



INFORME

Fecha: 6 de septiembre de 2021

Para: Ministerio de Ambiente

De: Celsia – Alternegy, S.A.

Asunto: Respuesta a nota DEIA-DEEIA-AC-0123-0608-2021

Copia(s):

El presente informe tiene como objetivo presentar las respuestas para cada uno de los puntos indicados en la nota en asunto.

1. En la solicitud de modificación se indica " ... consiste en el cambio de los siguientes compromisos ambientales adquiridos mediante Resolución de aprobación DINEORA-IA- 099-2006, Resolución AG-0805-2010 y Foro Público: ... Resolución AG-0805-2010, Artículo 4, Numeral 3. El promotor del proyecto deberá hacer una modelación después de la presa para determinar las zonas de inundación para una máxima crecida 1: 10,000 años, con el resultado de esta modelación el promotor en conjunto con el Municipio, ANAM y SINAPROC, delimitaran la zona y el promotor instalara un sistema de aviso para estos eventos externos: deberá poner carteles de aviso para que esta zona de inundación no sea invalidada por personas"; sin embargo, no se presenta justificación para la modificación de dicho numeral. Por lo antes indicado, se solicita:
 - a) **Presentar sustento que justifique la modificación del numeral 3 del artículo 4 de la resolución AG-0805-2010**

Respuesta:

La solicitud de modificación, tal como se indica en el documento presentado, consiste en eliminar el tema de demarcación en sitio de la cota de inundación que arrojó el el modelo de simulación



INFORME

1:10,000 años (Anexo 1) y en su reemplazo proporcionar a las autoridades dicho documento para que se tomé en cuenta para futuros desarrollos de planes de zonificación en el distrito. Lo anterior se basa en que por ser modelo cuyo lapso de tiempo es superior a lo normalmente establecidos en nuestras legislaciones, la probabilidad estimada de ocurrencia es de 0.01% en una año cualquiera (ver opinión del experto en anexo 2), una señalización en sitio en este momento podría generar:

- Conflictos sociales con los dueños de finca, ya que una demarcación en físico podría desvalorizar sus propiedades.
- Confusión en la población, ya que no comprenderían que se trata de un escenario en 10,000 años y que existen variables que se pueden alterar en este lapso.

Aportamos como sustento a esta consulta.

- Anexo1 – Modelación hidrológica e hidráulica 1:10,000 años
- Anexo2 – Análisis del experto

2. En la solicitud de modificación se presenta Informe con fecha de 18 de febrero de 2020 dirigido a la Comunidad El Valle, que indica "... dentro del Estudio de Impacto Ambiental aprobado para la Central Hidroeléctrica Prudencia, existe un compromiso social definido como se dotará de comedores escolares las escuelas cercanas al proyecto", mientras que en la página 398 del EsIA, punto G.4. Forma de participación de la comunidad, se indica " ... entre los principales elementos de involucramiento de la comunidad en el proyecto que se contemplan como estrategia de relación comunitaria están dos aspectos básicos que tienen influencia directa en ésta:



INFORME

- Dentro de las conversaciones pensando en la generación de algún beneficio para la comunidad se han manifestado ideas tales como ayuda en alimentos y enceres para los comedores de los centros de enseñanza de la región y modernización y asistencia al Centro de Salud de la zona". Debido a lo antes señalado se requiere:

a) Indicar la sección del EsIA donde se indica el compromiso de que se dotará de comedores escolares las escuelas cercanas al proyecto.

Respuesta:

En efecto, el compromiso no se encuentra taxativo en el Estudio de Impacto Ambiental, tal como lo indicamos en el documento presentado es una medida que surgió del Informe de Foro Público que emitió el Ministerio de Ambiente durante el proceso de evaluación y que la empresa ha incorporado dentro de su plan de gestión social desde la fase de construcción.

Se incluye **Anexo 2 Informe de Foro Público**, donde se puede evidenciar este compromiso.



INFORME

ANEXO 1 - MODELO HIDROLOGICO 1:10,000 AÑOS

CELSIA

INFORME DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA PARA LA CRECIDA DECAMILENARIA (1:10000 AÑOS) CENTRAL HIDROELÉCTRICA PRUDENCIA 2019



Proyecto: ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN DURANTE EMERGENCIAS (PADE) DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PRUDENCIA

CONTRATACIÓN DE SERVICIOS SP: 1000015780

Revisión 4: 11 de marzo de 2019

Realizado por:

JACUM Enterprises S.A.

Cuadro de Contenido

LISTA DE CUADROS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivo General	1
1.3. Objetivos Específicos	1
2. CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ	1
3. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PRUDENCIA.....	4
4. MODELACIÓN HIDRÁULICA	10
4.1. Modelación Hidráulica para determinar los perfiles de agua.....	11
4.2. Requerimientos del Modelo HEC-Ras:	12
4.3. Coeficientes de Rugosidad de Manning	12
4.4. Hidrogramas Usados para Alimentar el Modelo:.....	13
5. ENSAMBLADO DEL MODELO HEC-RAS PARA LOS ESCENARIOS DE LA PRESA EL CORRO.....	14
5.1. Módulo Hidrodinámico o no permanente para la Crecida Decamilenaria sobre la Presa El Corro	15
5.2. Módulo Hidrodinámico o no permanente para la estimación del rompimiento de presa El Corro	15
5.2.1. Características de la brecha y estimación de los parámetros iniciales de rompimiento:.....	15
5.3. Integración del Embalse El Corro al modelo de rompimiento de Presa	17
5.4. Volúmenes de Agua del Embalse para la presa El Corro	18
5.5. Corrida del Modelo HEC-Ras	20
5.6. Problemas Encontrados:	22
6. MODELACION DE ROMPIMIENTO DE PRESA EL CORRO:.....	22
6.1. Criterios para el diseño de la brecha:	22
7. ESCENARIO ANALIZADO DE LA CRECIDA DECAMILENARIA	24
8. RESULTADOS DE LA CRECIDA DECAMILENARIA:	25
9. CONCLUSIONES:	31
10. RECOMENDACIONES:	32
11. BIBLIOGRAFÍA	34

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1. Ubicación de las estructuras que conforman la CH Prudencia.....	3
Cuadro N° 2. Características del Equipo Electromecánico.....	9
Cuadro N° 3. Secciones Transversales del Complejo Hidroeléctrico Prudencia.....	12
Cuadro N° 4. Hidrogramas de crecidas hasta el área de drenaje del sitio de presa El Corro.....	14
Cuadro N° 5. Datos de Elevación, Área y Volumen almacenado para el embalse El Corro.....	22
Cuadro N° 6. Rangos de valores para las características de la brecha a modelar.....	23
Cuadro N° 7 Superficie de Drenaje, Precipitación promedio, caudal promedio multianual y sección transversal que corresponde a los ríos Cochea y Chiriquí en el modelo del HEC-RAS.....	24
Cuadro N° 8. Salida de la Crecida Decamilenaria para un periodo de retorno 1 en 100 años.....	27

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1. Superficie de drenaje de la Cuenca 108 del río Chiriquí	2
Figura N° 2. Vista Frontal de Presa El Corro	5
Figura N° 3. Vista Frontal del Embalse El Corro.....	5
Figura N° 4. Descarga del río Papayal y Cochea en el vertedero libre.....	6
Figura N° 5. Vista de la limpieza ya mantenimiento del pasto sobre los diques y canales	17
Figura N° 6. Esquemático de modelación hidráulica del Río Cochea y Chiriquí.....	10
Figura N° 7. Modelo de rompimiento de la Presa El Corro en condición de Crecida Decamilenaria usando HEC-RAS.....	17
Figura N° 8. Embalse El Corro integrado al modelo de rompimiento de Presa El Corro	18
Figura N° 9. Esquema inicial del modelo de la Presa El Corro con el Río Cochea y Chiriquí montado en el programa HEC-RAS..	21
Figura N° 10. Sección transversal del rompimiento de la Presa El Corro en Condición de Crecida Decamilenaria.....	25
Figura N° 11. Hidrograma de Salida de la Crecida Decamilenaria sobre la Presa El Corro	25
Figura N° 12. Perfil de Salida del tránsito de avenidas de la Crecida Decamilenaria en los cauces de los Ríos Cochea y Chiriquí.....	26

1. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

En septiembre 2009, la Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP) sometió la propuesta para aprobar las Normas de la Seguridad de las Presas del sector eléctrico a una Audiencia Pública. Luego del período de revisión, se hizo oficial la normativa mediante la resolución AN N°3932 – Elec, en la gaceta oficial No 26657-A del 9 de noviembre de 2010, estableciéndose que las empresas concesionarias del servicio público de generación que a la fecha de expedición de la resolución se encontraran operando una presa y/o embalse, entreguen a la Autoridad Nacional de Los Servicios Públicos (ASEP) la adecuación del Plan de Acción Durante Emergencias (PADE) a las normas aprobadas, en un plazo no mayor de sesenta (60) días calendario, contados a partir de la vigencia de la resolución, la cual comenzara a regir el 9 de noviembre de 2011.

1.2. Objetivo General

Realizar las simulaciones necesarias para determinar las planicies de inundación y simular los perfiles de agua a largo del recorrido del río Cochea y río Chiriquí.

1.3. Objetivos Específicos

- Determinar los hidrogramas de rompimiento de presa y de apertura súbita de compuertas necesarios para realizar la modelación hidráulica de las planicies de inundación del río Cochea y Río Chiriquí aguas debajo de la Presa El Corro.
- Realizar la modelación hidráulica del río Cochea y Chiriquí con el programa HEC-RAS para los diferentes escenarios solicitados, aguas abajo de la Central Hidroeléctrica Prudencia e interpretar los resultados.

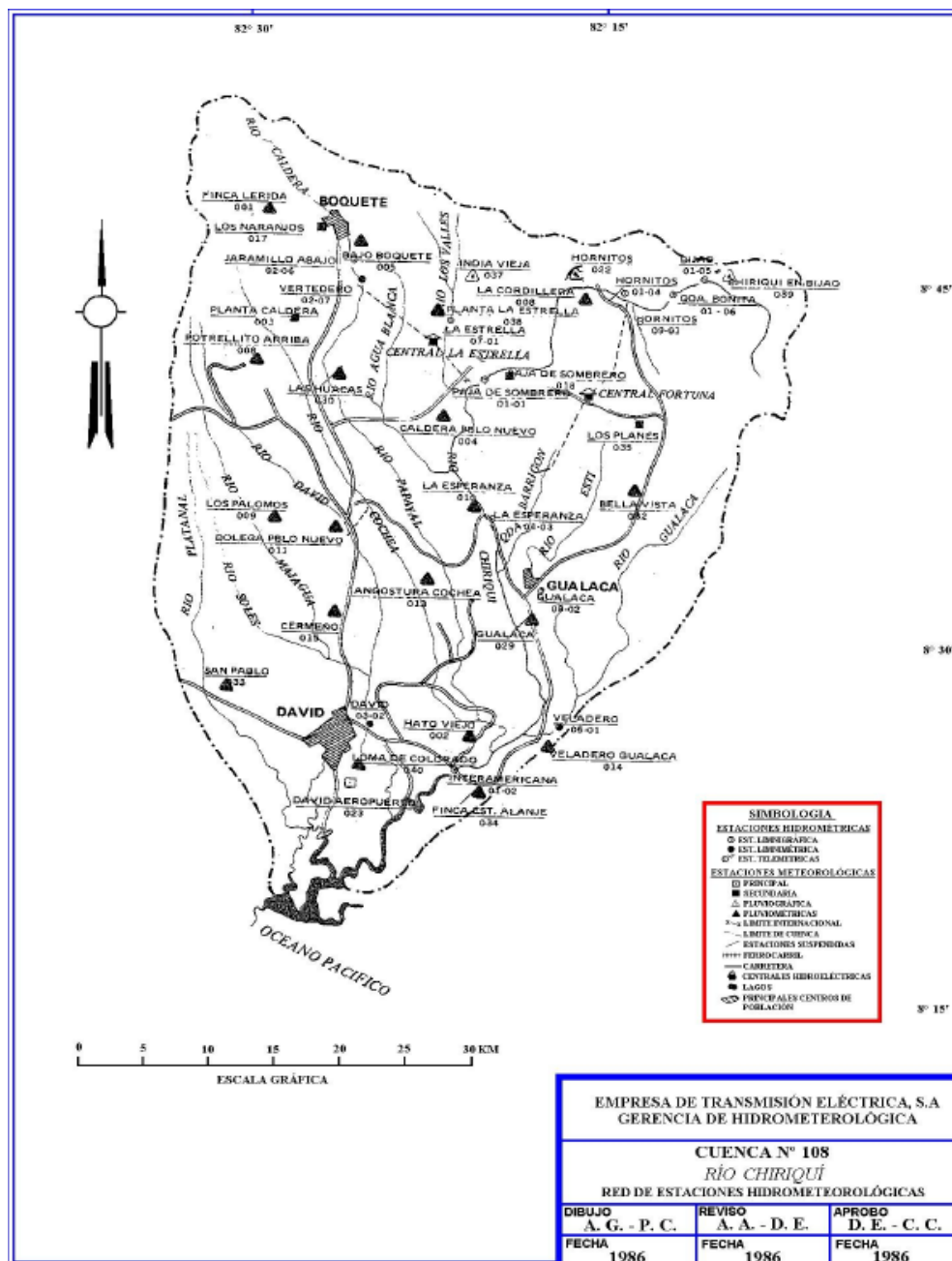
2. CUENCA DEL RÍO CHIRIQUÍ

La cuenca hidrográfica del río Chiriquí se encuentra localizada en la vertiente del Pacífico al este de la provincia de Chiriquí entre las coordenadas 8° 15' y 8° 53' de latitud norte y 82° 10' y 82° 33' de longitud oeste. La superficie total de la cuenca

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

hasta la desembocadura del mar es de 1995.9 km² y la longitud del río principal es de 130 km. La elevación media de la cuenca es de 270 msnm, y el punto más alto se localiza en el Volcán Barú, ubicado al noreste de la cuenca con una elevación de 3474 msnm. En la Figura N° 1 se presenta la superficie de drenaje de la Cuenca 108 del Río Chiriquí.

Figura N° 1. Superficie de drenaje de la Cuenca 108 del río Chiriquí.



Fuente: Gerencia de Hidrometeorología de ETESA.

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

El régimen de lluvia está influenciado por el régimen lluvioso de la vertiente del Pacífico, el cual se caracteriza por presentar dos temporadas bien definidas. La seca que por lo general va de mediados de diciembre a abril y la lluviosa de mediados de abril a diciembre. La distribución estacional de las lluvias de la cuenca del río Chiriquí, lo controla la ZCIT, sin embargo, los totales que ocurren en cualquier punto de la cuenca dependen de factores como la elevación, el relieve, la distancia a la cordillera, la exposición a los vientos predominantes, etc.

Dentro de la Cuenca se encuentra el Embalse El Corro, que fue formado por el represamiento del río Cochea, para la finalidad de generación hidroeléctrica. El embalse tiene una superficie del espejo de agua de aproximadamente 102 Hectáreas a una elevación de 45.00 msnm y se encuentra en el corregimiento de Las Lomas, Bijagual y Cochea, distrito de David, provincia de Chiriquí. A continuación se muestra la ubicación de las estructuras que conforman la Central Hidroeléctrica Prudencia. En el Cuadro N° 1 se muestra la ubicación de las estructuras que conforman la CH Prudencia

Cuadro N° 1 Ubicación de las estructuras que conforman la CH Prudencia

Coordenadas de las Estructuras de la CH Prudencia			
Nombre de la Estructura		Coordenadas WGS 84	
		Este	Norte
Presa		353909	933517
Canal de aducción	Inicio	353966	933355
	Final	352098	931523
Tubería Forzada		352069	931423
Casa de Máquina		352062	931400
Canal de Descarga		347834	927860

3. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PRUDENCIA

La Central Hidroeléctrica Prudencia está localizada aproximadamente a 10 Km al noreste de la Ciudad de David en el Corregimiento de Las Lomas, entre los poblados de El Valle y Zambrano, Distrito de David, , Provincia de Chiriquí.

Su capacidad instalada inicial es de 56.0 MW. En la actualidad, la Central incluye dos (2) turbinas Kaplan tipo “S”, con una capacidad de 28.0 MW. La capacidad de descarga de cada unidad es de 77.5 m³/s, aproximadamente, cuando la cota del embalse alcanza la El. 45.75 msnm.

La Central Hidroeléctrica Prudencia está formada por las siguientes estructuras:

- Obra de Contención
- Vertedero
- Toma Ecológica
- Canal de Aducción
- Cámara de Carga
- Tubería Forzada
- Casa de Máquinas
- Canal de Descarga de la Casa de Máquinas

2.1. Presa El Corro

La Presa El Corro, está ubicada a la entrada del canal de aducción, construida para utilizar las aguas turbinadas de la CH Lorena y aguas de los ríos Cochea y Papayal, es una presa de gravedad mixta (homogénea y espaldones de enrocado con núcleo impermeable de arcilla) en forma de arco, de 20.0 m de alto. Los taludes de aguas abajo y aguas arriba presentan inclinación 1V:2H. La corona de la presa se encuentra en la cota 48.50 msnm, la cual presenta un ancho de 7.0 metros. Sobre el estribo izquierdo se ha construido un vertedor libre de concreto y un vertedor controlado con compuerta. La Figura N° 2 presenta una sección de la presa El Corro. La Figura N° 3 presenta la planta de la presa El Corro.

Figura N° 2. Sección de la Presa El Corro.

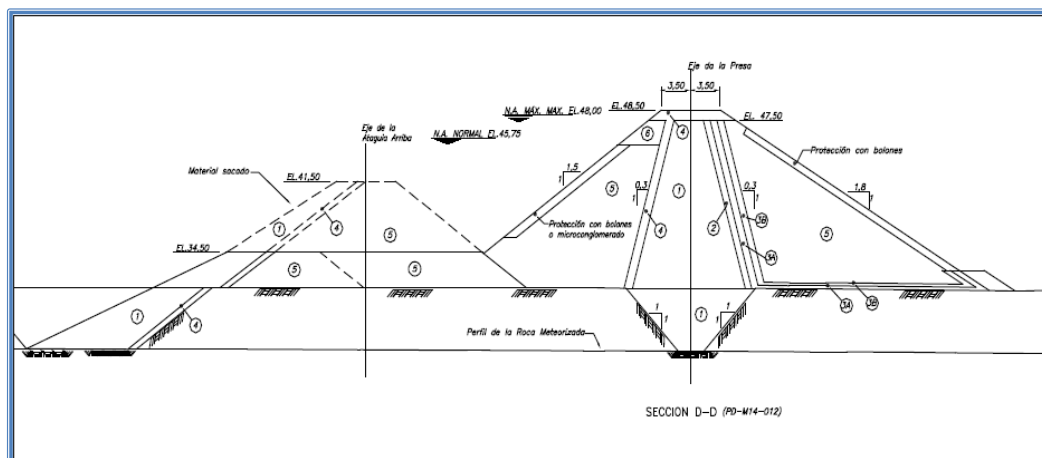
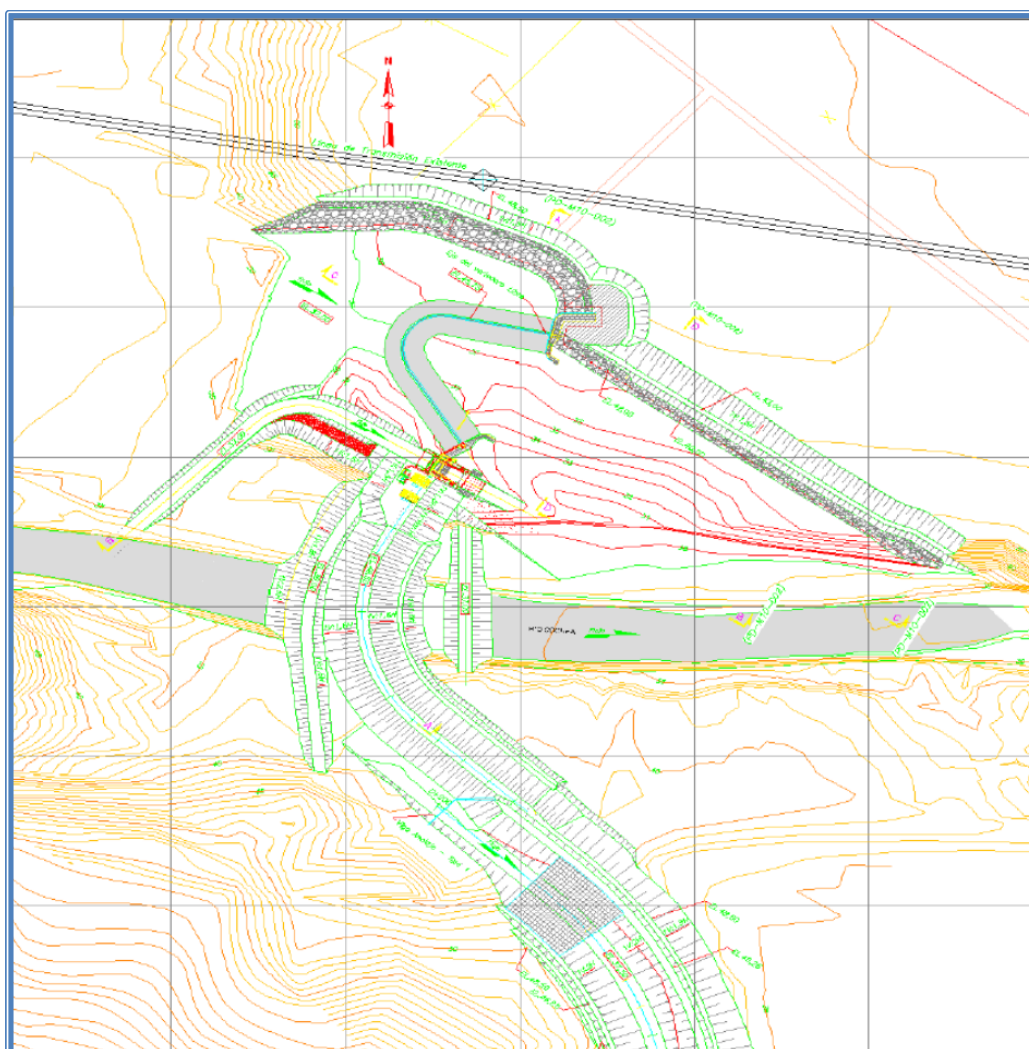


Figura N° 3. Vista en Planta de la Presa El Corro



2.2. Vertederos de la Presa El Corro

Para controlar los niveles del embalse y garantizar la seguridad de las estructuras hidráulicas, se han dispuestos dos vertederos de hormigón cuya capacidad de diseño alcanza los 1,804 m³/s. Los vertederos no solo regulan las aguas turbinadas provenientes de la central hidroeléctrica Lorena, sino también aquellas que llegan de los ríos Papayal y Cochea, ver Figura N° 4.

Figura N° 4. Vista del Vertedero Libre de la Presa El Corro.



El primero es un vertedero libre de concreto con forma de pico de pato. Tiene una longitud de 170.00 m. Se encargará de desalojar en mayor proporción la crecida diseño. El caudal de diseño es de 1,220 m³/s, y fue diseñado para una carga máxima de 2.25 m.

El segundo, es un vertedero controlado que maneja el resto de la avenida de diseño y cuyo caudal de diseño es de 584 m³/s. Este vertedero consiste en un conducto rectangular de 10 metros de ancho, provisto de una compuerta radial que funcionará para controlar los niveles del embalse y adicionalmente funcionará como desagüe de fondo. Para el mantenimiento del mecanismo de izaje de esta compuerta radial se cuenta con un tablero de cierre para aislar la zona al momento de los mantenimientos.

Para la operación de la presa se tienen a disposición, dos tipos de compuertas. En la entrada del conducto de desagüe de fondo se encuentran una compuerta plana provista de su viga pescadora y posterior a la misma se encuentra una compuerta radial.

2.3. Toma de caudal Ecológico

Esta estructura consiste en una toma con rejillas, una bocatoma abocinada y canal de conducción de tubería de acero, la cual está ubicada hacia el estribo derecho del vertedero libre. El caudal que transporta dicha estructura es de $2.10 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondiente al 10 % del caudal medio anual, con la finalidad de mantener las condiciones húmedas aguas abajo de la presa.

2.4. Canal de Aducción

Al igual que en la entrada del canal de aducción de la central Gualaca, en este punto se colocó un sistema de retención o barreras contra troncos y detritos tipo Tuffboom para retener los escombros que arrastran estos los ríos Cochea y Papayal, especialmente durante las crecidas que se producen por las lluvias. Estos escombros pueden dañar la geomembrana impermeable que recubre el canal de aducción y peor aún, si entran a las turbinas a través de la bocatoma, pueden generar severos daños a la maquinaria y las turbinas de la hidroeléctrica.

Los diques de sobreelevación y los canales de conducción están cubiertos por una capa vegetal sembrada específicamente para proteger esta estructura de la erosión que pudiera provocar la escorrentía superficial. Dicha vegetación recibe un mantenimiento regular para evitar que crezca excesivamente, ver Figura N° 5.

Figura N° 5. Vista de la limpieza y mantenimiento del pasto sobre los diques y canales



Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

En el margen derecho hay instalados pozos de medición del caudal que se infiltra a través de los diques. Estas mediciones regulares son de gran importancia porque un cambio en su patrón es indicativo de un mal funcionamiento de los diques y el canal.

El canal de aducción de la central Prudencia se diseñó y construyó en forma trapezoidal con taludes 2H:1V y un ancho en el fondo de 11.00 metros. La cota inferior del canal se encuentra a una elevación de 37.50 metros mientras que el nivel superior del canal (elevación máxima del agua) se diseñó a una cota de 46.25 metros. El diseño del canal incluye una sobreelevación mínima de 2.25 metros sobre el nivel superior del canal para evitar desbordamientos. En aquellos puntos donde el nivel del terreno natural era inferior a la elevación superior del canal, esta sobreelevación se logró mediante la construcción de un dique de material impermeable con taludes de 1.5H:1V separados del borde del canal aproximadamente 5.00 metros. La longitud total de este canal es de aproximadamente 2,900 metros.

En algunos lugares a lo largo del alineamiento, el terreno natural hacia el margen derecho estaba limitado por pequeños cerros, y allí las laderas se excavaron y estabilizaron mediante la conformación de taludes con pendientes 1.5H:1V y banquetas de 3.00 metros. Los detalles con las secciones típicas del canal de aducción se encuentran en la serie de planos de construcción **PD-N14**.

A lo largo del alineamiento también existían muchos lugares donde la topografía del terreno era inferior a los niveles requeridos para la construcción del canal de aducción y del dique para la sobreelevación. En estos puntos fue necesario construir parte del canal de aducción y los diques con rellenos de material impermeable de hasta 15.00 metros de altura. Los taludes externos de estos rellenos se construyeron con taludes 1.5H:1V. Posteriormente, estos diques fueron reforzados con un relleno adicional colocado en el talud externo para aumentar su factor de seguridad en el caso de eventos sísmicos.

Adicional a esto, el canal fue revestido con una geomembrana impermeable PEAD (polietileno de alta densidad) de 1.5 mm de espesor. Esta membrana se encuentra anclada al canal mediante vigas de concreto transversales espaciadas aproximadamente a unos 300 metros unas de otras y en zanjas longitudinales ubicadas en la parte superior del canal y rellenas de concreto. La geomembrana solo cubre el canal de aducción y no los diques para la sobreelevación. Los detalles de estos anclajes se encuentran en la serie de planos de construcción **PD-N14**.

A lo largo de todo el canal de aducción, se construyeron drenajes de concreto longitudinales y transversales para evacuar las aguas que potencialmente pudieran afectar el funcionamiento del canal y de los diques para sobreelevación. Estos drenajes también sirven para permitir el paso libre de las quebradas y fuentes de agua que no forman parte de la concesión. Los detalles constructivos de estos drenajes se pueden apreciar en la serie de planos de construcción **PD-N15**.

2.5. Boca Toma

La boca toma se encuentra revestida con concreto e inicia en la estación 2k+824.30. Esta estructura se proyecta entre la cota 37.5 msnm y la cota 27.8 msnm, con un largo aproximado de 80 metros. La cámara de carga tiene una capacidad estimada de 70,000 m³.

2.6. Tuberías Forzadas

De la cámara de carga hasta la casa de máquinas se han colocado dos tuberías forzadas de acero, 4.50 metros de diámetro y 100 metros de largo, con 37 grados de inclinación. Cada tubería alimenta una unidad de generación.

2.7. Casa de Máquinas

La casa de máquinas consiste de un edificio de concreto y estructura exterior metálica, alojando dos (2) turbinas tipo Kaplan, de eje vertical y a los equipos de generación y transformación.

En el Cuadro N° 2 muestra los equipos electromecánicos encontrados en la casa de máquinas

Cuadro N° 2 – Características del Equipo Electromecánico

Nombre	Características
Tipo de turbina	Kaplan de eje vertical Cantidad 2
Potencia nominal de la turbina	28 MW
Capacidad de generador	33 MVA
Transformador	Tres arrollamientos 13.8/13.8/230Kv- 32/32/64 MVA

2.8. Canal de Descarga

El Canal de Descarga tiene una longitud aproximada de 6km y descarga sobre el río Chiriquí. Una vez el agua es utilizada, la misma se vierte en el canal de descarga hacia el río Chiriquí Nuevo; de ahí las aguas fluyen libremente hacia el mar.

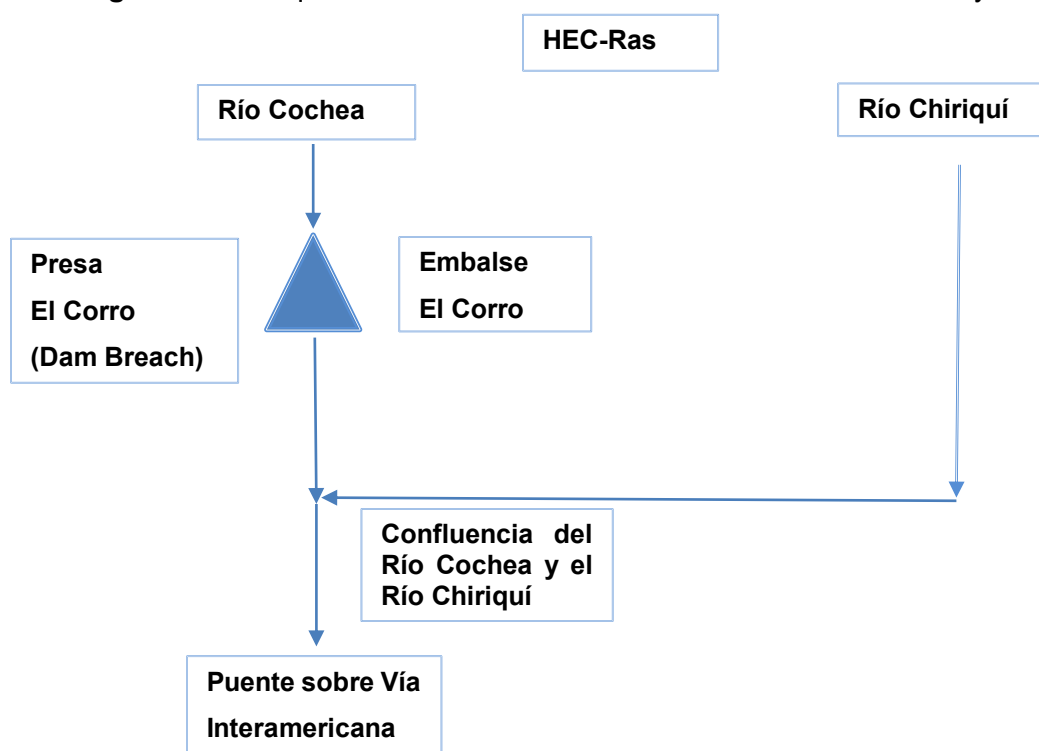
4. MODELACIÓN HIDRÁULICA

Para establecer el modelo y realizar las simulaciones hidráulicas de la Presa El Corro de la Central Hidroeléctrica Prudencia, para la definición de los mapas de perfiles de agua y planicies de inundación, se usó el modelo de simulación unidimensional HEC-RAS, según los Términos de Referencia de Alternegy, S.A.

Para la simulación hidráulica de la Crecida Decamilenaria (periodo de retorno de 1 en 10000 años) se usó el módulo hidrodinámico del HEC-RAS para modelar el rompimiento de la Presa El Corro y el tránsito de la onda de rompimiento por los cauces de los Ríos Cochea y Chiriquí.

En la Figura N° 6 se presenta el Esquemático utilizado para desarrollar la modelación hidráulica de la Presa El Corro.

Figura N° 6. Esquemático de modelación hidráulica del Río Cochea y Chiriquí



Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

Alimentado el módulo hidrodinámico de HEC-RAS con los parámetros seleccionados para el rompimiento de Presa El Corro, tales como la dimensión de apertura de brecha, se procedió a la ruptura y se obtuvo el hidrograma del rompimiento de presa y se transitó por el cauce principal del Río Cochea hasta la confluencia con el río Chiriquí y finalmente del Río Chiriquí hasta aguas abajo del Puente de la vía interamericana, recorriendo una distancia aproximada de 7.8 km.

4.1. Modelación Hidráulica para determinar los perfiles de agua

Para determinar los perfiles de agua y las planicies de inundación a lo largo de la trayectoria de los ríos Cochea y Chiriquí, iniciando desde los respectivos sitios de presa El Corro hasta aguas abajo del Río Chiriquí en el Puente sobre la vía Interamericana para los distintos periodos de retorno y escenarios recomendados, se utilizó el programa de modelación hidráulica HEC-RAS, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros Militares de los Estados Unidos (US Army Corps).

Se utilizó la versión 4.1.0 de julio de 2010, el cual permite realizar cálculos de perfiles de agua para flujo permanente y no permanente en una dimensión, análisis de transporte de sedimento del lecho y análisis de temperatura del agua.

Se seleccionó el HEC-RAS ya que es programa de dominio público, está ampliamente probado y tiene literatura disponible para consulta.

El modelo tiene disponible entre sus principales características la modelación de los perfiles de agua a lo largo de un cauce o canal, la modelación, el cálculo hidráulico de estructuras hidráulicas tales como puentes, alcantarillas, etc, y el módulo de rompimiento de presa.

Para el desarrollo de los mapas de las planicies de inundación, se utilizó el HEC-GeoRAS que es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades para procesar datos geoespaciales en ArcGIS mediante una interfaz gráfica de usuario (GUI). La interfaz permite la preparación de datos geométricos para la importación a HEC-RAS y procesa los resultados de simulación exportados desde HEC-RAS. Para crear el archivo de importación, el usuario debe tener un modelo de terreno digital (DTM) existente de la red de drenaje en formato ArcInfo TIN. El usuario crea

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

una serie de temas de línea pertinentes al desarrollo de datos geométricos para HEC-RAS. Los temas creados son el eje central del cauce del río, eje central del tránsito del caudal (opcional), orillas del canal principal (opcional) y líneas de corte de sección transversal los que se denominan temas RAS.

4.2. Requerimientos del Modelo HEC-Ras:

El modelo HEC-Ras requiere de información detallada de mapas topográficos, secciones transversales producto de levantamiento topográfico, parámetros físicos de la presa y vertederos como dimensiones, tipo de presa y vertedero, coeficientes de rugosidad de Manning, curva de elevación-volumen, etc. La información necesaria para la modelación incluyó los mapas topográficos del área de los distritos de Gualaca y de David, imagen satélite, ortofotos y la actualización del levantamiento de las secciones transversales del río levantadas en el año 2017.

Las secciones transversales del río fueron suministradas por el Lic. José Gonzalez, que fue el encargado de realizar el levantamiento topográfico.

Se suministraron un total de 155 secciones transversales del río Cochea y Chiriquí, para una distancia de 7771 metros desde la Presa El Corro hasta aguas abajo del Puente sobre el Río Chiriquí en la Vía Interamericana. Todas las secciones fueron extendidas entre una longitud de 100.00 a 300.00 metros.

En la Cuadro N° 3 se presenta el total de secciones transversales suministradas por el Lic. José Gonzalez para el tramo mencionado en el párrafo anterior.

Cuadro N° 3 Secciones transversales del Complejo Hidroeléctrico Prudencia

No.	Sitio de Estudio	Longitud Total (metros)	Total de secciones Levantadas
1	Presa El Corro, Río Cochea y Chiriquí	7771.00	155

Fuente: Lic. Jose Gonzalez

4.3. Coeficientes de Rugosidad de Manning

Para estimar el coeficiente de rugosidad de Manning del cauce y las planicies de inundación, se usó como referencia el documento que se encuentra en línea en la Ayuda del HEC-Ras, desarrollado y actualizado por el USGS "Roughness

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

Characteristics of Natural Channels, U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 1849 de Harry H. Barnes, Jr”.

La técnica consiste en comparar las características de los canales y planicies bajo estudio, con las fotografías y características de cauces y riberas del documento del USGS (del Servicio Geológico de los Estados Unidos por sus siglas en inglés). En ausencia de un procedimiento expedito cuantitativo satisfactorio, esta evaluación indirecta sigue siendo válida.

Los coeficientes fueron revisados y ajustados por el Consultor durante la calibración del modelo, tomando como referencias imagen satelital Rapideye, las ortofotos obtenidas por medio de dron y también de las inspecciones realizadas en campo.

Los valores “n” seleccionados para el cauce principal del tramo del estudio varían entre 0.025 y 0.035. Para los bancos se usó un rango de valores n entre 0.035 y 0.038.

4.4. Hidrogramas Usados para Alimentar el Modelo:

Se analizaron los registros de Hidrometeorología de ETESA hasta el año 2018 y no se encontró evidencia de eventos significativos en la cuenca del Río Chiriquí, por lo que se utilizaron los hidrogramas de entrada para la modelación del río Cochea y Chiriquí, los hidrogramas del informe “Revisión Parcial Del Plan De Acción Durante Emergencias (PADE), Tránsito de Crecidas por el Embalse” realizado por la empresa Aramos Hidro en Julio de 2014 y de “Estudios de Caudales Máximos de la Presa El Corro, Método Estadístico realizado por la empresa Tractebel Engineering Suez en Abril 2009. Se revisaron ambos y se seleccionó la Crecida Decamilenaria ($T_r=10000$ años), obtenida en el estudio de Tractebel Engineering, utilizada para la verificación del diseño, ya que el pico y el volumen de la crecida es significativa.

El hidrograma obtenido para el periodo de retorno para el periodo de retorno de 10000 años, transitado por el embalse El Corro, es el insumo para alimentar el modelo hidráulico HEC-RAS para el caso de la Rotura de Presa de la Presa El Corro. En la Cuadro N° 4 se presenta el hidrograma de Crecida Decamilenaria o periodo de retorno 1 en 10000 años. Este hidrograma de diseño representa la suma

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

del caudal máximo del estudio de Tractabel Engineering ($Q=1804 \text{ m}^3/\text{s}$) y el caudal del canal de aducción ($Q=125 \text{ m}^3/\text{s}$).

Cuadro N° 4. Hidrograma de crecida hasta el área de drenaje del sitio de presa El Corro

Tiempo (horas)	Caudal (m^3/s)	Tiempo (horas)	Caudal (m^3/s)	Tiempo (horas)	Caudal (m^3/s)
	Tr en años		Tr en años		Tr en años
	10,000		10,000		10,000
0:00	125	18:30	249.8	13:00	129.87
0:30	174.2	19:00	236.3	13:30	129.68
1:00	223.3	19:30	224.4	14:00	129.48
1:30	352.8	20:00	212.4	14:30	129.29
2:00	482.2	20:30	202.3	15:00	129.09
2:30	688.1	21:00	192.1	15:30	128.9
3:00	894	21:30	185.6	16:00	128.7
3:30	1147.8	22:00	179.2	16:30	128.51
4:00	1401.7	22:30	173.7	17:00	128.31
4:30	1587.2	23:00	168.2	17:30	128.12
5:00	1772.7	23:30	163.4	18:00	127.92
5:30	1850.8	0:00	158.6	18:30	127.73
6:00	1929	0:30	154.9	19:00	127.53
6:30	1878	1:00	151.2	19:30	127.34
7:00	1827	1:30	148.3	20:00	127.14
7:30	1712	2:00	145.3	20:30	126.95
8:00	1597	2:30	143.5	21:00	126.75
8:30	1462.4	3:00	141.7	21:30	126.56
9:00	1327.8	3:30	139.9	22:00	126.36
9:30	1192.9	4:00	138.1	22:30	126.17
10:00	1058	4:30	136.6	23:00	125.97
10:30	959.4	5:00	135	23:30	125.78
11:00	860.8	5:30	133.8	0:00	125.58
11:30	786	6:00	132.6	0:30	125.39
12:00	711.3	6:30	132.41	1:00	125.19
12:30	650.5	7:00	132.21	1:30	125
13:00	589.8	7:30	132.02		
13:30	538.6	8:00	131.82		
14:00	487.4	8:30	131.63		
14:30	444.8	9:00	131.43		
15:00	402.3	9:30	131.24		
15:30	372.9	10:00	131.04		
16:00	343.5	10:30	130.85		
16:30	320.7	11:00	130.65		
17:00	297.8	11:30	130.46		
17:30	280.6	12:00	130.26		
18:00	263.4	12:30	130.07		

5. ENSAMBLADO DEL MODELO HEC-RAS PARA LOS ESCENARIOS DE LA PRESA EL CORRO

Con la información de los caudales de entrada al embalse para la Crecida Decamilenaria ($Tr=10000$ años), más la información de las secciones transversales

y todos los parámetros físicos, se procedió a montar o ensamblar el modelo hidráulico HEC-RAS para la presa El Corro, aguas abajo el Río Cochea y Chiriquí. La modelación se realizó a flujo no permanente para las corridas de rompimiento de presa El Corro. A continuación se presenta una introducción de cómo trabaja cada módulo.

5.1. Módulo Hidrodinámico o no permanente para la Crecida Decamilenaria sobre la Presa El Corro

Introducidos todos los parámetros físicos y la crecida Decamilenaria (periodo de retorno de 1 en 10000 años), para la Presa El Corro y el cauce principal de los Ríos Cochea y Chiriquí, con sus secciones transversales, el próximo paso es estimar los parámetros de rompimiento de presa tales como características y tamaño de brecha, localización, modo de falla, tiempo de desarrollo de brecha, etc.

Para el diseño de las características de la brecha para el rompimiento de la presa El Corro, se utilizó la guía de Michael Gee “Comparison of Dam Breach Parameter Estimator” del año 2008 y el Capítulo 2 de la FEDERAL GUIDELINES FOR DAM SAFETY: SELECTING AND ACCOMMODATING INFLOW DESIGN FLOODS FOR DAMS del año 1993.

5.2. Módulo Hidrodinámico o no permanente para la estimación del rompimiento de presa El Corro

La metodología para el rompimiento de presa usando el módulo hidrodinámico del HEC-RAS se presenta a continuación:

5.2.1. Características de la brecha y estimación de los parámetros iniciales de rompimiento:

Las características de la brecha se puede estimar de varias maneras, incluyendo: análisis comparativo (comparando el proyecto bajo estudio de las fallas históricas de las presas de tamaño similar, los materiales y el volumen de agua), las ecuaciones de regresión (ecuaciones desarrolladas de rupturas de presas históricas para predecir el tamaño de salida de pico o de la brecha y el tiempo de desarrollo), y los modelos informáticos con base física (programas de computadora que intentan de modelar el proceso de físico de modelación de la brecha a mediante el uso de

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

ecuaciones de transporte de sedimentos / erosión, de mecánica de suelos y principios de hidráulica). Todos estos métodos son técnicas viables para estimar las características de la brecha.

Valores razonables para el tamaño y el tiempo de desarrollo de la brecha son necesarios para hacer una estimación confiable de los hidrogramas de salida y de la inundación resultante aguas abajo, tiempos de viaje de la onda, velocidad del agua, etc. Estos parámetros que describen la brecha tienen una gran incertidumbre. El software HEC-RAS requiere de la siguiente información para describir una modelación de la presa:

Localización de la brecha

La ubicación de la brecha depende de muchos factores, tales como: tipo y forma de la presa, el modo de falla, y los elementos estructurales de la presa. Todos los factores relativos a la presa, especialmente los registros históricos de los problemas de filtración y la fundación, deben ser considerados a fin de colocar la falla en el lugar más probable para cada uno de los modos de falla. Si la ubicación más probable no puede ser identificada, a continuación, la línea central de la falla se debe establecer en la línea central del canal principal aguas abajo.

Modo de falla

Los algoritmos hidráulicos en HEC-RAS fueron diseñados para simular dos tipos de falla de presa: por tubificación y por rebasamiento.

El modo de falla es el mecanismo para iniciar y desarrollar la brecha. La falla por rebasamiento comenzará en la parte superior de la presa y crecer en grado máximo, mientras que un fallo debido a tubificación puede comenzar en cualquier elevación / ubicación y crecer a su extensión máxima. El tamaño definitivo y tiempo de desarrollo de la brecha es mucho más crítico en cuando se estima el hidrograma de salida que cuando hay una falla real de la presa. Para el caso de esta modelación se consideró que la falla más probable en la presa ocurriría del lado de la estructura

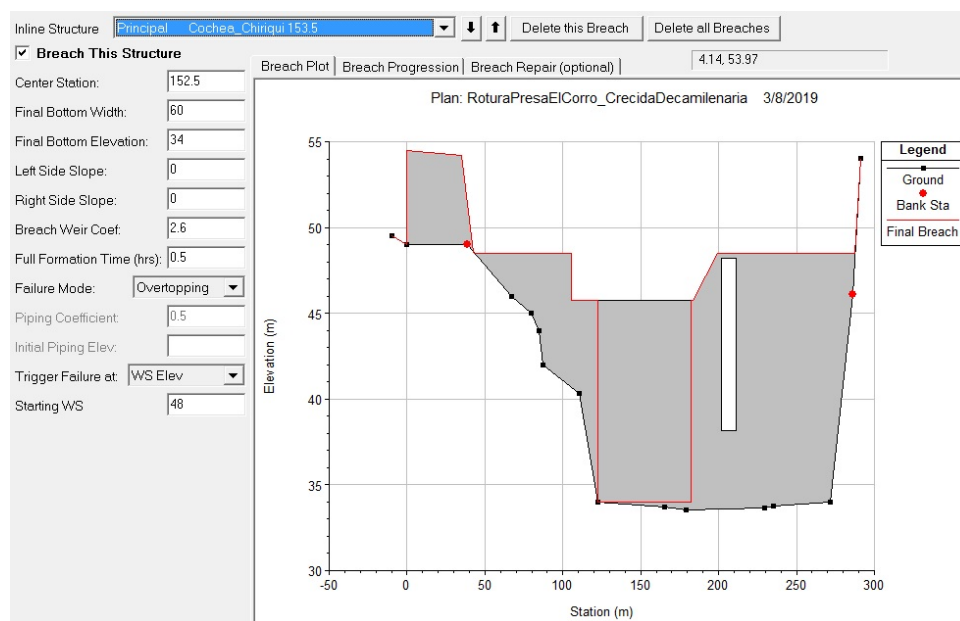
Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

de concreto ya que tiene más altura que la presa de tierra. Por lo tanto el tipo de falla a utilizar en el modelo será por rebasamiento (Overtopping en inglés).

Tiempo de Desarrollo de la brecha

El HEC-RAS requiere como datos de entrada, un tiempo de desarrollo de la brecha. El tiempo se describe como el tiempo desde que la brecha se ha erosionado desde el lado aguas arriba de la parte superior de la presa y cuando la brecha está completamente formada (por ejemplo, la erosión ha parado, pero no así el tiempo de vaciado del embalse el cual para hasta que se vacíe completamente). En las Figuras N° 7 se presenta el modelo de rompimiento de presa El Corro usado para condición de Crecida Decamilenaria (1:10000 años).

Figura N° 7 Modelo de rompimiento de la presa El Corro en condición de operación normal usando HEC-RAS.



5.3. Integración del Embalse El Corro al modelo de rompimiento de Presa

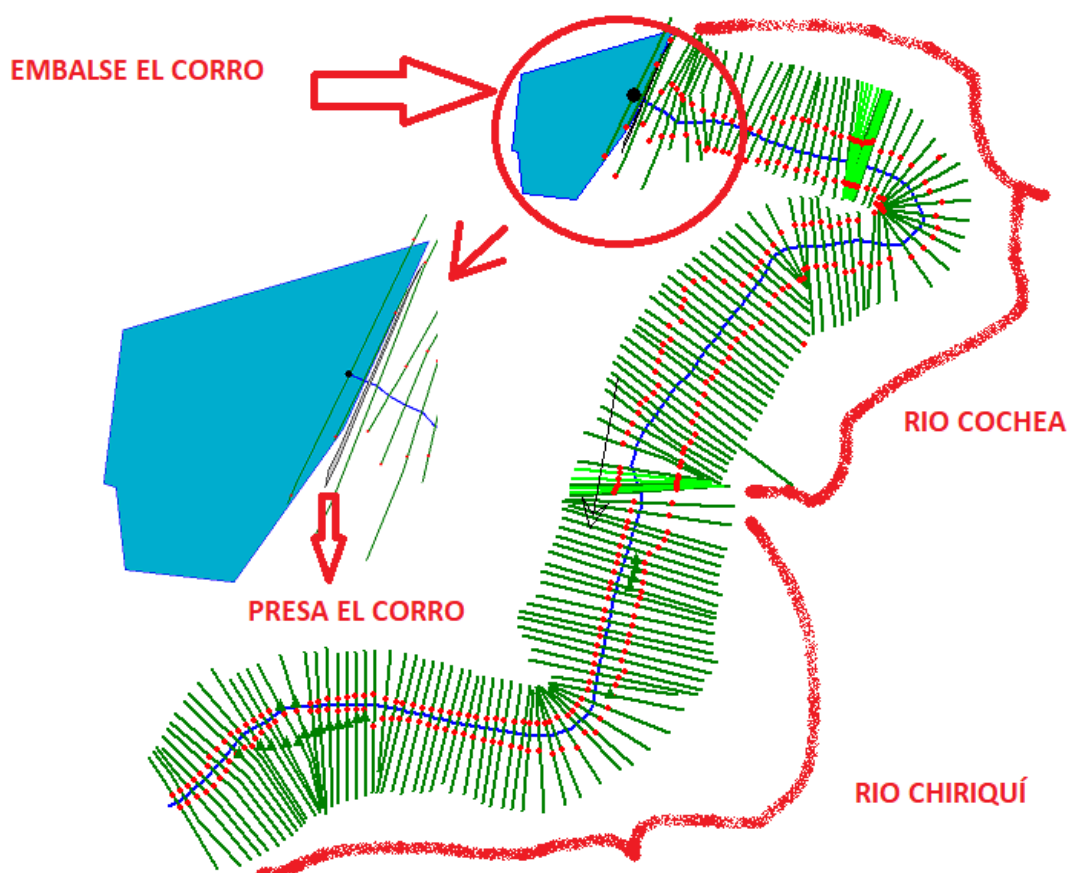
Una de las tareas consumidoras de tiempo para el desarrollo del modelo de rompimiento de presa de la presa El Corro, fue la integración del embalse El Corro. Este modelo es más realístico, ya que al lograr integrar el embalse al modelo, se puede realizar el análisis del rompimiento de presa usando como condiciones

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

iniciales la elevación máxima de operación del embalse y el hidrograma de crecidas extraordinarias al modelo. La modelación permite transitar el hidrograma de crecida o la avenida por el embalse y permite que se simulen las condiciones con el rompimiento permitiendo los aportes de manera continua al embalse. La salida del modelo es el hidrograma de rompimiento de presa, el cual fue transitado hacia aguas abajo por las secciones transversales del río Cochea y Chiriquí.

En la Figura N° 8 se presenta el esquema de la integración del embalse al modelo de rompimiento de presa.

Figura N° 8 Embalse de El Corro integrado al modelo de rompimiento de presa de El Corro.



5.4. Volúmenes de Agua del Embalse para la presa El Corro

Entre los parámetros requeridos por el modelo de rompimiento de presa están el área y el volumen almacenado al momento inicial de su rompimiento. A continuación

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

se presentan brevemente las características particulares del embalse El Corro, las cuales fueron tomadas del Informe Técnico “Regla de Operación del Vertedero Controlado”, Julio 2010 hecho por Tractebel Engineering Suez

De la información del informe de la batimetría de El Corro, se obtuvieron los parámetros de elevación versus área-volumen capacidad y del embalse para alimentar el modelo hidrodinámico de rompimiento de presa.

En la Cuadro N° 5 se presentan las áreas y los volúmenes almacenados para el Embalse El Corro.

Cuadro N° 5. Datos de Elevación, área y volumen almacenado para el embalse El Corro.

Embalse El Corro			
Cota (msnm)	Área (km²)	Volumen (m³)	ΣVolumen (m³)
45.00	1.020	0	0
45.10	1.035	102,724.84	102,724.84
45.20	1.049	104,171.51	206,896.34
45.30	1.063	105,618.17	312,514.51
45.40	1.078	107,064.85	419,579.36
45.50	1.092	108,511.52	528,090.88
45.60	1.107	109,958.19	638,049.06
45.70	1.121	111,404.86	749,453.92
45.80	1.136	112,851.52	862,305.44
45.90	1.150	114,298.20	976,603.63
46.00	1.165	115,744.87	1,092,348.50
48.00	1.454		

5.5. Corrida del Modelo HEC-Ras

Montado el modelo, se procedió a realizar distintas corridas por el cauce principal del río Cochea y Chiriquí agregando los caudales promedios multianuales del río Cochea y Chiriquí que no fueron contemplados en el levantamiento topográfico.

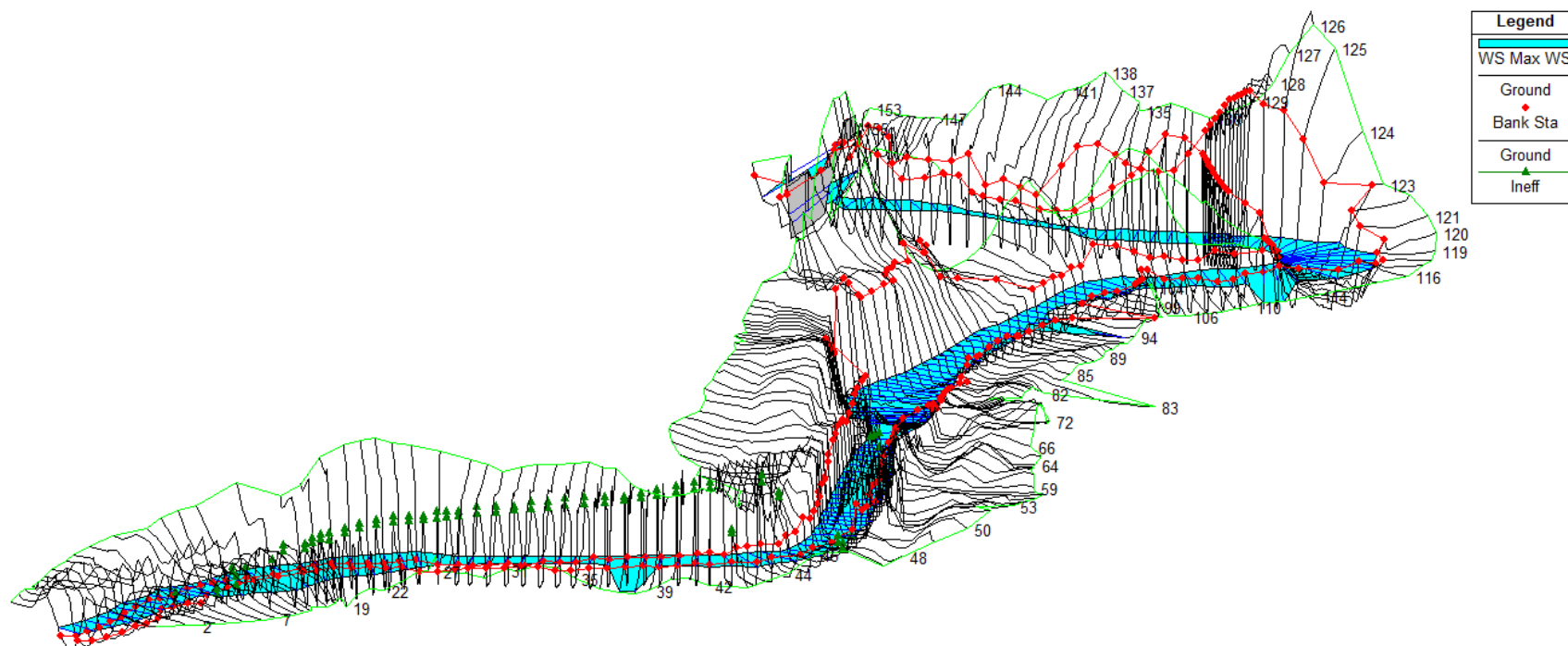
En las corridas preliminares solamente se procedió a analizar el cauce principal, el cual fue un proceso iterativo. Posteriormente se fueron incluyendo los afluentes y se realizaban las corridas respectivas, se analizaban las salidas y si se presentaban problemas tales como capacidad del cauce (paredes verticales), se iban corrigiendo inmediatamente, así sucesivamente hasta finalizar la modelación del cauce y las planicies de inundación.

Las salidas de las corridas se utilizarán para generar el mapa de planicies de inundación para la Crecida Decamilenaria (1:10000 años), solicitada por CELSIA para entregar al Ministerio de Ambiente (MIAMBIENTE).

En la Figura N° 9 se presenta el esquema del sistema embalse-presa-ríos del CHP. El esquemático presenta al embalse El Corro y los dos ríos principales, Cochea y Chiriquí.

Figura N° 9 Esquema inicial del modelo de la Presa El Corro con el Río Cochea y Chiriquí montado en el programa HEC-RAS.

Plan: RoturaPresaElCorro_CrecidaDecamilenaria 3/8/2019



5.6. Problemas Encontrados:

Los problemas que se presentan, surgieron de las corridas sucesivas del modelo y de la integración de los componentes.

Entre los problemas encontrados al montar y correr el modelo están los siguientes:

- Algunas Secciones transversales que se cruzaban entre sí
- Falta de mapas topográficos actualizados.
- Falta de fotografías aéreas actualizadas.
- Falta de imágenes de satélites u otro sistema que pudiese apoyar al modelador.
- Falta de Estaciones Hidrométricas con datos actualizados de los caudales

6. MODELACION DE ROMPIMIENTO DE PRESA EL CORRO:

La modelación de rompimiento de presa a través de un modelo hidráulico, requiere de varios elementos: del escenario hidrológico, los modos posibles de falla de la presa, de los parámetros para el diseño de la brecha que está asociado al modo de falla, y el tránsito y mapeo de las consecuencias producto del hidrograma de descarga extraordinaria.

El modelo hidráulico que se usó para modelar el rompimiento de presa fue el HEC-RAS y se utilizó la Cuadro 1 de la guía de Michael Gee “Comparison of Dam Breach Parameter Estimator” del año 2008 y el Capítulo 2 de la FEDERAL GUIDELINES FOR DAM SAFETY: SELECTING AND ACCOMMODATING INFLOW DESIGN FLOODS FOR DAMS del año 1993.

6.1. Criterios para el diseño de la brecha:

Dependiendo del tipo de material de la presa, si es de gravedad o no, la Cuadro recomienda el diseño del ancho promedio de la brecha, si es vertical o inclinada y el tiempo de la falla de la presa.

Estimados estos parámetros, se procede a montarlos en el HEC-RAS en el Editor de la Geometría, en el modo de edición de estructuras en línea. Dentro del módulo se introduce y recrea la geometría de la presa original.

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

Para la presa El Corro, que es de gravedad mixta, se seleccionó la falla por rebasamiento.

Obtenidos los parámetros de la presa y el modelo de falla de la brecha, se procedió a montar el embalse. Para la presa El Corro, se usó el volumen de almacenamiento obtenido de la suma de los volúmenes del Embalse El Corro.

En el Cuadro N° 6 se presenta los posibles rangos de valores para las características de la brecha a modelar.

Cuadro N° 6. Rangos de valores para las características de la brecha a modelar.

Table 1. Ranges of Possible Values for Breach Characteristics

Dam Type	Average Breach Width B_{ave}	Horizontal Component of Breach Side Slope (H) H:1V	Failure Time t_f (hrs)	Agency
Earthen/ Rockfill	(0.5 to 3.0) x HD (0.5 to 5.0) x HD (1.0 to 5.0) x HD (2.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0 0 to 1.0 0 to 1.0 0 to 1.0 (slightly larger)	0.5 to 4.0 0.1 to 4.0* 0.1 to 1.0 0.1 to 1.0	USACE (1980) USACE (2007) FERC (1988) NWS (Fread, 2006)
Concrete Gravity	Multiple Monoliths Usually $\leq 0.5 L$ Usually $\leq 0.5 L$	Vertical Vertical Vertical	0.1 to 0.5 0.1 to 0.3 0.1 to 0.2	USACE (2007) FERC NWS
Concrete Arch	Entire Dam (0.8 x L) to L Entire Dam (0.8 x L) to L	Valley wall slope 0 to valley walls 0 to valley walls 0 to valley walls	≤ 0.1 ≤ 0.1 ≤ 0.1 ≤ 0.1	USACE (1980) USACE (2007) FERC NWS
Slag/ Refuse	(0.8 x L) to L (0.8 x L) to L	1.0 to 2.0	0.1 to 0.3 ≤ 0.1	FERC NWS

Where: HD = Height of the dam.

L = Length of the dam crest.

* Note: Dams that have very large volumes of water, and have long dam crest lengths, will continue to erode for long durations (i.e. as long as a significant amount of water is flowing through the breach), and may therefore have wider breach widths and longer times than what is shown.

7. ESCENARIO ANALIZADO DE LA CRECIDA DECAMILENARIA

Conforme el Punto 9.3 de resolución AN No.3932-Elec, se analizó el escenario el escenario de Crecida Decamilenaria con periodo de retorno de 1 en 10000 años, que incluye el estudio de estimación de los probables daños que el evento más desfavorable podría ocasionar tanto aguas abajo como aguas arriba, establecer por escenario la delimitación de la zona potencialmente inundable debido a la propagación de la onda, altura de la lámina de agua, velocidades, los tiempos tanto de llegada de la onda de crecida como aquel en que se produce la máxima altura de agua y la ubicación donde se puede producir la máxima altura de agua.

Crecida Decamilenaria sobre la Presa El Corro

Para este análisis, se usó un hidrograma de 30 minutos (presentado anteriormente en el cuadro # 4) cuyo caudal pico es de $Q=1929 \text{ m}^3/\text{s}$ (Caudal Máximo de $1804 \text{ m}^3/\text{s}$ más caudal del Canal de Aducción $Q=125 \text{ m}^3/\text{s}$) y la elevación máxima fue de 49.07 msnm. La onda de crecida tardaría 42 minutos desde la Presa El Corro hasta aguas abajo del Río Chiriquí en el puente sobre la vía interamericana.

Desde la presa El Corro viajando por el cauce del río Cochea, este se integra finalmente al cauce principal del Río Chiriquí hasta el puente en la Carretera Interamericana. En el Cuadro N° 7 se presenta la superficie de drenaje, el caudal promedio multianual y sección transversal que corresponde a los ríos Cochea y Chiriquí

Cuadro N° 7 Superficie de drenaje, caudal promedio multianual y sección transversal que corresponde a los ríos Cochea y Chiriquí.

Subcuencas	Superficie de Drenaje (km ²)	Precipitación Promedio	Caudal promedio multianual	Sección
		(mm)	(m ³ /s)	RS
Cochea	234	3628	11.33	155
Chiriquí	1337	3279	100	73

8. RESULTADOS DE LA CRECIDA DECAMILENARIA:

Los resultados de la Modelación para la modelación de rompimiento de Presa en condición de Crecida Decamilenaria se presentan en las Figuras N° 10 hasta la 12, y en el Mapa que se adjunta en el Anexo 1, se presenta la planicie de inundación de este escenario.

Figura N° 10 Sección transversal del rompimiento de la Presa El Corro en Condición de Decamilenaria (Periodo de retorno 1:10000 años).

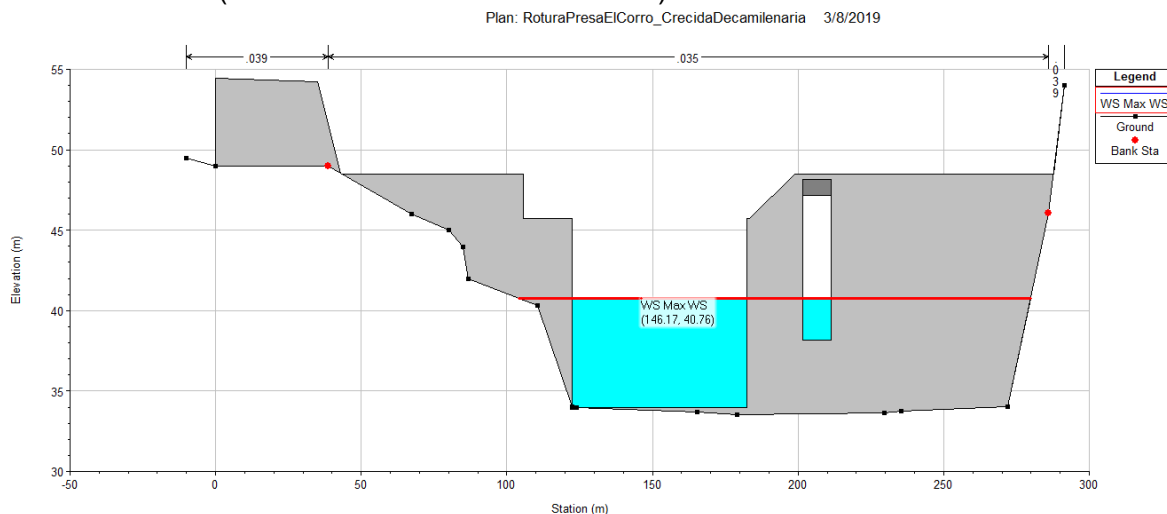
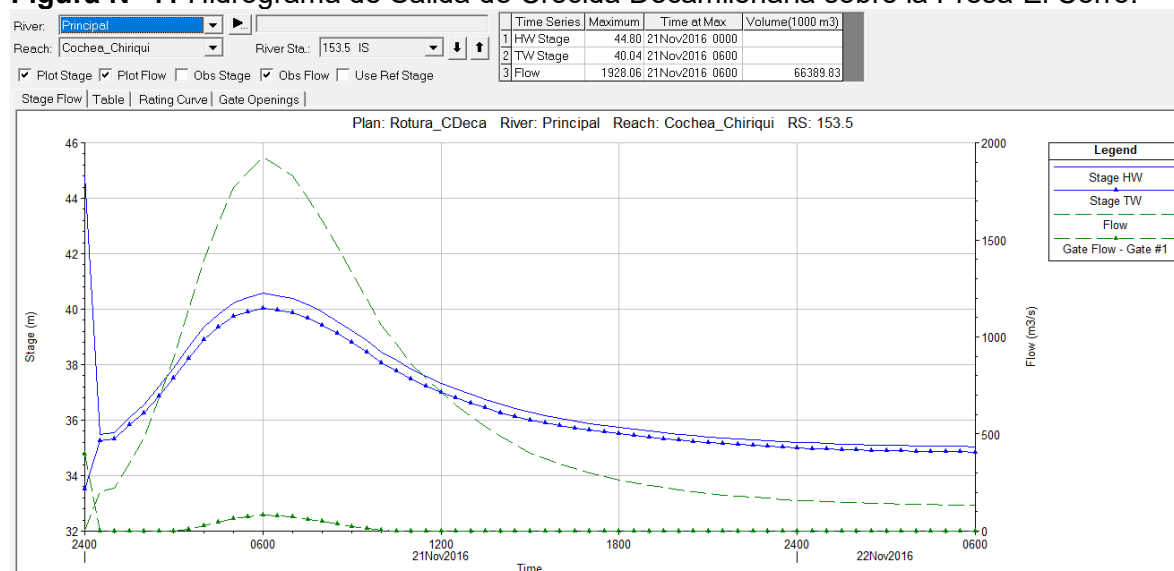
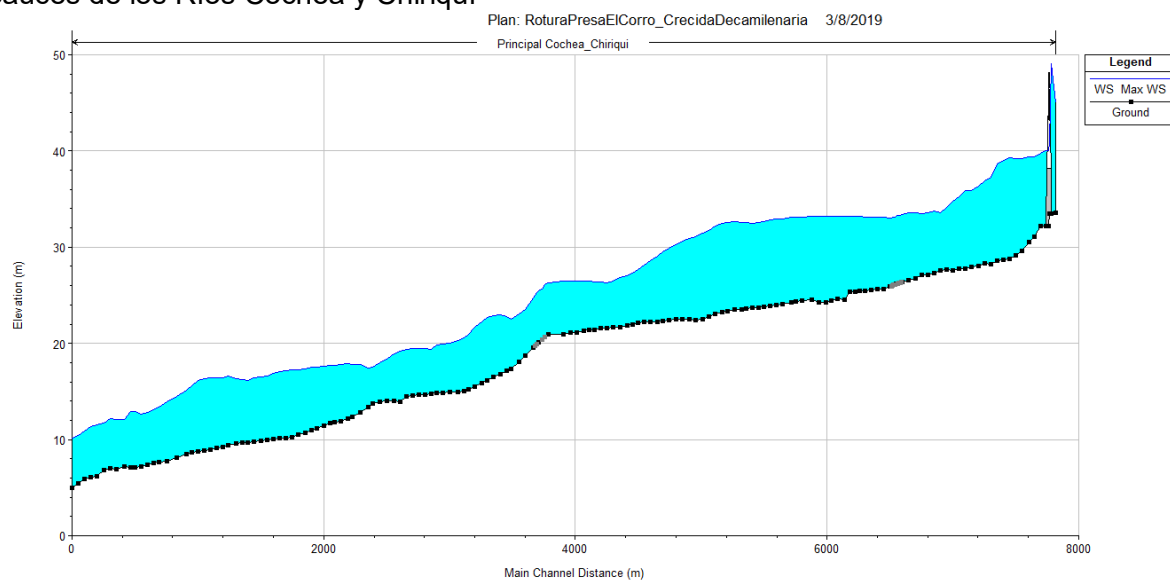


Figura N° 11 Hidrograma de Salida de Crecida Decamilenaria sobre la Presa El Corro.



Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

Figura N° 12. Perfil de Salida del tránsito de avenidas de la Crecida Decamilenaria en los cauces de los Ríos Cochea y Chiriquí



Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

Cuadro N° 8. Salida de Crecida Decamilenaria para un periodo de retorno 1 en 10000 años

Sección	Caudal	Elevación del Nivel de Agua	Velocidad	Tirante	Tiempo
	(m³/s)	(m)	(m/s)	(m)	(horas)
155	25025.71	45.03	10.55	11.41	0
154	2223.74	49.07	0.77	15.55	0
153.5	Inl Struct				0.01
153	1927.27	40.04	0.86	7.85	0.01
152	1926.64	39.75	8.81	7.57	0.01
151	1926.07	39.35	2.59	8.25	0.01
150	1926.19	39.38	2.35	8.8	0.02
149	1925.95	39.19	2.88	9.61	0.02
148	1926.1	39.22	2.59	10.05	0.02
147	1926.13	39.25	2.32	10.43	0.03
146	1926.05	39.02	3.05	10.29	0.03
145	1925.7	38.67	3.85	10.04	0.03
144	1926.21	37.3	7.37	9.09	0.04
143	1926.15	36.9	8.43	8.59	0.04
142	1926.04	36.38	8.69	8.35	0.04
141	1925.93	35.92	7.05	7.95	0.04
140	1894.79	35.9	5.94	8.09	0.05
139	1925.8	35.2	7.59	7.44	0.05
138	1925.6	34.78	7.97	7.18	0.05
137	1924.52	34.12	7.52	6.41	0.06
136	1915.64	33.55	4.75	5.99	0.06
135	1913.73	33.72	3.74	6.44	0.07
134	1912	33.6	3.69	6.44	0.07
133	1911.06	33.53	3.55	6.4	0.08
132	1911.67	33.55	3.19	6.77	0.09
131	1911.82	33.55	2.94	6.98	0.09
130	1910.19	33.4	3.16	7	0.1
129	1908.21	33.23	3.37	7.03	0.1
128	1905.49	32.99	3.66	7.08	0.1
127	1907.36	33.15	2.84	7.51	0.1
126	1907.22	33.12	2.69	7.46	0.11
125	1907.42	33.14	2.44	7.6	0.11
124	1907.48	33.13	2.27	7.65	0.12
123	1907.74	33.17	1.96	7.74	0.12
122	1908.04	33.18	1.74	7.77	0.12
121	1908.15	33.2	1.54	7.79	0.13
120	1908.43	33.24	1.19	8.67	0.13
119	1908.37	33.23	1.23	8.62	0.14
118	1908.36	33.23	1.09	8.81	0.14

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

Sección	Caudal	Elevación del Nivel de Agua	Velocidad	Tirante	Tiempo
	(m³/s)	(m)	(m/s)	(m)	(horas)
117	1908.4	33.23	1.08	8.94	0.15
116	1908.35	33.23	1.03	8.96	0.15
115	1908.31	33.21	1.14	8.69	0.16
114	1908.16	33.15	1.46	8.74	0.16
113	1908.23	33.12	1.55	8.75	0.17
112	1908.16	33.09	1.67	8.8	0.17
111	1908.1	32.97	2.13	8.88	0.18
110	1908.07	32.95	2.05	8.96	0.18
109	1908	32.84	2.34	8.97	0.19
108	1907.92	32.7	2.68	8.91	0.19
107	1907.86	32.55	2.93	8.81	0.19
106	1907.84	32.51	2.86	8.79	0.2
105	1907.88	32.55	2.52	8.96	0.2
104	1907.91	32.61	2.2	9.04	0.2
103	1907.91	32.62	1.98	9.05	0.21
102	1907.89	32.55	2.15	9.19	0.21
101	1907.89	32.48	2.31	9.22	0.21
100	1907.88	32.21	3.02	9.14	0.22
99	1907.87	31.69	4.17	8.88	0.22
98	1907.87	31.45	4.38	8.91	0.22
97	1907.87	31.05	4.89	8.59	0.23
96	1907.86	30.9	4.89	8.4	0.23
95	1907.86	30.61	5.02	8.11	0.23
94	1907.84	30.28	5.09	7.78	0.23
93	1907.84	29.89	5.15	7.51	0.23
92	1907.84	29.48	5.07	7.18	0.24
91	1907.83	29.08	4.95	6.84	0.24
90	1907.83	28.63	5.12	6.41	0.24
89	1907.82	28.18	5.23	5.92	0.24
88	1907.82	27.69	5.36	5.51	0.25
87	1907.81	27.32	5.09	5.36	0.25
86	1907.8	27	4.96	5.15	0.25
85	1907.76	26.84	4.19	5.15	0.26
84	1907.69	26.5	4.28	4.86	0.26
83	1907.42	26.3	4.06	4.71	0.26
82	1907.33	26.34	3.35	4.79	0.27
81	1907.4	26.41	2.7	4.98	0.28
80	1907.43	26.47	2.19	5.09	0.29
79	1907.46	26.5	1.86	5.2	0.3
78	1907.43	26.49	1.71	5.33	0.31
77	1907.44	26.47	1.67	5.32	0.32

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

Sección	Caudal	Elevación del Nivel de Agua	Velocidad	Tirante	Tiempo
	(m³/s)	(m)	(m/s)	(m)	(horas)
76	1907.42	26.46	1.61	5.53	0.32
75	1907.41	26.25	2.2	5.34	0.33
74	1907.41	25.43	5.04	5.32	0.33
73	1907.41	24.71	7.16	5.11	0.33
72	2034.45	23.55	6.1	4.83	0.34
71	2034.44	23.03	6.91	4.98	0.34
70	2034.44	22.51	5.74	5.14	0.34
69	2034.41	22.81	4.06	5.64	0.34
68	2034.42	22.97	3.38	6.17	0.35
67	2034.41	22.91	3.29	6.41	0.35
66	2034.41	22.66	6.92	6.53	0.35
65	2034.41	22.24	7.91	6.33	0.36
64	2034.41	21.67	8.07	6.14	0.36
63	2034.41	20.98	9.47	5.76	0.36
62	2034.41	20.56	6.12	5.55	0.36
61	2034.4	20.31	5.84	5.34	0.37
60	2034.38	19.98	5.55	5.08	0.37
59	2034.34	19.93	4.88	5.08	0.37
58	2034.32	19.8	4.66	4.99	0.38
57	2034.28	19.41	5.1	4.65	0.38
56	2034.19	19.47	4.25	4.76	0.39
55	2034.19	19.49	3.77	4.83	0.39
54	2034.2	19.48	3.45	4.87	0.4
53	2034.19	19.39	3.39	4.95	0.41
52	2034.16	19.19	3.62	5.22	0.41
51	2034.11	18.88	4.07	4.84	0.42
50	2033.96	18.38	4.7	4.39	0.42
49	2033.76	17.98	5.84	4.02	0.42
48	2033.49	17.54	5.15	3.82	0.43
47	2032.67	17.41	4.76	4.06	0.44
46	2032.76	17.8	2.95	4.95	0.44
45	2032.83	17.83	2.54	5.44	0.45
44	2032.87	17.89	2.15	5.75	0.46
43	2032.79	17.76	2.54	5.83	0.47
42	2032.79	17.73	2.5	5.94	0.49
41	2032.75	17.67	2.61	5.99	0.5
40	2032.73	17.61	2.66	6.13	0.51
39	2032.67	17.53	2.79	6.33	0.52
38	2032.69	17.49	2.77	6.48	0.54
37	2032.6	17.33	3.12	6.61	0.55
36	2032.59	17.26	3.16	6.74	0.56

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

Sección	Caudal	Elevación del Nivel de Agua	Velocidad	Tirante	Tiempo
	(m³/s)	(m)	(m/s)	(m)	(horas)
35	2032.57	17.23	3.07	6.98	0.56
34	2032.55	17.13	3.2	6.94	0.57
33	2032.53	17.06	3.28	6.92	0.58
32	2032.47	16.91	3.52	6.84	0.58
31	2032.31	16.6	4.11	6.63	0.59
30	2032.25	16.51	4.1	6.62	0.59
29	2032.15	16.39	4.13	6.58	0.6
28	2031.9	16.15	4.45	6.43	0.6
27	2031.97	16.2	4.1	6.55	0.6
26	2032.1	16.37	3.37	6.82	0.61
25	2032.21	16.57	2.41	7.17	0.61
24	2032.19	16.42	3.24	7.18	0.62
23	2032.18	16.4	3.05	7.31	0.62
22	2032.19	16.39	2.83	7.43	0.63
21	2032.19	16.35	2.77	7.53	0.63
20	2032.18	16.12	3.35	7.35	0.63
19	2032.16	15.58	4.8	6.9	0.63
18	2032.15	15.12	5.55	6.65	0.63
17	2032.17	14.49	6.86	6.41	0.64
16	2031.93	13.92	7.99	6.14	0.64
15	2030.17	13.41	6.3	5.76	0.64
14	2026.76	13.12	6.41	5.59	0.64
13	2013.6	12.82	5.97	5.44	0.64
12	2041.95	12.66	5.1	5.42	0.65
11	2034.84	12.94	3.49	5.84	0.65
10	2032.99	12.88	3.51	5.81	0.66
9	2032.4	12.06	5.18	4.87	0.66
8	2032.19	12.1	4.7	5.15	0.67
7	2032.11	12.16	3.94	5.14	0.67
6	2032.06	11.7	4.82	4.85	0.68
5	2032.05	11.5	4.65	5.34	0.68
4	2032.04	11.31	4.79	5.18	0.68
3	2032.03	10.87	5.38	4.98	0.68
2	2032.03	10.47	5.82	5	0.7
1	2032.03	10.12	6.39	5.15	0.7

9. CONCLUSIONES:

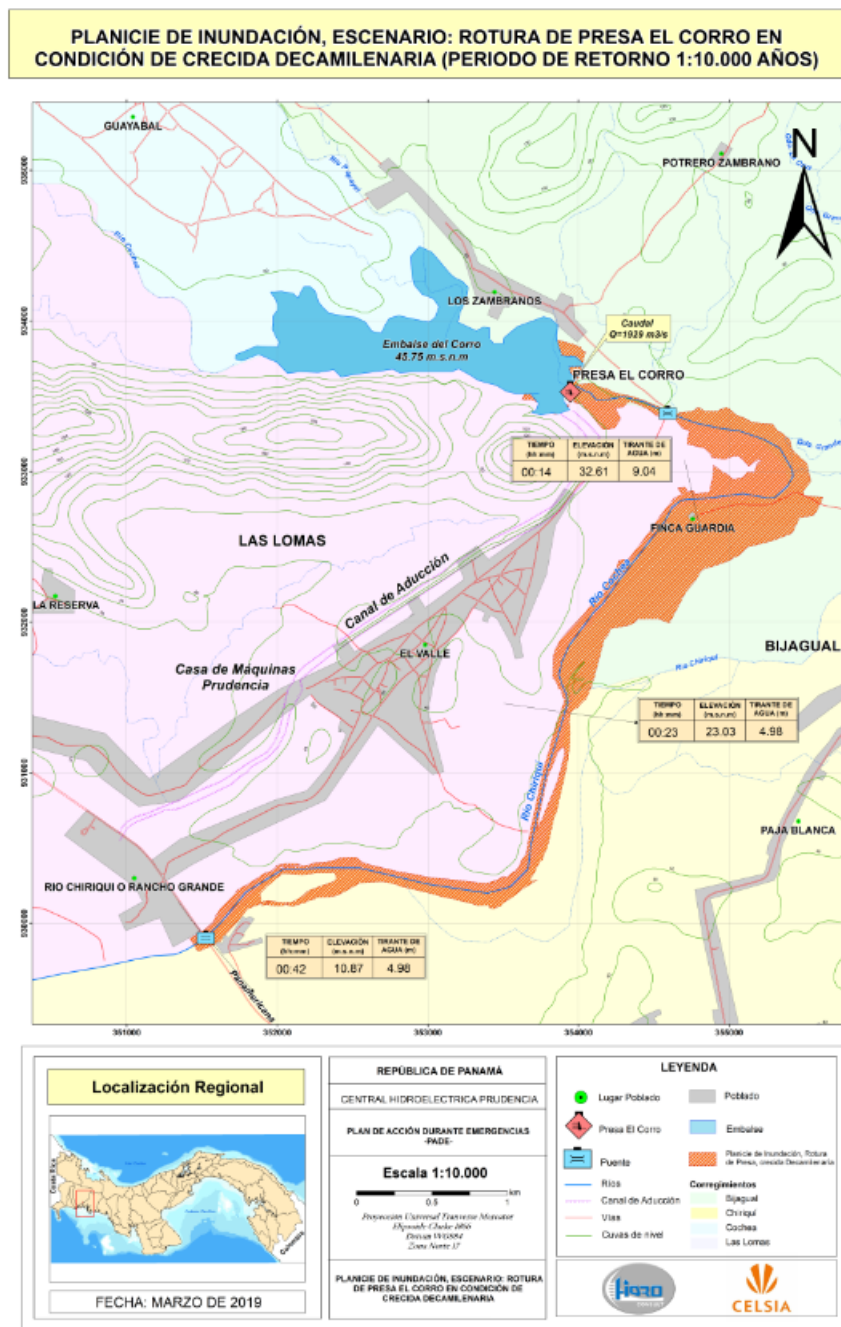
1. Resultados correctos de la modelación con el HEC-RAS para el desarrollo de mapas de planicies de inundación y de zonas propensas a riesgo de inundación, dependen de un levantamiento exacto de secciones transversales en campo y de los mapas topográficos disponibles.
2. Los resultados del rompimiento de la Presa El Corro para la Crecida Decamilenaria indican que no hay Poblaciones localizadas directamente aguas abajo en el canal de descarga (río Cochea) de la Presa El Corro. La más cercana es la Comunidad de El Valle, pero está localizada hacia la margen derecha, en terrenos significativos altos, con respecto a las planicies de inundación del Río Cochea, según se puede observar en el plano adjunto.
3. El tiempo de viaje de la onda producto del rompimiento de la presa El Corro hasta el puente sobre el Río Chiriquí, en la carretera interamericana es de 42 minutos para un recorrido de 7.77 kilómetros.

10. RECOMENDACIONES:

- Para mejorar la resolución de los mapas de inundación para los PADES y para los de gestión de riesgo comunitario, impulsar la ejecución del mapeo topográfico del área o la toma de imágenes de satélite.
- Solicitar a la Gerencia de Hidrometeorología de ETESA, la instalación de estaciones hidrométricas 1 aguas arriba de la confluencia del Río Chiriquí y Cochea, con la finalidad de poder tener información disponible cuando se tengan que realizar vertidos ordinarios y extraordinarios.

Simulación Hidráulica del Río Cochea y Chiriquí

- ANEXO 1



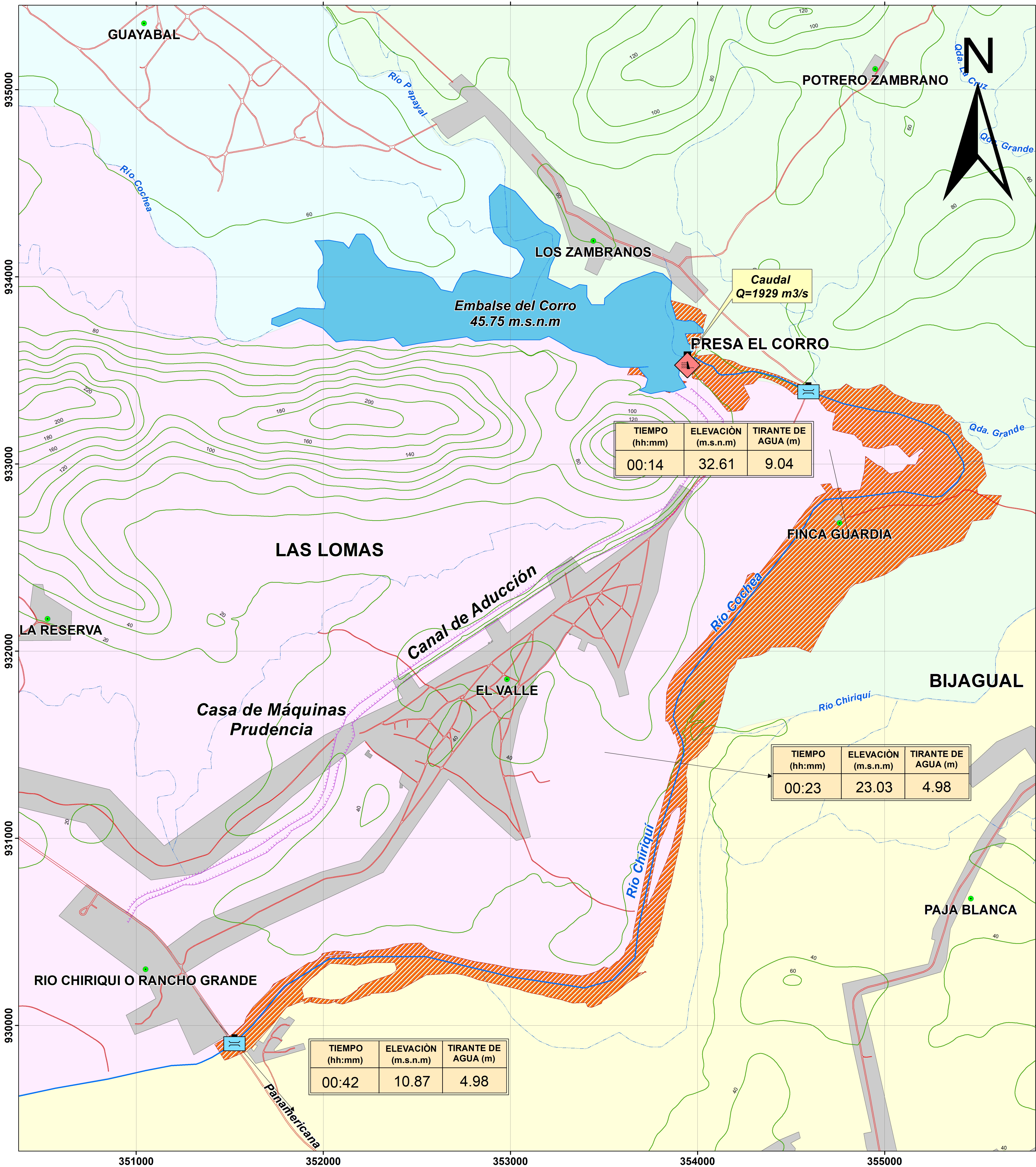
11. BIBLIOGRAFÍA

- **“CATASTRO DE CAUDALES MENSUALES Y AFOROS ESPORÁDICOS EN RÍOS DE LA REPÚBLICA”**: Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación, Panamá, 1993.
- **“DESIGN OF SMALL DAMS”**. Bureau of reclamation, United States Department of Interior, third edition, 1987.
- **“FLOODPLAIN MODELING USING HEC-RAS”**. Haestad Methods. Dyahouse Gary, Hatchett Jennifer y Benn Jeremy. Primera edición,.Haestad Press, Warerbury, CT USA, 2003.
- **“HIDROLOGÍA EN LA INGENIERIA”**: Germán Monsalve Sáenz. Editorial Alfaomega, segunda edición 1999.
- **“HIDROLOGÍA PARA INGENIEROS”**: Linsley Ray, Kohler Max y Paulhus Joseph.. Editorial McGraw Hill, segunda edición, 1986.
- **“HIDROLOGÍA APLICADA”**: Chow Ven Te, Maidment David y Mays Larry. Editora McGraw Hill, primera edición 1993.
- **“INGENIERIA DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS”**: Linsley Ray y Franzini Joseph. Editorial CECSA, tercera edición, 1984.
- **“HIDRAULICA DE CANALES ABIERTOS”**: Chow Ven Te. Editorial McGraw Hill, 1995.

INTERNET:

- <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA519246>
- Comparison of Dam Breach Parameter Estimators. D. Michael Gee, Senior Hydraulic Engineer, Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, 609
- <http://water.state.co.us/DWRIPub/Documents/GuidelinesForDamBreachAnalysis021010.pdf>
- STATE OF COLORADO, DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES, DIVISION OF WATER RESOURCES, OFFICE OF THE STATE ENGINEER, DAM SAFETY BRANCH, “GUIDELINES FOR DAM BREACH ANALYSIS”. February 10, 2010

PLANICIE DE INUNDACIÓN, ESCENARIO: ROTURA DE PRESA EL CORRO EN CONDICIÓN DE CRECIDA DECAMILENARIA (PERIODO DE RETORNO 1:10.000 AÑOS)



Localización Regional

FECHA: MARZO DE 2019

REPÚBLICA DE PANAMÁ

CENTRAL HIDROELECTRICA PRUDENCIA

PLAN DE ACCIÓN DURANTE EMERGENCIAS -PADE-

Escala 1:10.000

0 0.5 1 km

Proyección Universal Transverse Mercator
Elipsoide Clarke 1866
Datum WGS84
Zona Norte 17

PLANICIE DE INUNDACIÓN, ESCENARIO: ROTURA DE PRESA EL CORRO EN CONDICIÓN DE CRECIDA DECAMILENARIA

LEYENDA

Lugar Poblado

Presa El Corro

Puente

Ríos

Canal de Aducción

Vías

Cuvas de nivel

Poblado

Embalse

Planicie de Inundación, Rotura de Presa, crecida Decamilenaria

Corregimientos

- Bijagual
- Chiriquí
- Cochea
- Las Lomas



INFORME

ANEXO 2 – OPINÓN DEL EXPERTO

Aclaración sobre Modelación Hidrológica e Hidráulica para la crecida Decamilenaria (1:10000 años) Central Hidroeléctrica Prudencia 2019

Antecedentes

Para la modelación hidrológica e hidráulica de las planicies de inundación por rotura de presa para una Crecida Decamilenaria hay incertidumbre desde la generación de los datos hidrometeorológicos, para alimentar al modelo hidrológico hasta los introducidos por los datos físicos (topografía) para el modelo hidráulico.

Las series de tiempo para la hidrología de la provincia de Chiriquí, por lo general vienen del año 1955 y ha habido muchos cambios de la hidrología superficial, debido a la construcción de hidroeléctricas, desvíos de cauces de ríos y construcción de embalses a mediados de 1980. Los embalses grandes localizados aguas arriba atenúan las crecidas máximas. Para el modelo hidrológico utilizado, se usó la estadística original de la serie de estudios realizados por Suez, por lo que hay margen de seguridad grande con respecto a los cambios introducidos en la Cuenca 108 del río Chiriquí,

La presa El Corro y su embalse, se consideran una central de pasada, ya que el embalse es pequeño y solamente es utilizado para regulación diaria y no para almacenar agua (embalse estacional).

Análisis sobre probabilidad de ocurrencia de una crecida 1-10000 años (basado en el Informe de Modelación Hidrológica e Hidráulica para Crecida Decamilenaria Central Hidroeléctrica Prudencia 2019)

La probabilidad de ocurrencia está asociada al periodo de recurrencia que se especifica en años y es el inverso de la probabilidad. Cuando se habla de un periodo de retorno o de ocurrencia de 1:10000 (uno en diez mil años), se está hablando de un evento super extraordinario que tiene una probabilidad de 0.01 % de ocurrir en un año cualquiera.

Según esta definición, el cálculo de una crecida Decamilenaria (equivalente a la Crecida Máxima Probable (CMP)), su cálculo depende de la información o series de tiempo de crecidas máximas de un río y los registros de las estaciones del área, tienen menos de

60 años disponibles y se está extrapolando un evento a diez mil años, con base a un registro corto por lo que la incertidumbre es muy alta.

Ese concepto de crecida Decamilenaria, se usa para el diseño de grandes presas y sus sistemas de evacuación, no así para presas pequeñas.

Johnny A. Cuevas M.

Gerente General – JACUM Enterprises, S.A.



(507) 390-1582
(507) 6636-1359



Jacuevasm@hidro-consult.com



<http://www.hidro-consult.com/index.php>



INFORME

ANEXO 3 – INFORME DE FORO PÚBLICO



Autoridad Nacional del Ambiente
Administración Regional de Chiriquí
David, Chiriquí, Rep. de Panamá
Tel-Fax: 774-6671

48

INFORME DE FORO PÚBLICO PROYECTO HIDROELECTICO PRUDENCIA

FECHA: 15 de octubre de 2005
LUGAR: Rancho Comunal de la Comunidad de El Valle, Distrito de David, Provincia de Chiriquí.
ASUNTO: Foro Público convocado por la Empresa Alternegy, S.A., promotora del Proyecto Central Hidroeléctrica Prudencia.

PARTICIPANTES:

Por ANAM- Chiriquí: Ing. Gilberto Samaniego y Licda. Eneida Palma (Dpto. Protección Ambiental-ANAM)

Por la promotora del proyecto: Ing. Arturo Algandona – Gerente de Alternegy, S.A., Ing. José Manzané – Gerente imagen corporativa de la empresa

Por la Empresa Consultora: Ing. Enier Portugal

Por la comunidad, sociedad civil, autoridades y otras instituciones: Representantes de Corregimientos (H.R. suplente Las Lomas y H.R. Bijagual), Representantes de instituciones: MINSA, Ente Regulador de los Servicio Públicos, Cruz Roja, SINAPROC, Ambientalistas, aproximadamente 300 participantes de la sociedad civil, productores y lugareños (firmaron la asistencia 237 personas)

Antecedentes:

El día sábado 15 de octubre de 2005, siguiendo instrucciones del Administrador Regional, se participa en el Foro Público convocado por la empresa Alternegy, S.A., en calidad de moderador, según lo establece el Decreto Ejecutivo # 59 de 2000 y el Manual de Procedimientos.

Desarrollo:

El Foro Público, se programó para iniciar a las 10:00 a.m. y se inició a las 10:30 a.m. con la asistencia de aproximadamente 300 personas. Moderado por el Ing. Gilberto Samaniego, por el Dpto. de Protección Ambiental y la presentación inicial del proyecto estuvo a cargo del Ing. Arturo Algandona y el Ing. José Manzané como promotores del proyecto y el Ing. Enier Portugal por la empresa consultora que realizó el estudio de impacto ambiental, expusieron y explicaron la descripción general del proyecto, sus impactos positivos y negativos con sus respectivas medidas de mitigación. A las 2:10 p.m. agotado el período de preguntas y respuestas, se dio por concluido el foro.

Inquietudes más relevantes de los participantes:

Cuáles son las oportunidades de empleo? Qué tipo de mano de obra requerirá el proyecto? Generará impuestos municipales?

Según la promotora, les respondió que el proyecto generará 420 empleos directos y 1200 empleos indirecto. El impuesto a pagar al Municipio se estima en 1% del costo total de la obra. Costo estimado de la obra? B/. 114.989.000.00.

Los productores temen por el caudal de agua, ya que hay escasez de agua en temporada seca, para abastecer los acueductos rurales y el ganado, principal actividad en el área.

Qué beneficios sociales para las comunidades vecinas traerá este proyecto?

Según los ambientalistas, en Foros Públicos los promotores prometen que hay trabajo y oportunidades para los habitantes del área y no lo cumplen.

Existen inquietudes por la compra e indemnización de tierras que se verán impactadas por el proyecto.

No se establecen claramente por escrito los compromisos de la promotora del proyecto para con la comunidad como medidas de compensación. Señalaron que las experiencias de Fortuna y Estí no se deben

Informe Técnico Foro hidroeléctrica Prudencia



anam

Autoridad Nacional del Ambiente
Administración Regional de Chiriquí
David, Chiriquí, Rep. de Panamá
Tel-Fax: 774-6671

1812
47

repetir en esta hidroeléctrica y muy por el contrario, deben quedar claramente establecidos los compromisos y las promesas de la promotora para velar por su cumplimiento.

Que aportes habrá para mejorar el sistema de atención de salud pública y la red de caminos

Si se ha contemplado la alternativa del turismo ecológico?

Conclusión y recomendación:

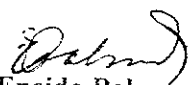
Sugieren algunas recomendaciones como aporte social: mejoras en el agua potable de los acueductos que abastecen las comunidades adyacentes, garantizar que el mayor porcentaje de empleo sea mano de obra local. Las infraestructuras una vez terminadas las labores deben quedar para beneficio de la comunidad y no demolerlas. Equipar el Centro de Salud. Durante la construcción, garantizar que no se interrumpirá el suministro de agua a los usuarios de las fincas ganaderas estableciendo canales y abrevaderos especiales para el ganado, mejorar la red de carreteras y vías alternas, se dotará de comedores escolares las escuelas cercanas al proyecto, promoverán planes sociales de creación de cooperativas, planes de asistencia médica, plan de becas escolares, solicitan un Parque Infantil que debe ser solicitado por el Club de Padres de familia de la Escuela. Solicitan electricidad a la comunidad de Zambrano, la empresa prometió celdas solares.

En conclusión la comunidad no se opone al proyecto, sin embargo solicita más aportes en el componente social y económico para la región.

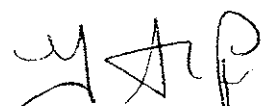
Se cumplió con el proceso de consulta ciudadana a través de la ejecución del FORO PÚBLICO, con publicidad por los medios de comunicación y escrita a través de panfletos y propagandas colocadas en el trayecto al sitio del foro colocados en los postes eléctricos, buses gratis para los asistentes y brindis.

La comunidad y sociedad civil expresaron sus opiniones con respecto al proyecto.

Informe elaborado por:


Lic. Eneida Palma
Dpto. Protección Ambiental
ANAM- CHIRIQUI


VoBo


Ing. Gilberto Samaniego
Jefe Dpto. Protección Ambiental
ANAM- CHIRIQUI

EAA/GS/EP/ep

c.c. Expediente
Archivo

VoBo


Lic. Edgar Araúz A.
Administrador Regional
ANAM-Chiriquí

Informe Técnico Foro hidroeléctrica Prudencia

"CONSERVACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE"