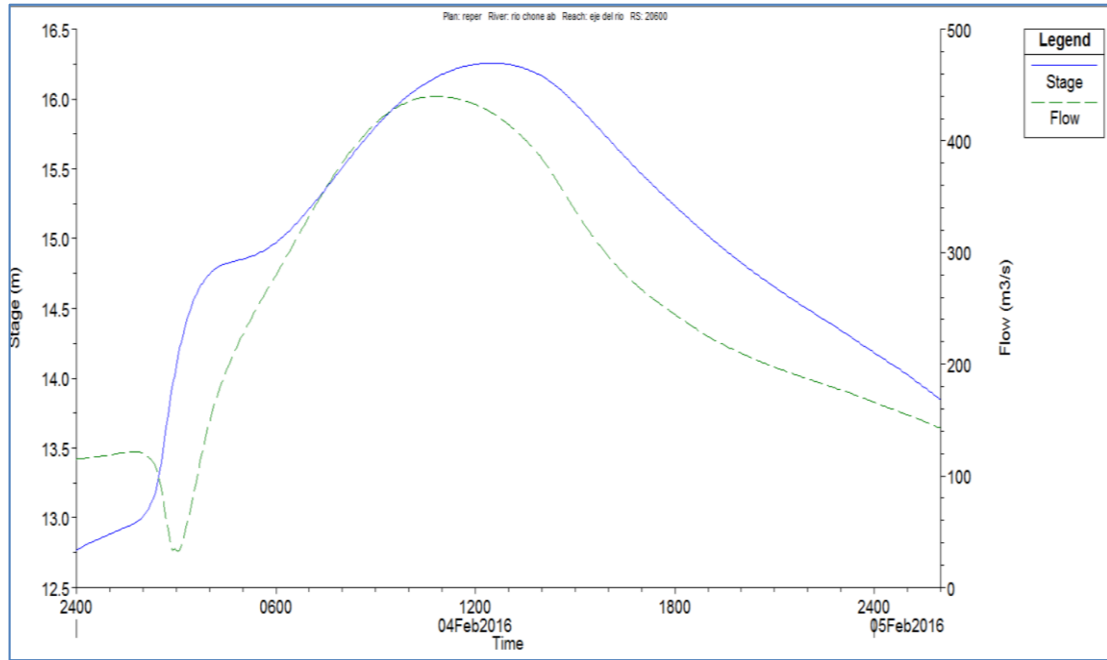
**SECCIÓN DEL RIO CHONE (20600).**  
**FINAL DE LA CIUDAD.**



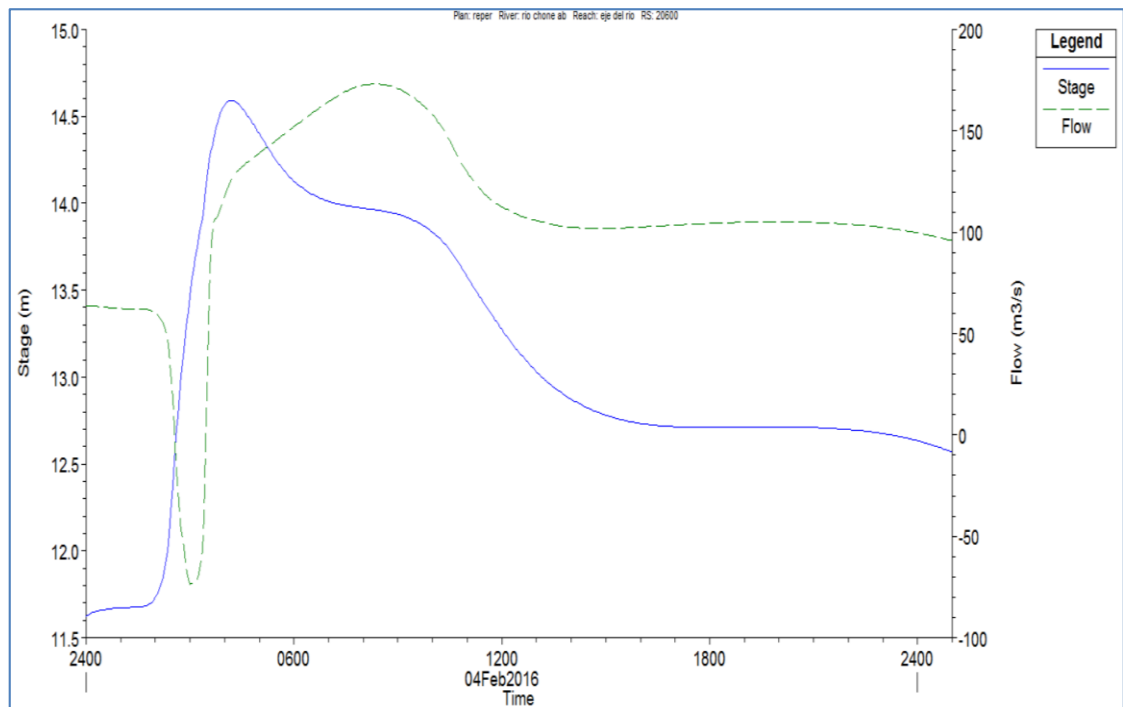
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**

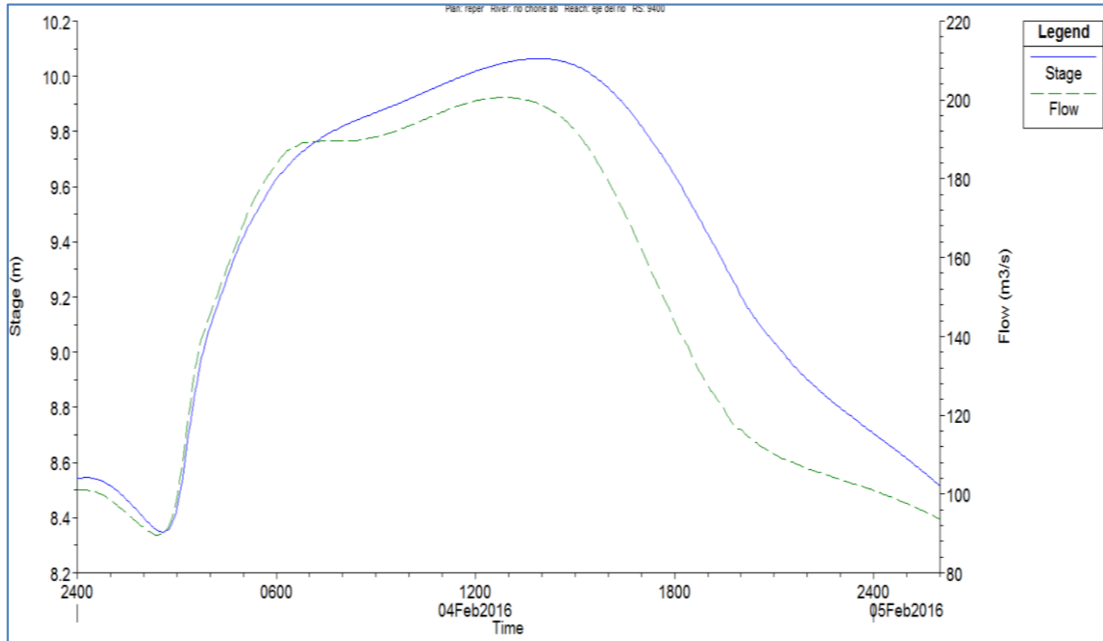


Sin embalse y Sin Bypass– Periodo de Retorno: 100 años.

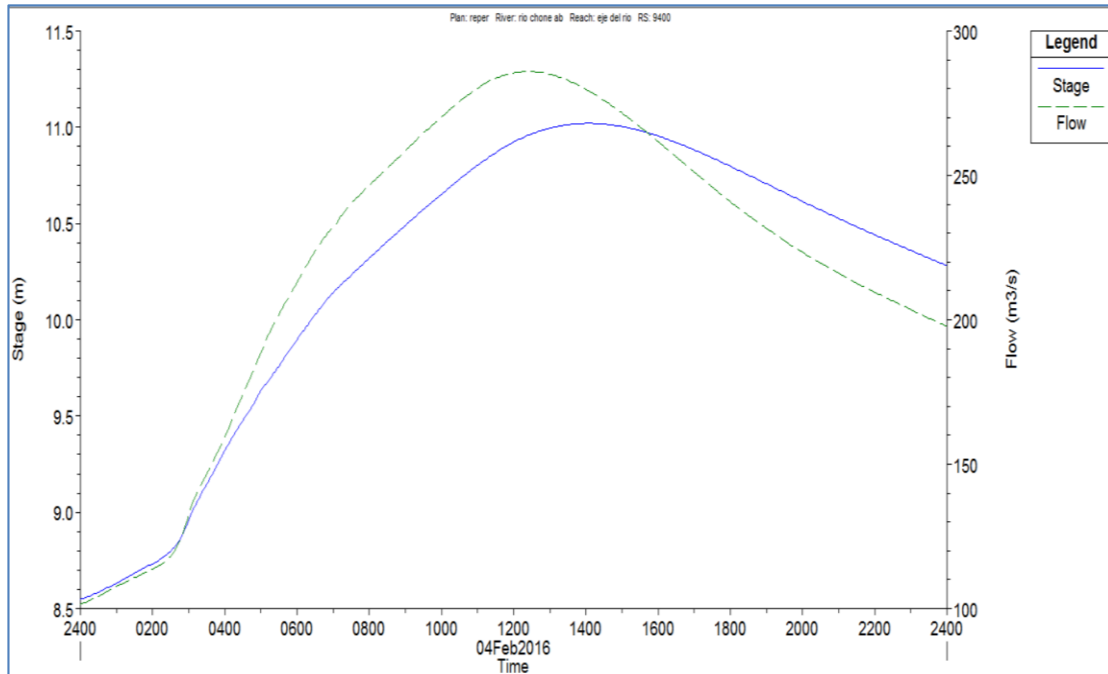


Periodo de Retorno: 200 años.

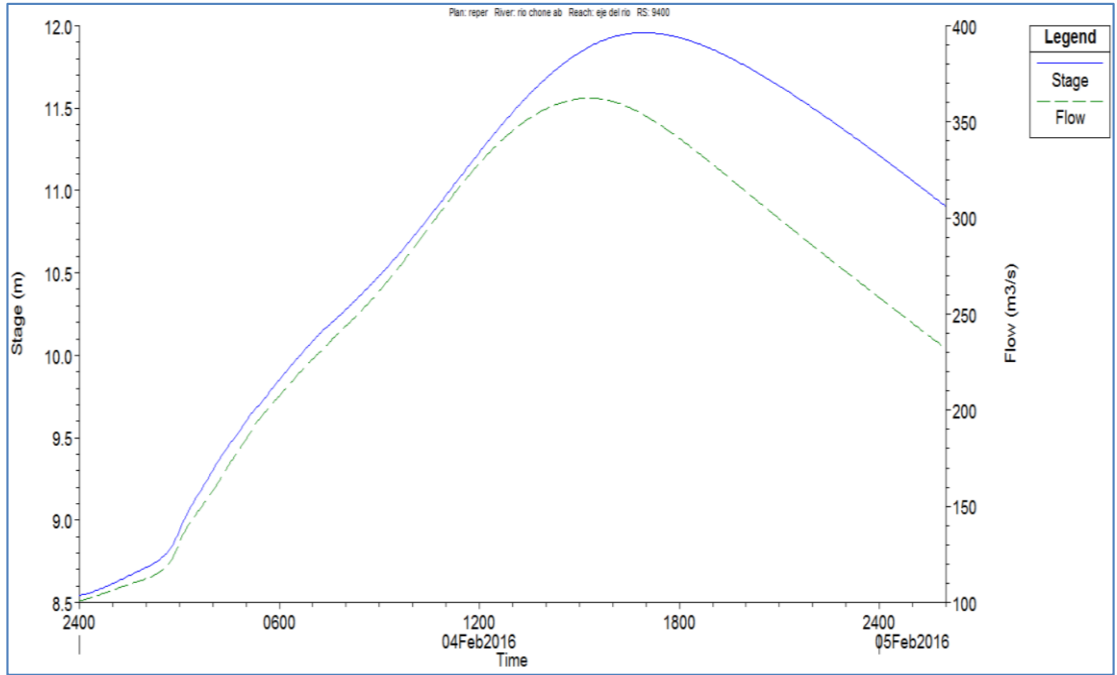
**SECCIÓN DEL RIO CHONE (9400).**  
**JUNTO A LA CALLE SAN ANTONIO**



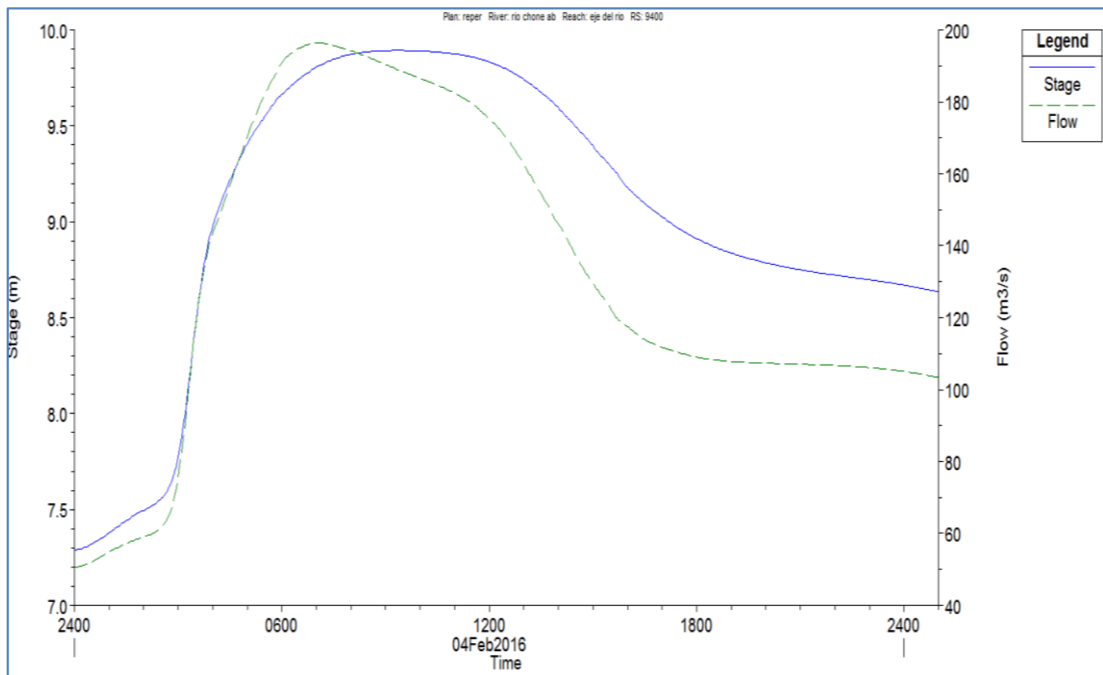
**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**



**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**

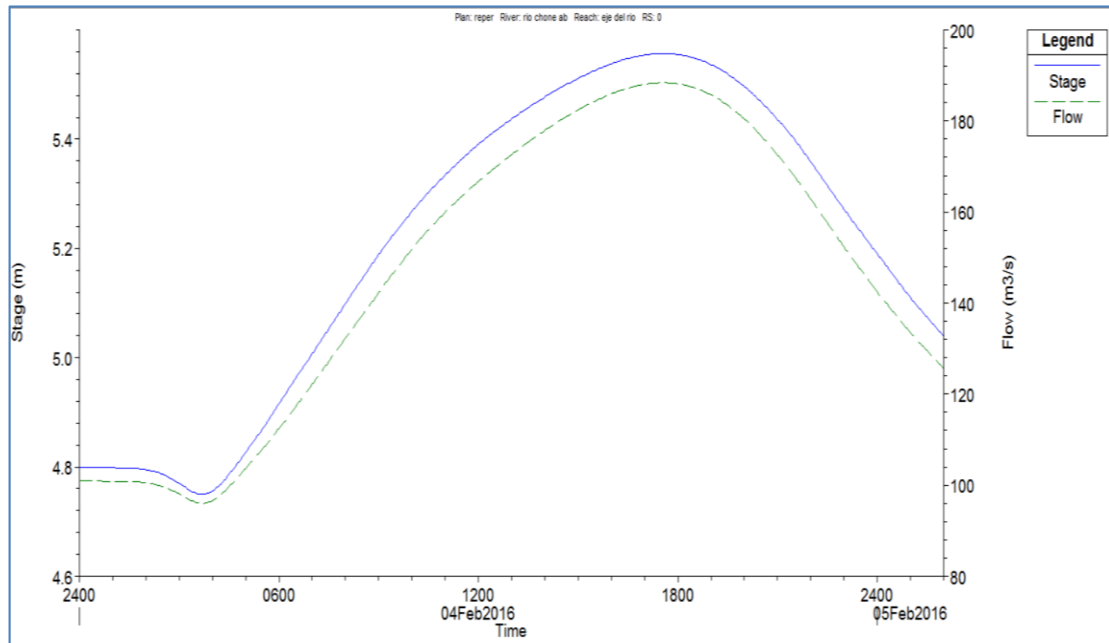


Sin embalse y Sin Bypass– Periodo de Retorno: 100 años

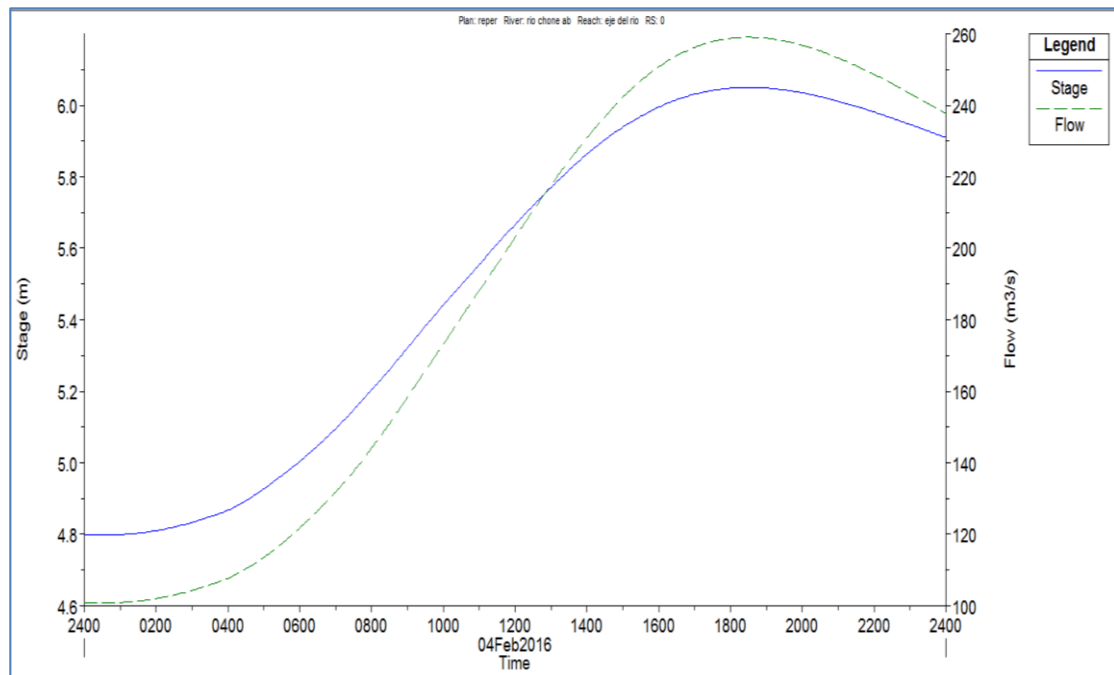


Periodo de Retorno: 200 años

**SECCIÓN DEL RIO CHONE (0).**  
**ULTIMA SECCIÓN.**

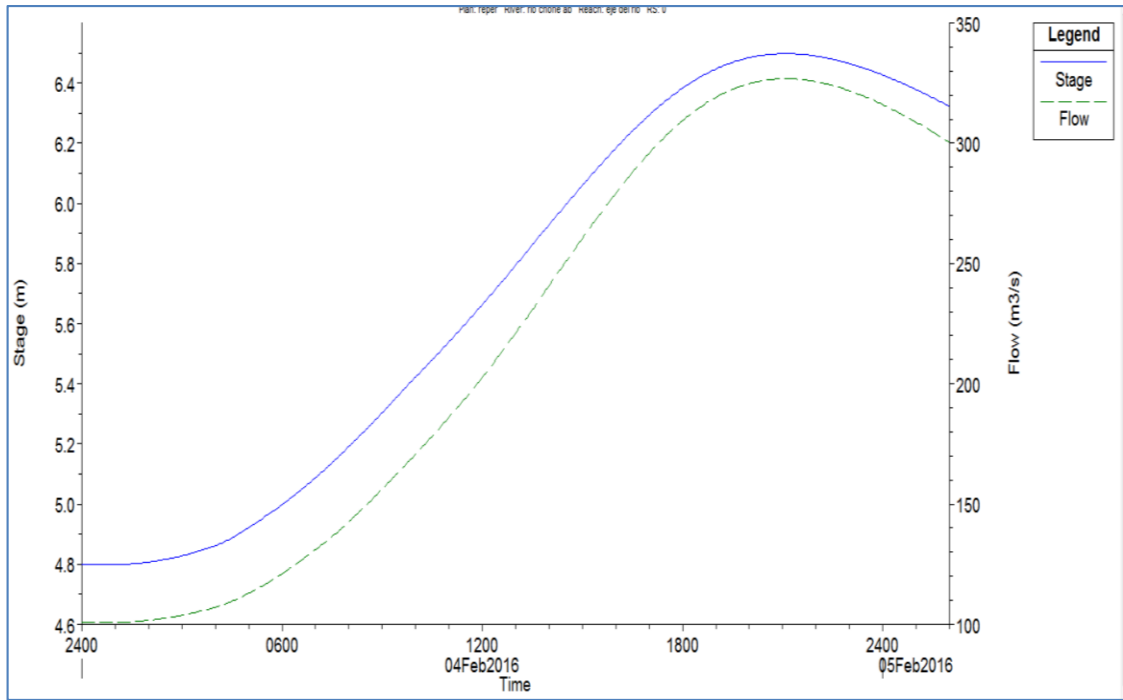


**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**

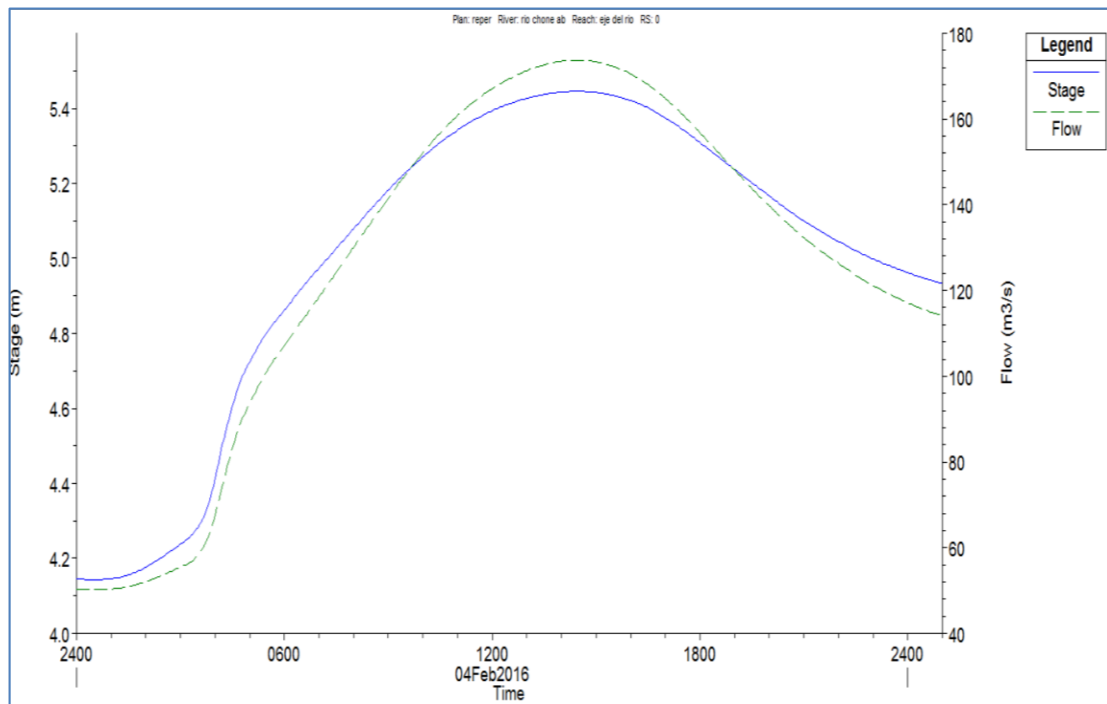


**Sin Bypass – Periodo de Retorno: 100 años.**



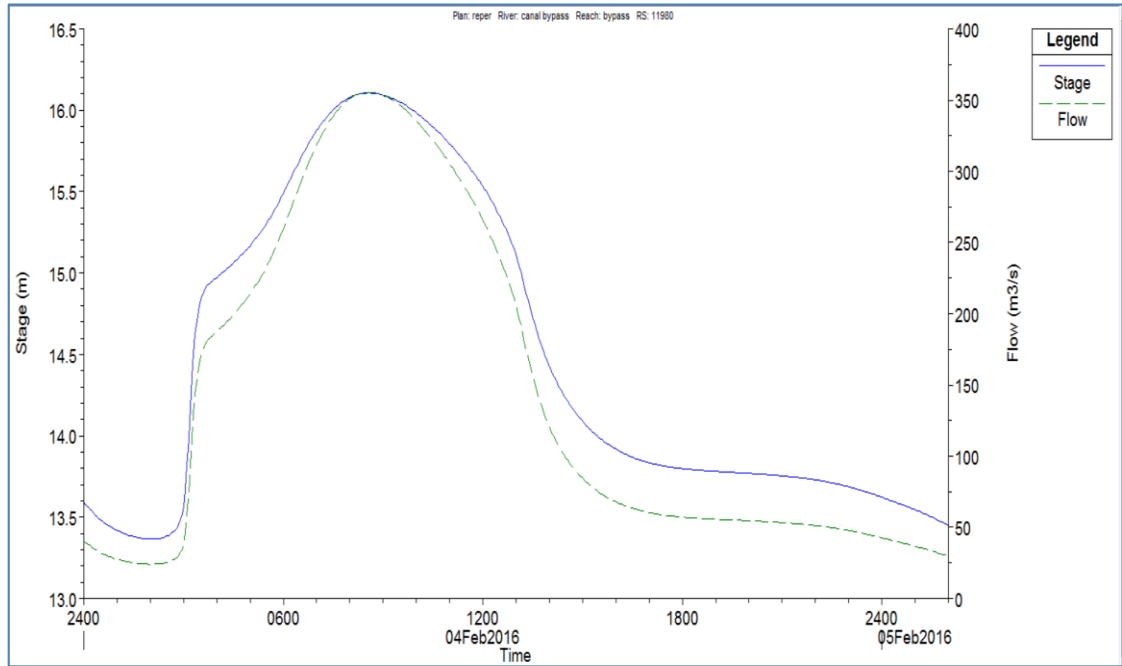


Sin embalse y Sin Bypass– Periodo de Retorno: 100 años

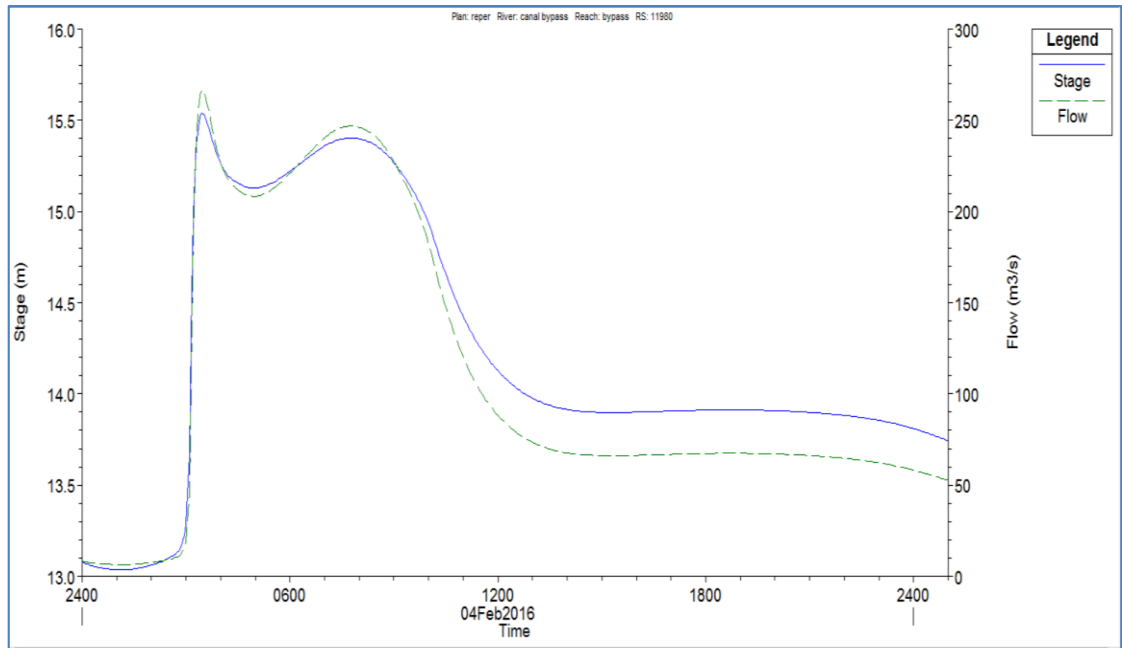


Periodo de Retorno: 200 años.

**SECCIÓN DEL CANAL BYPASS (11980).**  
**SECCIÓN ANTES DEL VERTEDOR.**

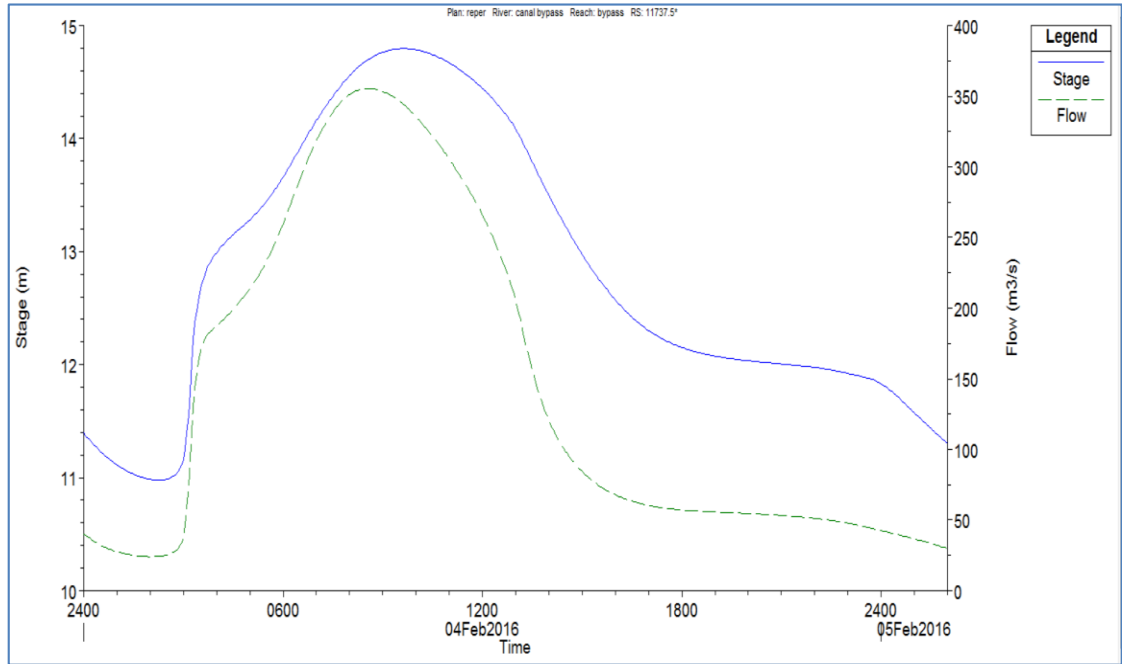


**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**

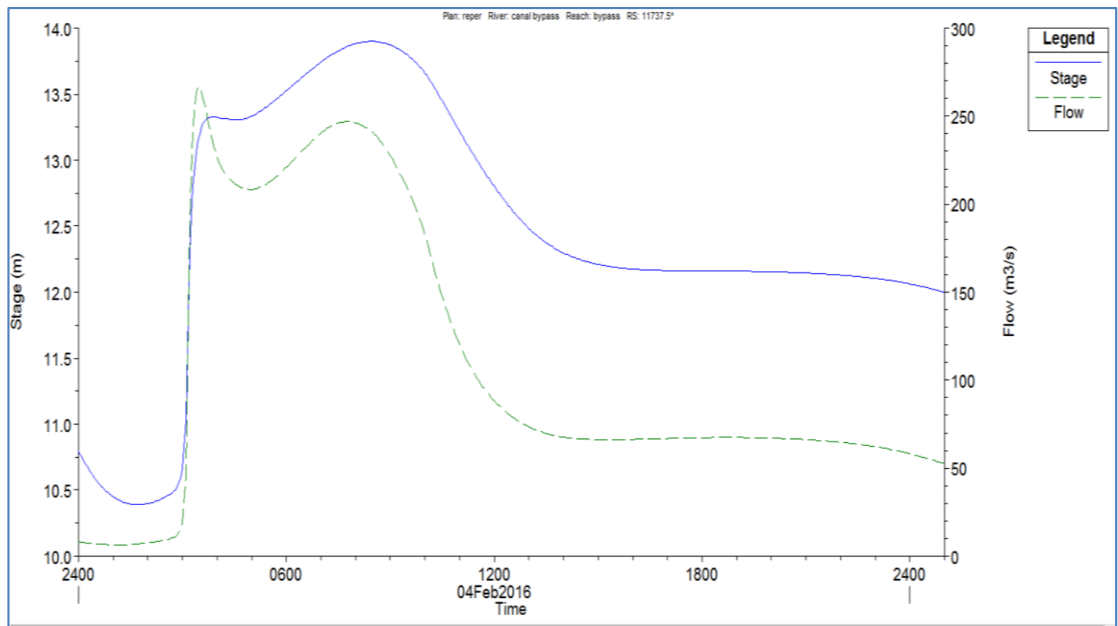


**Periodo de Retorno: 200 años.**

**SECCIÓN DEL CANAL BYPASS (11737.5).**  
**DESPUÉS DEL VERTEDOR.**

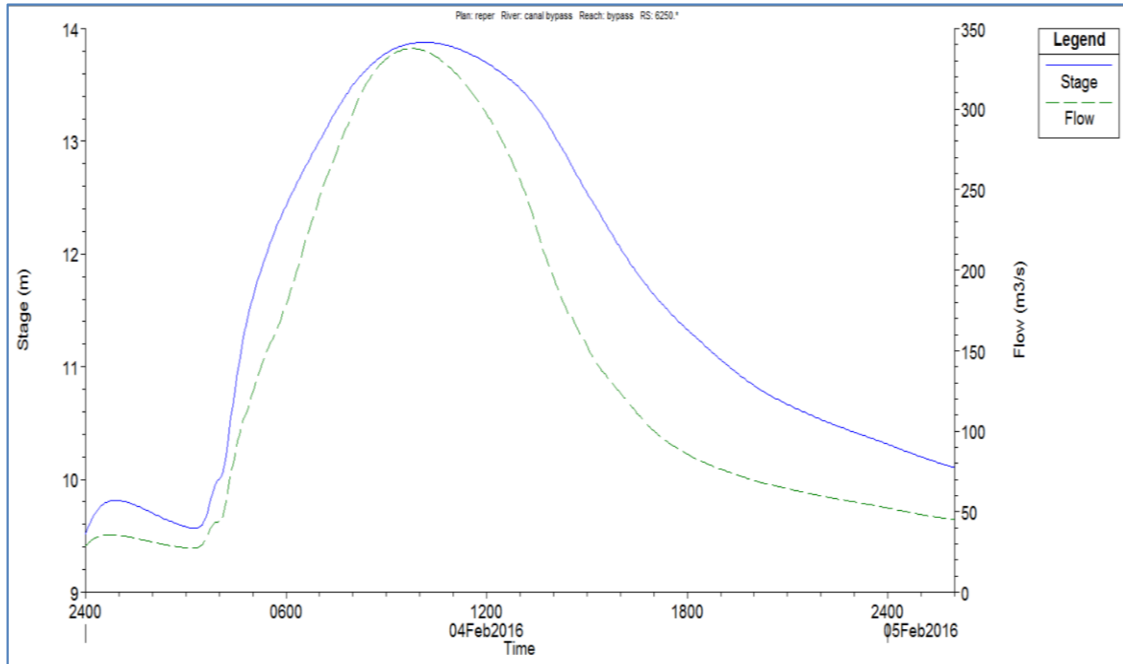


**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**

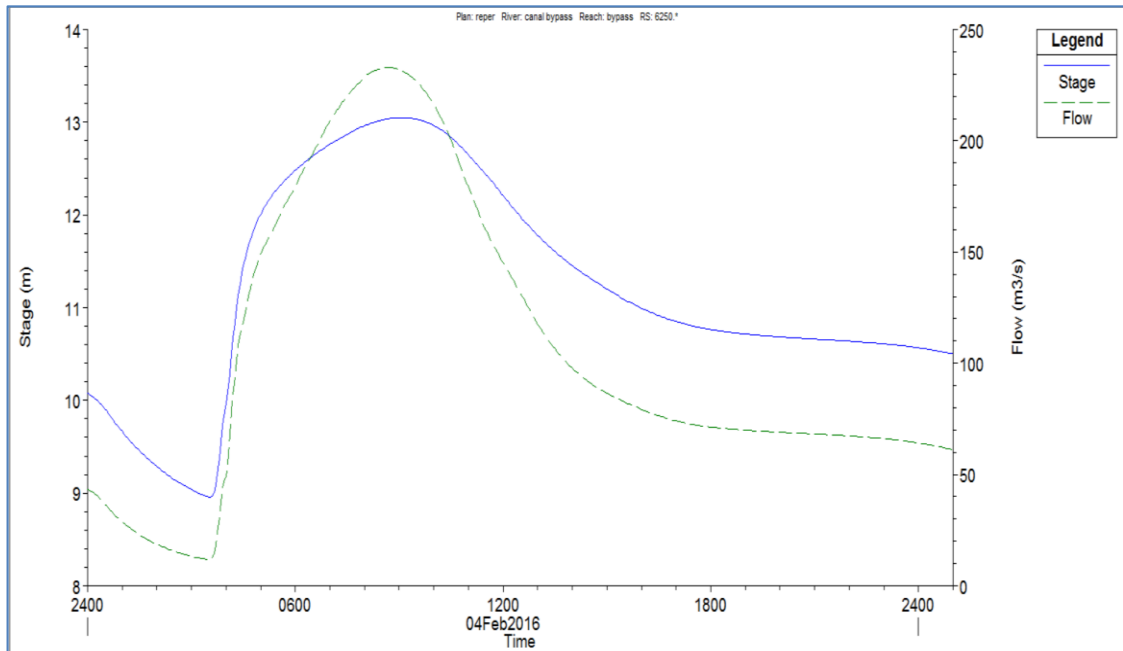


**Periodo de Retorno: 200 años.**

**SECCIÓN DEL CANAL BYPASS (6250).**  
**PUENTE CATIVO.**

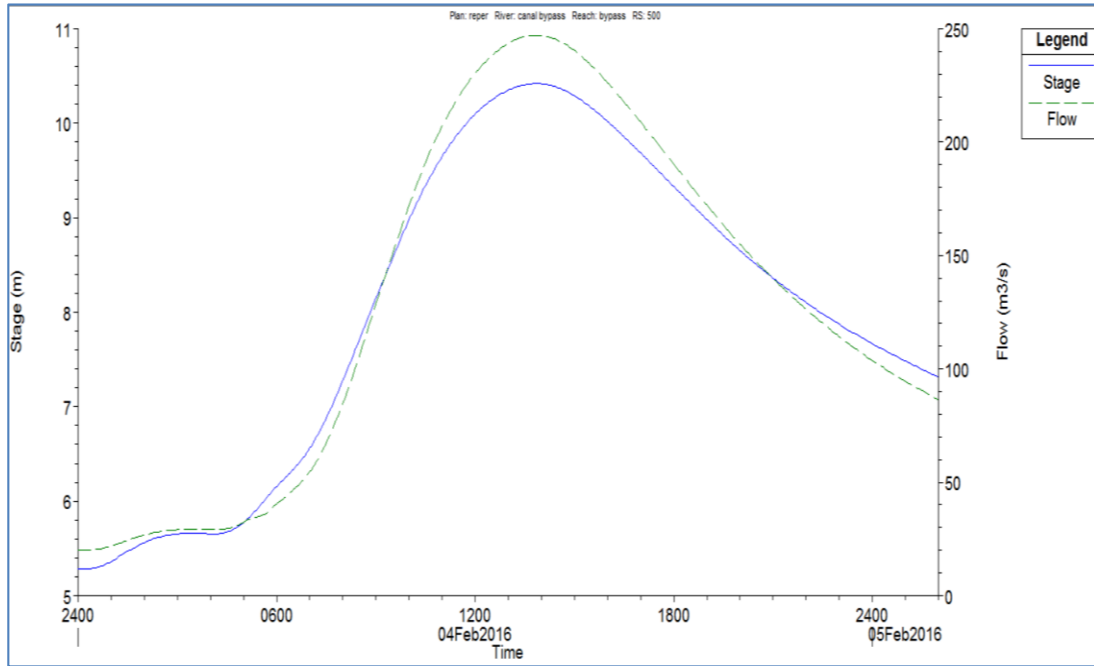


Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.

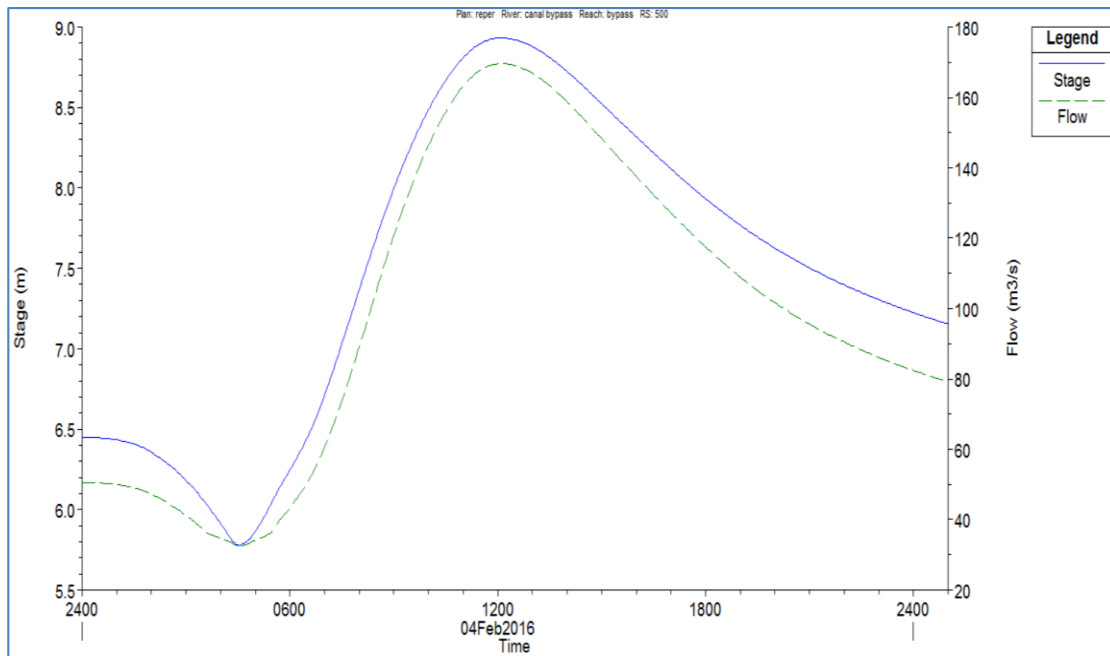


Periodo de Retorno: 200 años.

**SECCIÓN DEL CANAL BYPASS (500).**  
**ULTIMA SECCIÓN.**

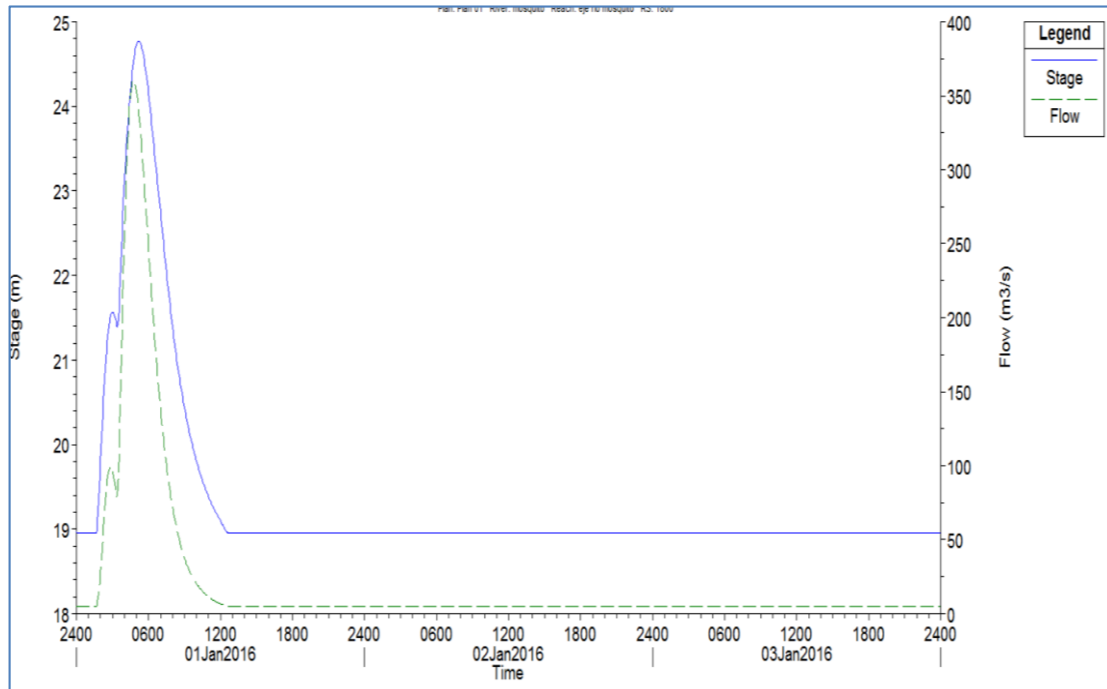


**Sin embalse – Periodo de Retorno: 100 años.**

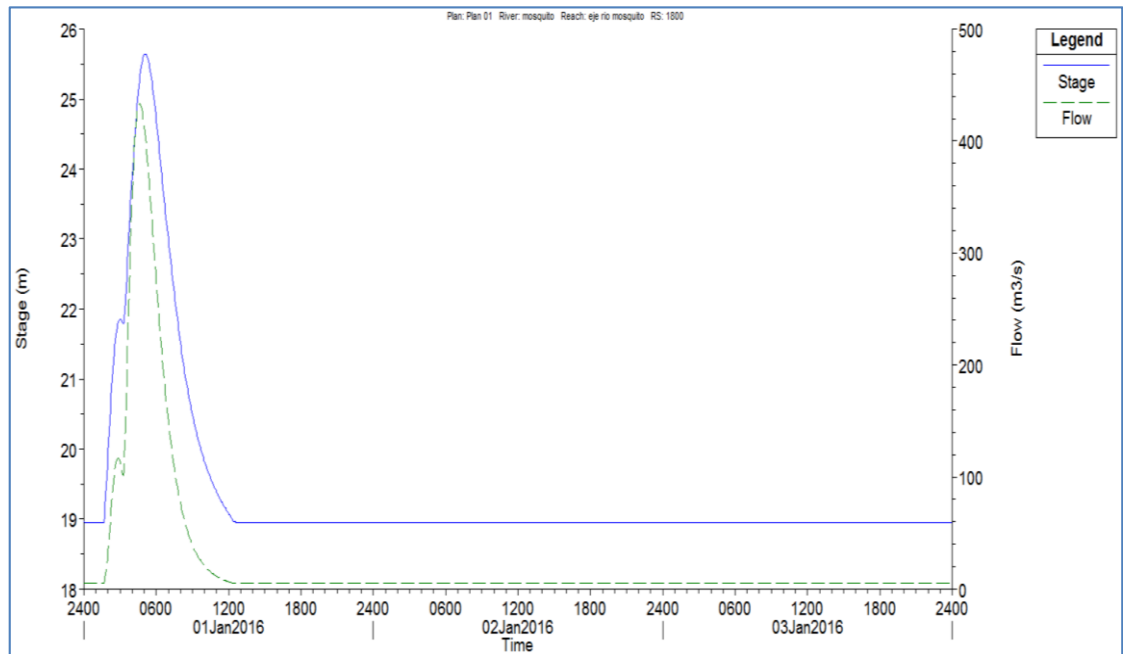


**Periodo de Retorno: 200 años.**

**SECCIÓN DEL RIO MOSQUITO (1800).**  
**INICIO**

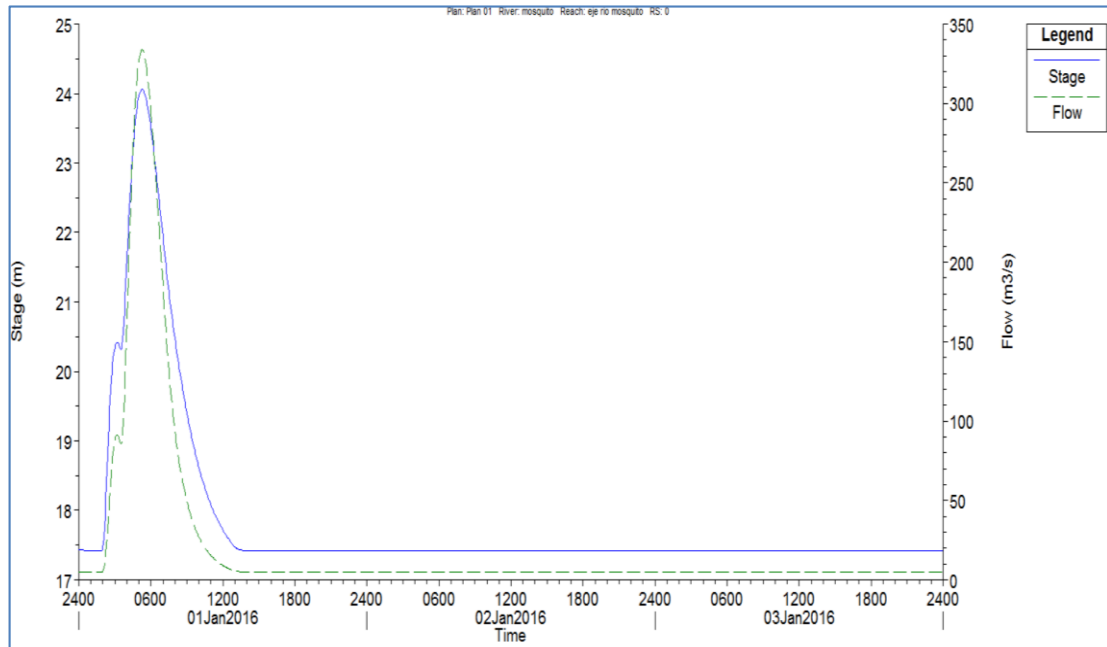


**Periodo de Retorno: 100 años.**

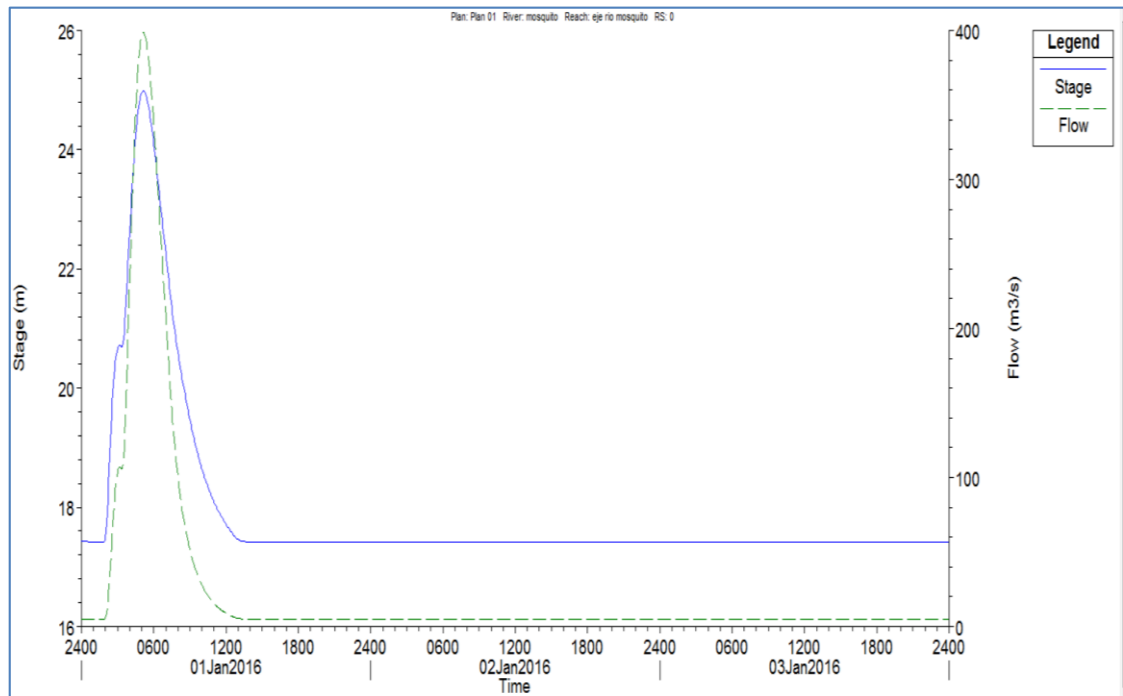


**Periodo de Retorno: 200 años.**

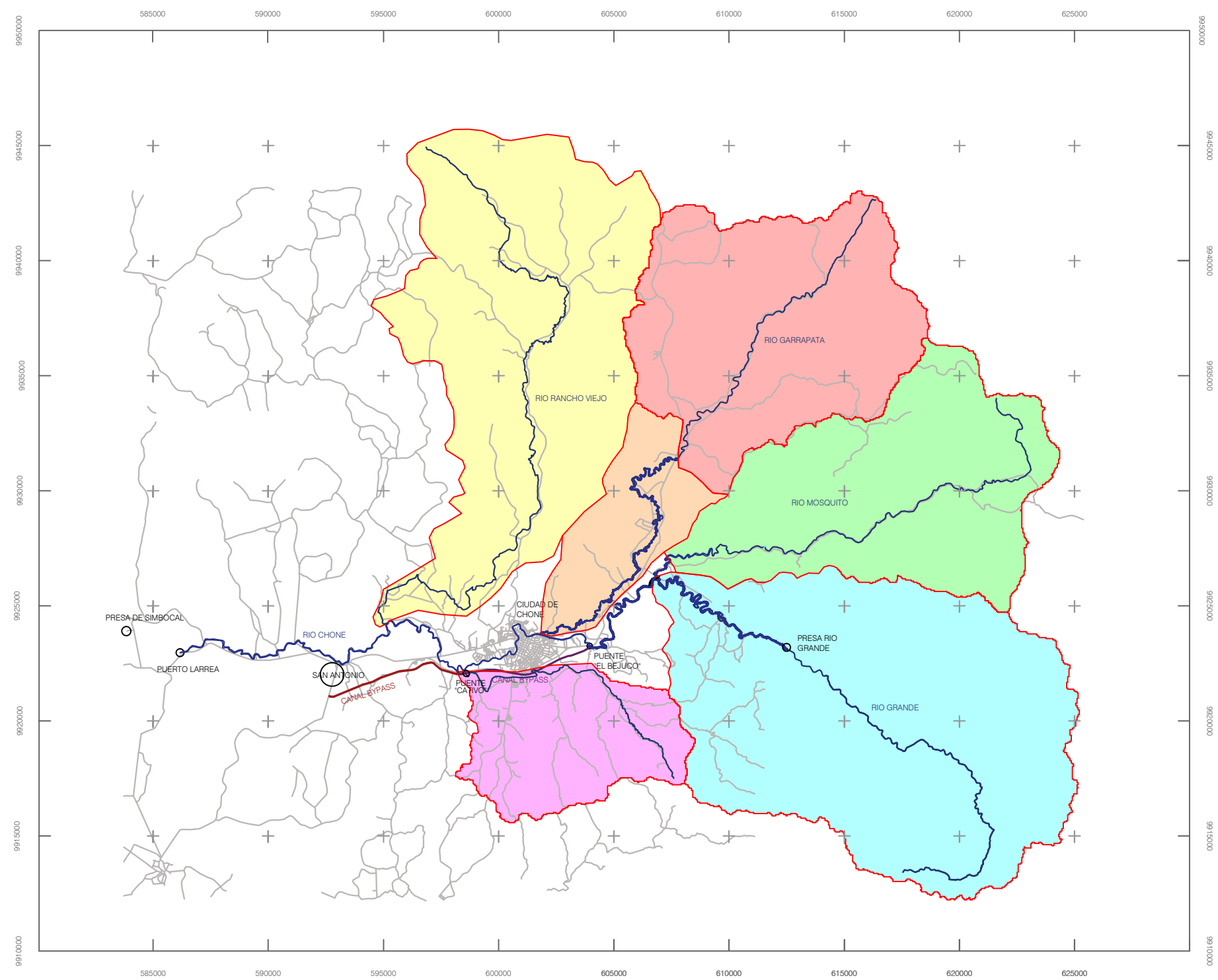
**SECCIÓN DEL RIO MOSQUITO (0).**  
**ANTES DE INGRESAR AL RIO GRANDE**



Periodo de Retorno: 100 años.



Periodo de Retorno: 200 años.



REFERENCIAS

SIMBOLOGIA

	RIO
	CUENCA
	VIAS

NOTAS



UNIVERSIDAD  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

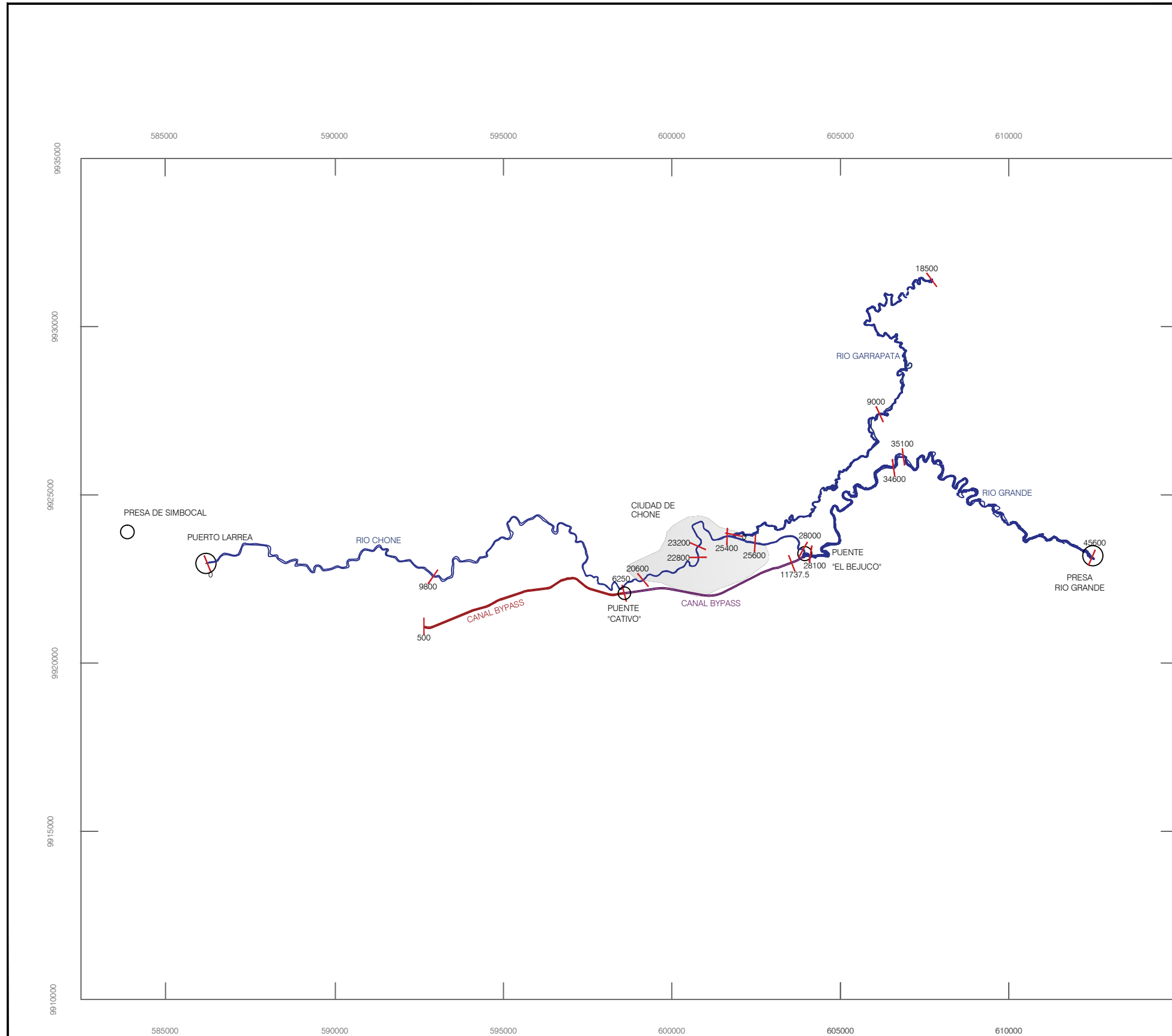
PROYECTO:

Simulaciones hidrológicas hidráulicas en el sistema del rio Chone, hasta la ciudad del mismo nombre, considerando la presencia de las obras ya construidas del proyecto de Propósito Múltiple Chone

CONTENIDO:

Esquema general. Plano #1





REFERENCIAS

SIMBOLOGIA

	RIO
	CANAL BYPASS HASTA PUENTE CATIVO
	CANAL BYPASS HASTA SAN ANTONIO

NOTAS

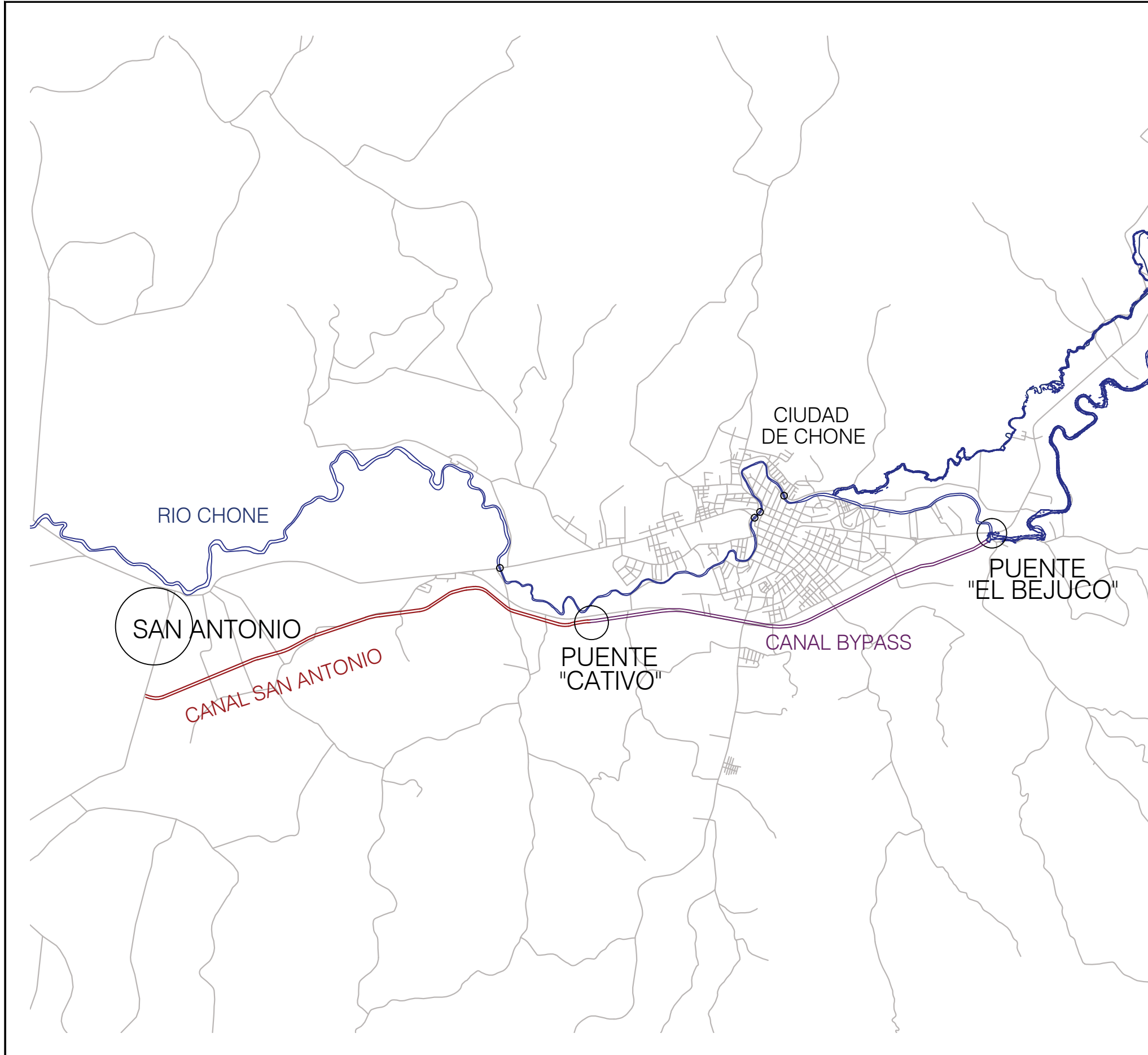


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

PROYECTO:  
Simulaciones hidrológicas hidráulicas en el sistema del rio Chone, hasta la ciudad del mismo nombre, considerando la presencia de las obras ya construidas del proyecto de Propósito Múltiple Chone




CONTENIDO:  
Secciones representativas de la simulacion hidráulica en el HEC RAS. Plano #2

ESQUEMA GABY.PY3



REFERENCIAS

SIMBOLOGIA

	RIO
	CANAL BYPASS HASTA PUENTE CATIVO
	CANAL BYPASS HASTA SAN ANTONIO

NOTAS



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

PROYECTO:  
 Simulaciones hidrológicas hidráulicas en el sistema del río Chone, hasta la ciudad del mismo nombre, considerando la presencia de las obras ya construidas del proyecto de Propósito Múltiple Chone

CONTENIDO:  
 Secciones representativas de la simulación hidráulica en el HEC RAS. Plano #3.



**Presidencia  
de la República  
del Ecuador**



**Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes**



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Cabrera Puga, María Gabriela, con C.C: # 0923857965 autora del trabajo de titulación: **Simulaciones hidrológicas hidráulicas en el sistema del río Chone, hasta la ciudad del mismo nombre, considerando la presencia de las obras ya construidas del proyecto de propósito múltiple Chone**, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 23 de marzo de 2016

f. \_\_\_\_\_

Nombre: Cabrera Puga, María Gabriela

C.C: 0923857965

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	SIMULACIONES HIDROLÓGICAS HIDRÁULICAS EN EL SISTEMA DEL RÍO CHONE, HASTA LA CIUDAD DEL MISMO NOMBRE, CONSIDERANDO LA PRESENCIA DE LAS OBRAS YA CONSTRUIDAS DEL PROYECTO DE PROPÓSITO MÚLTIPLE CHONE		
<b>AUTOR(ES)</b>	MARIA GABRIELA CABRERA PUGA		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	MIGUEL CABRERA SANTOS		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL		
<b>FACULTAD:</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA		
<b>CARRERA:</b>	INGENIERÍA CIVIL		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	INGENIERO CIVIL		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	23 DE MARZO DEL 2016	<b>NO. DE PÁGINAS:</b>	160
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	HIDRAULICA		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	CHONE, INUNDACIONES, HIDROGRAMAS, NIVELES, MODELACIÓN HIDROLÓGICA, MODELACIÓN HIDRÁULICA		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b>	<p>A LO LARGO DEL TIEMPO LA CIUDAD DE CHONE HA SUFRIDO INUNDACIONES POR EL DESBORDAMIENTO DEL RÍO DEL MISMO NOMBRE. COMO SOLUCIÓN A ESTE PROBLEMA SE ESTÁ DESARROLLANDO EL PROYECTO MULTIPROPÓSITO CHONE. HASTA LA PRESENTE FECHA SE HA CULMINADO LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DEL RÍO GRANDE Y EL CANAL BYPASS. EN EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZÓ EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO HIDRÁULICO DEL SISTEMA HIDROGRÁFICO DE LA CUENCA, CONSIDERANDO EN ESTE LA PRESENCIA DE LAS ESTRUCTURAS ANTES MENCIONADAS EN EL PÁRRAFO ANTERIOR. EL OBJETIVO FUNDAMENTAL DE ESTE TRABAJO FUE ANALIZAR LA VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE INUNDACIÓN EN LA CIUDAD DE CHONE. PARA ESTOS ESTUDIOS SE EFECTUARON SIMULACIONES HIDROLÓGICAS HIDRÁULICAS DEL SISTEMA HIDROGRÁFICO DEL RÍO, LO QUE PERMITIÓ DETERMINAR HIDROGRAMAS Y NIVELES EN SECCIONES DE INTERÉS, Y DE ESTA MANERA DEFINIR EL IMPACTO QUE ESTAS OBRAS TIENEN EN EL CONTROL DE LAS INUNDACIONES DE LA CIUDAD DE CHONE. LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES DETERMINAN QUE LA PRESENCIA DEL EMBALSE DE RIO GRANDE Y DEL CANAL BYPASS INCIDE DE UNA MANERA POSITIVA, REDUCIENDO LOS NIVELES DE INUNDACIÓN EN LA CIUDAD DE CHONE. ASÍ POR EJEMPLO SIN CONSIDERAR, EN LA SIMULACIÓN, LA PRESENCIA DEL EMBALSE Y DEL CANAL BYPASS EL NIVEL DE INUNDACIÓN EN UNA SECCIÓN UBICADA EN LA MITAD DEL TRAMO DEL RIO QUE CRUZA LA CIUDAD ES DE APROXIMADAMENTE 17.22 M.S.N.M., EN TANTO QUE CONSIDERANDO LA PRESENCIA DE ESTAS OBRAS ESTE NIVEL BAJA A LA COTA 14.60 M.S.N.M.. PARA LAS SIMULACIONES HIDROLÓGICAS HIDRÁULICAS SE UTILIZÓ INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA DE DIVERSAS FUENTES, OBTENIDAS EN ÉPOCAS DIFERENTES. POR ESTA RAZÓN LOS RESULTADOS OBTENIDOS PODRÍAN NO SER MUY CONFIABLES.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593- 91655362	E-mail: gabriela_cabrera_puga@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:</b>	<b>Nombre:</b> MIGUEL CABRERA SANTOS		
	<b>Teléfono:</b> +593-4-206951		
	<b>E-mail:</b> miguel.cabrera@cu.ucsg.edu.ec		

#### **SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA**

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	