INFORMACIÓN ACLARATORIA #1

RESPUESTA A NOTA No. DRCH-AC-2107-08-2022

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
CATEGORÍA I

NOMBRE DEL PROYECTO:

"RESIDENCIAL PUNTA ROCA"

PUNTA ROCA
RESIDENCIAL

PROMOTOR:

INVERSIONES LUSANA, S.A.

Ubicación:
Aguacatal, Corregimiento de San Pablo Viejo,
Distrito de David, Provincia de Chiriquí

Septiembre, 2022.

1. En el **punto 5.4.2**, en la **pág. 26, Construcción, Sistema de drenajes**. Se indica que: "*Dentro del proyecto el manejo de las aguas pluviales será manejado de manera tal que se encaminen hacia afuera del proyecto, por medio de la construcción de una servidumbre pluvial de 673.02m2, llegando hacia las cunetas y drenajes pluviales ya existentes de la Vía principal (Vía Aguacatal)* …" Sin embargo, se debe considerar que el proyecto contará con 280 viviendas, lo cual aumenta la velocidad de las aguas pluviales y en la vía principal no se observan cunetas ni alguna infraestructura que puedan contener y canalizar esas aguas.

a. **Indicar,** como se llevará a cabo el manejo de las aguas pluviales del proyecto y hacia donde serán evacuadas las mismas y si se verán afectados los predios inferiores o colindantes y/o terrenos de terceras personas.

Respuesta: Las aguas pluviales del proyecto se recolectarán de la siguiente manera: (1) por tragantes pluviales dentro del proyecto y que a su vez se conducirán una parte a la vía principal, tomando en consideración que se habilitará un sistema de cunetas a orillas de la vía principal (Vía Aguacatal) ya que actualmente el mismo es limitado para el manejo de estas aguas; y (2) la otra parte de las aguas serán recolectadas y conducidas por una cuneta zampeada para reducir la velocidad del agua, hasta llevarla a una descarga natural (Quebrada El Cerro) con la capacidad suficiente para captar las aguas de escorrentía. De esta manera no se verán afectados los predios colindantes, predios inferiores, ni terceras personas.

Con el nuevo rediseño del anteproyecto dentro del mismo globo de terreno, que consiste en reducción de dos lotes residenciales, se anexa un área verde, se reducen dos lotes de tanque de agua y se amplía el área de servidumbre pluvial, el punto 5.0. DESCRIPIÓN DEL PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD, queda de la siguiente manera:

5.0 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD

El proyecto **"RESIDENCIAL PUNTA ROCA"**, consiste en habilitar un total de **278 lotes residenciales**, dentro de un globo de terreno de **20 has + 200.98 m^2** para la construcción de viviendas unifamiliares bajo la norma de zonificación R-2 (RESIDENCIAL DE MEDIANA DENSIDAD), con tamaños de lotes que van desde los 463.11 m^2 hasta 767.37 m^2, un (1) área verde, dos (2) áreas de uso público, dos (2) lotes para tanques de agua, servidumbre vial (calle principal y secundarias), servidumbre pluvial, cunetas pavimentadas con tapa de hormigón y

aceras de hormigón. El proyecto se abastecerá de agua potable de dos (2) pozos profundos. Las aguas residuales se manejaran a través de tanques sépticos individuales, tinaqueras para el depósito temporal de los desechos sólidos domésticos y todos los suministros básicos que conlleva este tipo de actividad. (Ver Planos Impresos y Digital).

Se presenta el desglose de áreas del proyecto en la siguiente tabla:

Tabla 3. Cuadro de Áreas del proyecto RESIDENCIAL PUNTA ROCA, Vía Aguacatal, corregimiento de San Pablo Viejo, Distrito de David, provincia de Chiriquí.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA	ÁREA (M^2)	%
RESIDENCIAL (R2)	140,323.99	70.09
ÁREA ÚTIL TOTAL (R2)	140,323.99	70.09
ÁREA DE USO PÚBLICO (Prv) 1	7,799.08	3.90
ÁREA DE USO PÚBLICO (Prv) 2	6,438.51	3.21
ÁREA PARA TANQUE DE AGUA 1 (Esv)	419.13	0.25
ÁREA PARA TANQUE DE AGUA 2 (Esv)	352.60	0.18
ÁREA VERDE	2,466.11	1.23
SERVIDUMBRE PLUVIAL	940.64	0.46
SERVIDUMBRE VIAL	41,408.06	20.68
ÁREA TOTAL A DESARROLLAR	**200200.98**	**100.00**
ÁREA INSCRITA DE LA FINCA	**20 HAS + 200.98 M^2**	
ÁREA A DESARROLLAR	**20 HAS + 200.98 M^2**	
RESTO LIBRE DE LA FINCA	**0 HAS + 0000.00 M2**	

Fuente: Plano de Anteproyecto

b. **Presentar,** plano con diseño firmado por un profesional idóneo, que evidencie el manejo de las aguas del proyecto, con el visto bueno del MOP.

Respuesta: Se adjuntan planos del sistema de drenajes, que evidencia el manejo de las aguas de escorrentía o pluviales, firmado por idóneo, sin embargo es importante señalar que el MOP en Etapa de anteproyecto **NO DA VISTO BUENO** de planos pluviales y/o drenajes.

En la sección de anexos se adjunta el formulario de Revisión de Anteproyecto del Ministerio de Obras Públicas por la Dirección Nacional de Ventanilla del MIVIOT, numero de control **M.O.P.**

324-22, con fecha de 08 de agosto de 2022. Cabe señalar que estos planos han sido presentados para cumplir con lo solicitado en la nota DRCH-AC-2107-08-2022, sin embargo el visto bueno de Ministerio Obras Públicas en su etapa de revisión se obtiene en un periodo aproximado mayor a 15 días, es por ello que nos comprometemos como empresa responsable en presentar dicho visto bueno de los planos por parte del MOP, en el primer informe de cumplimiento ambiental en la etapa de construcción.

2. En el **punto 6.3.,** en la **página 39,** se indica que: *"Dentro del terreno donde se desarrollará el proyecto no hay ninguna fuente de agua natural superficial (río, quebrada) que se vea afectada por el desarrollo de este proyecto.";* sin embargo durante la inspección de campo se observó un sitio que acumulaba agua, manteniendo un parche de árboles que atravesaban el lote. Adicional a esta información, al consultar las hojas cartográficas del Instituto Geográfico Tommy Guardia y según verificación de coordenadas de Departamento de Geomática, se observan drenajes pluviales que se forman por escorrentía y atraviesan la propiedad. También se pudo identificar que la parte posterior del proyecto colinda con la fuente hídrica permanente conocida como "Quebrada del Cerro". Por lo antes mencionado se solicita la siguiente información:

a. **Indicar,** los trabajos a realizar sobre el drenaje para tener la capacidad de evacuar todas las aguas de escorrentía y cuál será el destino de las aguas conducidas.

Respuesta: El sistema de drenaje del proyecto será recolectado mediante tragantes y conducidos una parte hacia la vía principal y la otra hacia quebrada Del Cerro, tal como se describe en la respuesta anterior.

b. Aclarar, cual es la distancia entre el polígono y la quebrada del Cerro y si no se afecta con el desarrollo del proyecto.

Respuesta: La distancia entre el polígono y la quebrada el cerro varia de 25 m a 80 m, por consiguiente la fuente natural no se verá afectada por el desarrollo del proyecto.

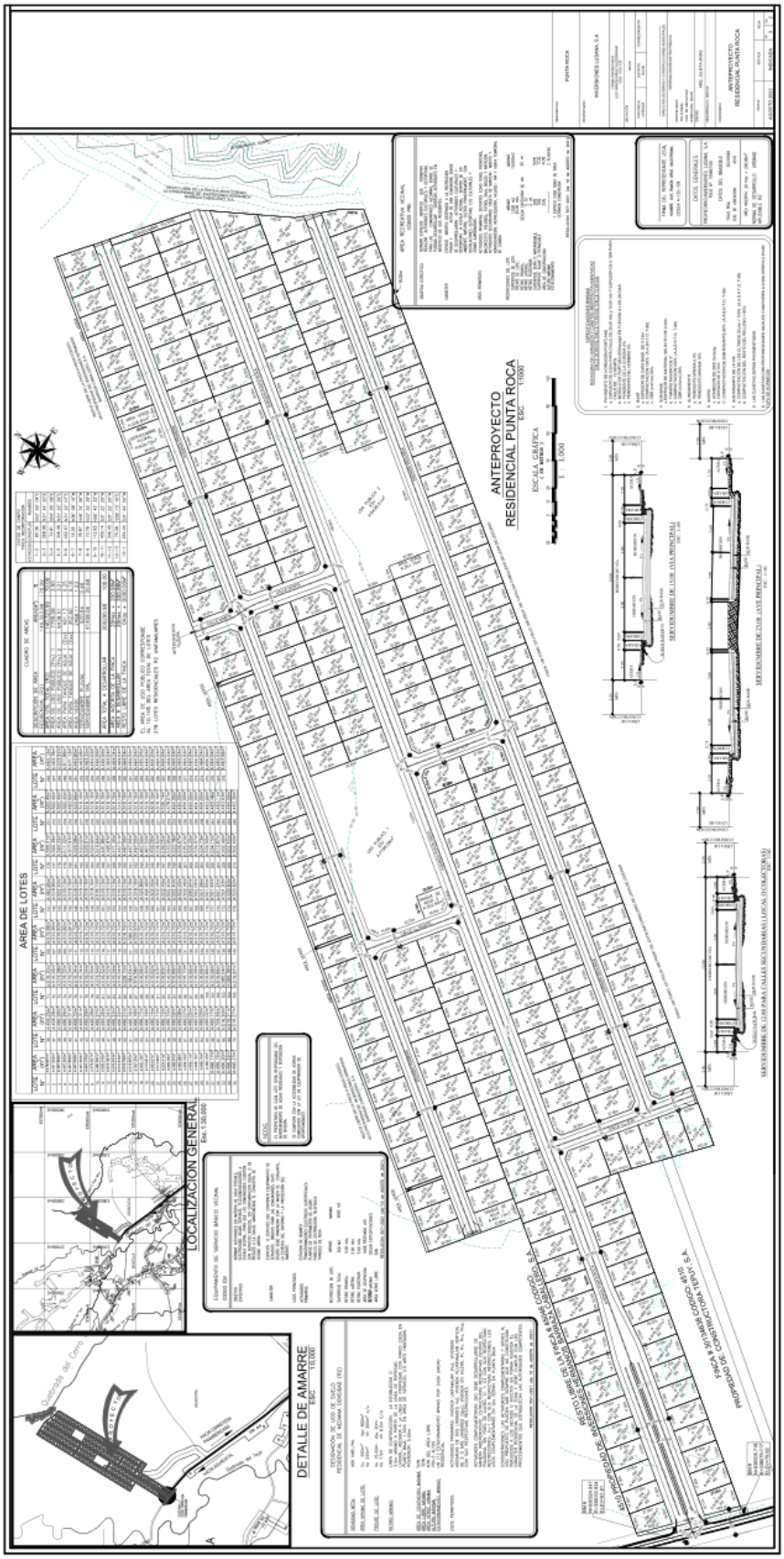
3. Luego de evaluar y analizar el EsIA, la Sección de Seguridad Hídrica, indica que de considerar la Quebrada del Cerro como punto de evacuación de las aguas, sería imprescindible que el Promotor, acate las siguientes recomendaciones:

   a. **Indicar**, el caudal que posee la posible fuente receptora de tal forma que se permita conocer si cuenta con la capacidad de recibir las aguas sin causar afectaciones aguas abajo o a predios colindantes, para estos efectos el Promotor deberá **presentar** un estudio Hidrológico e hidráulico de la Quebrada del Cerro.

Respuesta: La quebrada del Cerro si tiene la capacidad para evacuar las aguas pluviales del proyecto. En la sección de anexos, se presenta el estudio hidrológico realizado a la Quebrada del Cerro.

Anexos:

- **Rediseño del Anteproyecto**
- **Formulario de Recepción del MOP en Ventanilla Única del MIVIOT**
- **Planos del manejo de drenajes pluviales**
- **Estudio Hidrológico Quebrada del Cerro.**


ANTEPROYECTO
RESIDENCIAL PUNTA ROCA
ESCALA GRAFICA
AREA DE LOTES
LOCALIZACION GENERAL
DETALLE DE AMARRE
PUNTA ROCA
INGENIEROS LUSINA S.A
ANTEPROYECTO
RESIDENCIAL PUNTA ROCA

Ministerio de Obras Públicas

República de Panamá
Ministerio de La Vivienda
Dirección Nacional de Ventanilla Única

REVISION DE ANTEPROYECTO C. A. S. (2009)

Nº DE CONTROL DEL MIVI: _____ Nº DE CONTROL M.O.P 324-22
URBANIZACIÓN: RESIDENCIAL PUNTA ROCA
PROMOTOR: INVERSIONES LISANA S.A
ARQUITECTO RESPONSABLE: ARQ JULIETA ARIAS
UBICACIÓN: CHIRIQUÍ DAVID SAN PABLO VIEJO
Provincia Distrito Corregimiento

Finca: 155683100 Tomo: _____ Folio: _____

OBSERVACIONES:
Para la etapa de construcción deben cumplir con los siguientes requisitos:

☐ 1- Presentar plantas generales de lotificación, topografía, alineamiento de calles, sistema pluvial, terracería de lotes y planos perfiles de calles con la información técnica correspondiente según normas del M.O.P. (consultar manual de aprobación de planos del M.O.P.)

☐ 2- Presentar copia del anteproyecto aprobado por el MIVI.

☐ 3- Presentar copia de la aprobación de la señalización vial horizontal y vertical.

☐ 4- Indicar en el plano el BM geodésico utilizado en el diseño y su referencia.

☐ 5- La sección de calle de_____mts. de ancho esta fuera de norma (corregir.)

☐ 6- No se puede accesar a los lotes a través del martillo (corregir.)

☐ 7- Indicar los radios de giro en las intersecciones de calles según normas del M.O.P.

☐ 8- Para utilizar garita en el acceso al proyecto, el mismo debe estar aprobado, por el MIVI. Como privado, de lo contrario deben eliminarla de los planos.

☐ 9- Todos los lotes, ubicados en las intersecciones de calles deben mantener el radio de giro, paralelo al cordón cuneta o al hombro de la calle (corregir en todas las plantas).

☐ 10- Para utilizar pavimento de asfalto imprimación y doble sello o carpeta asfáltica, deben presentar diseño de pavimento acompañado de sus respectivos estudios de suelo y someterlo a aprobación al M.O.P. Albrook (TEL. 507- 9665.)

☐ 11- Deben someter los planos al M.O.P. Albrook, para la demarcación de la servidumbre pluvial del o los curso (s) de aguas existentes y establece los niveles de terracería de lotes no inundables. (TEL. 507 – 9665)

☐ 12- La servidumbre pluvial, que demarque el M.O.P., deben indicarla en planta de lotificación y planta del pluvial.

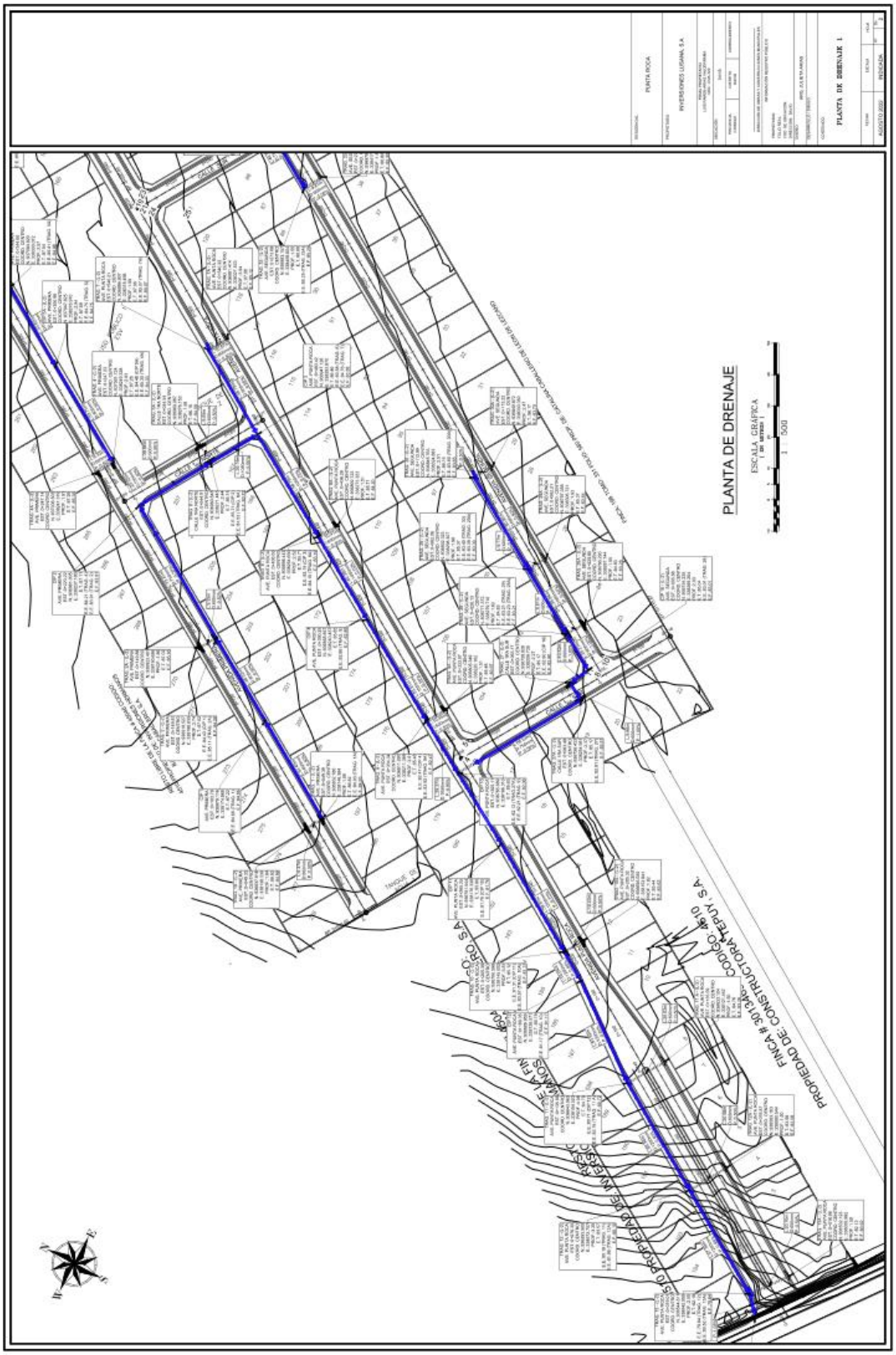
☐ 13- Indicar en los planos las especificaciones de pavimento de calles según normas del M.O.P.

☐ 14- Indicar martillo al final de calles.

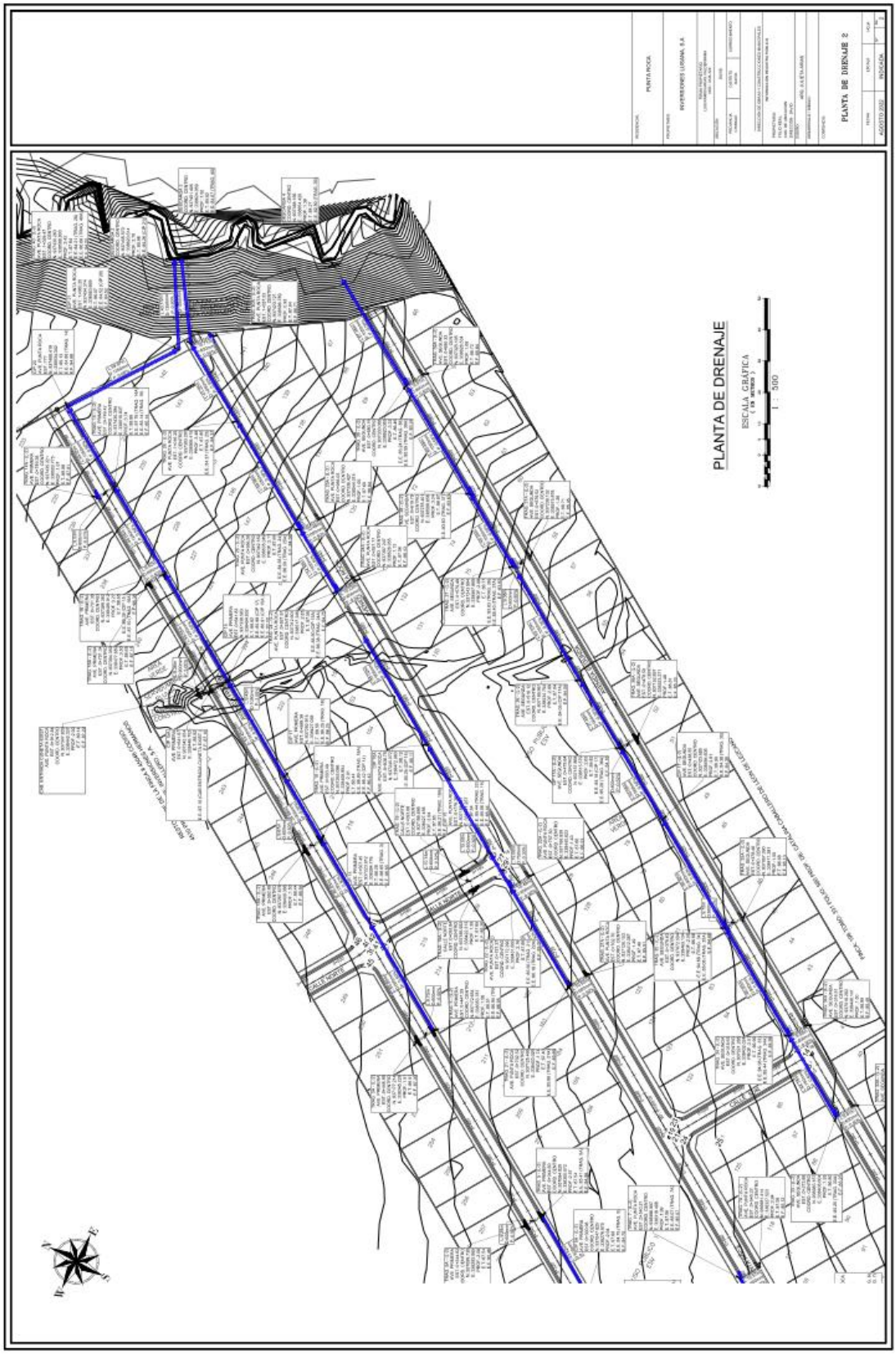
☐ 15- Presentar detalle constructivo de ☐ martillo, ☐ rotonda, según normas del M.O.P.

☐ 16- La servidumbres pluviales propuestas deben ajustarse a las normas del M.O.P.

REVISADO Jenna Pérez INSTITUCION M.O.P FECHA 8/8/22
EFECTUAR PAGO DE REVISIÓN DE ANTEPROYECTOS.



PLANTA DRENAJE 1



PLANTA DRENAJE 2

INFORME DE ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA LA QUEBRADA "EL CERRO" EN EL PROYECTO: RESIDENCIAL "PUNTA ROCA"

PREPARADO PARA:

INVERSIONES LUSANA, S.A.

PRESENTADO POR:

ALEXANDRA ESPINOSA

C.I.No 2013-006-161

ALEXANDRA ESPINOSA BARUCO
INGENIERA CIVIL
LICENCIA Nº. 2013-006-161
FIRMA
LEY 15DEL 26 DE ENERO DE 1959
JUNTA TÉCNICA DE INGENERÍA Y ARQUITECTURA

AGOSTO, 2022

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN ……..…… 1

2 METODOLOGÍA……..……..…… 1

3. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DE LAS “QUEBRADA EL CERRO”.……. 2

4. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN……. 5

5. AMPLIACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL……... 6

6. RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MÉTODO RACIONAL……. 8

7. EL MODELO HEC-RAS …… 9

8. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN
CON EL MODELO HEC-RAS …… 14

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…….. 27

1. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de este estudio hidrológico e hidráulico es el de determinar el caudal máximo desarrollado por la “Quebradas El Cerro” para un periodo de retorno de 1 en 50 años y así poder determinar cuáles serían las secciones hidráulicas mínimas requeridas (de ser necesario)y el nivel de aguas máximas extraordinarias para este evento, de modo que se puedan establecer los niveles de terracería seguros para la residencial “Punta Roca”.

Este documento presenta los aspectos más relevantes correspondientes al análisis hidrológico e hidráulico de la “Quebrada El Cerro”, la cual pasa por uno de los linderos del proyecto a desarrollar.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo de este estudio comprende la determinación del caudal máximo para la “Quebrada El Cerro” y además, la evaluación de la capacidad hidráulica del cauce existente de la quebrada para el paso de las aguas a través del proyecto.

Para la determinación del área de drenaje de la cuenca de la “Quebradas El Cerro” se utilizó la información de la topografía suministrada para el proyecto, también se utilizó la hojas 3741-IV Serie E762 Edición 2 - IGNTG DAM “GUALACA”. El análisis hidrológico de la “Quebrada El Cerro” fue desarrollado utilizando las ecuaciones de Intensidad-Duración-Frecuencia para la vertiente del Pacífico del Ministerio de Obras Públicas y el cálculo de la escorrentía de la cuenca se estimó mediante el Método Racional, todas estas ecuaciones se describirán más adelante en este informe.

La información topográfica del cuerpo de agua en el área de estudio fue levantada con equipos de alta precisión y al detalle, lo que permitió desarrollar un modelo digital de elevación del terreno, el cual se utilizó para generar secciones transversales para el análisis hidráulico.

3. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DE LA "QUEBRADA EL CERRO".

El ramal de la "Quebrada El Cerro" en estudio nace aproximadamente a 250m al oeste del inicio del tramo en análisis, en el sector de San Pablo, corregimiento David, Distrito de David, Provincia de Chiriquí. La Quebrada "El Cerro" nace aproximadamente a 2.9 Km noroeste del inicio del tramo en análisis, también ubicada en el Sector de San Pablo Viejo.

En la Figura #1, se muestra la ubicación del proyecto y la delimitación de las Cuencas Hidrográficas de ambas quebradas en su influencia sobre el área a desarrollar.

Figura No. 1

Localización Regional del Proyecto Punta Roca Etapa 1

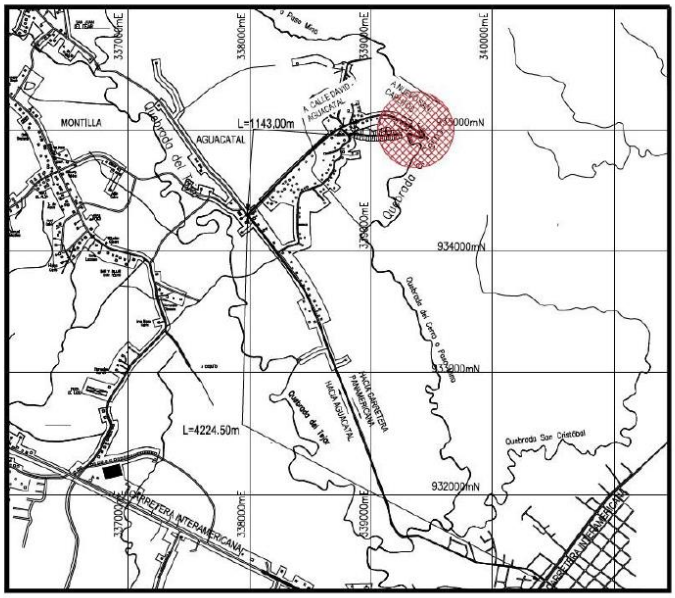
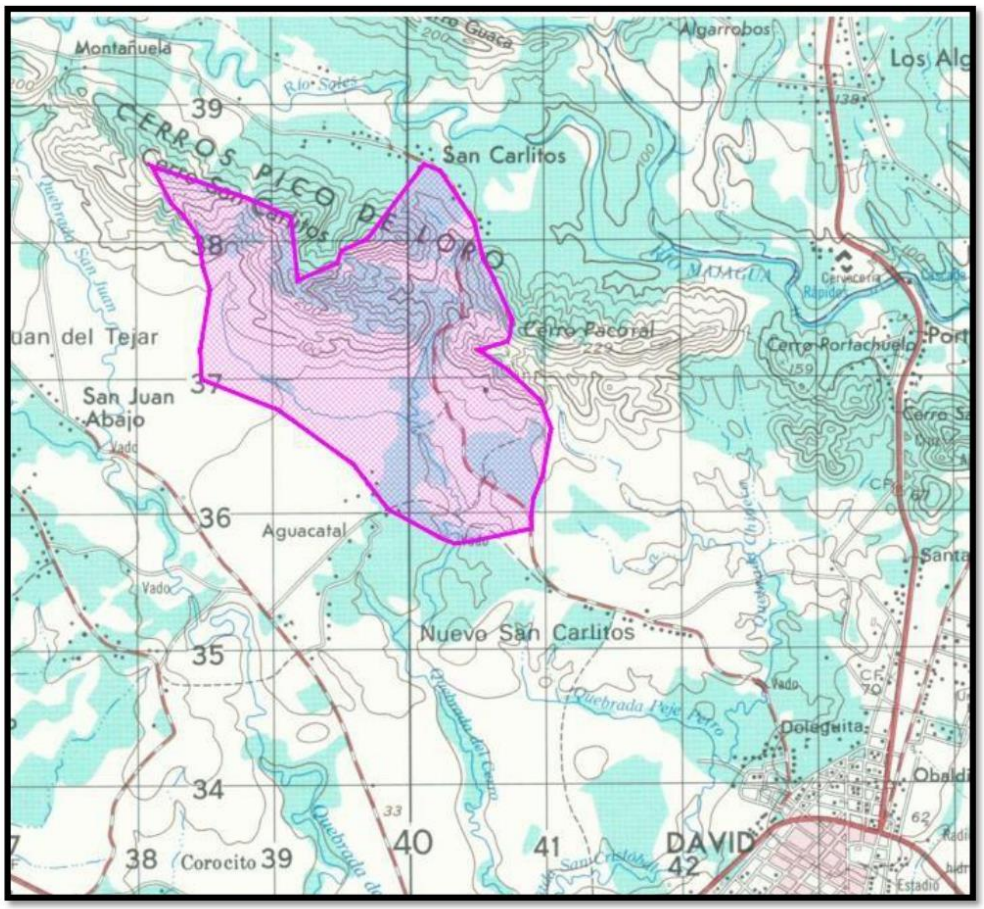


Figura No. 2
Delimitación de la Cuenca de la “Quebrada El Cerro”



Para el siguiente estudio se ha determinado que el área de drenaje de la cuenca según el tramo de análisis de la “Quebrada El Cerro” es de 441.40 hectáreas.

Para las áreas de drenaje menores de 250 has. deberá emplearse el método racional de crecidas y para áreas mayores de 250 has. se empleará la metodología desarrollada por el IRHE “Análisis

Regional de Crecidas Máximas", elaborado por el departamento de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A (ETESA) en septiembre de 2008.

- Se determina el área de drenaje de la cuenca del sitio de interés en Km^2.
- De acuerdo a la localización geográfica del recurso a analizar, se determina la zona a la que pertenece según la Región Hidrológicamente Homogénea (ETESA).
- Se calcula el caudal promedio máximo utilizando una de las cinco ecuaciones elaboradas por ETESA para este fin, en función de la Zona establecida.

Tabla 1. Ecuaciones y distribución de frecuencia por Zonas

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia
1	1	$Qmáx = 34A^{0.59}$	Tabla # 1
2	1	$Qmáx = 34A^{0.59}$	Tabla # 3
3	2	$Qmáx = 25A^{0.59}$	Tabla # 1
4	2	$Qmáx = 25A^{0.59}$	Tabla # 4
5	3	$Qmáx = 14A^{0.59}$	Tabla # 1
6	3	$Qmáx = 14A^{0.59}$	Tabla # 2
7	4	$Qmáx = 9A^{0.59}$	Tabla # 3
8	5	$Qmáx = 4.5A^{0.59}$	Tabla # 3
9	2	$Qmáx = 25A^{0.59}$	Tabla # 3

Fuente: Cuadro 7, "Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006"

- Se calcula el Qmax instantáneo para el periodo de retorno requerido, multiplicando el caudal antes obtenido por uno de los siguientes factores en función del sitio de estudio.

Tabla 2. Factores Qmáx./Qprom.máx para distintos Tr.

Factores Qmáx./ Qprom.máx para distintos Tr.				
Tr, años	*Tabla # 1*	*Tabla # 2*	*Tabla # 3*	*Tabla # 4*
1.005	0.28	0.29	0.3	0.34
1.05	0.43	0.44	0.45	0.49
1.25	0.62	0.63	0.64	0.67
2	0.92	0.93	0.92	0.93
5	1.36	1.35	1.32	1.30
10	1.66	1.64	1.6	1.55
20	1.96	1.94	1.88	1.78
50	2.37	2.32	2.24	2.10
100	2.68	2.64	2.53	2.33
1,000	3.81	3.71	3.53	3.14
10,000	5.05	5.48	4.6	4.00

Fuente: Cuadro 6, "Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006"

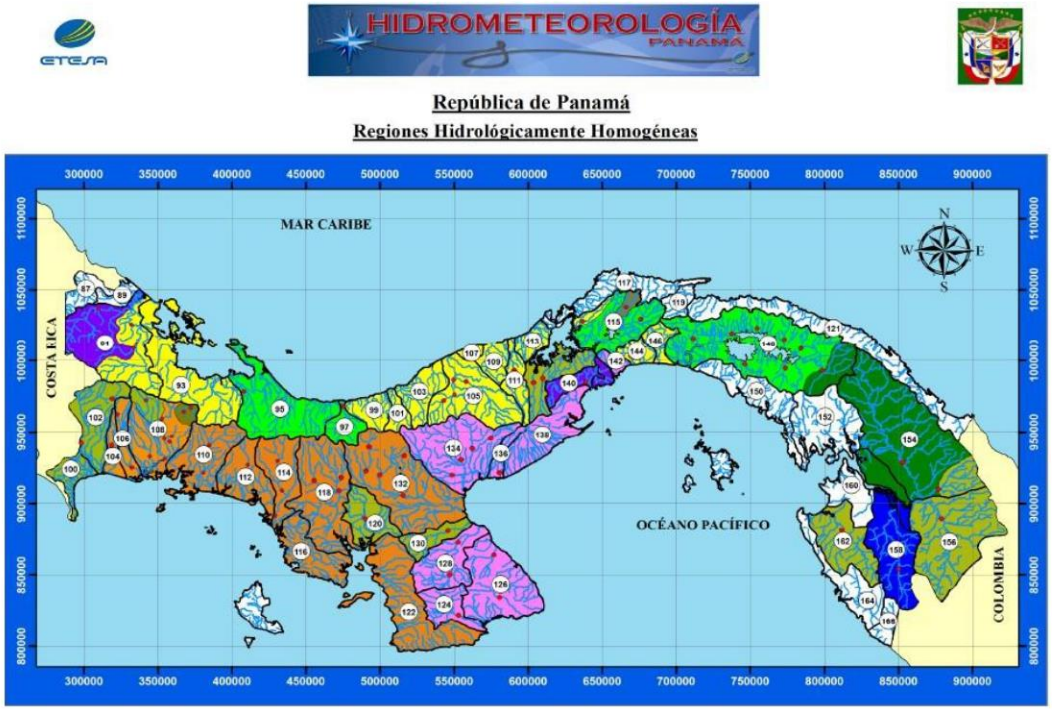
Para la zona de estudio, Zona 4, la tabla de distribución de frecuencias que relaciona los caudales máximo y promedio para distintos periodos de retorno es la Tabla # 4.

Para el cálculo del caudal promedio se aplica la Ecuación 2, dada por la siguiente expresión:

$$\mathbf{Q = 25 \times A^{0,59}}$$

Siendo A el área de drenaje hasta el punto de control, en km^2.

Se adjunta a continuación el plano elaborado por ETESA para la determinación de las áreas hidrológicamente homogéneas, en el que se determina que el área del Proyecto queda incluida dentro de la Zona 4.



Fuente: Figura 73, “Resumen Técnico Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá Periodo 1971-2006”

El período de retorno a utilizar depende del tipo de estructura, Para efectos de este estudio se utilizó 1:50 años.

La obtención de la elevación de la lámina de agua realiza mediante la ecuación de Manning:

$$Q = S \times v = S \times \frac{1}{n} \times R_H^{2/3} \times I^{1/2}$$

donde:

S: Sección (m^2)

V: velocidad media del agua (m/s)

n: Coeficiente de Manning

R_h: Radio hidráulico (m)

I: Pendiente de la línea de agua (m/m)

En la siguiente tabla se pueden apreciar los valores de n de Manning para cauces naturales.

a) Canales sin vegetación	
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0,016
Sección transversal uniforme, alineación regular, sin guijarros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0,018
Sección transversal uniforme, alineación regular, con pocos guijarros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0,020
Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierba fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, y también en canales recién limpiados y rastrillados	0,0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orillas irregulares o vegetación	0,025
Sección transversal y alineación irregulares, rocas dispersas y grava suelta en el fondo, o con considerable vegetación en los márgenes inclinados, o en un material de grava de hasta 150 mm de diámetro	0,030
Canales irregulares erosionados, o canales abiertos en la roca	0,030
(b) Canales con vegetación	
Gramíneas cortas (50-150 mm)	0,030-0,060
Gramíneas medias (150-250 mm)	0,030-0,085
Gramíneas largas (250-600 mm)	0,040-0,150
(c) Canales de corriente natural	
Limpios y rectos	0,025-0,030
Sinuosos, con embalses y bajos	0,033-0,040
Con muchas hierbas altas, sinuosos	0,075-0,150

El final de todo esto está enfocado en asegurar que los sistemas existentes o cauces naturales tengan capacidad hidráulica suficiente que garantice el buen funcionamiento de los mismo, de lo contrario deberán hacerse las modificaciones necesarias para conseguir la capacidad necesaria.

CAUDAL DE CÁLCULO PARA UNA CRECIDA MÁXIMA CORRESPONDIENTE AL PERIODO DE RETORNO T=50 AÑOS

Datos de partida

A continuación, se adjuntan los datos de partida para el cálculo del caudal de avenida empleando el Método de Lavalin:

Datos de partida.

Quebrada eEl Cerro
Periodo de Retonro 1 en 50años

Area de drenaje	*4.4140km2*
Q*prom_max*	*60.03m3/seg*

Formulas utilizadas

Qprom_max *25*A ^0.59* *Zona 4*

$$Factor = \frac{Qmax}{Qprom_max}$$

Tabla 4

Para Tr = 50 años *Factor = 2.10*

Q *max= 126.06m3/seg*

4. EL MODELO HEC-RAS

Antes de realizar una presentación básica del modelo hidráulico HEC-RAS, se considera oportuno hacer ciertos comentarios de su predecesor, el modelo HEC-2. El modelo HEC-2 fue desarrollado en los años 70 por el Hydrologic Engineering Center en los Estados Unidos (Hoggan, 1997). El programa se diseña para calcular los perfiles superficiales del agua para flujo permanente, gradualmente variado en canales naturales (ríos) o artificiales. El proceso computacional se basa en la solución de la ecuación unidimensional de la energía utilizando el método estándar de paso. Entre sus usos, el programa se puede aplicar para delinear zonas de altoriesgo de inundaciones. El modelo también se puede utilizar para evaluar los efectos sobre los perfiles de la superficie del agua como resultados de mejoras y construcción de diques en canales. Además, es útil para simular estructuras como puentes y alcantarillas.

El objetivo principal del programa HEC-2 es simplemente calcular las elevaciones de la superficie del agua en todas la localizaciones de interés para los valores dados de flujo. Los requisitos de los datos incluyen en régimen del flujo, la elevación, la descarga, los coeficientesde pérdidas, la geometría de las secciones transversales, y la separación entre secciones adyacentes.

Siguiendo con los conceptos planteados en el modelo HEC-2 para la determinación de perfiles de la superficie de agua, el USACE (Army Corps of Engineers os the United Sates) desarrolló un Sistema de Análisis de Ríos, conocido como HEC-RAS. (1995, 2000). El modelo HEC-RAS es muy idéntico al modelo HEC-2, con pocos cambios menores. Los Objetivos, metas y resultados de los programas son los mismos. La gran mejora es la adición del poder gráfico al usuario (GUI). El GUI es un sistema de Windows que permite al usuario entrar, editar, y desplegar datos y gráficas en un formato de lectura fácil. Esta capacidad facilita al modelador una mejor visualización del río y su condición. Hasta permite imprimir la geometría del río en tres dimensiones.

En adición a las mejoras gráficas encontradas en HEC-RAS, muchas otras mejoras han sido hechas. HEC-2 está limitado para correr en condiciones de flujo subcrítico o supercrítico. HEC-RAS es capaz de operar con un régimen de condición mixta. HEC-RAS también incluye la

habilidad de modelar dentro de esclusas, compuertas, múltiples alcantarillas y tuene un nuevo método para evaluar el efecto de las columnas en puentes.

ECUACIÓN DEL FLUJO GRADUALMENTE VARIADO

Cuando el flujo en un canal o una corriente abierta encuentra un cambio de pendiente del fondo o cambio en la sección transversal, la profundidad de flujo puede cambiar gradualmente. Tal condición de flujo donde la profundidad y velocidad pueden cambiar a lo largo del canal se debe analizar numéricamente. La ecuación de la energía se aplica a un volumen de control diferenciado, y la ecuación que resulta relaciona el cambio en la profundidad con la distancia a lolargo de la trayectoria del flujo. Una solución es posible si uno asume que la perdida principal encada sección es igual a la del flujo normal con la misma velocidad y profundidad de la sección. Así, un problema de flujo no uniforme es aproximado por una serie de segmentos uniformes dela corriente del flujo.

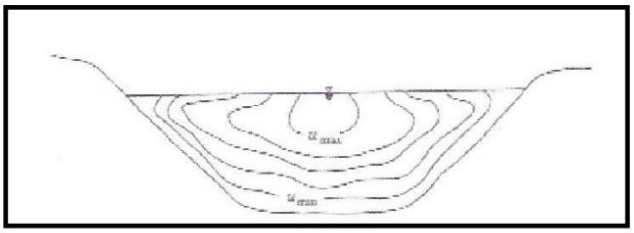
La energía total de una sección dada del canal puede ser escrita como,

$$H = z + y + \frac{\alpha V^2}{2g} \qquad (1)$$

donde está “z+y”, es la cabeza potencial de la energía sobre un datum y la capacidad cinética de la energía es representada por el término que contiene la velocidad promedio en la sección. El valor de α se extiende de 1.05 a 1.36.

Figura No. 6

Distribuciones típicas de la velocidad en un canal abierto



Para la mayoría de los canales “α” es una indicación de la distribución de la velocidad a través de la sección transversal. Este se define como el coeficiente de la energía,

$$\alpha = \sum_i \frac{v_i \Delta A}{V^3 A} \qquad (2)$$

v_i es la velocidad en la sección ΔA y V es la velocidad promedio en la sección transversal. En muchos casos, el valor de α se asume de 1.0 (**Figura No. 6**), pero debe ser estimado para las corrientes o ríos en donde la variación de la velocidad puede ser grande.

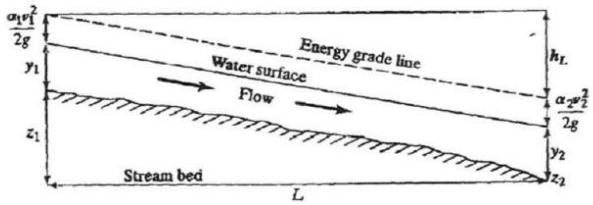
La ecuación de la energía para el flujo permanente entre dos secciones, 1 y2 (**Figura No.7)**, separadas por una distancia L se convierte en,

$$z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_L, \qquad (3)$$

Donde h_L es la pérdida principal de la sección 1 a la sección 2. Si asumimos que α=1, z_1-z_2=S_0L, y h_L=SL, la ecuación de la energía se convierte en,

Figura No. 7

Ecuación de la energía del flujo no uniforme.



$$z_1 + y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_L$$
$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + (S - S_0)L. \qquad (4)$$

La pendiente de la energía se determina con la ecuación (5), utilizando la ecuación de Manning (unidades pie-s) y solucionando para S, tenemos

$$S = \left(\frac{nV_m}{1.49R_m^{2/3}} \right)^2 \qquad (5)$$

donde el subíndice m refiere a un valor medio. Si diferenciamos la ecuación (1) con respecto a x, la distancia a lo largo del canal, la tasa de cambio de la energía será entonces,

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{2g}\frac{d(V^2)}{dx} \qquad (6)$$

La ecuación (7) describe la variación de la energía total para los flujos que varían gradualmente. Los términos S_0 y S pueden ser substituidos de las ecuaciones anteriores. La pendiente del perfil de la superficie del agua depende si el flujo es suscritico o supercrítico. Al utilizar V= q / y (sección rectangular), y asumiendo que α=1, la ecuación (6) se transforma en,

$$\frac{1}{2g}\frac{d}{dx}(V^2) = \frac{1}{2g}\frac{d}{dx}\left(\frac{q^2}{y^2}\right) = -\left(\frac{q^2}{g}\right)\frac{1}{y^3}\frac{dy}{dx} \qquad (7)$$

Así

$$-S = -S_0 + \frac{dy}{dx}\left(1 - \frac{q^2}{gy^3}\right) \qquad (8)$$

Si incluimos la definición del número de Forude (Fr), entonces la pendiente de la superficie del agua para una sección rectangular se puede escribir como,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S}{1 - (V^2/gy)} = \frac{S_0 - S}{1 - Fr^2} \qquad (9)$$

Además, del levantamiento topográfico se visitó el área para identificar los coeficientes de Manning (n), que se deben utilizar en el modelo HEC-RAS en la simulación.

La selección del coeficiente "n" de rugosidad de Manning, se basa generalmente en **"el mejor juicio de la ingeniería"**; **o en valores establecidos por ordenanzas municipales de diseño**. Varias tablas están disponibles en la literatura general para la selección del coeficiente derugosidad de Manning para un particular canal abierto. Para nuestro análisis se toman los valores recomendados por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) (**Ver Tabla No.1 "Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parámetros recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales de acuerdo a lo exigido en el Ministerio de Obras Públicas" , Segunda Edición, 2003).**

Tabla No. 1

Valores del coeficiente de rugosidad (n) en la fórmula de Manning recomendados por el MOP

CANALES	
"n"	
0.012	Para Canales de Matacán repellado.
0.015	Para Canales de Matacán Liso sin Repellar
0.020	Para Canales de Matacán Liso y Fondo de Tierra.
0.025	Para Cauce de tierra lisa con Vegetación Rasante.
0.030	Para Cauce de tierra con Vegetación normal, lodo con escombro o irregular a causa de erosión.
0.035	Excavaciones Naturales, cubiertas de escombros con vegetación.
0.020	Excavaciones Naturales de trazado sinuoso.

Coeficiente Utilizado 0.025

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON EL MODELO HEC-RAS

A continuación se presentan los análisis y resultados obtenidos del análisis hidráulico realizado a partir del modelo HEC-RAS, considerando los parámetros y consideraciones antes mencionadas.

La simulación se realizó considerando un flujo permanente para un periodo de retorno de 50 años.

La **Figura No.8** muestra la configuración diseñada con el modelo HEC-RAS de la “Quebrada El Cerro”.

Figura No. 8
Configuración de la “Quebrada el Cerro” con el modelo HEC-RAS

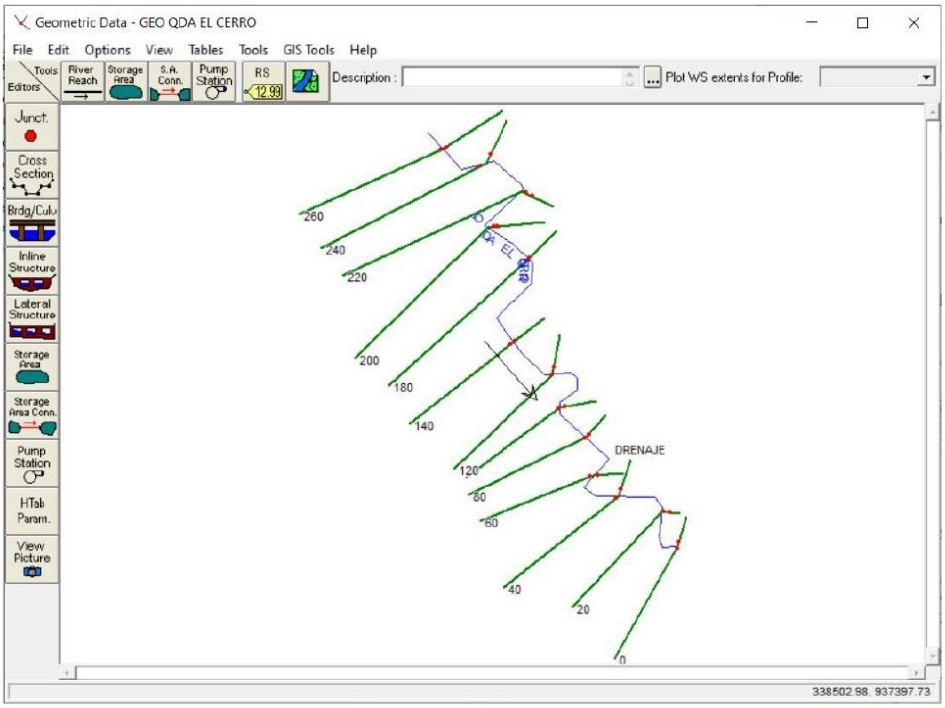
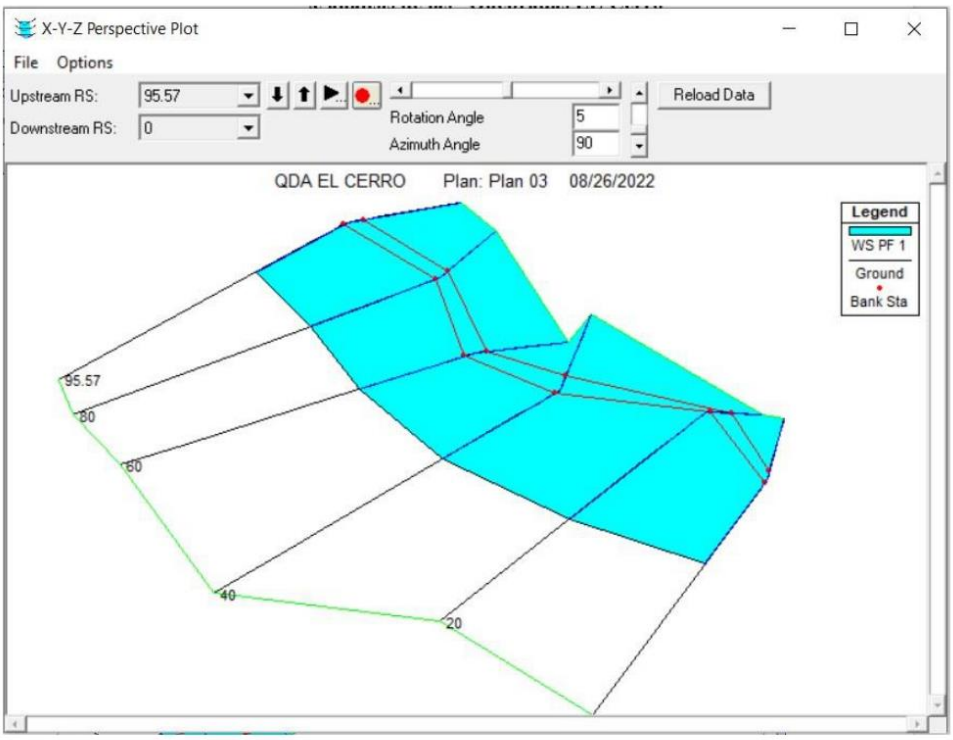
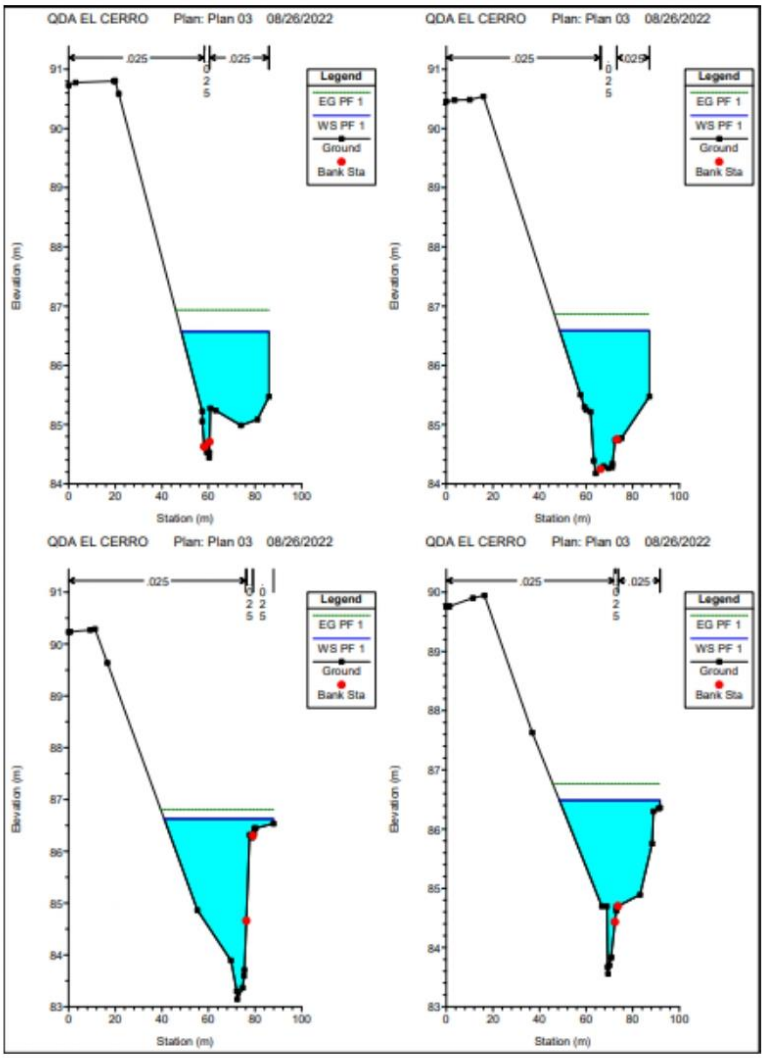


Figura No. 10

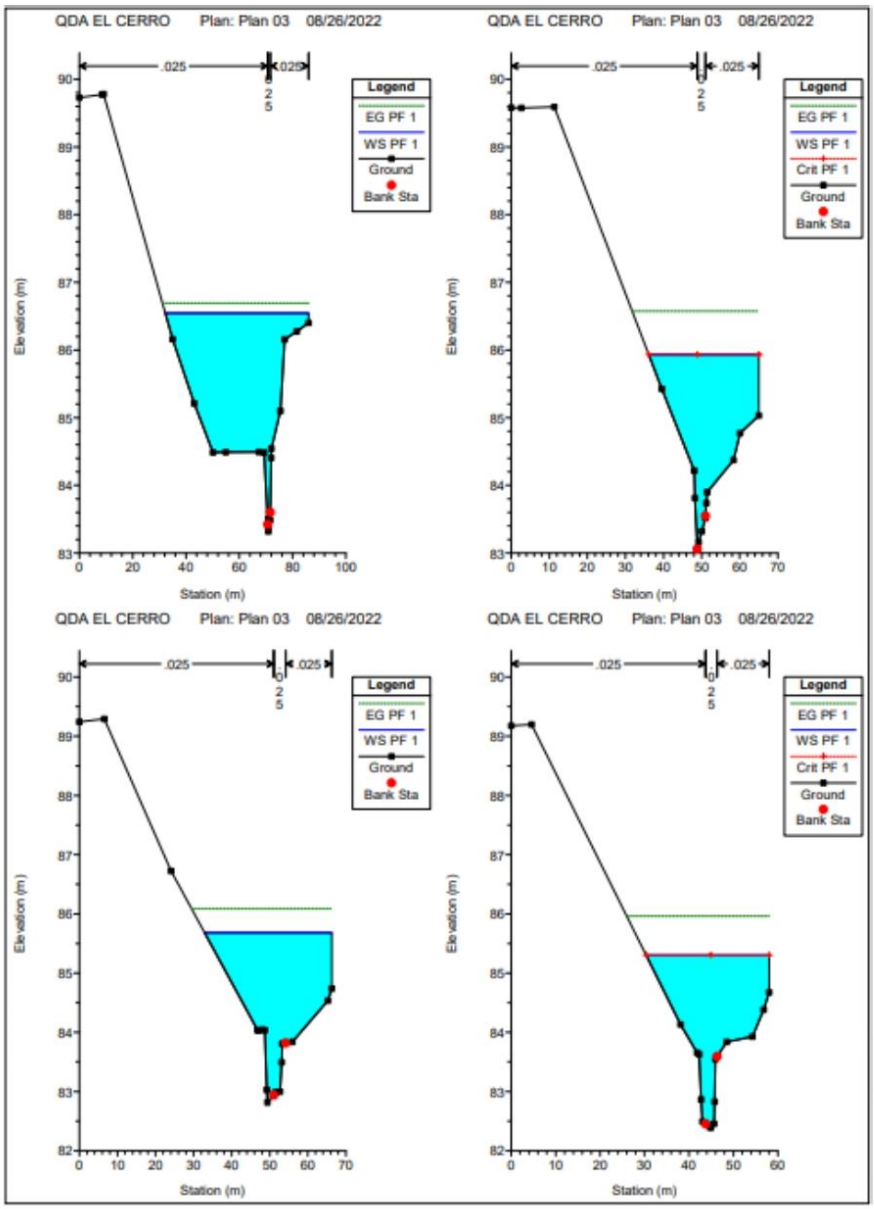
Vista en 3D de los tramos de análisis de las “Quebradas EL Cerro”



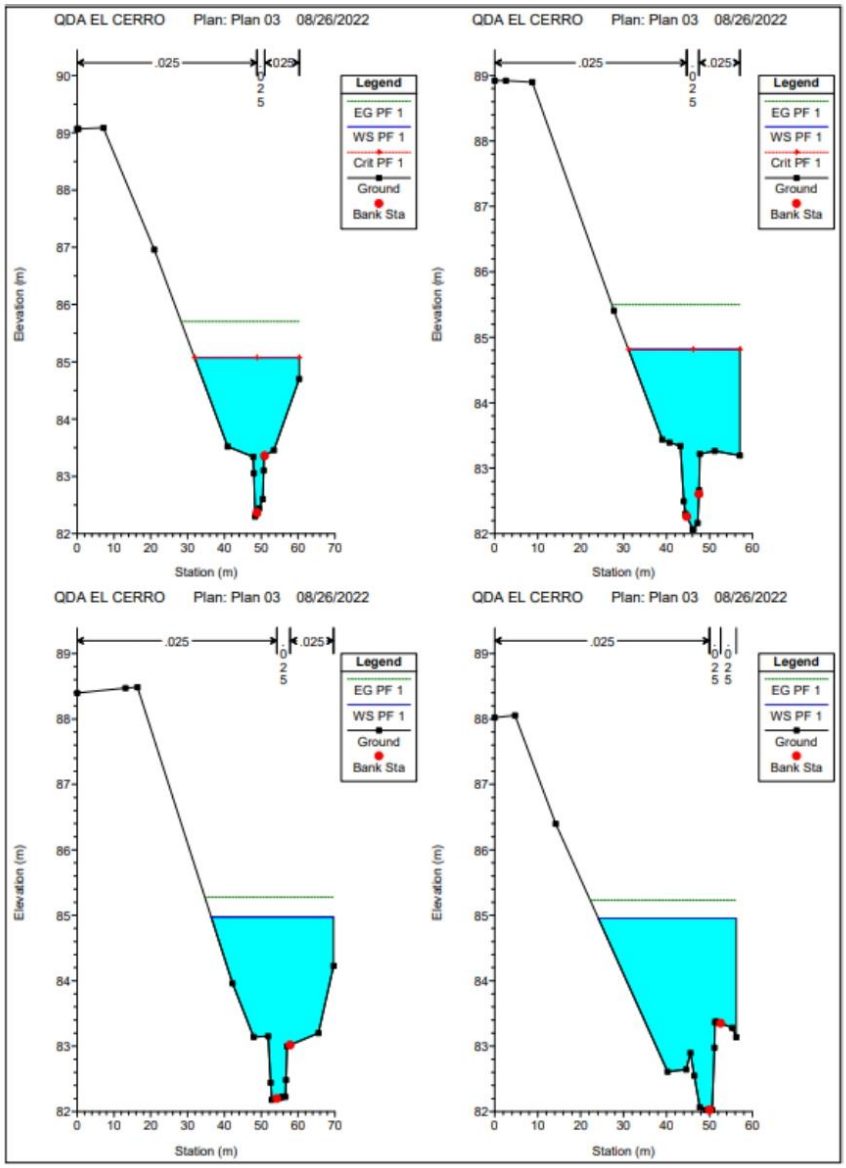
Estación 0+260.00 a Estación 0+200.00



Estación 0+180.00 a Estación 0+100.00



Estación 0+080.00 a Estación 0+020.00



Estación 0+000.00

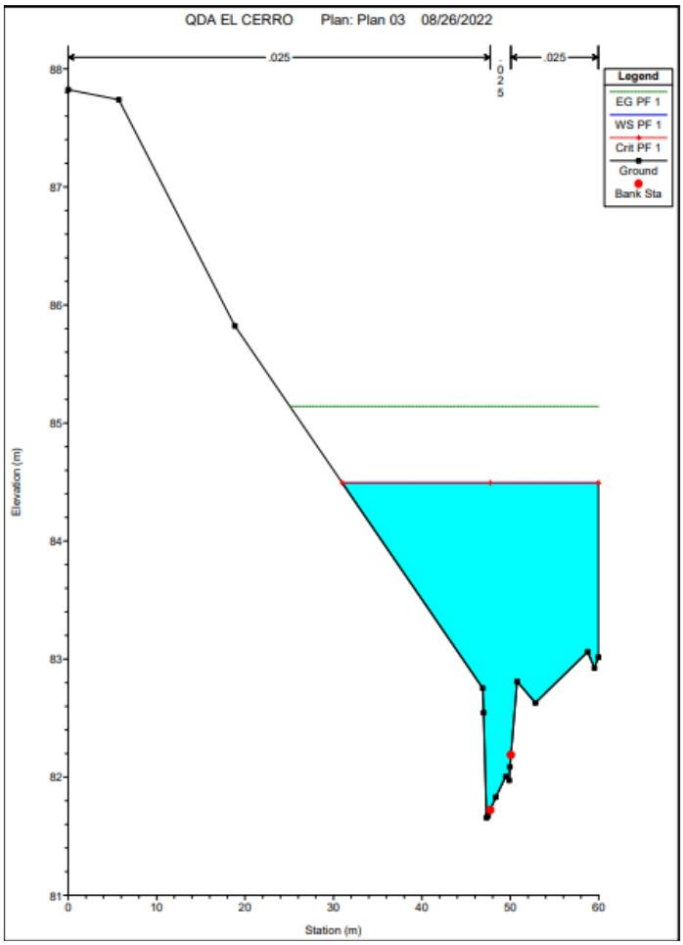


Tabla No. 2

Cuadro con los resultados del tramo de análisis de la “Quebrada El Cerro”

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
DRENAJE	260	PF 1	126.06	84.44	86.57		86.93	0.002935	3.34	48.81	37.63	0.75
DRENAJE	240	PF 1	126.06	84.25	86.58		86.87	0.001824	2.88	56.44	38.54	0.62
DRENAJE	220	PF 1	126.06	84.66	86.63		86.81	0.001011	0.89	68.80	46.94	0.33
DRENAJE	200	PF 1	126.06	84.43	86.49		86.77	0.002610	3.02	54.07	43.20	0.71
DRENAJE	180	PF 1	126.06	83.32	86.54		86.69	0.001020	2.21	75.95	53.81	0.40
DRENAJE	140	PF 1	126.06	83.06	85.93	85.93	86.57	0.004340	4.92	38.74	28.92	0.97
DRENAJE	120	PF 1	126.06	82.94	85.68		86.09	0.003028	3.60	46.63	33.43	0.74
DRENAJE	95.57	PF 1	126.06	82.39	85.30	85.30	85.96	0.005318	4.63	36.65	27.70	0.91
DRENAJE	80	PF 1	126.06	82.36	85.08	85.08	85.70	0.005316	4.59	37.05	28.45	0.94
DRENAJE	60	PF 1	126.06	82.06	84.82	84.82	85.50	0.004565	4.88	37.31	25.96	0.96
DRENAJE	40	PF 1	126.06	82.20	84.97		85.28	0.001946	3.04	53.17	33.28	0.61
DRENAJE	20	PF 1	126.06	82.02	84.95		85.23	0.001818	2.31	54.60	32.09	0.51
DRENAJE	0	PF 1	126.06	81.72	84.49	84.49	85.14	0.004487	4.88	38.64	28.97	0.97

Total flow in cross section.

QUEBRADA	ESTACION	Q (50 Años)	Nivel Fondo Qda	NAME (T)	NST	Diferencia
		(m3/S)	(m)	(m)	(m)	Fondo-NST
El Cerro	0+260	126.06	84.44	86.57	88.07	3.63
El Cerro	0+240	126.06	84.25	86.58	88.08	3.83
El Cerro	0+220	126.06	84.66	86.63	88.13	3.47
El Cerro	0+200	126.06	84.43	86.49	87.99	3.56
El Cerro	0+180	126.06	83.32	86.54	88.04	4.72
El Cerro	0+140	126.06	83.06	85.93	87.43	4.37
El Cerro	0+120	126.06	82.94	85.68	87.18	4.24
El Cerro	0+100	126.06	82.39	85.3	86.80	4.41
El Cerro	0+080	126.06	82.36	85.08	86.58	4.22
El Cerro	0+060	126.06	82.06	84.82	86.32	4.26
El Cerro	0+040	126.06	82.20	84.97	86.47	4.27
El Cerro	0+020	126.06	82.02	84.95	86.45	4.43
El Cerro	0+020	126.06	81.72	84.49	85.99	4.27

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en el desarrollo de este estudio podemos llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Se estimó, que en el punto de análisis de este estudio drena una cuenca con una superficie de 440 has, y mediante el método establecido el manual de crecidas máximas (Lavalin) se determinó que el caudal que transitará en el punto de análisis es de 126.06 m^3/s.
- Se ha estimado que los niveles seguros de terracería para el proyecto deben estar por encima de los 4.72 metros medidos desde el fondo de las “Quebradas El Cerro”, estos niveles fueron considerados para una lluvia con un periodo de retorno de 1 en 50 años. Es decir, los niveles adecuados de terracería estarán entre las cotas 85.99 m y 88.13 m para el sector que colinda con ella Quebrada El Cerro” (Ver tablas No.2)
- El modelo HEC-RAS simula adecuadamente el tránsito de los caudales de diseño de las “Quebrada El Cerro” para el periodo de retorno de 50 años.
- Se recomienda construir por arriba de los niveles establecidos en el punto anterior para evitar inundaciones en la zona.
- Se recomienda realizar jornadas de limpieza del cauce de forma periódica para garantizar un flujo adecuado y mitigar posible aumento del nivel de aguas máximas extraordinario.