

# **MEMORIA DE CÁLCULOS HIDRÁULICOS**

**PROYECTO DE NUEVA CALLE DE ACCESO Y SERVICIOS PARA  
FUTURA BARRIADA DE HÁNGARES**

**AERÓPUERTO DE RUBEN CANTÚ**



**Cliente: Autoridad de Aeronáutica Civil**

**Realizado por:**

**INVERSIONES SOLABED, S.A.**

**Abril de 2018**

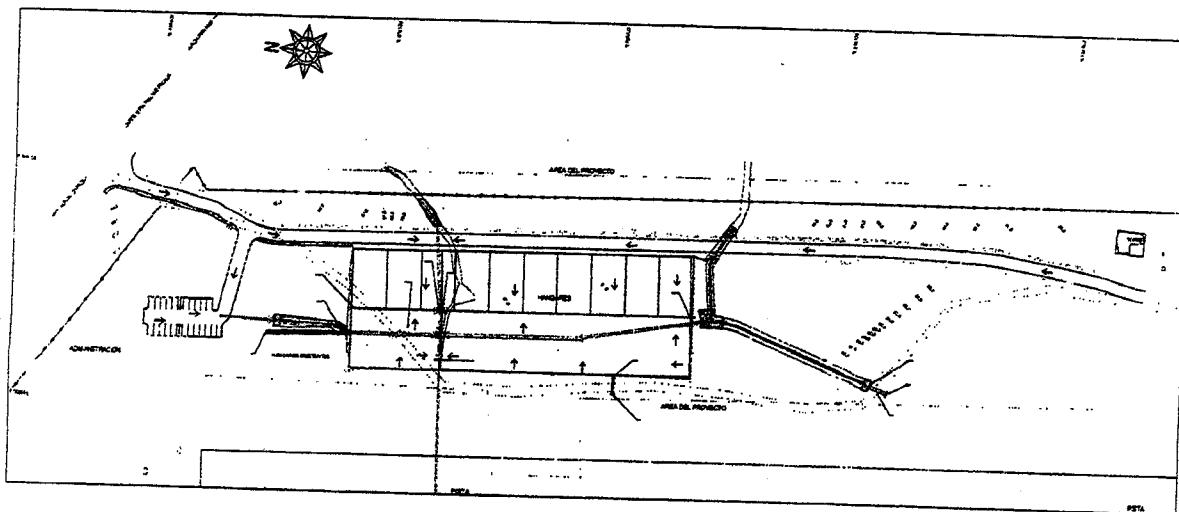
# CÁLCULOS HIDRÁULICOS – ALCANTARILLADO PLUVIAL

## Proyecto Aeropuerto Rubén Cantú, Santiago

### DESCRIPCIÓN GENERAL

El Aeropuerto Rubén Cantú, está ubicado en las afueras de la Ciudad de Santiago, Provincia de Veraguas. El proyecto consiste en dejar previsiones básicas de servicios para una barriada de 10 hangares a construir en el futuro, una calle de acceso de servicio a los hangares y torre de control.

Se ha solicitado el manejo de drenaje pluvial de la zona de influencia del proyecto.



Vista en Planta del Área del Proyecto

JONATHAN GORRICHATEGUI T. Ingeniero Civil Licencia No 2008-006-136

FIRMA
Ley 15 de 26 de enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

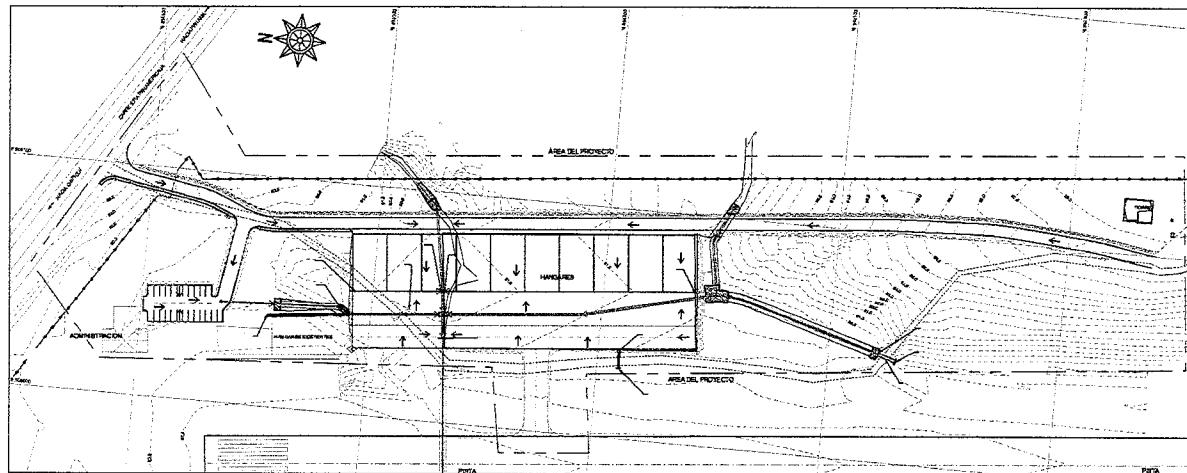
# CÁLCULOS HIDRÁULICOS – ALCANTARILLADO PLUVIAL

## Proyecto Aeropuerto Rubén Cantú, Santiago

### DESCRIPCIÓN GENERAL

El Aeropuerto Rubén Cantú, está ubicado en las afueras de la Ciudad de Santiago, Provincia de Veraguas. El proyecto consiste en dejar previsiones básicas de servicios para una barriada de 10 hangares a construir en el futuro, una calle de acceso de servicio a los hangares y torre de control.

Se ha solicitado el manejo de drenaje pluvial de la zona de influencia del proyecto.



Vista en Planta del Área del Proyecto

## **ESTIMACIÓN DEL CAUDAL:**

La evaluación o determinación de la cantidad de agua que fluye superficialmente a consecuencia de las lluvias es de gran importancia para el dimensionamiento del sistema de desagüe pluvial de las áreas urbanas.

Para la estimación del caudal de diseño para el sistema de desagüe pluvial existen varios métodos y fórmulas, donde se destaca el siguiente método:

## **METODO RACIONAL:**

Para estimar el caudal superficial producido por las precipitaciones se utiliza el método racional que establece:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Donde:

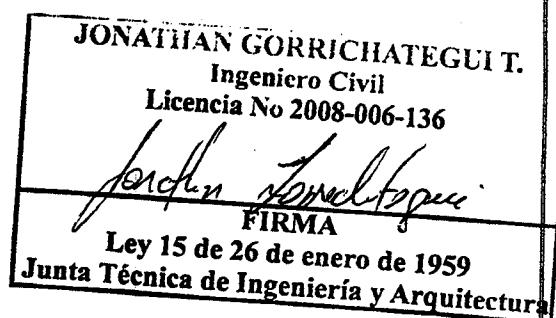
Q = Caudal superficial; m<sup>3</sup>/s

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad promedio de la lluvia; mm/hr

A = Área de drenaje; Hectáreas

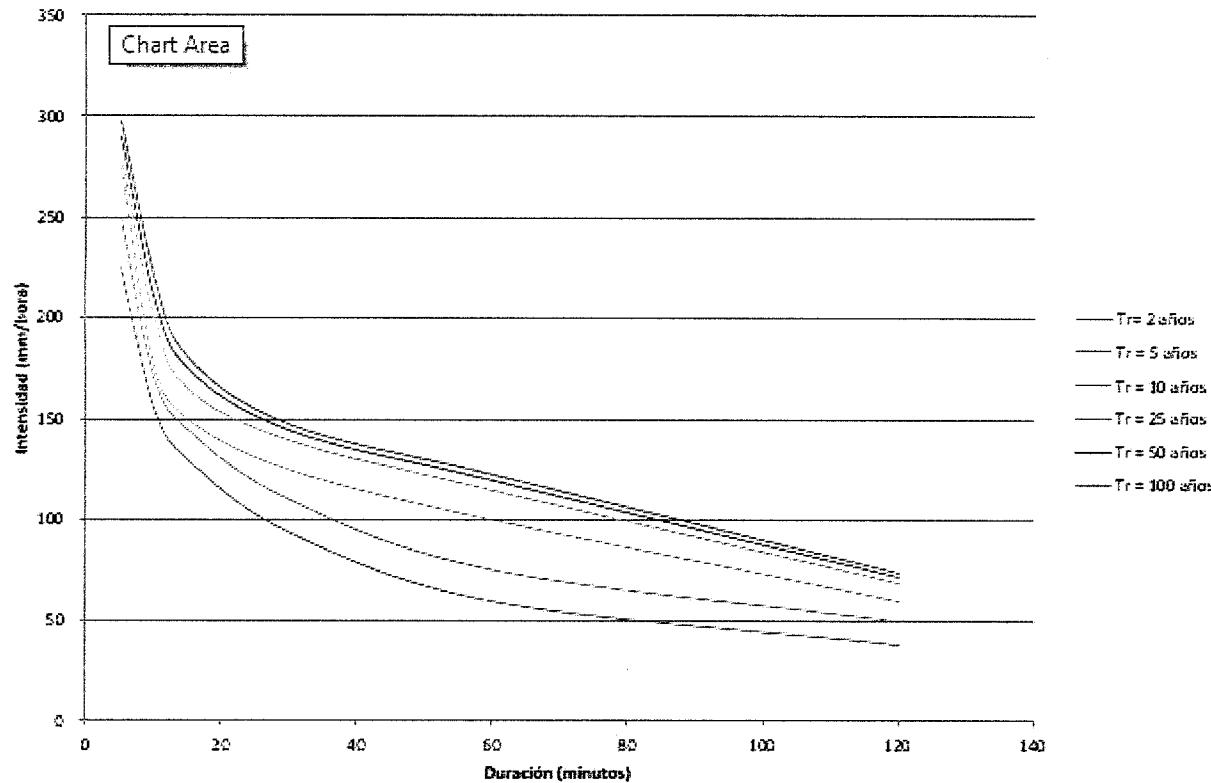
El método racional se recomienda aplicarlo en áreas de drenajes menores de 250 hectáreas.



## **ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA:**

Uno de los factores que dificulta la determinación de los diámetros del sistema de desagüe pluvial es la medición de las precipitaciones lluviosas durante un período dado. Investigando data, personal de ETESA nos suministró unas curvas IDF generadas para la Estación de Santiago por la empresa Consultores Asociados de Ingeniería (CAI) para un proyecto de unos Pozos en el lugar de Salitre.

**CURVAS IDF**  
**Estación Santiago (120-002)**



**CUADRO 1**  
**INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA (IDF)<sup>(1)</sup>**  
**ESTACION : SANTIAGO (120-002)**  
**INTENSIDAD EN mm/h**

Duración, t (minutos)	PERÍODO DE RETORNO, T EN AÑOS					
	2	5	10	25	50	100
5	225	250	275	280	290	298
10	155	170	175	200	210	220
15	130	145	150	165	175	180
30	94	110	125	140	145	148
60	60	75	100	115	120	123
120	39	50	60	69	72	74

<sup>(1)</sup> Valores teóricos proporcionados por el Departamento de Hidrometeorología, IRHE, Mayo, 1997. Período de análisis: 1971 - 1996

Se está diseñando para cumplir con una tormenta de diseño con un período de retorno de 10 años.

El tiempo de concentración inicial de la lluvia se estableció en 15 minutos debido a la gran cantidad de áreas verdes y pendientes planas en la región.

Según las curvas y el cuadro suministrado, para un período de retorno de 1 en 10 años y un tiempo de concentración de 15 minutos tenemos un valor de intensidad de lluvia aproximado de:

$$I_{10\text{años}} = 150.00 \frac{\text{mm}}{\text{hora}}$$

### COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El Ministerio de Obras Públicas (MOP) exige para la estimación del caudal se utilice los siguientes valores mínimos para el coeficiente de escorrentía, los cuales se han tabulado en la Tabla 1.

Coeficiente de escorrentía	Tipos de área
0.90-1.00	Urbanas
0.85	Suburbanas y forestales
1.00	Áreas completamente pavimentadas

**Tabla 1. Coeficiente de escorrentía utilizados por el MOP**

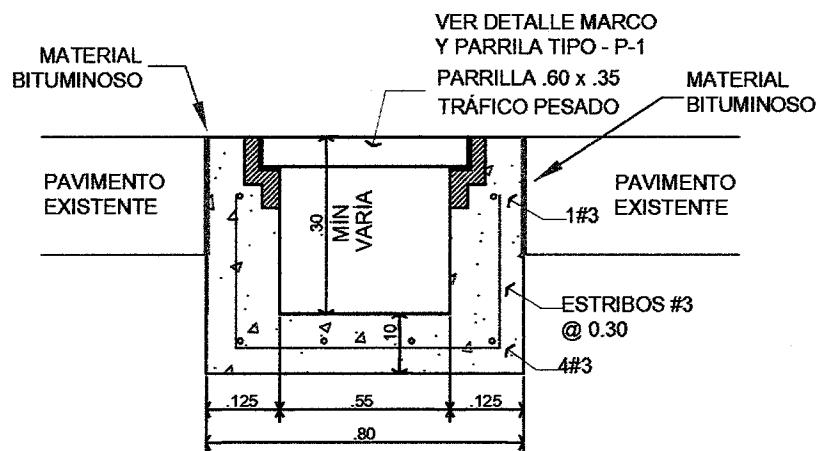
Se utilizó un coeficiente de escorrentía de **0.85** para el cálculo de los caudales del proyecto.

Anexo a este documento está la hoja de cálculo completa en formato 11x17, referentes a las capacidades hidráulicas de las elementos de alcantarilla (tuberías y/o cajones)

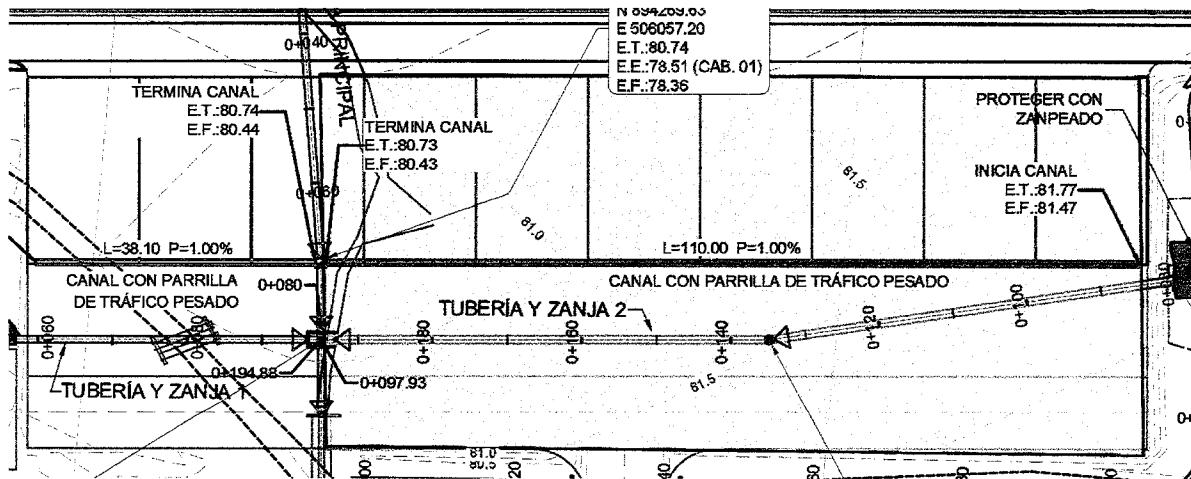
## CANAL CON PARRILLA – ZONA ENTRE HANGARES Y CALLE DE RODAJE

Entre los hangares y la calle de rodaje futura se forma una lima producto de la dirección de las pendientes de las dos terrazas. Ambas tienen pendientes suaves que se encuentran en la zona indicada. La zona de los hangares cae con una pendiente de 1.00%, mientras la pendiente de transversal de la calle de rodaje es de 2.00%.

Se está proponiendo un canal rectangular con parrilla de tráfico pesado que permita el paso de los vehículos hacia los hangares y además que quede en calidad de acabado con el siguiente detalle:



El caudal crítico a manejar viene dado por el tramo más largo de canal de aproximadamente 110 metros de longitud y un área de subcuenca de 5,500 m<sup>2</sup> como se puede apreciar en la imagen debajo.



Utilizando la fórmula y parámetros descritos inicialmente en este estudio, utilizando la fórmula del Método Racional, podemos calcular el caudal estimado que deberá manejar este canal para la tormenta de diseño con un período de retorno de 10 años.

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

$$Q = \frac{0.85 * 150 * 0.550}{360}$$

$$Q = 0.195 \text{ m}^3/\text{s}$$

El canal pluvial deberá poder manejar un caudal de 0.195 m<sup>3</sup>/s generado por una tormenta de diseño con un período de retorno de 10 años.

Utilizaremos la herramienta "Hidraflow Express Extension" de Autodesk que es una calculadora de elementos hidráulicos que viene con el programa Civil 3D para verificar la capacidad del canal propuesto ante la condición de flujo estimado.

Primero indicaremos los parámetros de diseño del canal rectangular de concreto

Base (b) = 0.55m

Altura (h) = 0.30m

Pendiente (slope) = 1.00%

Revestimiento Concreto = coeficiente de Manning "n" = 0.013

Caudal a manejar = 0.195 m<sup>3</sup>/s

Introduciendo estos valores en la herramienta Hidraflow Express Extension, tenemos que el valor del tirante de agua (o altura de agua resultante) es de 0.1981 que indicaría que está al 66% de lleno con la peor lluvia estimada en 10 años por lo que cumple.

Reporte completo en la siguiente página.

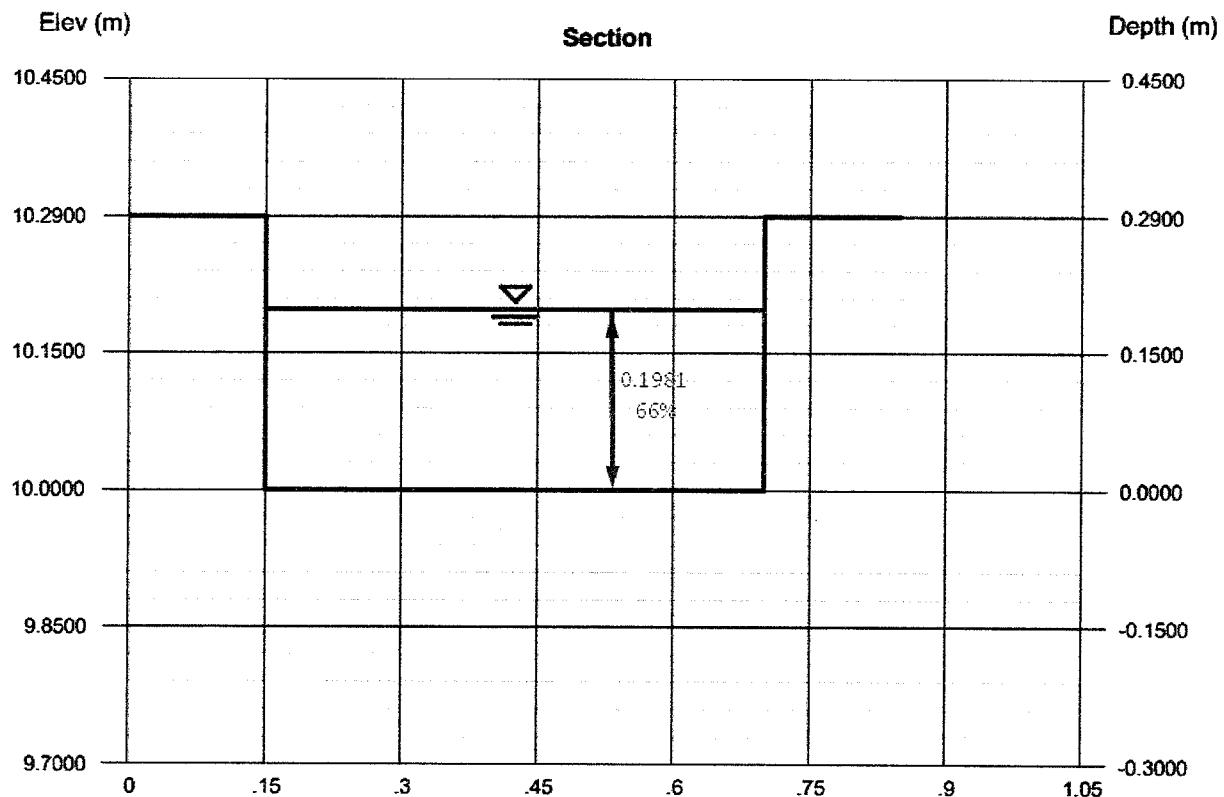
## Channel Report

Hydraflow Express Extension for Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® by Autodesk, Inc.

Friday, May 11 2018

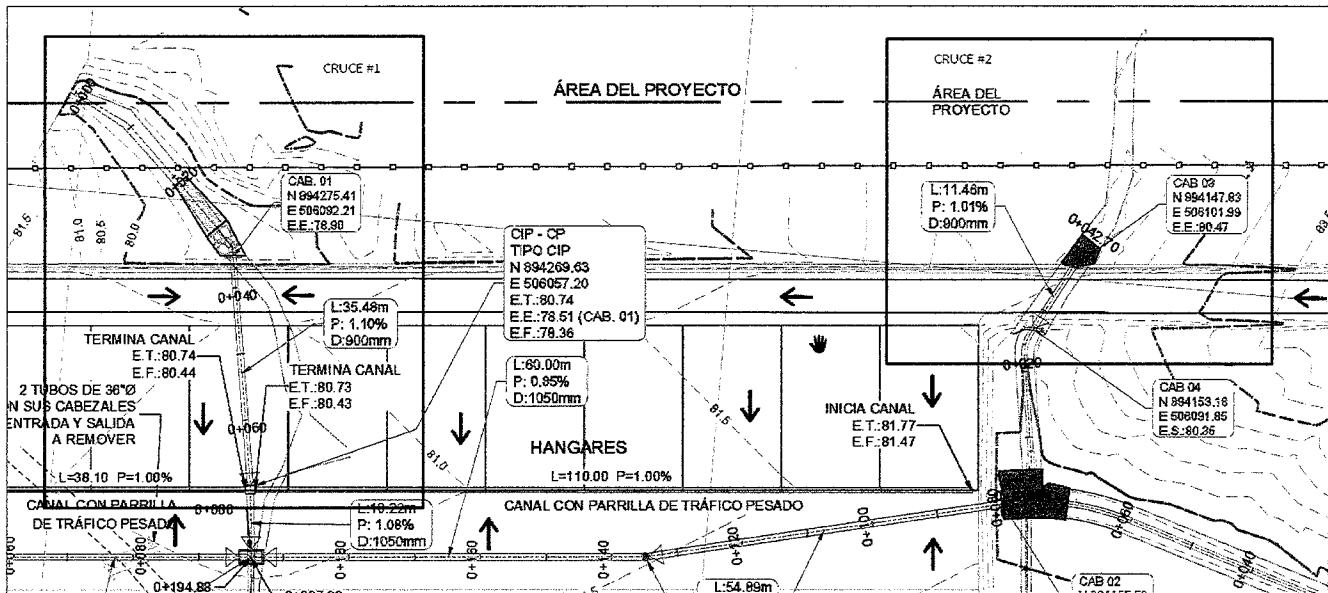
## CANAL RECTANGULAR CON PARRILLA - HANGARES

<b>Rectangular</b>		<b>Highlighted</b>	
Bottom Width (m)	= 0.5500	Depth (m)	= 0.1981
Total Depth (m)	= 0.3000	Q (cms)	= 0.195
Invert Elev (m)	= 10.0000	Area (sqm)	= 0.1090
Slope (%)	= 1.0000	Velocity (m/s)	= 1.7895
N-Value	= 0.013	Wetted Perim (m)	= 0.9462
<b>Calculations</b>		Crit Depth, Yc (m)	= 0.2347
Compute by:	Known Q	Top Width (m)	= 0.5500
Known Q (cms)	= 0.1950	EGL (m)	= 0.3615



## CRUCES DE TUBERÍA SOBRE LA CALLE DE ACCESO HACIA LA TORRE

Existen dos grandes cruces de cuerpos de agua dentro del alineamiento de la calle de acceso hacia los hangares y la torre de control. Uno es el cuerpo de agua principal que será entubado y conectado a la batería de dos tubos existentes de 0.90m (36") de diámetro, el otro alimentaba una zanja pluvial que luego llegaba al cabezal del tubo doble de 0.90m.

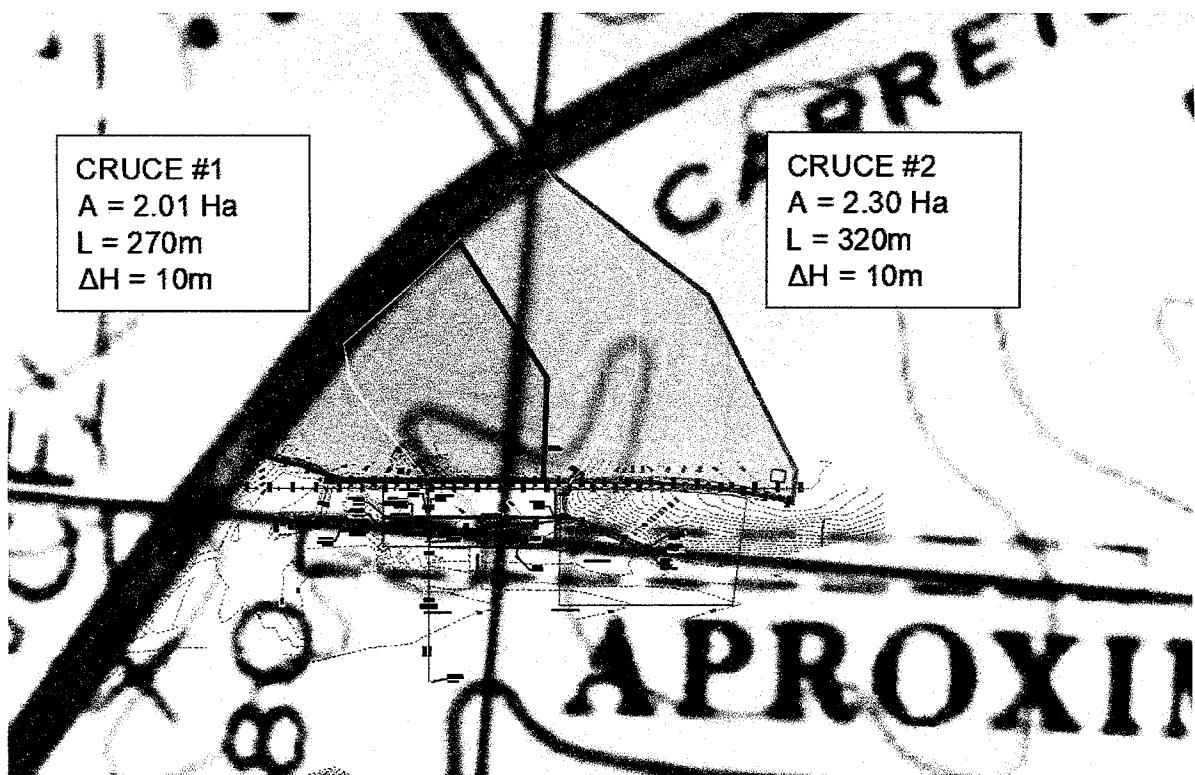


Ambos cruces se realizan con tuberías de 900mm (36").

La cuenca del CRUCE #1 tiene un área aproximada de 2.01 Hectáreas, una longitud de 270 metros desde el punto más alejado de la cuenca y una diferencia de altura de 10 metros entre el punto más alto y punto más bajo.

La cuenca del CRUCE #1 tiene un área aproximada de 2.30 Hectáreas, una longitud de 320 metros desde el punto más alejado de la cuenca y una diferencia de altura de 10 metros entre el punto más alto y punto más bajo.

Estos valores se pueden apreciar en la siguiente imagen, extracto del Mosaico Topográfico 4040-III Santiago.



Cuencas de Cruce 1 y Cruce 2 – Mosaico Topográfico 4040-III Santiago

Utilizando la fórmula y parámetros descritos inicialmente en este estudio, utilizando la fórmula del Método Racional, podemos calcular el caudal estimado que deberán manejar los cruces.

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Como son alcantarillas de cruces mayores, utilizaremos la intensidad de lluvia con un período de retorno de 1 en 50 años, la cual según vemos en el Cuadro No.1 para un tiempo de concentración de 15 minutos es de:

$$I_{50 \text{ Años}} = 175.00 \frac{\text{mm}}{\text{hora}}$$

$$Q_{CRUCE-1} = \frac{0.85*175*2.01}{360} \quad Q_{CRUCE-2} = \frac{0.85*175*2.30}{360}$$

$$Q_{CRUCE-1} = 0.831 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{CRUCE-2} = 0.950 \text{ m}^3/\text{s}$$

Utilizaremos la herramienta “Hidraflow Express Extension” de Autodesk para calcular las condiciones hidráulicas de estas tuberías tenemos los siguientes resultados

### CRUCE #1

$$Q = 0.831 \text{ m}^3/\text{s} \quad P = 1.10\% \quad \text{Diámetro} = 0.90\text{m} \quad n = 0.013$$

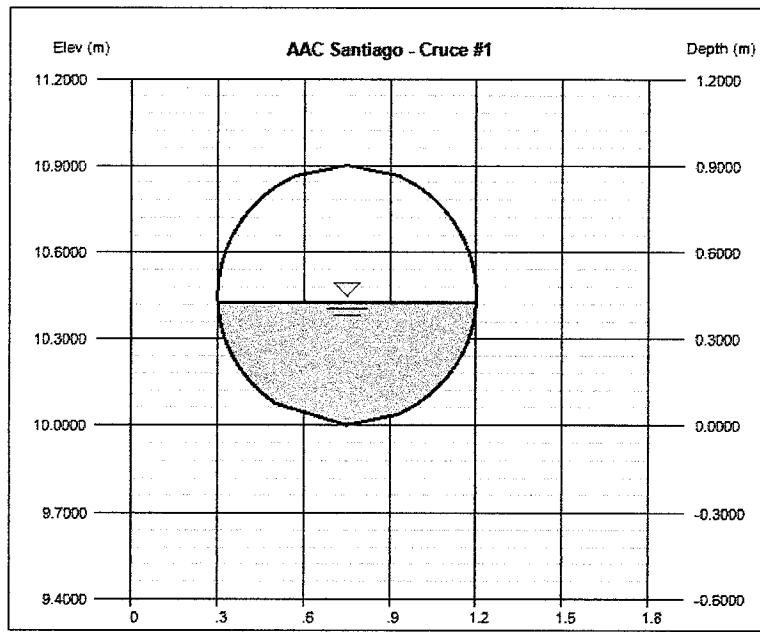
## Channel Report

Hydraflow Express Extension for Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® by Autodesk, Inc.

Friday, May 11 2018

### AAC Santiago - Cruce #1

<b>Circular</b>		<b>Highlighted</b>	
Diameter (m)	= 0.9000	Depth (m)	= 0.4176
Invert Elev (m)	= 10.0000	Q (cms)	= 0.8310
Slope (%)	= 1.1000	Area (sqm)	= 0.2895
N-Value	= 0.013	Velocity (m/s)	= 2.8708
<b>Calculations</b>		Wetted Perim (m)	= 1.3500
Compute by:	Known Q	Crit Depth, Yc (m)	= 0.5395
Known Q (cms)	= 0.8310	Top Width (m)	= 0.8977
		EGL (m)	= 0.8380



La profundidad o tirante en la tubería es de 0.4267, comparándola con el diámetro total 0.9000 esto nos da:

$$0.4267 / 0.9000 = 47.41\%$$

## CRUCE #2

$$Q = 0.950 \text{ m}^3/\text{s} - P = 1.01\% - \text{Diámetro} = 0.90\text{m} - n = 0.013$$

## Channel Report

Hydraflow Express Extension for Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® by Autodesk, Inc.

Friday, May 11 2018

### AAC Santiago - Cruce #2

#### Circular

$$\text{Diameter (m)} = 0.9000$$

$$\text{Invert Elev (m)} = 10.0000$$

$$\text{Slope (\%)} = 1.0100$$

$$\text{N-Value} = 0.013$$

#### Calculations

$$\text{Compute by: Known Q}$$

$$\text{Known Q (cms)} = 0.9500$$

#### Highlighted

$$\text{Depth (m)} = 0.4633$$

$$\text{Q (cms)} = 0.9500$$

$$\text{Area (sqm)} = 0.3319$$

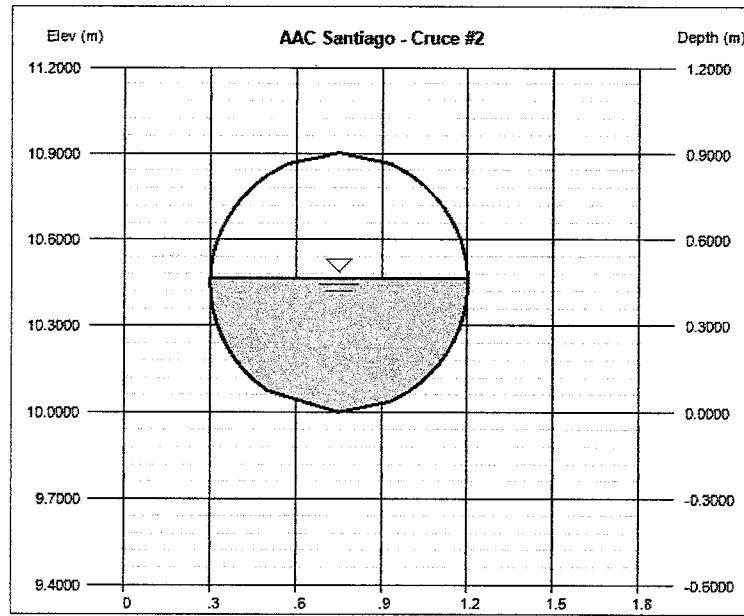
$$\text{Velocity (m/s)} = 2.8620$$

$$\text{Wetted Perim (m)} = 1.4445$$

$$\text{Crit Depth, } Y_c \text{ (m)} = 0.5761$$

$$\text{Top Width (m)} = 0.8995$$

$$\text{EGL (m)} = 0.8811$$



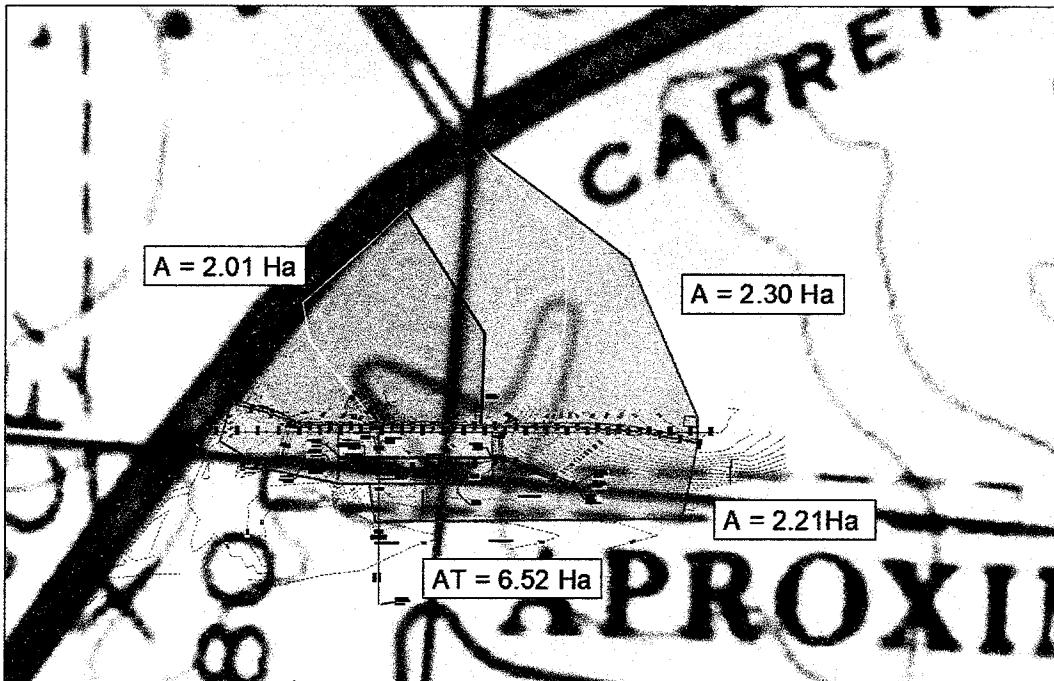
La profundidad o tirante en la tubería es de 0.4633, comparándola con el diámetro total 0.9000 esto nos da:

$$\mathbf{0.4633 / 0.9000 = 51.47\%}$$

Ambas tuberías están un diámetro comercial mayor debido a que su entrada proviene de cauces naturales, por lo que si se propone un diámetro justo, puede tender a taparse por vegetación, sedimentos, o falta de mantenimiento.

## ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE LAS DOS TUBERÍAS DE 900mm H.R. EXISTENTES

Para analizar la capacidad de las dos tuberías existentes de 900mm de diámetro de hormigón reforzado que descargan todas las aguas del proyecto, hemos calculado el área de la cuenca total que deben poder manejar.



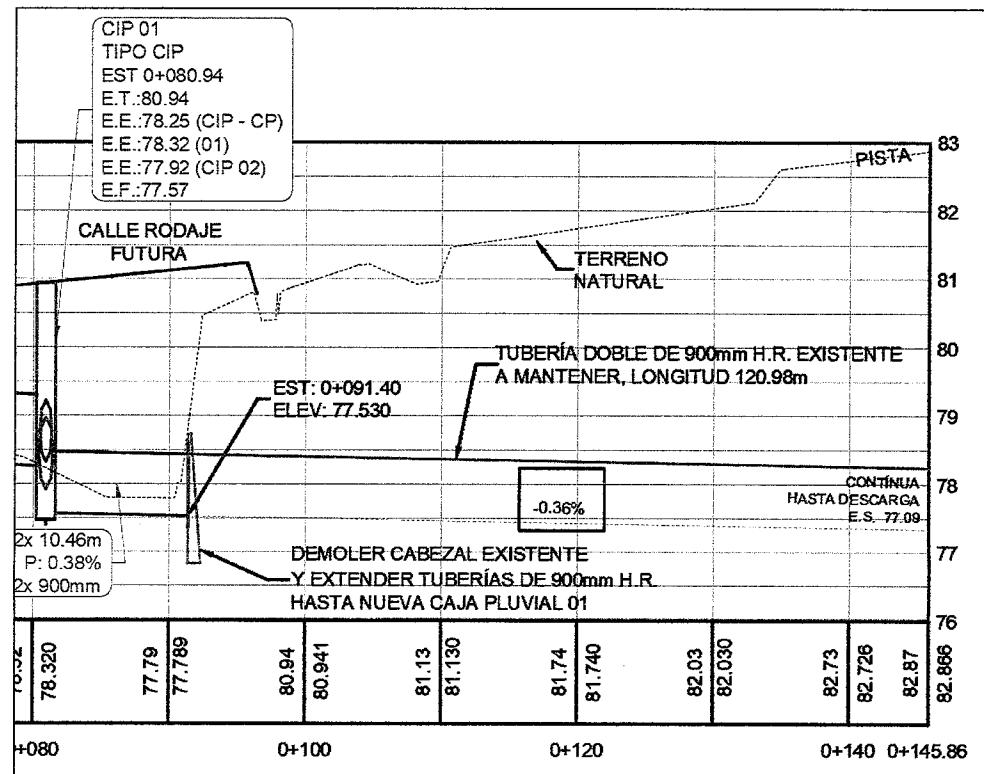
El área total de la cuenca es de 6.52 Ha como se puede apreciar en la imagen mostrada arriba.

Aplicando método racional con la información antes calculada tenemos un caudal estimado de:

$$Q_{DOS\ TUBOS} = \frac{0.85 * 150 * 6.52}{360}$$

$$Q_{DOS\ TUBOS} = 2.309\ m^3/s$$

$$Q_{POR\ TUBO} = 1.154\ m^3/s$$



De los planos de diseño, tenemos que las tuberías existentes de descarga tienen una pendiente de 0.36%.

Resolviendo en "Hidraflow Express Extension" de Autodesk para calcular la condiciones hidráulicas de la línea doble de descarga tenemos:

$$Q = 1.154 \text{ m}^3/\text{s} - P = 0.36\% - \text{Diámetro} = 0.90\text{m} - n = 0.013$$

## Channel Report

Hidraflow Express Extension for Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® by Autodesk, Inc.

Friday, May 11 2018

### TUBERIA EXISTENTE DE 0.90m H.R. (DOBLE)

#### Circular

Diameter (m) = 0.9000

Invert Elev (m)

= 10.0000

Slope (%)

= 0.3600

N-Value

= 0.013

#### Calculations

Compute by:

Known Q (cms)

Known Q

= 1.1540

#### Highlighted

Depth (m) = 0.8047

Q (cms) = 1.1540

Area (sqm) = 0.6004

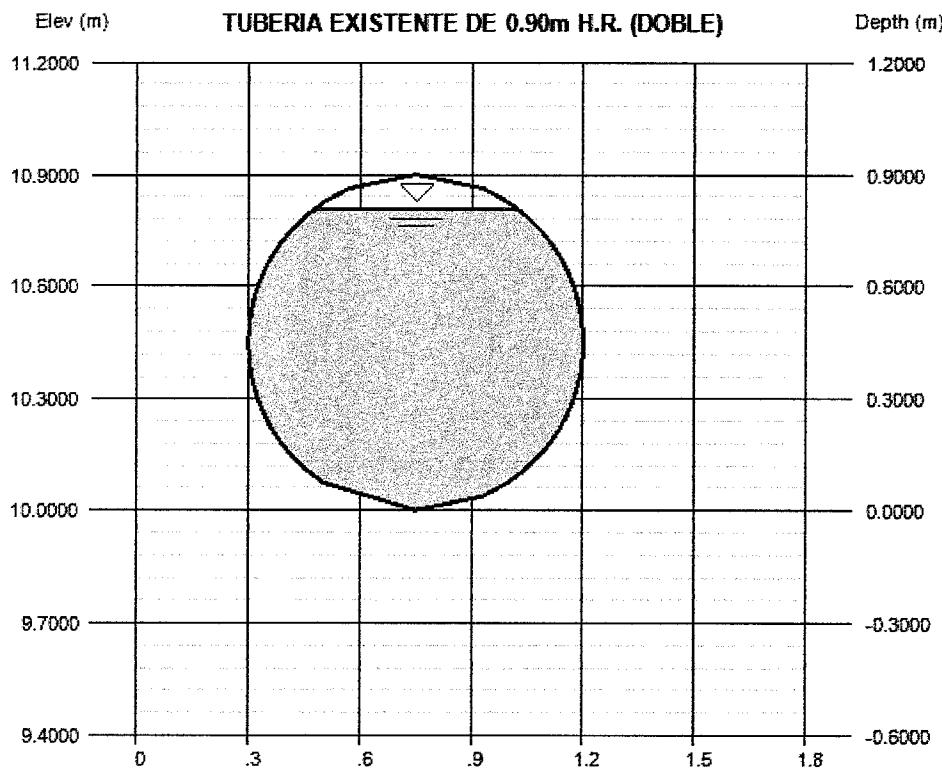
Velocity (m/s) = 1.9222

Wetted Perim (m) = 2.2320

Crit Depth, Yc (m) = 0.6370

Top Width (m) = 0.5529

EGL (m) = 0.9931



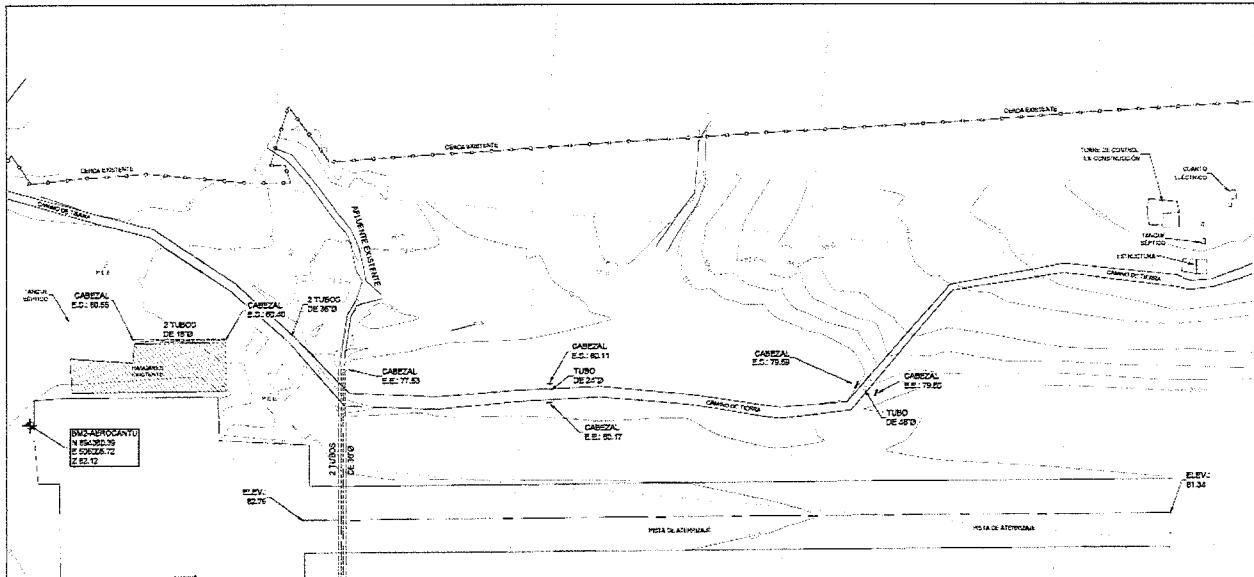
La profundidad o tirante en la tubería es de 0.8047 comparándola con el diámetro total 0.9000 esto nos da:

$$0.8047 / 0.9000 = 89.41\%$$

Estos son los resultados para los cruces más relevantes, para el resto se adjunta la hoja de cálculo completa de la red de alcantarillado pluvial.

# REPORTE HIDROLÓGICO

# **CUERPOS DE AGUA QUE ENTRAN AL POLÍGONO DEL AEROPUERTO RUBEN CANTÚ – PROYECTO DE CALLE DE ACCESO Y TERRACERÍA PARA NUEVOS HANGARES**



# **INVERSIONES SOLABED, S.A.**

**Elaborado por: Ingeniero Civil Jonathan Gorrichategui  
Licencia N° 2008-006-136**

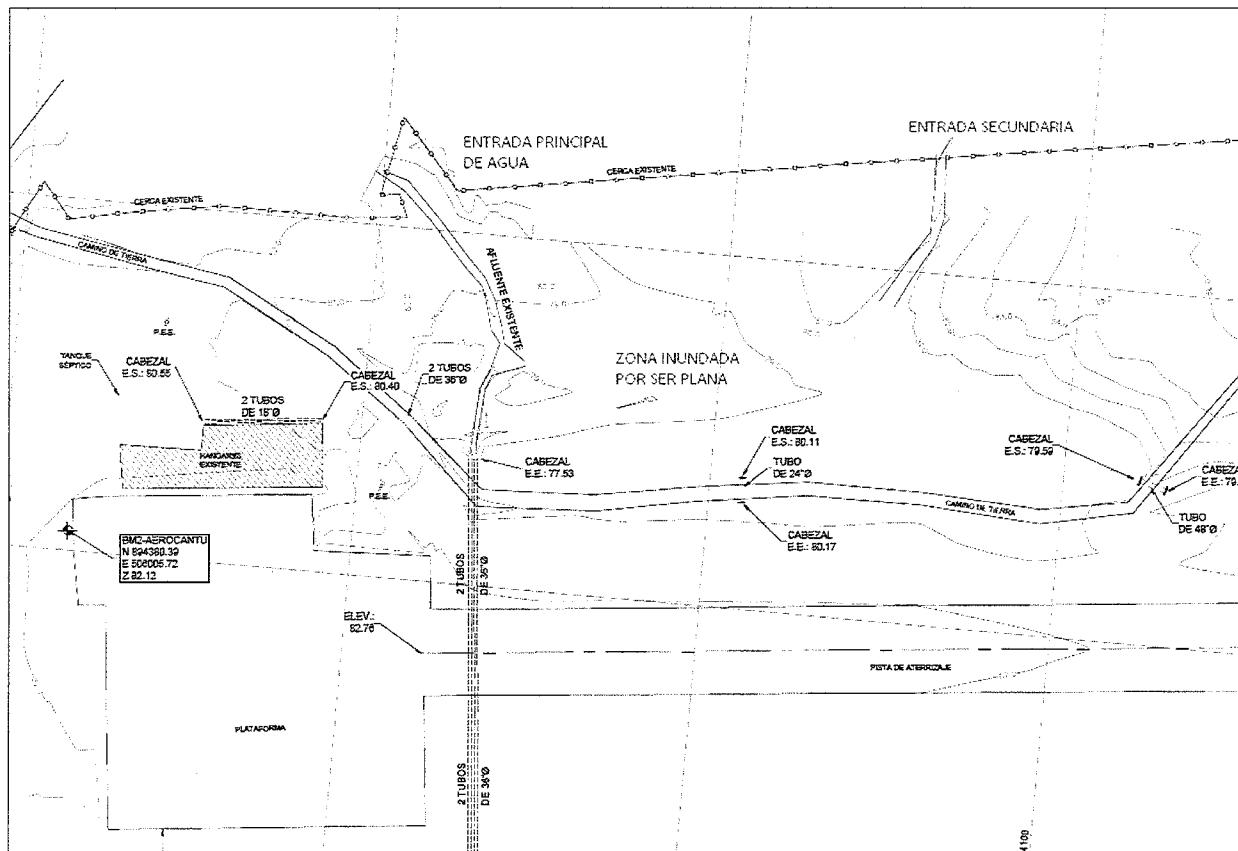
OCTUBRE 2018

El día viernes 05 de octubre del año 2018, se realizó una inspección en campo en conjunto con personal de MiAmbiente, Aeronaútica Civil y también de los contratistas Inversiones Solabed, S.A, con el motivo de encontrar unos ojos de agua que indicaron haber encontrado en el área del proyecto, personal de MiAmbiente en inspección en sitio realizada en días pasados.

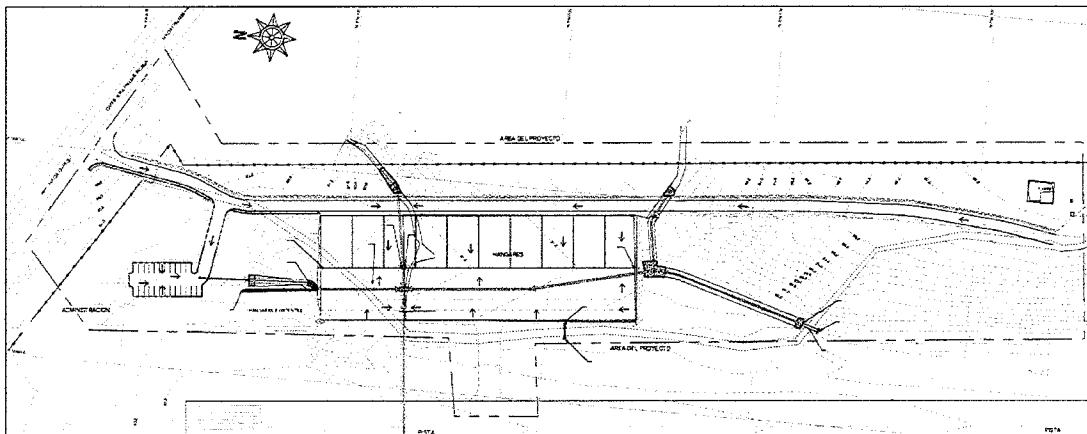
Durante el levantamiento topográfico, el relevamiento ambiental y el desarrollo de los diseños de ingeniería del proyecto, no se conocía de esta situación (tampoco fue notificada por parte del cliente y/o usuarios del aeropuerto).

Ya que la presencia de ojos de agua brotando en el sitio en el que se realizaran las labores de rellenos de terracería para los futuros hangares, ocasionarían erosión, debilitamiento o daños a la integridad estructural de los rellenos, fuimos al sitio a verificar la existencia de los mismos para poder tomar las acciones y/o correctivos necesarios para mitigar la situación.

Desde que se realizó los levantamientos topográficos, se habían determinado dos (02) cuerpos de agua superficial que entran a la zona del proyecto como se puede apreciar en imagen debajo

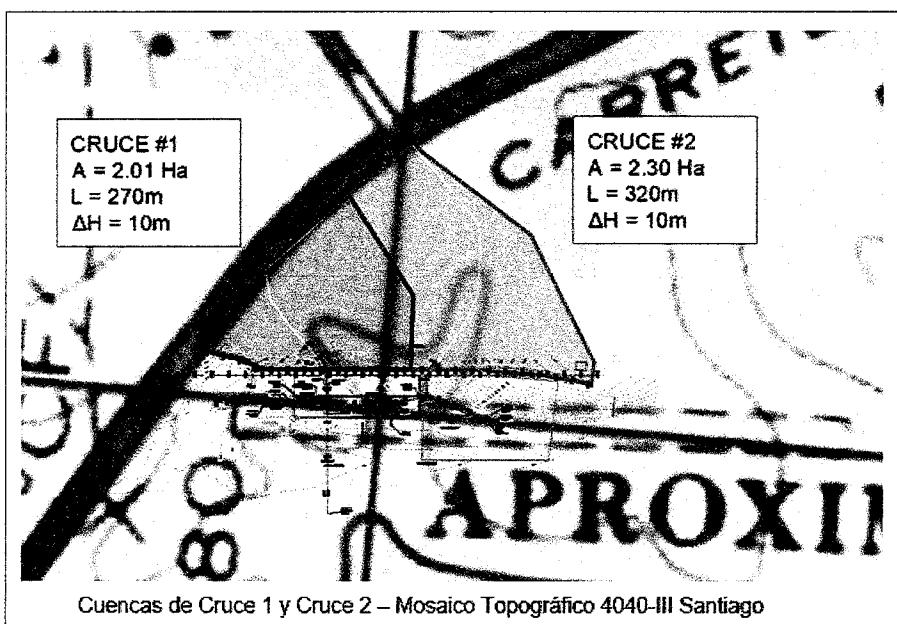


Ambos cuerpos de agua se tomaron en cuenta, a la hora del desarrollo de los planos de manejo de drenaje de escorrentía pluvial como se puede ver en la siguiente imagen:



Vista en Planta del Área del Proyecto

Se hizo una evaluación de los planos topográficos del Instituto Nacional Geográfico Tomas Guardia (INGTG) para determinar las cuencas hídricas de ambos cuerpos de agua y determinar si los mismos se habían identificado previamente como cuerpos de agua importante (ya sea alguna quebrada con nombre o sin nombre). El resultado es que los mismos son depresiones naturales del terreno que tienen unas cuencas de tamaño intermedio, no tan chicas, pero no lo suficientemente grandes como para ser identificadas como quebradas.



Cuencas de Cruce 1 y Cruce 2 – Mosaico Topográfico 4040-III Santiago

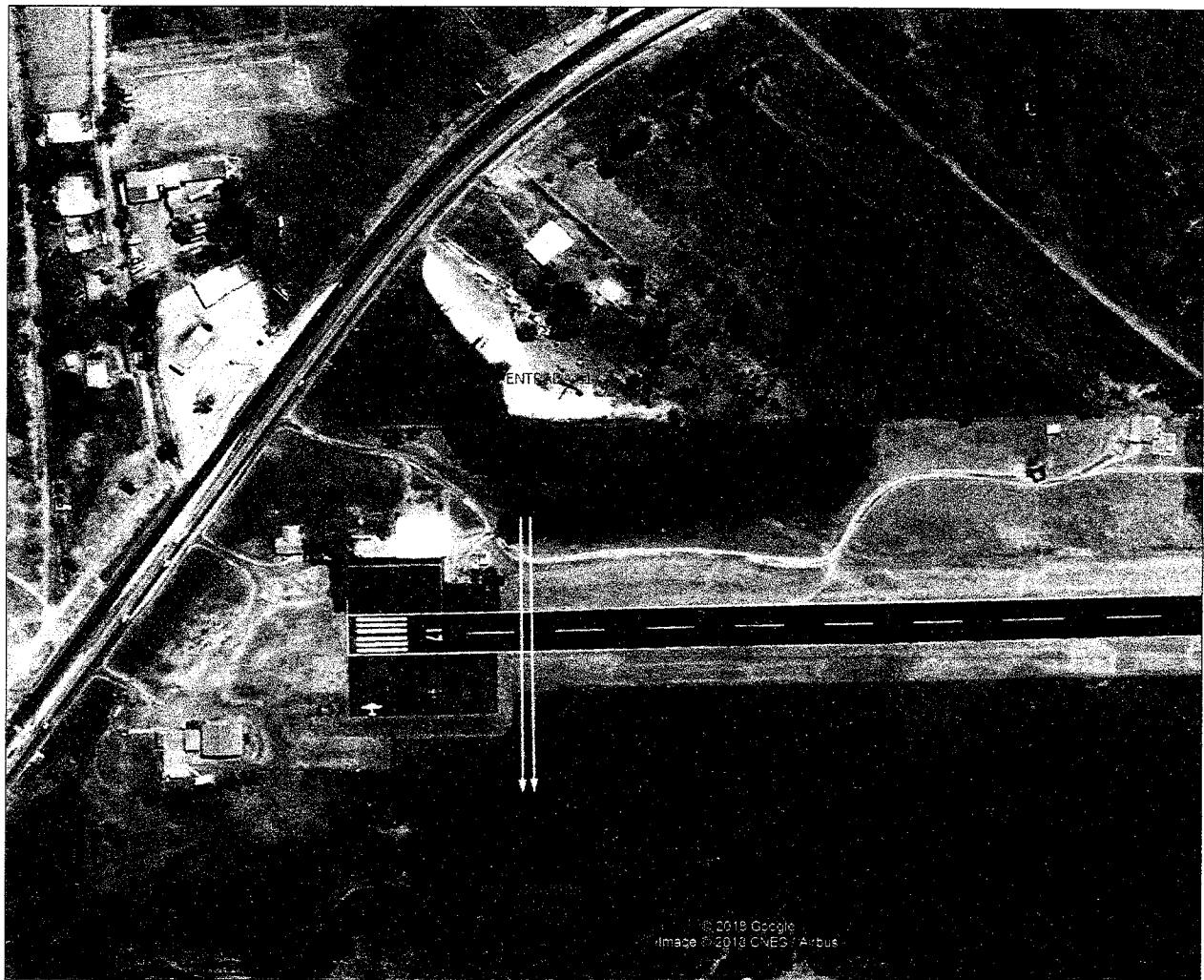
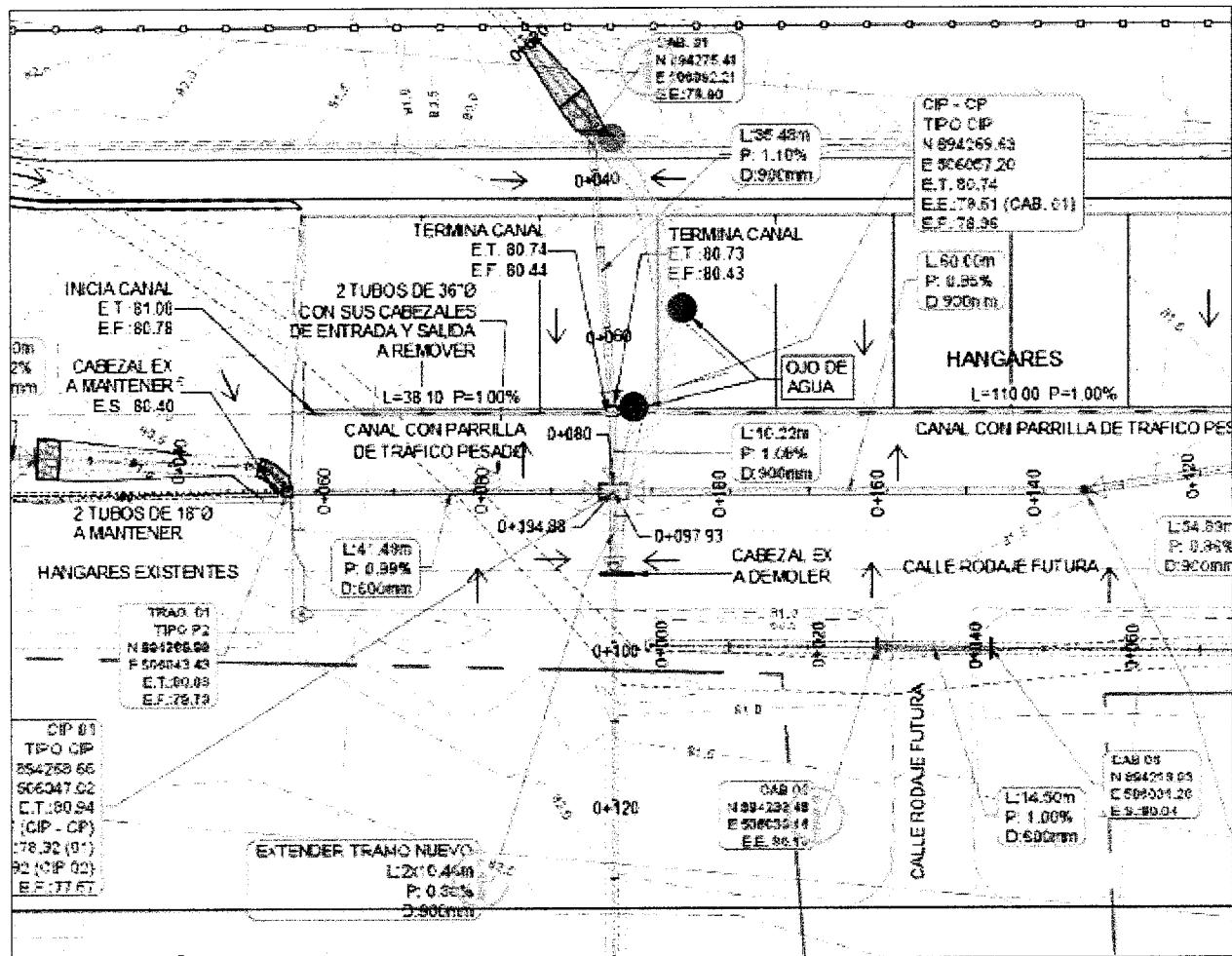


Imagen de Google Earth del área en estudio

Se insertaron las coordenadas de los ojos de agua según lo indicado por reporte de MiAmbiente. La posición de las mismas cae cerca del cabezal de entrada a las dos tuberías que cruzan la pista y descargan hacia el Río Cuvibora. Esto se puede apreciar en la imagen siguiente.



Los mismos coinciden con la ruta del agua superficial levantada por la topografía.

Durante la inspección, se pudo ver el agua entrante al proyecto, más no se identificaron brotes de agua como tal.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Desde un inicio, se identificaron cuerpos de agua entrando al proyecto, a los cuales se les ha dado el debido tratamiento para capturarlos y conducirlos de regreso a las líneas de descarga pluvial existente.
- Durante la inspección, personal de MiAmbiente no pudo encontrar o identificar en sitio los ojos de agua mencionados.
- De todas formas, de llegarse a encontrar durante la etapa de construcción estos ojos de agua, los mismos se capturarán y se conectarán a la red de sistema de drenaje para que sigan el curso hacia el Río Cuvibora.
- De esta manera se garantiza que el aporte natural de esos ojos de agua, de existir, mantendrán su continuidad, así evitando causar afectaciones al balance hidrológico de la cuenca.
- A modo explicativo, de encontrarse los ojos de agua, se instalaran unos filtro de piedra, rodeados con geotextiles y tuberías ranuradas para capturar el flujo que brota de los ojos de agua, evitando así que desestabilicen los rellenos y garantizar que esta agua, seguirá su curso natural hacia el Río Cuvibora.

Elaborado por: Ingeniero Civil Jonathan Gorrichategui  
Licencia N° 2008-006-136

# Análisis Hidrológico e Hidráulico Subcuenca Quebrada Cuvibora

Inversiones Solabed, S.A.



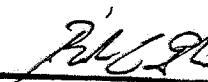
Realizado por:

Ricardo Güete

C.I.N° 2008-006-110

(Ingeniero Civil)

Noviembre 2017

<b>RICARDO E. GÜETE CALDERON</b> <b>INGENIERO CIVIL</b> <b>C.I.N° 2008-006-110</b>

<b>FIRMA</b>
Ley 15 del 26 de Octubre de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

## Contenido

1	Antecedentes.....	2
2	Introducción.....	3
3	Objetivos del proyecto .....	4
4	Localización del área de estudio .....	5
5	Análisis Hidrológico .....	7
5.1	Clima.....	8
5.2	Zona de Vida .....	9
5.3	Precipitación .....	11
5.4	Caudal Promedio.....	14
5.5	Curvas IDF Santiago.....	16
5.6	SIMULACIÓN CON HEC-HMS.....	18
5.7	Simulación Hidrológica Qbda. Cuvibora .....	18
6	Simulación Hidráulica .....	25
6.1	Simulación Hidráulica Qbda. Cuvibora .....	26
6.1.1	Condiciones de Borde .....	30
6.1.2	Perfil Topografía Natural .....	30
6.1.3	Resultados .....	31
7	Conclusiones y Recomendaciones .....	36
8	Referencias Bibliográficas .....	37

RICARDO E. GÜETE CALDERON  
INGENIERO CIVIL  
C.I.N° 2008-006-110



FIRMA

Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

## Índice de Figuras

Figura No. 1. Zona de Estudio en Santiago (Cabeza).....	5
Figura No. 2 Subcuenca de estudio. ....	6
Figura No. 3 Clima de Zona de Estudio. ....	8
Figura No. 4 Distribución espacial de las zonas de vida. ....	10
<b>Figura No. 5 Mapa de Isoyetas de la Zona de Estudio. ....</b>	<b>12</b>
<b>Figura No. 6 Distribución espacial de la precipitación. ....</b>	<b>13</b>
<b>Figura No. 7 Registros Históricos de Precipitación Estación Santiago (120-002).13</b>	
<b>Figura No. 8 Registros Históricos de Caudal Estación San Pedro (120-01-01). ....15</b>	
<b>Figura No. 9 Curvas IDF Estación Santiago (120-002). ....16</b>	
Figura No. 10. Esquema de Subcuenca Cuvibora en HMS. ....	19
Figura No. 11. Textura de Suelo Subcuenca Qbda. Cuvibora. ....	20
Figura No. 10. Cobertura boscosa Subcuenca Cuvibora. ....	21
Figura No. 13. Infiltración, Escorrentía e Hidrograma en la Subcuenca Qbda. Cuvibora 100 años. ....	24
Figura No. 14. TIN en la zona de estudio Qbda. Cuvibora. ....	27
Figura No. 15. Capas de Información para exportar al Hec-Ras. ....	28
Figura No. 16. Vista de Planta del Modelo Hidráulico en Hec-Ras.....	29
Figura No. 17. Perfil topográfico del tramo de análisis de la Qbda. Cuvibora. ....	30
Figura No. 18. Perfil hidráulico longitudinal tramo de la Qbda. Cuvibora para 100 años. ....	31
Figura No. 19. Perfil Transversal en zona colindante con polígono de desarrollo...31	
Figura No. 20. Velocidades de distribución en sección de la Qbda. Cuvibora. ....32	
Figura No. 21. Vista en 3D del tramo simulado de la Qbda. Cuvibora. ....32	
Figura No. 20. Planicie de inundación del tramo analizado de la Qbda. Cuvibora para una recurrencia de 100 años.....35	

**RICARDO E. GÜETE CALDERON  
INGENIERO CIVIL  
C.I.N° 2008-006-110**



**FIRMA**

**Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**

## Índice de Cuadros

Cuadro No. 1. Lluvia de Diseño para 100 años por Método de Bloque Alterno.....	17
<b>Cuadro No. 2. Geomorfología Subcuenca Qbda. Cuvibora.....</b>	<b>22</b>
Cuadro No. 3. Lluvia de diseño para período de retorno de 100 años.....	23
Cuadro No. 4. Valores del Hidrograma para 100 años.....	25
Cuadro No. 5. Variables hidráulicas para 100 años del tramo de la Qbda. Cuvibora (Hec-Ras).....	33

**RICARDO E. GÜETE CALDERON  
INGENIERO CIVIL  
C.I.N° 2008-006-110**

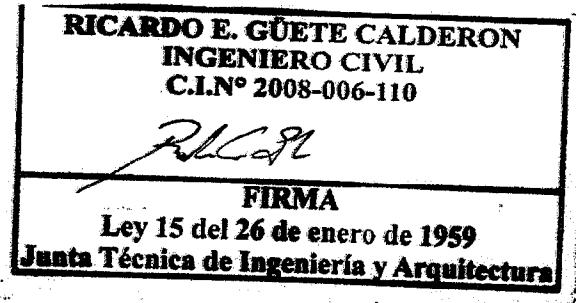
  
**FIRMA**  
**Ley 15 del 26 de enero de 1959**  
**Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**

## **1 Antecedentes**

Como parte del desarrollo del proyecto denominado "Estudio, Diseño y Construcción de la Calle, Plaza de Estacionamiento y Barriada de Hangares del Aeródromo Rubén Cantú Santiago", ubicado en el corregimiento de Santiago Cabecera, distrito de Santiago, provincia de Veraguas, licitado por la Autoridad de Aeronáutica Civil y siguiendo los lineamientos del Ministerio de Ambiente (MiAmbiente), en términos de normativas ambientales, se ha elaborado el presente documento.

El documento en mención se denomina "Estudio Hidrológico de la subcuenca de la Quebrada Cuvibora y Simulación Hidráulica de un tramo de un tramo de la Quebrada Cuvibora" y su alcance corresponde el análisis de los componentes hidrológicos de la subcuenca.

La zona de desarrollo principal es una zona ubicada dentro de los predios existentes del Aeródromo Rubén Cantú en Santiago, ubicado en la parte alta de la Cuenca del río San Pedro (Cuenca No. 120).





**FIRMA**

**Ley 15 del 26 de enero de 1959**  
**Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**

## 2 Introducción

Con el propósito de realizar el desarrollo seguro de un proyecto de diseño y construcción de mejoras en el Aeródromo Rubén Cantú en Santiago, se ha elaborado el presente estudio hidrológico de la Quebrada Cuvibora para determinar el comportamiento hidrológico de la subcuenca, al igual que la simulación hidráulica de un tramo de la Qbda. Cuvibora para determinar los niveles máximos ante eventos extremos y conocer la influencia de estos eventos con los predios del Aerodromo. El proyecto se encuentra ubicado en el corregimiento de Santiago (Cabeceira), distrito de Santiago, Provincia de Veraguas, en la parte alta de la Cuenca del río San Pedro, confluyendo justamente a este afluente principal y luego desembocando a la Costa Pacífica.

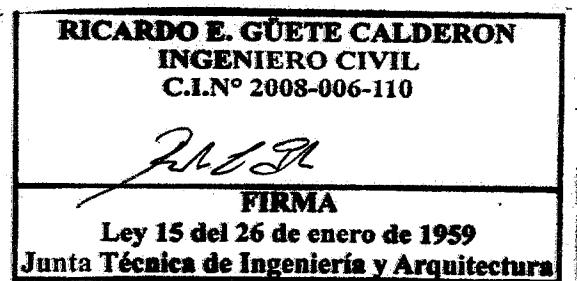
Como parte del análisis hidrológico se evaluará la Quebrada Cuvibora, se utilizarán los registros de algunas estaciones meteorológicas de ETESA e información del Balance Hídrico Superficial 1971-2002 de la República de Panamá.

El levantamiento topográfico de la zona de estudio fue levantada con estación total, en el polígono de desarrollo donde estará ubicada la planta de tratamiento y de igual forma se realizó levantamiento batimétrico de la Quebrada Cuvibora en el tramo de influencia con el proyecto. Se tomaron de puntos de control para georeferenciar la topografía, y se utilizó como una referencia WGS84 Zona 17N (World Geodesic System 84). El levantamiento topográfico fue realizado por un equipo de trabajo en campo, en los cuales fue necesario la limpieza del sitio para poder realizar el levantamiento. Para la elaboración de este estudio fue necesario implementar el modelo hidrológico (HEC-HMS), el modelo hidráulico (HEC-RAS) y el software para Sistemas de Información Geográfica (ARC-GIS). Se integró una herramienta de la línea de los modelos HEC, conocido como Hec-GeoRas, el cual permitió integrar Arc-GIS para generación de secciones transversales en base a las curvas de nivel tomadas en sitio y Hec-Ras para correr los escenarios de los caudales con recurrencia de 100 años, para determinar el nivel máximo para este evento.

Para definir el tipo de cobertura boscosa que se encuentra dentro de la subcuenca, se utilizó información espacial valiosa como lo es la cobertura boscosa de 2008 del MiAmbiente (Ministerio de Ambiente) y textura de suelo del IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá).

### 3 Objetivos del proyecto

- Análisis y determinación del comportamiento hidrológico en la subcuenca de la Quebrada Cuvibora hasta el área de influencia del Aeródromo Rubén Cantú en Santiago.
- Estimación de los caudales con recurrencia de 100 años de la subcuenca de la Qbda. Cuvibora mediante la aplicación de simulación hidrológica con el modelo **HEC-HMS**.
- Integración de la herramienta **HEC-GEORAS** en **ARCGIS** para determinar el comportamiento topográfico y batimétrico en la zona de estudio.
- Simulación hidráulica de un tramo de la Qbda. Cuvibora utilizando el modelo **HEC-RAS**, tomando como referencia los caudales pico de los hidrogramas de salida del modelo **HEC-HMS**.
- Estimación de los tirantes máximos de la Qbda, Cuvibora en el tramo de análisis.
- Presentar la tabla de resultados de los parámetros hidráulicos de más relevancia para indicar el comportamiento bajo las condiciones de frontera del modelo.



EIRMA

## **Ley 15 del 26 de enero de 1959**

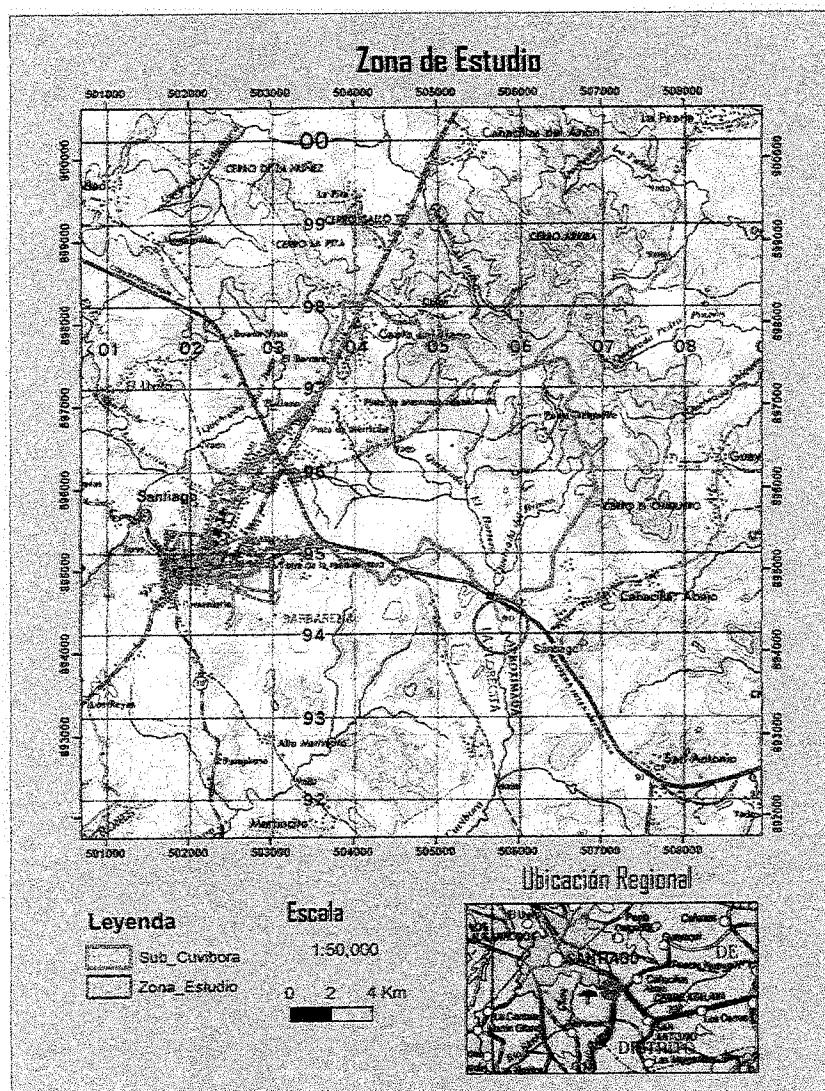
**Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**

#### **4 Localización del área de estudio**

La zona de estudio está ubicada dentro del corregimiento de Santiago (Cabecera), distrito de Santiago, provincia de Veraguas, tal como se presenta en la figura No. 1.

La subcuenca de la Qbda. Cuvibora forma parte de la Cuenca No. 120 (del río San Pedro) que forma parte de la vertiente del Pacífico.

La subcuenca de la Qbda. Cuvibora cuenta con un área de drenaje de 10.36 Km<sup>2</sup>, hasta la zona del proyecto. (Ver Figura No. 2).



**Figura No. 1.** Zona de Estudio en Santiago (Cabecera).

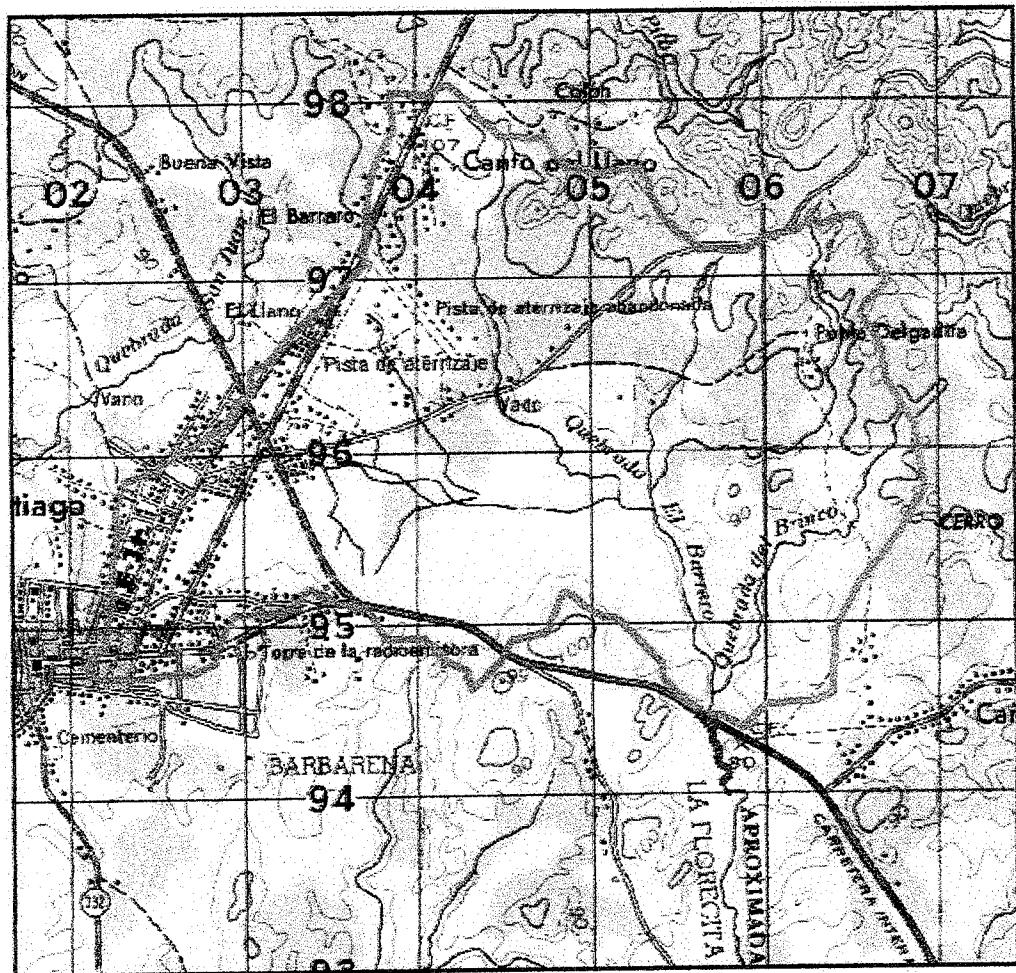


Figura No. 2 Subcuenca de estudio.

<b>RICARDO E. GÜETE CALDERON</b> <b>INGENIERO CIVIL</b> <b>C.I.N° 2008-006-110</b>
 <b>FIRMA</b>
<b>Ley 15 del 26 de enero de 1959</b> <b>Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura</b>

## 5 Análisis Hidrológico

En esta parte del estudio se determinarán los caudales máximos para una recurrencia de 50 años para la Quebrada Cuvibora..

Existen diferentes métodos para la estimación de caudales para diferentes períodos de retorno, la mayoría de estos en base a un análisis estadístico del registro de caudales máximos en las estaciones más cercanas a la zona de influencia de un proyecto.

En el caso del análisis de la Qbda. Cuvibora se implementará el software **HEC-HMS**, modelo de simulación hidrológica que permite integrar una serie de parámetros y variables que forman parte del proceso hidrológico que se da en las cuencas.

**HEC-HMS** es un modelo hidrológico que integra todo los componentes que forman parte del ciclo hidrológico y traduce al final un determinado evento dentro de una cuenca en escorrentía. El objetivo principal de implementar este modelo en la Subcuenca de la Qbda. Cuvibora es poder en función de una lluvia de diseño para una recurrencia de 100 años obtener el caudal de diseño o respuesta de la Subcuenca. Por ser eventos de desarrollo rápido muchas veces los procesos de filtración pueden ser significativos o no, dependiendo del área de drenaje de la subcuenca.

**RICARDO E. GÜETE CALDERON  
INGENIERO CIVIL  
C.I.N° 2008-006-110**



FIRMA

Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

### **5.1 Clima**

Dentro del clima de la República de Panamá, existen dos regímenes bastante definidos, "El régimen del Pacífico y el régimen del Atlántico". El régimen del Pacífico descansa al sur de la división continental y hay cierto traslape hacia el lado Atlántico, tanto como lo hay también en el régimen Atlántico sobre la división hacia las cuencas del Pacífico.

Según la clasificación de clima de Koppen, gran parte de Panamá y la región de centro américa se encuentra clasificada como clima tropical ecuatorial (Clima A), al igual que la zona de estudio que cuenta con una clasificación: AMI (Clima Tropical Húmedo), tal como se muestra en la figura No. 3.

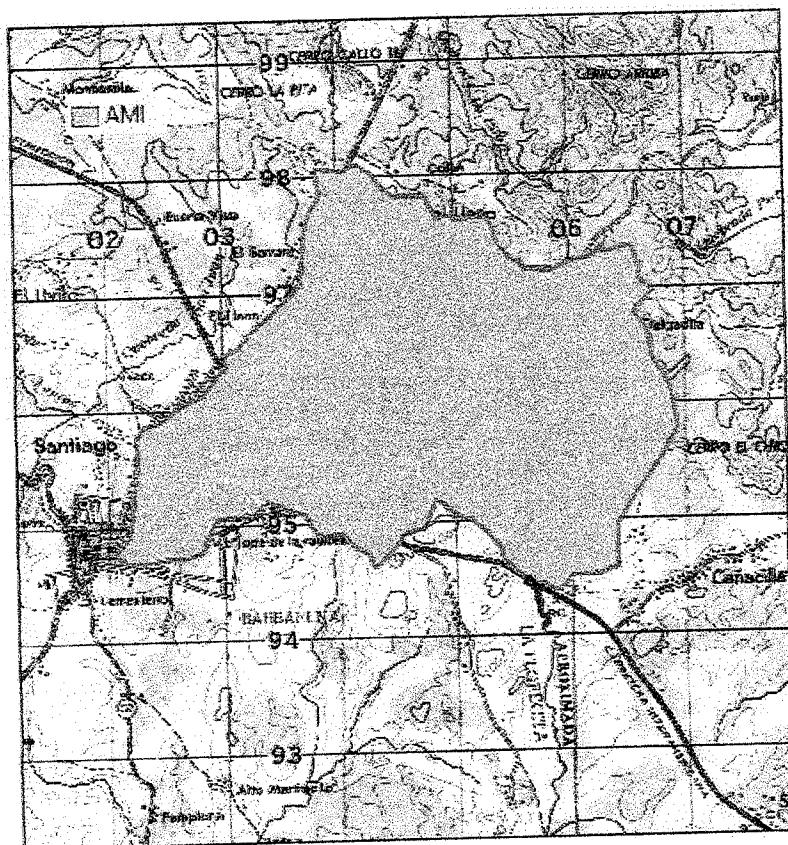


Figura No. 3 Clima de Zona de Estudio.

**RICARDO E. GÜETE CALDERON  
INGENIERO CIVIL  
C.I.N° 2008-006-110**

FIRMA

Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

## 5.2 Zona de Vida

Según la distribución de zona de vida de Panamá basado en la clasificación de Holdridge, el área de estudio se encuentra dentro de la región del Pacífico. Se identifican un (1) tipo de zona de vida:

- Bosque Húmedo Tropical.

**Bosque Húmedo Tropical:** Se encuentra tanto en la región del Pacífico, como del Atlántico, con una superficie de 32% del territorio nacional. La mayor parte de esta zona de vida se encuentra al norte de la división continental se caracteriza por planicies de pendientes leves, ideales para el crecimiento de muchas especies forestales tropicales de valor comercial mundial

Por las características que se encuentran en esta zona más de 450 especies la conforman, y se distribuyen en forma local como regional con variaciones en la composición por especie y en las proporciones de las especies en el bosque mixto.

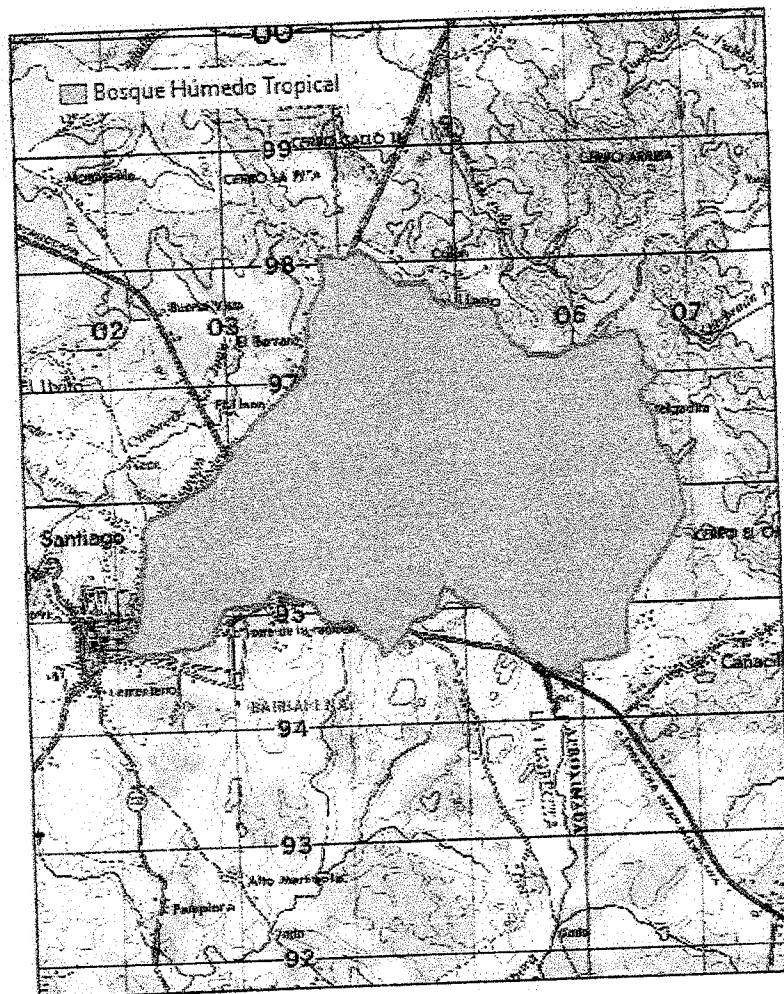
En la figura No. 4 se presenta la distribución espacial de la zona de vida en el área de estudio.

RICARDO E. GÜETE CALDERON  
INGENIERO CIVIL  
C.I.N° 2008-006-110

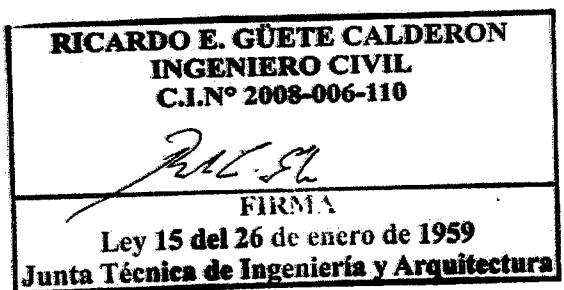


FIRMA

Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura



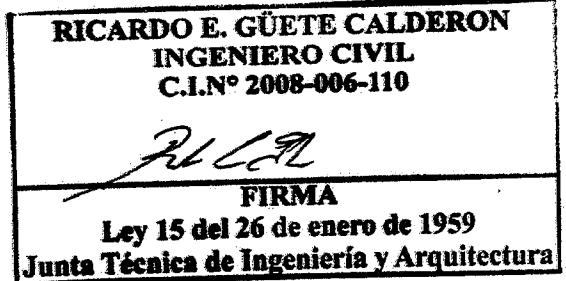
**Figura No. 4 Distribución espacial de las zonas de vida.**



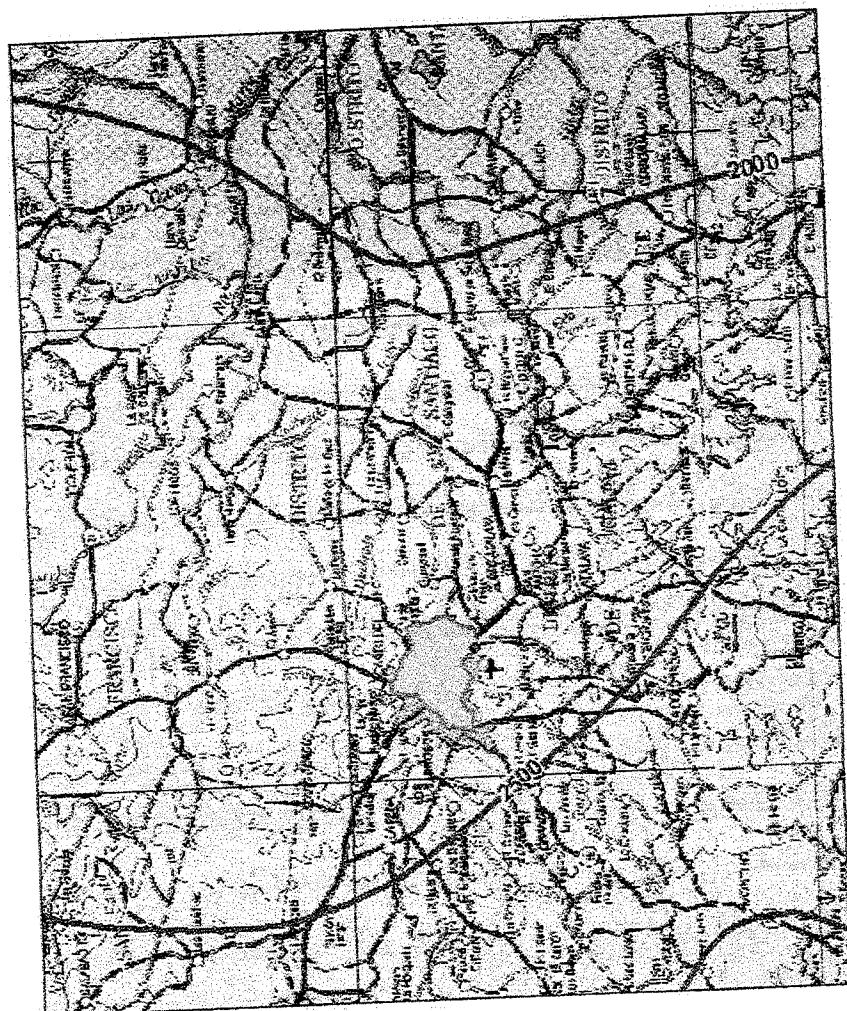
### 5.3 Precipitación

Tomando como referencia el estudio de Balance Hídrico Superficial de Panamá en el período 1971-2002 elaborado por la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA), se registran rangos de precipitación entre 2000-2500 mm en para el área de la subcuenca de la Qbda. Cuvibora pero con mayor tendencia a valores cercanos a los 2,500 mm.

Utilizando la capa geográfica de Isoyetas del Informe en mención, se obtuvo una capa de la distribución espacial de la precipitación en la zona de estudio para poder terminar la precipitación promedio en las subcuenca. Esto se hizo utilizando el software Arc-Gis que permite integrar, analizar y procesar información vectorial y raster<sup>1</sup> para obtener un producto final que define el comportamiento de una región de manera georeferencial. En donde la precipitación promedio para la subcuenca de la Qbda. Cuvibora es de 2399.82 mm. En la figura No. 5 se presenta las isoyetas de la zona de estudio y en la figura No. 6 la distribución espacial de la precipitación por medio del raster definido por intervalos variables.



<sup>1</sup> Entidad geográfica compuesta por pixeles o celdas que contiene información única como por ejemplo: La temperatura, precipitación, otros.



**Figura No. 5** Mapa de Isoyetas de la Zona de Estudio.

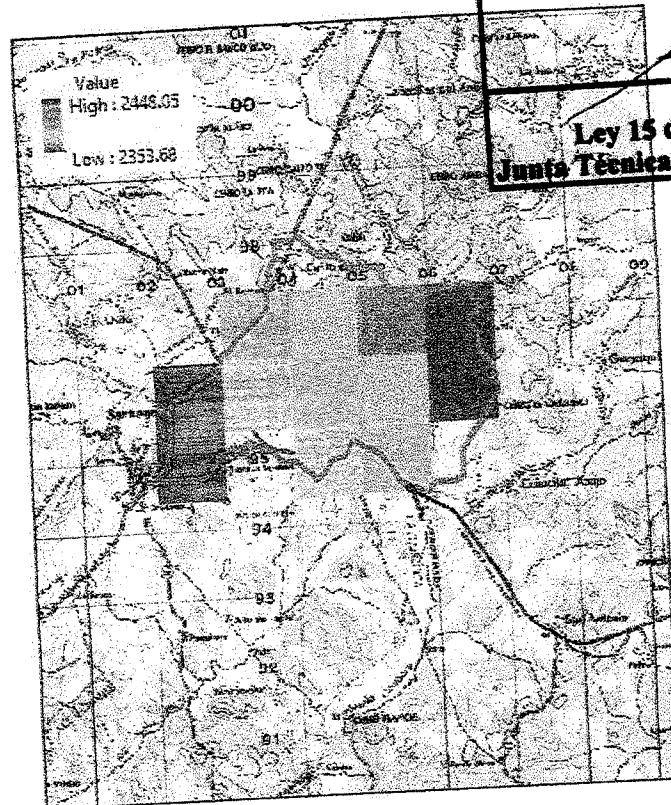
**RICARDO E. GÜETE CALDERON**  
**INGENIERO CIVIL**  
**C.I.N° 2008-006-110**

**FIRMA**

**FIRMA**

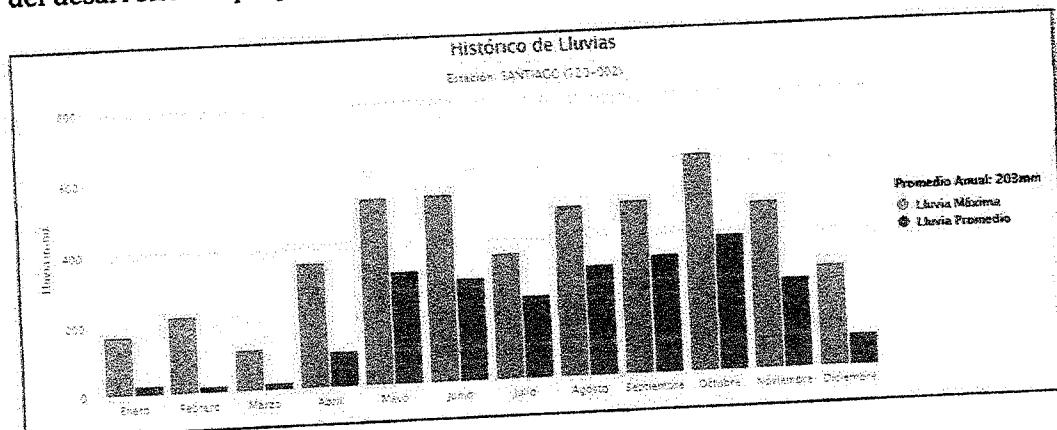
**Ley 15 del 26 de enero de 1959**

**Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**

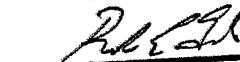


**Figura No. 6 Distribución espacial de la precipitación.**

Se utilizó como referencia los datos de la estación meteorológica con registro de lluvia en la zona de estudio: Santiago (120-002), que corrobora el registro estimado de aproximadamente 2400 mm de Precipitación Anual. En la figura No. 7 se presenta el registro histórico de la Estación de Santiago ubicada en los predios del desarrollo del proyecto.



**Figura No. 7 Registros Históricos de Precipitación Estación Santiago (120-002).**



FIRMA

Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

#### 5.4 Caudal Promedio

Para estimación del caudal promedio de la subcuenca de la Qbda. Cuvibora hasta la zona de desarrollo del proyecto se utilizó como referencia la Estación Hidrométrica de San Pedro (120-01-01), con registros de más de 40 años, desde su puesta en operación en 1971 hasta la actualidad, ubicada en el Aeródromo de Rubén Cantú en Santiago Los datos fueron descargados del sistema OPEN DATA de la página del Departamento de HidroMeteorología de ETESA, en donde se logró tener acceso al período mencionado. Se implementó la metodología de correlación de áreas, aplicando también un factor por correlación de la precipitación en donde:

$$Q_1/P_1A_1 = Q_2/P_2A_2$$

En donde:

$Q_1$  = caudal a estimar de la zona 1.

$P_1$  = Precipitación de la zona 1.

$A_1$  = Área de la zona 1.

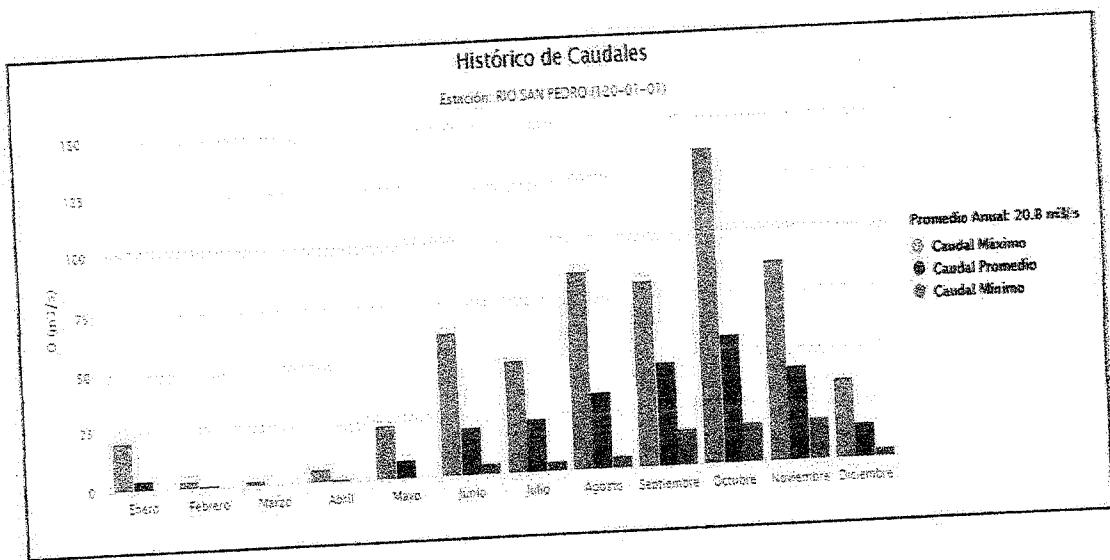
$Q_2$  = caudal conocido de la zona 2 (Estación San Pedro  $20.81 \text{ m}^3/\text{s}$ )

$P_2$  = Precipitación de la zona 2.

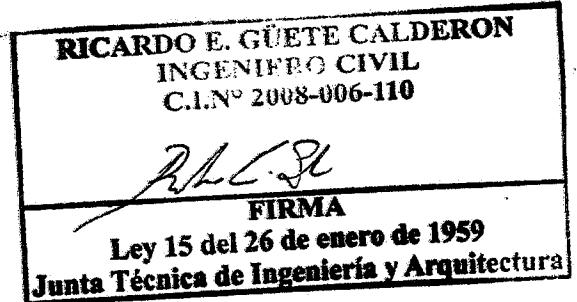
$A_2$  = Área de la zona 2 (Área de Drenaje hasta Estación San Pedro =  $407 \text{ Km}^2$ )

Dado que el comportamiento de la Precipitación es similar en ambas zonas, se obtiene un caudal promedio de  $0.53 \text{ m}^3/\text{s}$ , con una escorrentía de  $1611 \text{ mm}$ , un caudal específico de  $51.10/\text{s}/\text{km}^2$  y un coeficiente de escorrentía de 0.67.

En la figura No. 8 se presenta la distribución histórica del caudal promedio a nivel mensual y anual de la Estación San Pedro (120-01-01).



**Figura No. 8** Registros Históricos de Caudal Estación San Pedro (120-01-01).



## 5.5 Curvas IDF Santiago

Para la elaboración de la lluvia de diseño se utilizó como referencia la curva IDF de la Estación de Santiago, la cual permite por medio de las Intensidades de lluvia históricamente registrada y de la duración de estos eventos, poder generar una lluvia de diseño para un período de recurrencia dado, en este caso para 100 años. En la figura No. 9 se presenta el gráfico con Curvas IDF para recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años respectivamente.

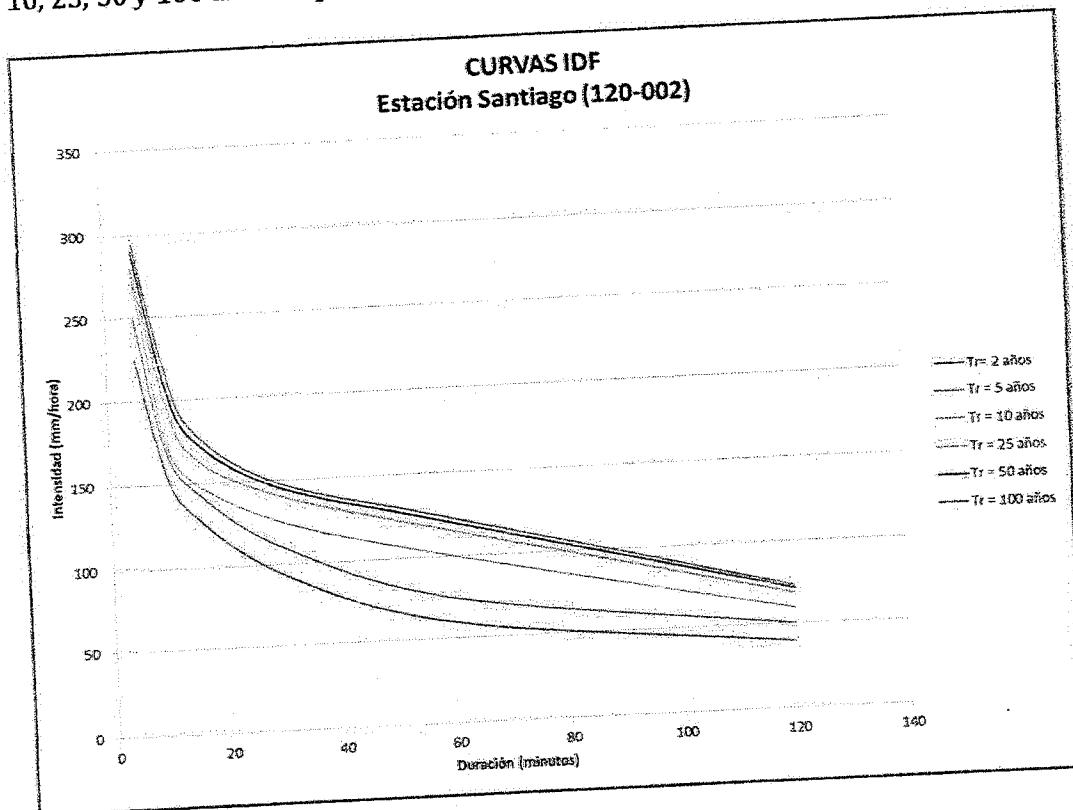


Figura No. 9 Curvas IDF Estación Santiago (120-002).

RICARDO E. GUETE CALDERA  
INGENIERO CIVIL  
C.I.Nº 2008-006-110

*Ricardo Guete Caldera*  
FIRMA  
Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Se ha implementado el método de Bloque Alterno para el diseño de la lluvia que luego será insumo dentro del Modelo Hidrológico. La lluvia de diseño con una duración de 2 horas (120 minutos), se distribuye en intervalos homogéneos (10 minutos) y se obtiene cual sería el valor de Precipitación registrado en cada intervalo de tiempo, utilizando la curva correspondiente a 100 años de recurrencia. En el cuadro No. 1 se presenta la intensidad, duración y la precipitación o lluvia de diseño estimada para la Subcuenca de la Qbda. Cuvibora.

Duración, t (minutos)	Intensidad (mm/hr)	Precipitación (mm)	Lluvia Diseño (mm)	Bloque Alterno (mm)
10	228.64	38	38	9
20	173.52	58	20	9
30	147.66	74	16	10
40	131.69	88	14	12
50	120.50	100	13	14
60	112.06	112	12	20
70	105.39	123	11	38
80	99.94	133	10	16
90	95.36	143	10	13
100	91.45	152	9	11
110	88.04	161	9	10
120	85.04	170	9	9

Cuadro No. 1. Lluvia de Diseño para 100 años por Método de Bloque Alterno.

**RICARDO E. GÜETE CALDERON**  
**INGENIERO CIVIL**  
**C.I.Nº 2008-006-110**

  
FIRMA  
Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

## 5.6 SIMULACIÓN CON HEC-HMS

Para obtener los caudales para los períodos de retorno de 100 años, que serán usados como base para la simulación hidráulica se aplicó una simulación hidrológica de la subcuenca de la Qbda. Cuvibora hasta la zona de desarollo, utilizando el modelo **HEC-HMS**, ya que permite realizar un análisis mucho más detallado del comportamiento hidrológico de la cuenca, tomando en cuenta factores geomorfológicos, meteorológicos y otros factores que permiten obtener el hidrograma de salida de una cuenca de estudio determinada. **HEC-HMS** es un software creado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingeniero de la Armada de los Estados Unidos, que permite analizar cuencas, con el fin de conocer con detalle el hidrograma de salida en un punto determinado y a su vez poder calcular mediante diferentes métodos las entradas o salidas al sistema en cada etapa del ciclo hidrológico.

La simulación con **HEC-HMS** involucra una serie de variables asociadas con el comportamiento hidrológico de la cuenca. El modelo hidrológico de la cuenca está compuesto por submodelos que están asociados a los ciclos hidrológicos en un determinado momento. Cada ciclo a su vez está vinculado con ecuaciones y métodos de cálculo que depende de las variables que puedan estimarse o medirse dentro de la cuenca y a la información geográfica espacial con que se cuente.

## 5.7 Simulación Hidrológica Qbda. Cuvibora

A continuación describimos cada uno de los procesos dentro del ciclo hidrológico de la subcuenca Cuvibora:

- ❖ Área de la SubCuenca: Como primer factor se toma en cuenta el área de drenaje de la cuenca de la Qbda. Cuvibora hasta el área de influencia, la cual tiene 10.36 Km<sup>2</sup>. En el modelo se pueden trabajar con una o más subcuencas, lo cual va asociado con la información meteorológica con la que se cuente en la cuenca o en cuencas vecinas. Para este caso se trabajó bajo el

esquema de una Subcuenca (Qbda. Cuvibora), tal como se muestra en la figura No. 10.

- ❖ Pérdidas por infiltración: Para las pérdidas por infiltración en la cuenca se utilizó el método de Número de Curva SCS (Soil Conservation Service). Este método involucra la textura y cobertura del suelo de la cuenca de estudio, para obtener al final un valor asociados con la alta o baja infiltración que va de 0 a 100, en donde 0 (todo se infiltra) y 100 (todo se escurre).

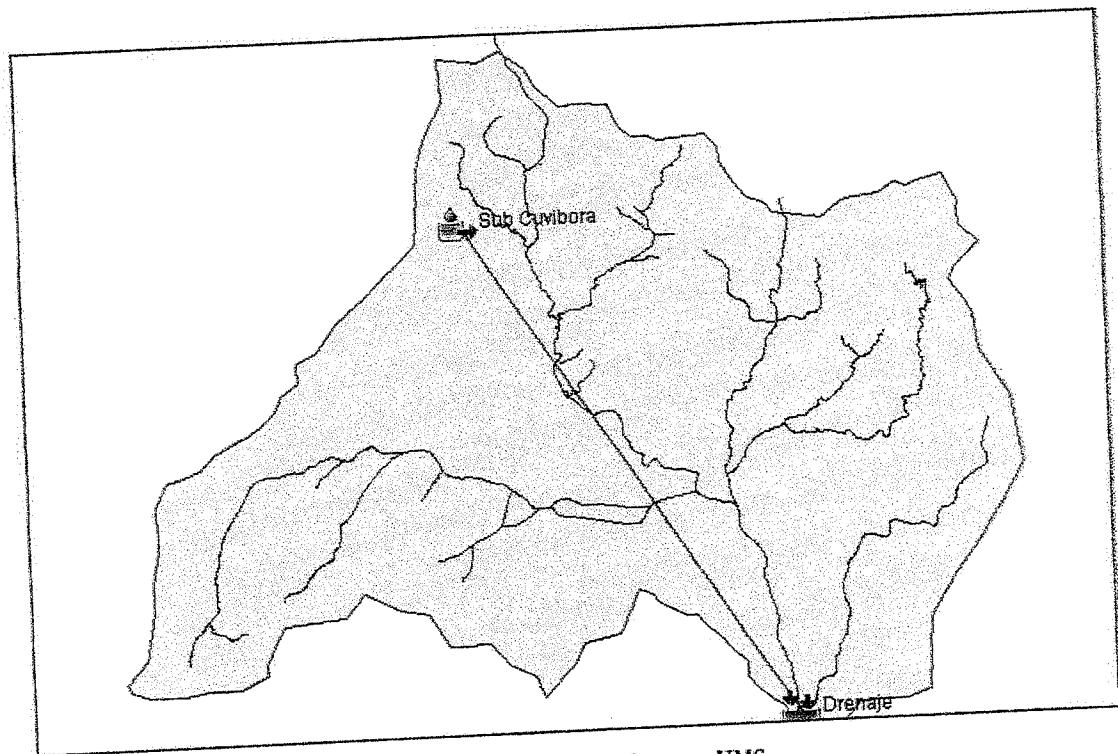


Figura No. 10. Esquema de Subcuenca Cuvibora en HMS.

Dentro de la subcuenca de la Qbda. Cuvibora se registraron cinco (5) tipos de textura: Franco y Franco Arcilloso (Ver Figura No. 11). Esta información se obtuvo de una capa de información espacial de textura de suelo del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

RICARDO E. GÜETE CALDERON  
INGENIERO CIVIL  
C.I.N° 2008-006-110

  
FIRMA  
Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

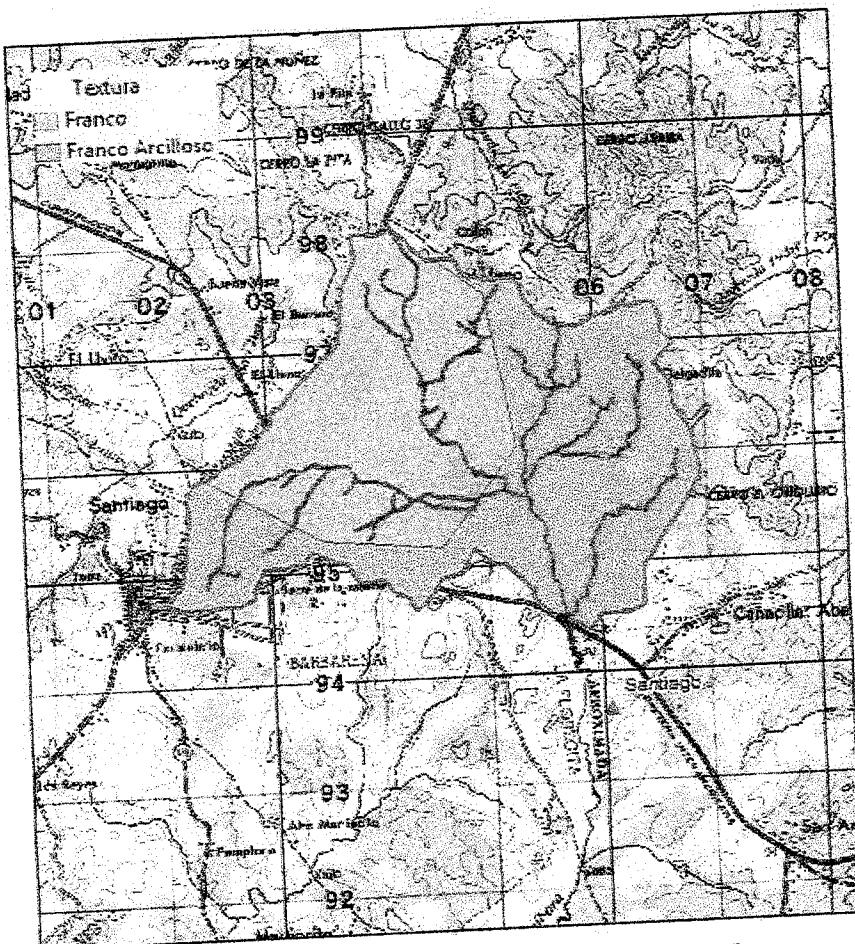


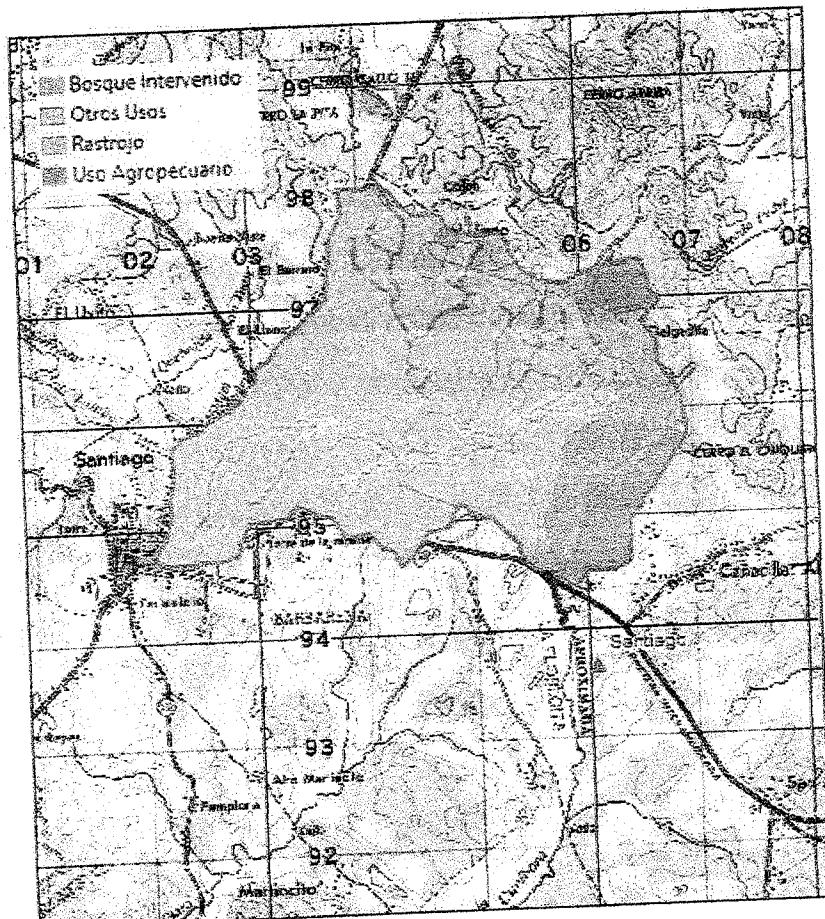
Figura No. 11. Textura de Suelo Subcuenca Qbda. Cuvibora.

La cobertura de suelo está asociada con la cobertura boscosa<sup>2</sup> de todo el país, para la cuenca de estudio se registró la siguiente clasificación: Bosque Intervenido, Otros Usos, Rastrojo y Uso Agropecuario (Ver Figura No. 12)

**RICARDO E. GÜETE CALDERON  
INGENIERO CIVIL  
C.I.Nº 2008-006-110**

*Ricardo Güete Calderon*  
FIRMA  
**Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**

<sup>2</sup> Estudio de la Autoridad Nacional del Ambiente en el año 2008, actual Ministerio de Ambiente.



**Figura No. 12.** Cobertura boscosa Subcuenca Cuvibora.

Luego se relacionan las coberturas boscosas con las texturas de suelo y se obtiene el CN (número de curva) equivalente a 45 para condición tipo II de este estudio, y luego se calcula para tipo III, ya que los suelos son húmedos o saturados para las épocas de eventos extremos. Para calcular CN (tipo III) se aplica la siguiente formula:

$$CN(\text{Tipo III}) = 23 * CN(\text{Tipo II}) / (10 + 0.13 * CN(\text{Tipo II}))$$

CN (Tipo III) = 87,22

**RICARDO E. GOMEZ CALDERON**  
**INGENIERO CIVIL**  
**C.I.N° 2008-006-110**

*RL CB*

---

**FIRMA**

Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

- ❖ Transformación de lluvia a escorrentía: Para este proceso se aplicó el método de Hidrograma Unitario Clark, el cual toma en cuenta el tiempo de concentración de la cuenca y el coeficiente de almacenamiento de la cuenca, ambos valores en horas.

Para el cálculo de los tiempos de concentración se utilizaron los siguientes métodos:

- Método 1: California Culverts Practice (1942)
- Método 2: Kirpich (1940).

En el cuadro No. 6, se presentan los valores calculados para el tiempo de concentración (.96 horas) y el coeficiente de almacenamiento (0.43 horas). Para este último se aplicó la ecuación de Temez ( $0.45 \cdot T_c$ ).

Area =	10.3600 km <sup>2</sup>		
Longitud =	4.42 km	14481.20 pies	2.7427 mi
Cota Alta =	165.00		
Cota Baja =	82.00		
S prom =	1.88 %		
H =	83.00 m	272.24 pies	
		Metodo 1	Metodo 2
tc =		57.66 min	57.59 min
tc prom =	57.63 min	0.96	0.43

Cuadro No. 2. Geomorfología Subcuenca Qbda. Cuvibora.

- ❖ Caudal base: El caudal base de la cuenca para este tipo de análisis no predomina debido a que los valores registrados en una crecida máxima con una recurrencia de 100 años predominara sobre los rangos de caudales registrados en condiciones normales o promedios, sin embargo se aplicó el método de caudal constante mensual y se estimaron caudales promedio mínimo para el mes de noviembre. Se utilizó como referencia un valor de  $0.40 \text{ m}^3/\text{s}$ .

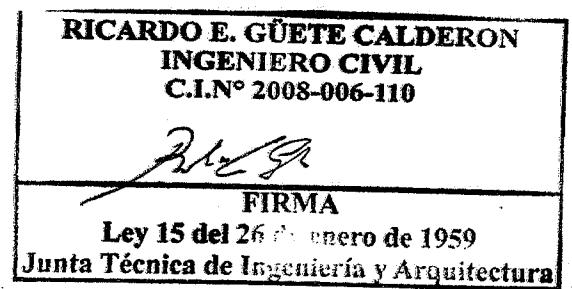
RICARDO E. GUETE C.  
INGENIERO CIVIL  
C.I.N° 2008-006-110

  
**FIRMA**  
 Ley 15 del 26 de enero de 1959  
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

- ❖ Lluvia de diseño: Se utilizaron los datos de la distribución general de valores extremos y se aplicó la distribución en función de la lluvia de diseño con la curva IDF de la Estación de Santiago. Utilizando la precipitación máxima para los períodos de retorno de 100 años y con la distribución se elaboran las lluvias de diseño. En el cuadro No. 3 se presenta la lluvia de diseño para una recurrencia de 100 años.

Duración, t (minutos)	Bloque Alterno (mm)
10	9
20	9
30	10
40	12
50	14
60	20
70	38
80	16
90	13
100	11
110	10
120	9

Cuadro No. 3. Lluvia de diseño para período de retorno de 100 años.



## RESULTADOS

Una vez que se integran todos los componentes del modelo hidrológico se corre del modelo para obtener el hidrograma de salida de la subcuenca de la Qbda. Cuvibora para un período de retorno de 100 años. En la figura No. 13, vemos el comportamiento de la subcuenca en cuanto a la taza de infiltración, es decir, lo que se infiltra (en rojo), lo que se escurre (en azul) y como se va generando el hidrograma para una recurrencia de 100 años, a lo largo de su duración.

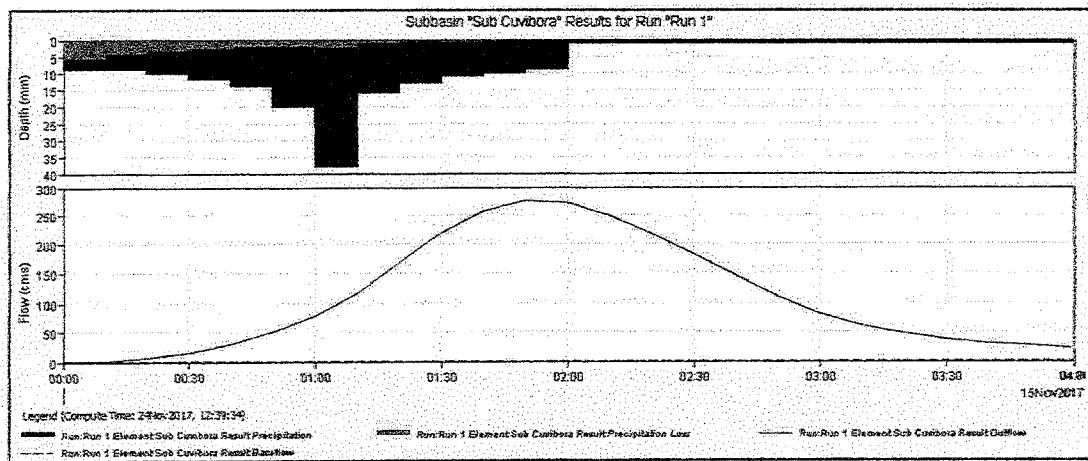
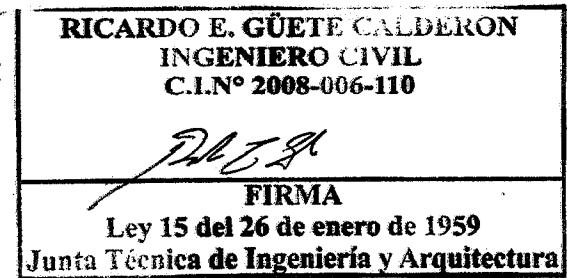


Figura No. 13. Infiltración, Escorrentía e Hidrograma en la Subcuenca Qbda. Cuvibora 100 años.

Los caudales obtenidos con la simulación en función del período de retorno del evento extremo fueron los siguientes:

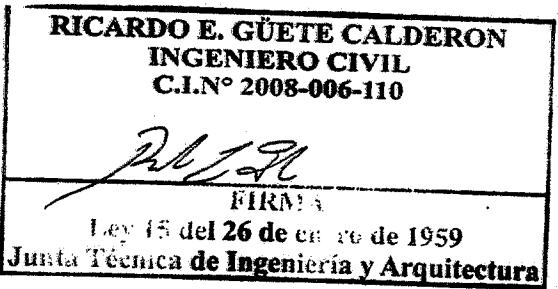
- $Q_{tr} 100 \text{ años} = 275.9 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En el cuadro No. 4 se presentan los hidrogramas de los resultados de la simulación hidrológica para los tres escenarios de precipitación.



<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
15-Nov-17	00:00	0.4
15-Nov-17	00:10	1.4
15-Nov-17	00:20	5.5
15-Nov-17	00:30	14.3
15-Nov-17	00:40	29
15-Nov-17	00:50	50.1
15-Nov-17	01:00	77.8
15-Nov-17	01:10	116.8
15-Nov-17	01:20	166.9
15-Nov-17	01:30	217.6
15-Nov-17	01:40	257
15-Nov-17	01:50	275.9
15-Nov-17	02:00	271.6
15-Nov-17	02:10	248.4
15-Nov-17	02:20	216.1
15-Nov-17	02:30	180.7
15-Nov-17	02:40	144.3
15-Nov-17	02:50	110
15-Nov-17	03:00	81.3
15-Nov-17	03:10	60.5
15-Nov-17	03:20	46.3
15-Nov-17	03:30	36.7
15-Nov-17	03:40	30.1
15-Nov-17	03:50	25.5
15-Nov-17	04:00	21.9

**Cuadro No. 4.** Valores del Hidrograma para 100 años.



## 6 Simulación Hidráulica

En esta sección se presentan los resultados obtenidos luego de la simulación hidráulica con HEC-RAS, del tramo de la Qbda. Cuvibora en la zona de influencia con el propósito de determinar los niveles máximos para el período de retorno de 100 años.

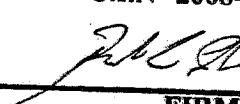
Para la simulación hidráulica se aplicó el software **HEC-RAS**, que al igual que **HEC-HMS**, forma parte de la línea de los modelos HEC, creados por el Cuerpo de Ingeniería de la Armada de los Estados Unidos. Este modelo permite conocer el comportamiento hidráulico del agua en ríos, quebradas, canales u otro cuerpo de agua. **HEC-RAS** permite determinar el tirante de agua en un punto determinado (Secciones Transversales) entre otras variables hidráulicas que son fundamentales en el diseño infraestructural de muchas clases de proyectos.

Para generar las secciones transversales para utilizarlas en el modelo hidráulico Hec-RAS, se utilizó ArcGIS (Software de Sistemas de Información Geográfica) a través de una extensión conocida como Hec-GeoRAS, la cual permite generar un modelo de elevación en base a las curvas del nivel en el área de estudio, este modelo de elevación se conoce como TIN (Triangulated Irregular Network). El TIN se genera en base a información vectorial (Puntos y Líneas), y se genera un modelo del comportamiento del terreno en un área determinada.

### 6.1 Simulación Hidráulica Qbda. Cuvibora

Para poder iniciar la simulación hidráulica es fundamental contar con tres variables o información:

- Caudal pico para la recurrencia de 100 años (Resultados de HEC-HMS).
- Secciones transversales para alimentar el modelo geométrico.
- Condiciones de borde del modelo.

<b>RICARDO E. GÜETE CALDERON</b> <b>INGENIERO CIVIL</b> <b>C.I.Nº 2008-006-110</b> 
<b>FIRMA</b> Ley 15 del 26 de enero de 1959 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

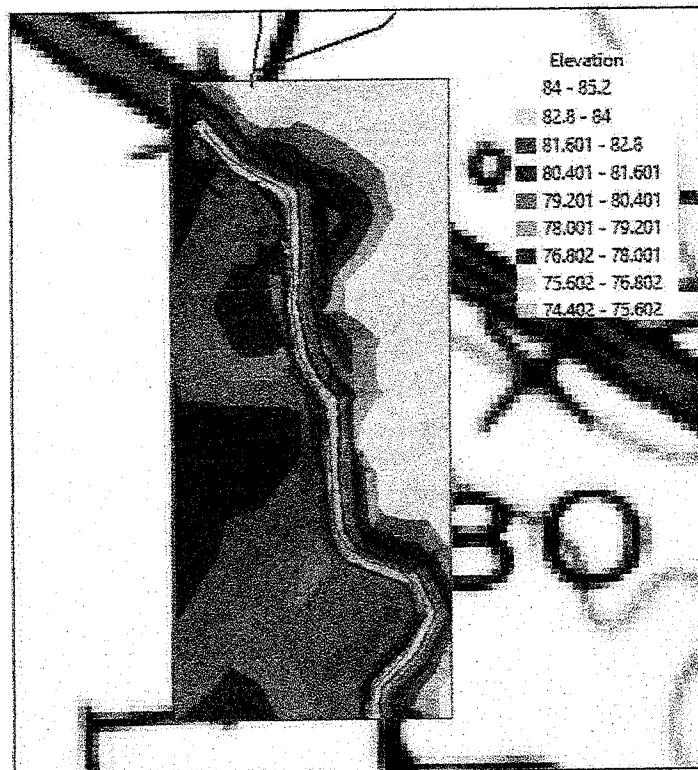
Para poder generar las secciones transversales del modelo fue necesario utilizar la herramienta de **HEC-GEORAS** en la zona de influencia de la carretera ~~PRIMA~~.

Utilizando la información levantada con estación total en el cauce de la Qbda. **Cuvibora** y parte de su planicie se generó el archivo TIN (Red de triangulación irregular).

**Ley 15 del 26 de enero de 1959**  
**Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**

Se levantó información topográfica de la Qbda. Cuvibora de un tramo con longitud aproximada de 500 metros y 60 metros de ancho en la franja de la quebrada. Adicionalmente, se marcaron puntos topográficos para definir la topografía del predio donde estará ubicada la planta de tratamiento.

La resolución espacial en este tipo de estudios es de suma importancia para poder determinar el comportamiento hidráulico no solamente en las secciones próximas en la zona de estudio, sino también aguas arriba y aguas abajo, para poder estimar la distribución espacial de la planicie de inundación para 100 años. En la figura No. 14 se presenta el TIN generado en base a los puntos con batimetría y en las planicies de inundación.



**Figura No. 14.** TIN en la zona de estudio Qbda. Cuvibora.

Una vez generado el TIN, se digitalizan las capas de información de interés en la simulación hidráulica, en este caso: river (el tramo de estudio de la Qbda. Cuvibora), bankpoints (los puntos que delimitan el cauce), flowpaths (las líneas de flujo del cauce) y XS-cutlines (Secciones transversales). Una vez que se digitalizan las capas de información del modelo, se integran con el TIN y se generan las secciones transversales mediante un formato que reconoce el Hec-Ras, con su georeferencia. En la figura No. 15, se presenta el esquema generado para exportar la información de las secciones transversales al modelo hidráulico.

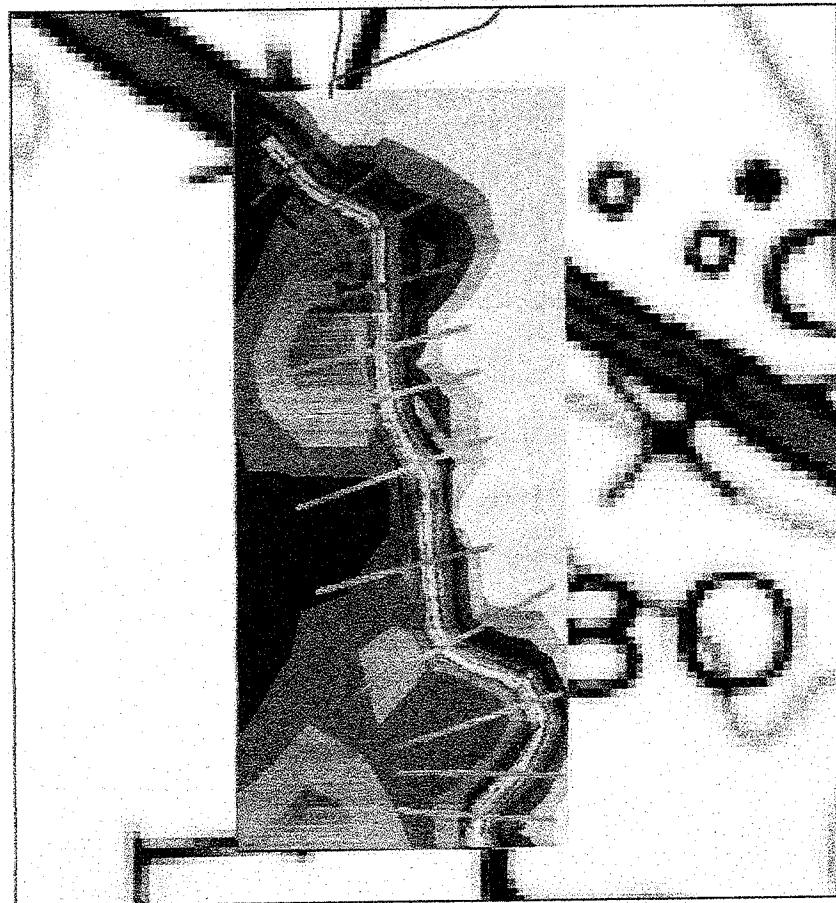


Figura No. 15. Capas de Información para exportar al Hec-Ras.

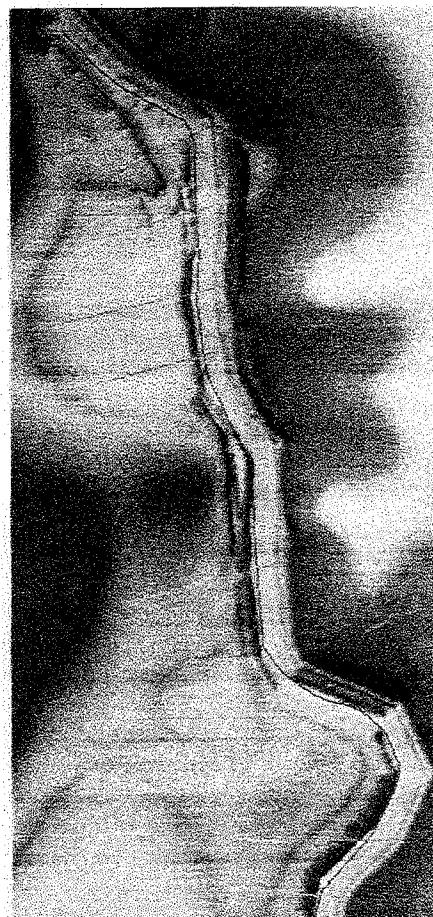
**RICARDO E. GÜETTE CALDERON**  
**INGENIERO CIVIL**  
**C.I.Nº 2008-006-110**

  
**FIRMA**  
**Ley 15 del 26 de enero de 1959**  
**Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**

Se utilizó el caudal obtenido para una recurrencia de 100 años con el modelo HEC-HMS, equivalente a  $275.9 \text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente, como insumo para el modelo hidráulico Hec-Ras.

Se aplicaron rugosidades en el lecho del cauce de  $n_1 = 0.030$  y en los bancos de  $n_2 = 0.035$ , tomando en cuenta las condiciones del cauce y su planicie, tomando como referencia los cuadro para valores típicos de coeficiente de Manning en la literatura de "Hidráulica de Canales Abiertos" (Chow, 1959).

En la figura No. 16 se muestra el esquema de la simulación hidráulica del tramo de la Qbda. Cuvibora, con las secciones transversales levantadas en una vista de planta incluyendo el modelo digital de elevación como herramienta de la versión de Hec-Ras 5.0 que te permite integrar un análisis con la elevaciones propio del modelo.



RICARDO E. GÜETE CALDERON  
INGENIERO CIVIL  
C.I.N° 2008-006-110  
  
FIRMA  
Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Figura No. 16. Vista de Planta del Modelo Hidráulico en Hec-Ras.

### 6.1.1 Condiciones de Borde

Las condiciones de borde dentro del modelo hidráulico permiten establecer bajo qué condiciones se encuentra el tramo a simular, tanto en la parte alta como en la parte baja del mismo. Las condiciones utilizadas son las siguientes:

- **Condición Aguas Arriba/Aguas Abajo:** El tramo se rige por la pendiente normal del cauce cuyo valor es de 0.0029 m/m.

### 6.1.2 Perfil Topografía Natural

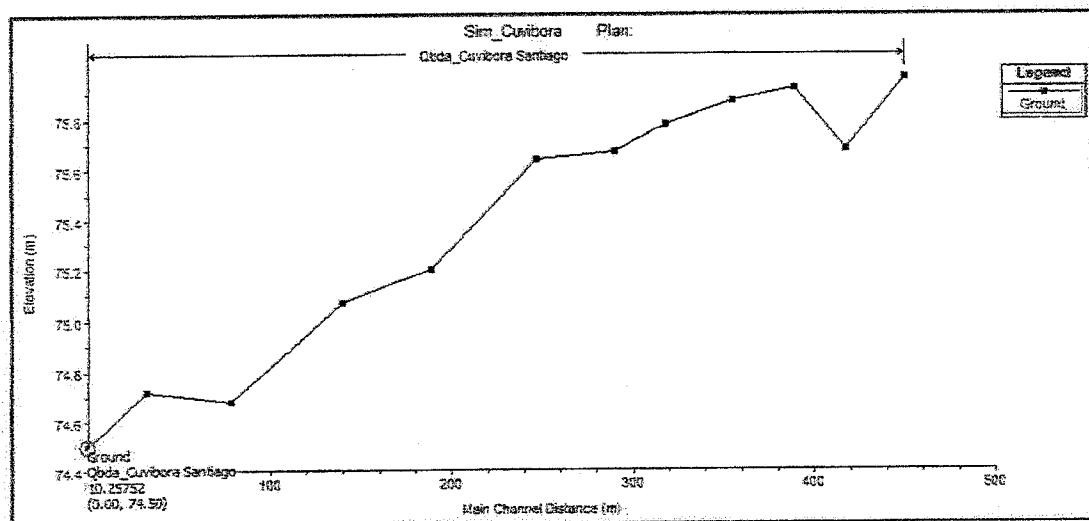
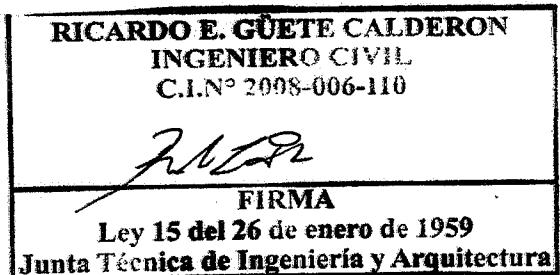


Figura No. 17. Perfil topográfico del tramo de análisis de la Qbda. Cuvibora.



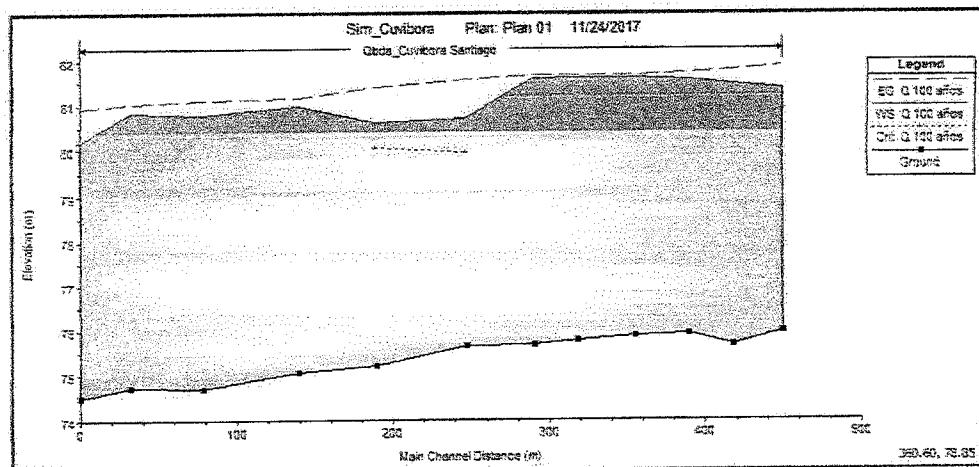
*BAC - GL*

**FIRMA**

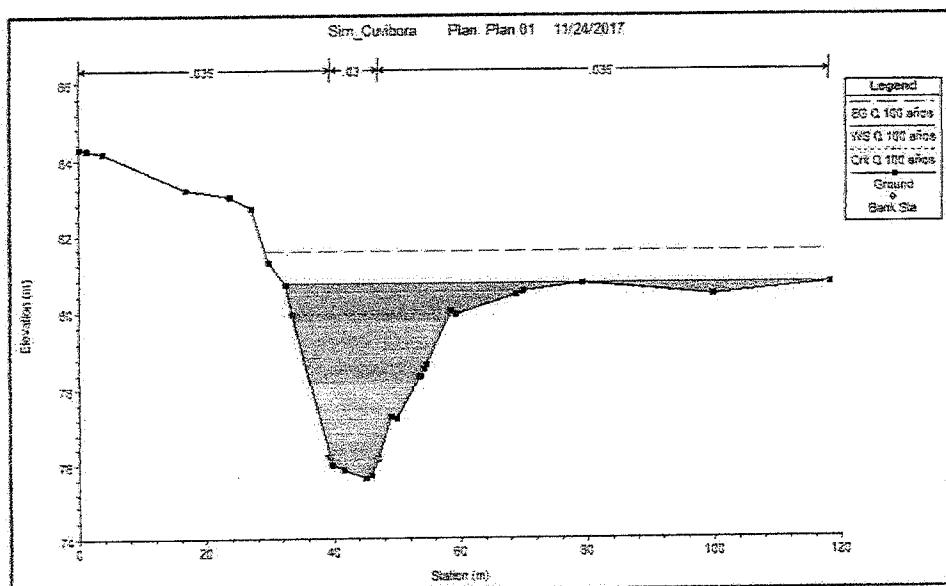
**Ley 15 del 26 de enero de 1959**  
**Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**

### 6.1.3 Resultados

Una vez que se cuenta con la geometría del modelo, el caudal de entrada del modelo y las condiciones de borde se corre el modelo para la recurrencia de 100 años. En la figura No. 18 se presentan los perfiles hidráulicos del tramo simulado de la Qbda. Cuvibora y en la figura No. 19 en donde se muestra la topografía en ambas márgenes de la quebrada, con el Aeodromo ubicado aproximadamente a 250 metros del cauce.



**Figura No. 18.** Perfil hidráulico longitudinal tramo de la Qbda. Cuvibora para 100 años.

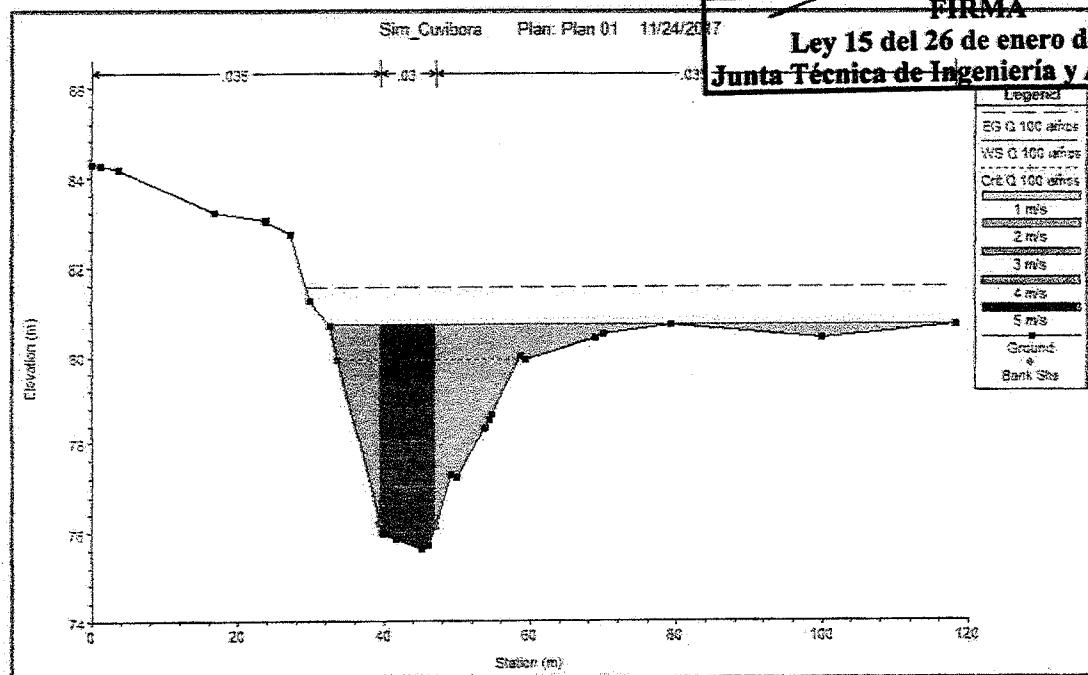


**Figura No. 19.** Perfil Transversal en zona colindante con polígono de desarrollo.

**FIRMA**

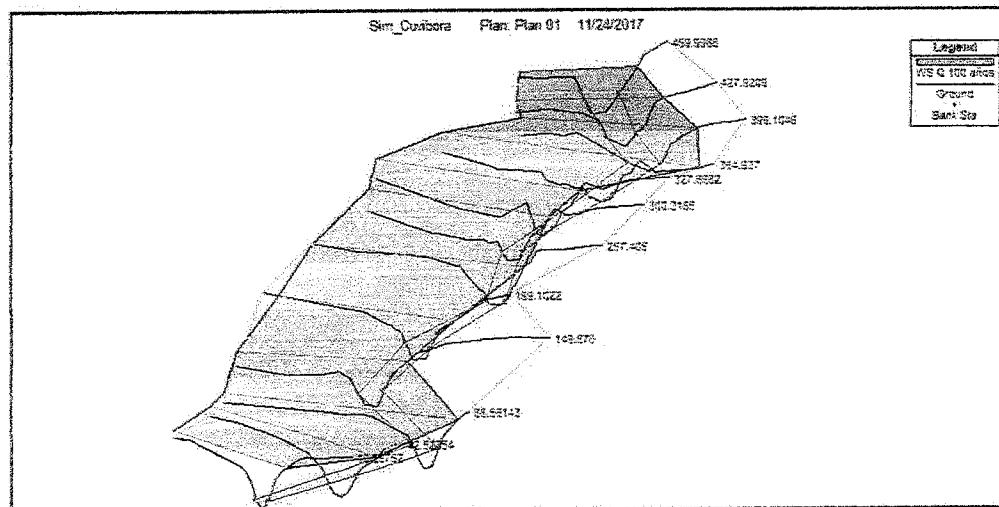
**Ley 15 del 26 de enero de 1959**

**Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**



**Figura No. 20.** Velocidades de distribución en sección de la Qbda. Cuvibora.

Una de las opciones de los resultados del HEC-RAS permite tener una visión 3D del tramo simulado, en la figura No. 21. En el cuadro No. 5 se presentan las variables hidráulicas en el tramo simulado de la Qbda. Cuvibora.



**Figura No. 21.** Vista en 3D del tramo simulado de la Qbda. Cuvibora.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Yn (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Cuvibora	459.9988	Q 100 años	275.9	75.96	81.35	5.39	3.39	103.29	46.52	0.5
Cuvibora	427.9209	Q 100 años	275.9	75.68	81.45	5.77	2.97	140.51	57.98	0.42
Cuvibora	399.1046	Q 100 años	275.9	75.92	81.55	5.63	2.15	193.77	69.91	0.3
Cuvibora	364.937	Q 100 años	275.9	75.87	81.61	5.74	1.35	311.18	106.82	0.18
Cuvibora	327.8682	Q 100 años	275.9	75.78	81.61	5.83	1.24	322.11	85.83	0.17
Cuvibora	300.3185	Q 100 años	275.9	75.67	81.58	5.91	1.46	272.34	75.59	0.2
Cuvibora	257.405	Q 100 años	275.9	75.64	80.7	5.06	4.84	94.61	84.01	0.7
Cuvibora	199.1022	Q 100 años	275.9	75.2	80.6	5.4	4.36	98.8	73.48	0.64
Cuvibora	149.876	Q 100 años	275.9	75.07	80.96	5.89	2.51	173.04	68.02	0.35
Cuvibora	88.56143	Q 100 años	275.9	74.68	80.77	6.09	3.03	157.67	96.31	0.43
Cuvibora	42.52354	Q 100 años	275.9	74.72	80.82	6.1	2.3	181.77	81.54	0.32
Cuvibora	10.25752	Q 100 años	275.9	74.5	80.16	5.66	4.94	101.64	56.92	0.69

**Cuadro No. 5.** Variables hidráulicas para 100 años del tramo de la Qbda. Cuvibora (Hec-Ras).

Tal como se muestra en el cuadro No. 5, se presentan las variables hidráulicas del tramo de la Qbda. Cuvibora, en base a la simulación hidráulica con Hec-Ras para el caudal de los diferentes períodos de retorno. A continuación detallamos cada uno de los enunciados que forman parte de la tabla:

- Tramo: Se refiere al tramo del río, quebrada o canal que se pretende simular.
- RiverSta: Estacionamiento del río, donde la K equivale a Kilómetros,
- Perfil: En este caso se refiere al escenario hidrológico en este caso una recurrencia o caudal con recurrencia de 100 años.
- Qtot: Se refiere al caudal que forma parte del perfil.
- Min Ch El: Elevación mínima del canal o cauce.
- W.S. Elev: Es quizás la variable más importante en este caso, se refiere al nivel de superficie de agua o la elevación a la que llega el agua en cada sección transversal.
- Yn: Tirante hidráulico de cada sección transversal.
- Vel Chnnl: Velocidad en el cauce o canal.
- Flow Area: Área del flujo.

**RICARDO E. GÜEMBE CALDERON**  
**INGENIERO CIVIL**  
**C.I.N° 2008-006-110**

  
**FIRMA**  
**Ley 15 del 26 de enero de 1959**  
**Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**



Figura No. 22. Planicie de inundación del tramo analizado de la Qbda. Cuylbara para una recurrencia de 100 años.

<b>RICARDO E. GUELEGUZ DERON</b> <b>INGENIERO CIVIL</b> <b>C.I.N° 2008-006-110</b>

<b>FIRMA</b>
<b>Ley 15 del 26 de octubre de 1959</b>
<b>Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura</b>

RICARDO E. GÜETE CALDERON  
INGENIERO CIVIL  
C.I.N° 2008-006-110

FIRMA

Ley 15 del 26 de enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

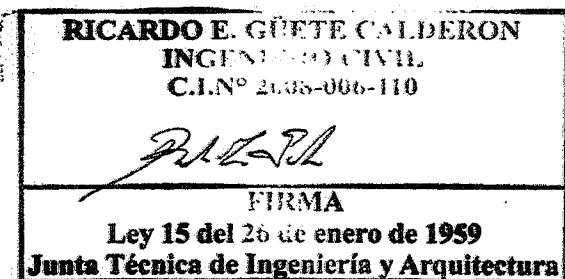
## 7 Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

1. La subcuenca de la Qbda. Cuvibora forma parte de la Cuenca del río San Pedro (Cuenca No. 120).
2. Se aplicaron herramientas con el programa Arc-Gis para la elaboración de mapas y procesamiento de datos espaciales que sirvieron para determinar el comportamiento hidrológico de los drenajes en mención.
3. La Precipitación promedio estimada utilizando la capa de información de isoyetas del Balance Hídrico Superficial de Panamá elaborado por ETESA (1971-2002), dio como resultado una precipitación promedio de 2399 mm.
4. El caudal promedio de la Qbda. Cuvibora a  $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que corresponde a una escorrentía de 1611 mm y un caudal específico de  $51.10 \text{ l/s/Km}^2$ .
5. Se pudo aplicar exitosamente el modelo Hec-Hms para determinar el comportamiento hidrológico de la subcuenca de la subcuenca de la Qbda. Cuvibora hasta el área de influencia, para obtener el caudal que alimentara el modelo Hec-Ras.
6. El caudal obtenido para una recurrencia de 100 años  $275.9 \text{ m}^3/\text{s}$ .
7. Se pudieron generar las secciones transversales mediante la aplicación de la herramienta Hec-GeoRas integrada en el ArcGIS para exportar el levantamiento topográfico georefenciado al modelo Hec-Ras, lo cual le da un aporte muy importante al estudio.
8. En función de la Topografía la margen derecha de la Qbda. Cuvibora cuenta con elevaciones que superan las cotas de 84 msnm, mientras que la margen izquierda cuenta con elevaciones próximas a la cota 80 msnm, por lo que existe una diferencia considerable de 4 metros.
9. Los niveles máximos obtenidos en el tramo simulado de la Qbda. Cuvibora varían entre elevaciones de 5.06 msnm y 6.10 msnm.
10. Se presenta un régimen subcrítico por la topografía y la variación de las pendientes en esta zona, con velocidades entre  $1.24 \text{ m/s}$  y  $4.94 \text{ m/s}$ .

## **8 Referencias Bibliográficas**

- Chow, V. T., 1959, Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, New York.
- Hydrologic Engineering Center, 2008, HEC-RAS, River Analysis System, User's Manual, U. S. Army Corps of Engineering, Davis, CA
- Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A., Departamento de Hidrometeorología, Análisis Regional de Crecidas Máximas en Panamá, 2008.
- Manual de Usuario de Hec-Georas.
- Manual de requisitos para revisión de planos del Ministerio de Obras Públicas.



**RICARDO E. GÜETE CALDERON  
INGENIERO CIVIL  
C.I.Nº 2008-006-110**

  
**FIRMA**  
**Ley 15 del 26 de enero de 1959**  
**Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**

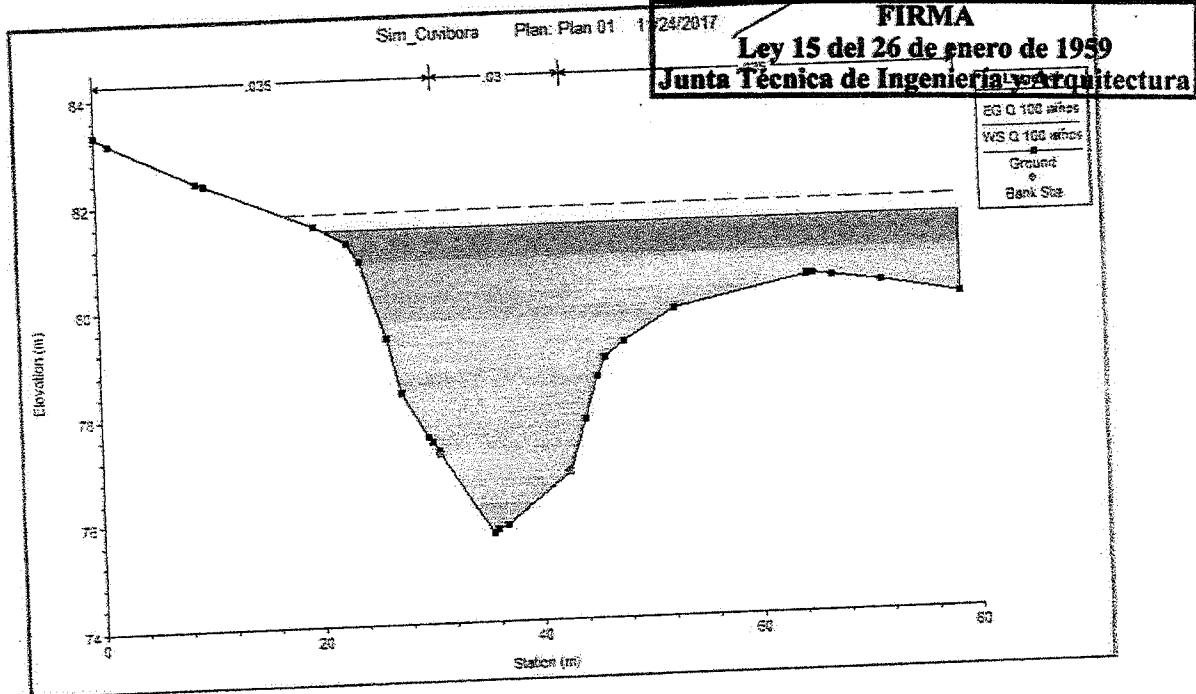
## **ANEXO A**

**SECCIONES TRANSVERSALES (HEC-RAS)**

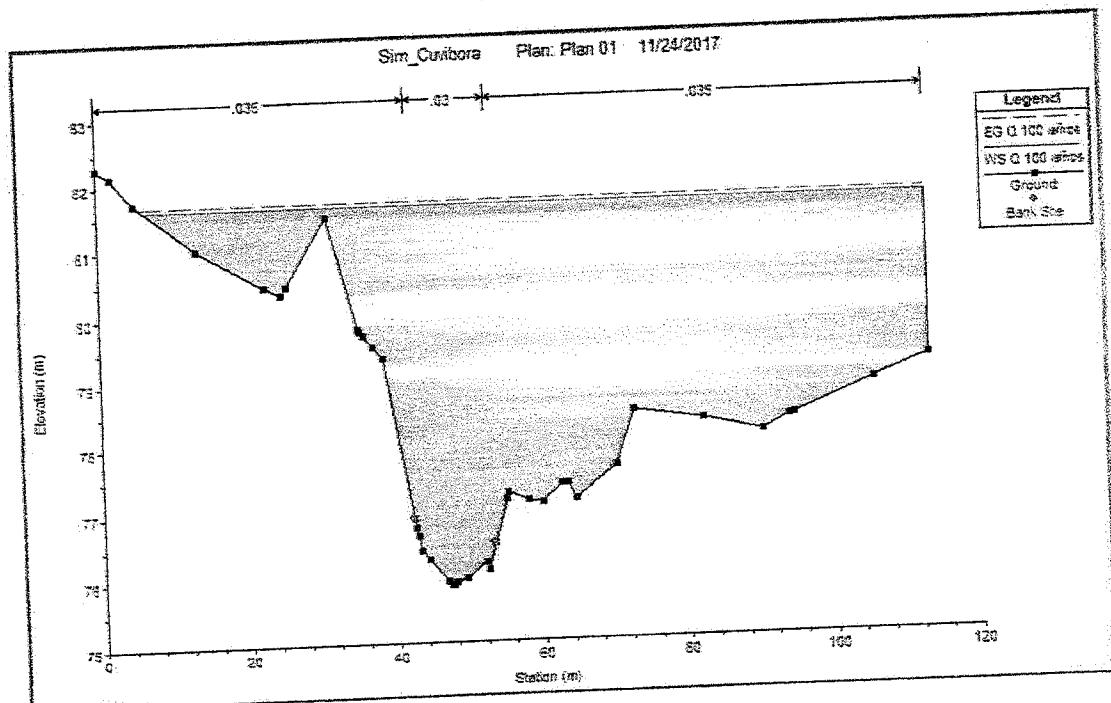
**RECURRENCIA DE 100 AÑOS**

**QUEBRADA CUVIBORA**

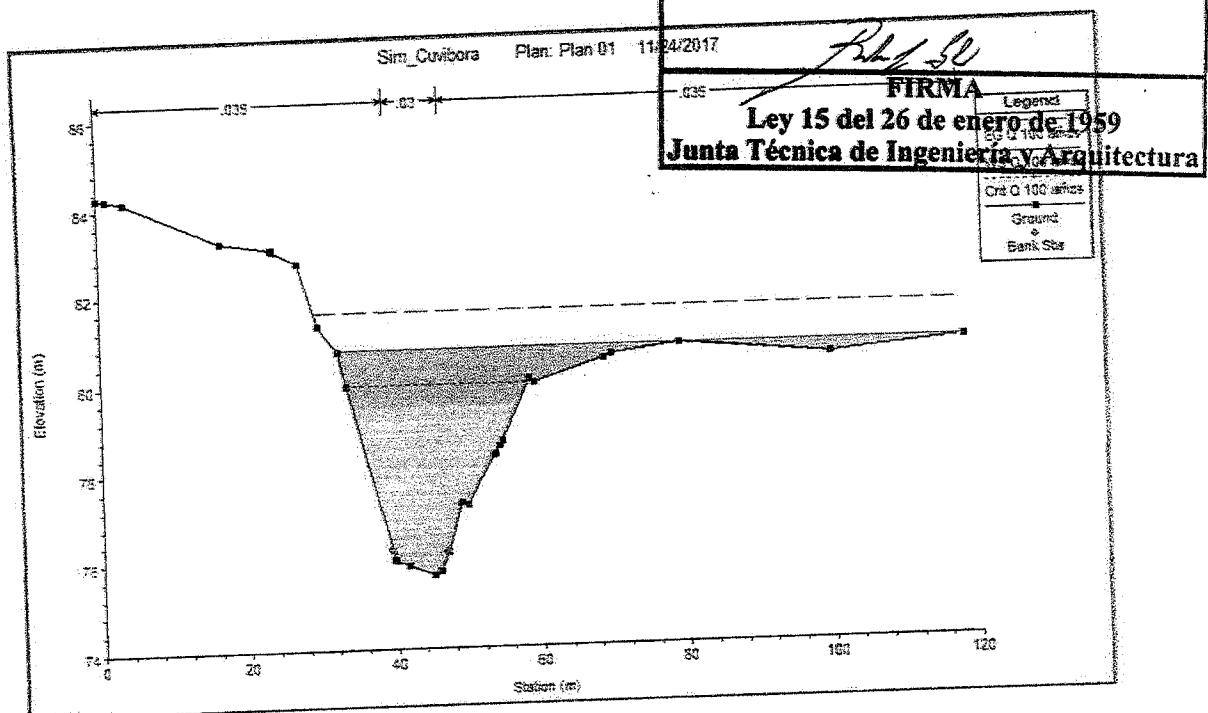
*Ricardo Güete Calderon*  
**FIRMA**  
**Ley 15 del 26 de enero de 1959**  
**Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura**



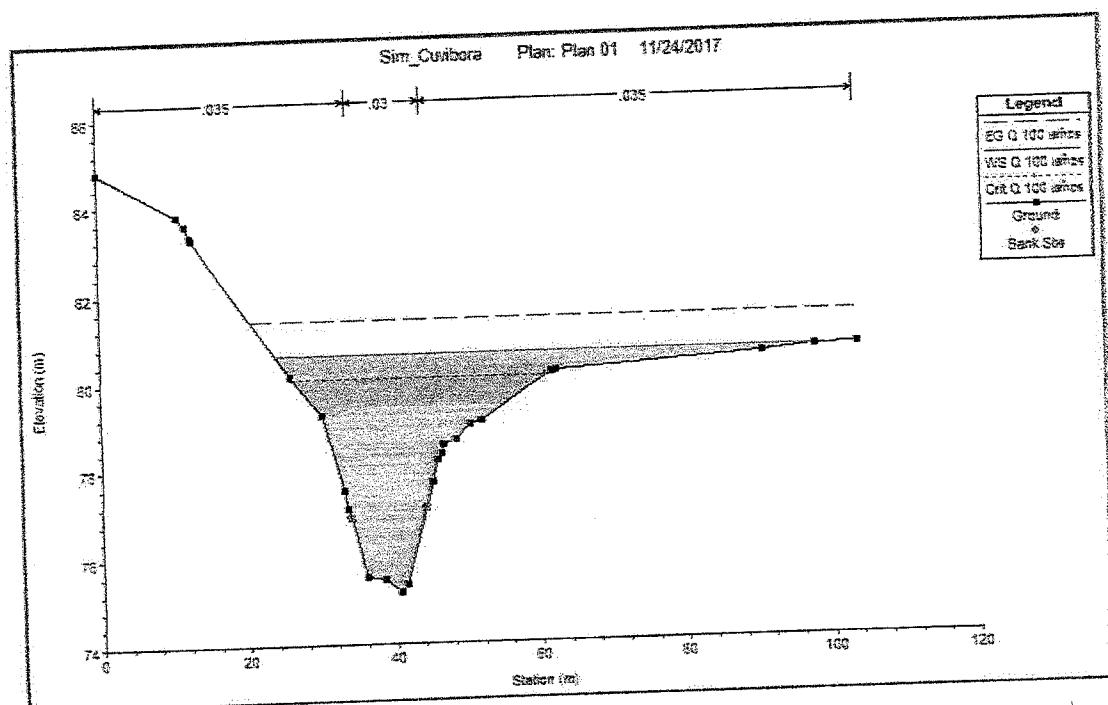
Estación 427.92



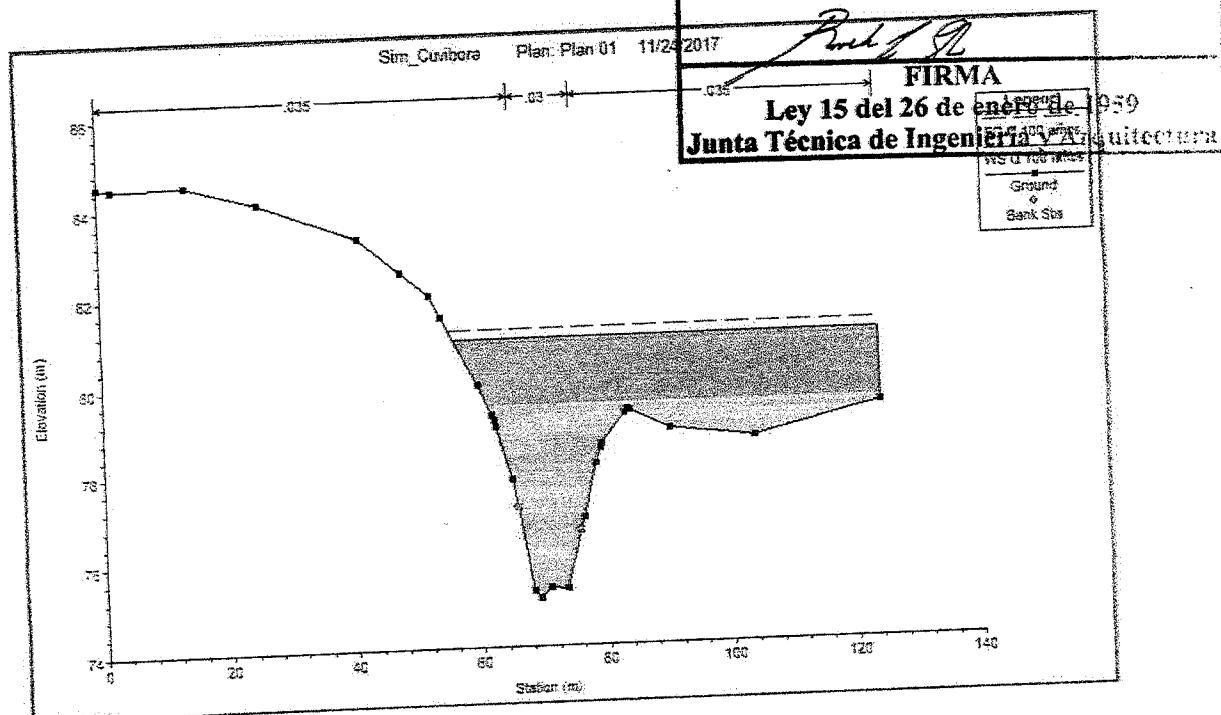
Estación 364.9



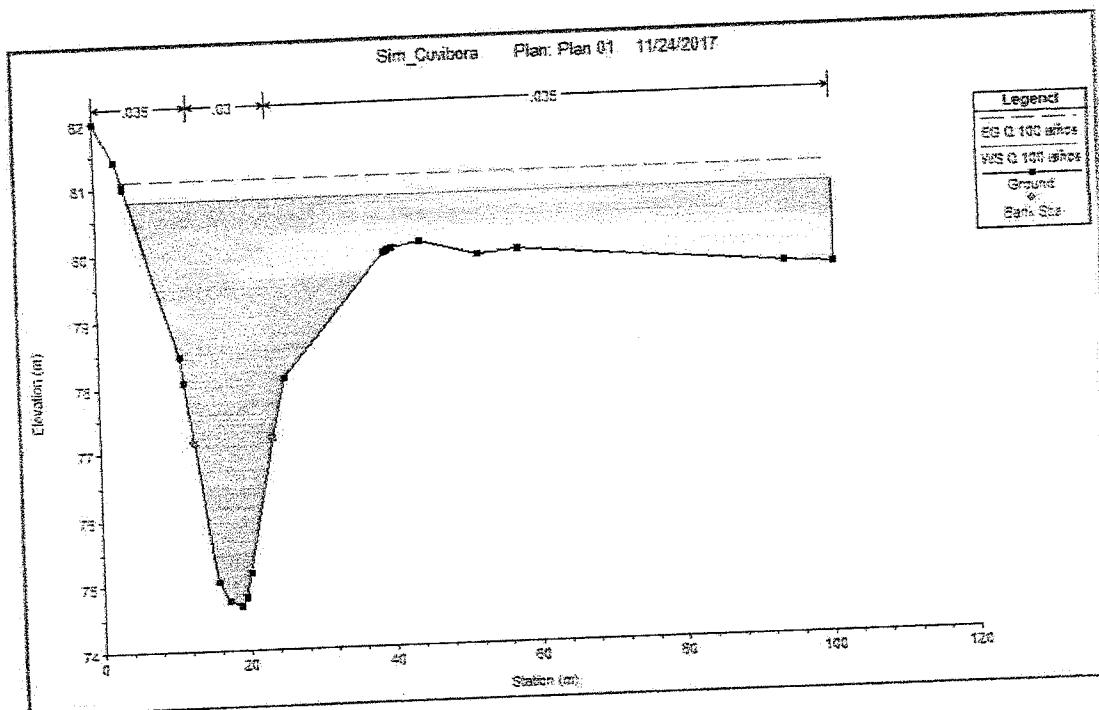
Estación 257.4



Estación 199.10



Estación 149.87



Estación 88.56