



AUTORES:

MICAELA MIRANDA
CECILIA RIET CORREA
VITTORIA ROTONDARO

**REPRESA PARA CONTROL DE AVENIDAS
EN LA CIUDAD DE DURAZNO
Y GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA

02 de diciembre de 2016

TUTORES:

CHRISTIAN CHRETIES
LUIS SILVEIRA
DANIEL SCHENZER

Índice

1. INTRODUCCIÓN	10
2. OBJETIVO	13
2.1 Objetivo General	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3. ALCANCE	13
4. METODOLOGÍA DE TRABAJO	14
5. RECOPLIACIÓN DE ESTUDIOS ANTECEDENTES.....	15
5.1 Plan de emergencia contra inundaciones para la ciudad de Durazno, República Oriental del Uruguay. Cascos Blancos 2002	15
5.2 Proyecto piloto PROHIMET: Alerta temprana para la ciudad de Durazno ante las avenidas del Río Yí. 15	15
5.3 Generación hidroeléctrica en pequeña escala. IMFIA. ANII.....	16
6. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	17
6.1 Ubicación.....	17
6.2 Parámetros físicos e hidrológicos.....	19
6.3 Clima	19
6.4 Unidades de Suelos.....	20
6.5 Usos y Coberturas del Suelo	21
6.6 Suelos CONEAT	23
6.7 Geología	25
7. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	26
7.1 Información Hidrometeorológica.....	26
7.1.1 Información pluviométrica	26
7.1.2 Información hidrométrica	27
7.1.3 Información de Red Telemétrica de UTE.....	28
7.2 Información cartográfica	29
7.3 Relevamiento topográfico	30
8. MODELO DIGITAL DEL TERRENO	33
8.1 Información de base	33
8.2 Metodología	33

9. MODELACIÓN HIDROLÓGICA–HIDRODINÁMICA	34
9.1 Definición en subcuencas	34
9.1.1 Delimitación de subcuencas	34
9.1.2 Caracterización de subcuencas	35
9.2 Implementación del modelo hidrológico	39
9.2.1 Precipitación Incidente	39
9.2.2 Precipitación Efectiva	39
9.2.3 Hidrograma de Crecida	42
9.3 Implementación del modelo hidrodinámico	43
9.3.1 Geometría del modelo	43
9.3.2 Modelación del flujo no estacionario	51
9.4 Calibración y Validación del modelo	53
9.4.1 Elección de eventos a modelar	53
9.4.2 Análisis de recurrencia de los eventos	56
9.4.3 Calibración del modelo	58
9.4.4 Validación del modelo	65
9.4.5 Conclusiones	66
9.5 Curvas de inundación	67
10. LOCALIZACIÓN DEL CIERRE	71
10.1 Características a evaluar	71
10.1.1 Sección estrecha del cauce, con pendientes laterales fuertes	71
10.1.2 Área de la cuenca y potencia generada	71
10.1.3 Energía generada	72
10.1.4 Largo del vertedero	72
10.1.5 Volumen embalsado y control de inundaciones	73
10.1.6 Superficie del lago	73
10.1.7 Distancia del cierre al poblado más cercano aguas abajo	73
10.1.8 Distancia a la línea de transmisión más cercana	74
10.2 Etapa 1: Caracterización de nuevos cierres	74
10.2.1 Secciones estrechas	74
10.2.2 Área de la cuenca y potencia generada	76
10.2.3 Energía generada	76
10.2.4 Volumen embalsado y control de inundaciones	76
10.2.5 Distancia del cierre al poblado más cercano aguas abajo	79
10.2.6 Distancia a la línea de transmisión más cercana	79
10.2.7 Resumen de los Resultados de la Etapa 1	80
10.3 Etapa 2: Análisis económico – financiero de los nuevos cierres	81
10.3.1 Costos	81
10.3.2 Beneficios	82
10.3.3 Resultados	83
10.4 Etapa 3: Definición de la altura óptima	85
10.4.1 Sección del cauce	85
10.4.2 Potencia generada	85
10.4.3 Volumen embalsado	85
10.4.4 Superficie del lago	86

10.4.5	Análisis económico – financiero	86
10.5	Etapa 4: Caracterización de cierres dados	88
10.5.1	Cierre Durazno.....	89
10.5.2	Cierre en Sarandí del Yí.....	92
10.6	Etapa 5: Selección final del cierre	95
11.	DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA PRESA A DISEÑAR.....	96
11.1	Localización y accesos	96
11.1.1	Ubicación geográfica	96
11.1.2	Accesos	97
11.1.3	Cuencas.....	97
11.1.4	Caracterización del vaso	97
12.	DISEÑO DE LA REPRESA	100
12.1	Generalidades	100
12.2	Localización.....	100
12.3	Diseño del vertedero.....	101
12.3.1	Geometría del Vertedero	102
12.3.2	Obra de restitución al cauce.....	104
12.3.3	Fenómeno de Cavitación	105
12.3.4	Resumen	106
12.4	Diseño de la represa de materiales sueltos	106
12.4.1	Perfil geológico	106
12.4.2	Fundación	107
12.4.3	Niveles de diseño.....	107
12.4.4	Dimensiones del dique	108
12.4.5	Materiales del cuerpo de la represa.....	110
12.4.6	Sección tipo de la represa.....	110
12.4.7	Protección de los taludes.....	112
12.4.8	Filtros y drenes	113
12.5	Estabilidad	114
12.5.1	Presa de materiales sueltos	114
12.5.2	Estabilidad de vertedero Creager	118
12.6	Diseño del descargador de fondo	120
12.7	Caudal ambiental	122
13.	GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA.....	125
13.1	Recursos hídricos disponibles.....	125
13.2	Salto neto.....	127
13.3	Potencia a instalar.....	128
13.4	Energía máxima anual generable	128
13.5	Potencia mensual y energía anual generada	128
13.6	Factor de capacidad	129

13.7	Cantidad de turbinas y punto de funcionamiento	130
13.8	Selección del tipo de turbina	130
13.9	Tubería a presión	130
14.	OPERACIÓN DE LA REPRESA	131
14.1	Modo de Operación Energética	131
14.2	Modo de operación en crecida	131
15.	ROTURA DE LA REPRESA	133
15.1	Dimensiones de la brecha y Tiempos de rotura	133
15.2	Escenarios modelados	135
15.3	Nuevos escenarios modelados	139
15.4	Conclusiones	141
16.	INFLUENCIA DE LA REPRESA	145
16.1	Efecto sobre las inundaciones.	145
16.2	Generación de energía hidroeléctrica.....	149
16.3	Aspectos negativos de la construcción de la represa.....	150
17.	COSTOS	154
17.1	Hipótesis de cálculo	154
17.2	Retorno de la Inversión	155
17.3	Resumen de costos	156
18.	CONCLUSIÓN	157
19.	BIBLIOGRAFÍA.....	164

Índice de Anexos

Anexo I	Análisis de calidad de datos
Anexo II	Coefficientes de escorrentía
Anexo III	Vertedero Ogee
Anexo IV	Mapas de inundación
Anexo V	Planos

Índice de Planos

Plano 01	Ubicación
Plano 02	Longitudinal del dique
Plano 03	Lago
Plano 04	Presa de tierra
Plano 05	Tuberías a presión y desagües 1
Plano 06	Tuberías a presión y desagües 2
Plano 07	Vertedero Ogee 1
Plano 08	Vertedero Ogee 2

Índice de Figuras

Figura 2.1-2 - Fotografía aérea de la ciudad de Durazno el día 21/04/2016	11
Figura 2.1-3 - Fotografía aérea de la ciudad de Durazno el día 05/02/2014	12
Figura 6.1-2. Ubicación Regional	18
Figura 6.4-2. Grupo hidrológicos en los suelos de la cuenca del río Yí.....	20
Figura 6.7-1: Unidades geológicas	25
Figura 7.1-2 Estaciones hidrométricas	28
Figura 7.1-3 Ubicación estaciones telemétricas	29
Figura 7.3-1 Secciones relevadas por Cascos Blancos	31
Figura 7.3-2 Secciones relevadas PROHIMET	31
Figura 7.3-3 Sección puente Paso San Borja.....	32
Figura 7.3-4 Sección Puente Polanco del Yí.....	32
Figura 9.1-1.Subcuencas de la cuenca del Río Yí	34
Figura 9.1-3. Cobertura de los suelos de la cuenca del río Yí	37
Figura 9.3-1 Secciones modeladas	44
Figura 9.3-2 Ubicación de represas	45
Figura 9.3-3 Modelación de las represas.....	45
Figura 9.3-4 Puentes modelados	46
Figura 9.3-5 Modelación Puente Ruta N° 6	47

Figura 9.3-6 Modelación Puente Ruta N° 42	47
Figura 9.3-7 Modelación Puente Paso San Borja.....	48
Figura 9.3-8 Modelación Puente Ruta N° 5 "Nuevo".....	48
Figura 9.3-9 Modelación Puente vía férrea	49
Figura 9.3-10 Modelación Puente Ruta N° 5 "Viejo"	49
Figura 9.4-1: Hietogramas de precipitación media en la cuenca y Limnigramas registrados en Durazno para eventos en el período 2000 - 2015.....	55
Figura 9.4-2 Hietograma y Limnigrama registrado en EM Durazno durante el evento de Abril 2016	55
Figura 9.4-3 Interpolación niveles de eventos	57
Figura 9.4-5: Limnigramas modelados y medidos en Durazno en la Etapa 2 de calibración.....	61
Figura 9.4-6 Limnigramas modelados y medidos en Durazno en la Etapa 3 de calibración.....	63
Figura 9.4-7: Limnigramas modelados y medidos en Durazno en la Etapa 4 de calibración.....	64
Figura 10.2-1 Ubicación de los cierres.....	74
Figura 10.5-2 Sección del río en el cierre Durazno	90
Figura 10.5-3 Cuenca de aporte cierre Durazno.....	90
Figura 10.5-4 Área inundada con cierre Durazno	91
Figura 10.5-7 Área inundada con cierre Sarandí del Yí.....	94
Figura 11.1-1 - Ubicación nacional del emprendimiento	96
Figura 11.1-2 - Ubicación regional.....	96
Figura 11.1-4 - Curva Altura-Superficie	99
Figura 11.1-5 - Curva Altura-Volumen.....	99
Figura 12.5-1 Curva de infiltración	115
Figura 12.5-2 Red de flujo	115
Figura 12.5-4 Fin de construcción - Aguas arriba	117
Figura 12.5-5 Embalse lleno	118
Figura 12.5-6 Vaciado rápido.....	118
Figura 12.5-7 Diagrama de fuerzas y presiones actuantes.....	119
Figura 12.7-1 – Caudales ambientales.....	124
Figura 15.1-1 – Brecha Presa de Gravedad (Vertedero).....	134
Figura 15.1-2 - Brecha Presa de Tierra	134
Figura 15.4-1 - Curvas de inundación Escenario 5a y Mayo 2007	143
Figura 16.1-1 - Padrones desafectados por las inundaciones en presencia de la represa	147
Figura 16.3-1 Padrones bajo lago a cota de coronamiento.....	152
Figura 16.3-2 Coneat padrones inundados	153
Figura 16.3-3 Uso de suelo de los padrones inundados.....	153
Figura 17.1-1 Imagen satelital - Recorrido línea de transmisión	155

Índice de Tablas

Tabla 6.1-1 - Coordenadas del cierre de la cuenca.....	17
Tabla 6.2-1: Parámetros físicos e hidrológicos de la cuenca del Río Yí	19
Tabla 6.4-1: Unidades de suelo y Grupos Hidrológicos de la cuenca del río Yí.	21
Tabla 7.1-1 Estaciones pluviométricas convencionales.....	26
Tabla 7.1-2 Curva de aforo estación 125.1	28
Tabla 7.1-3 Estaciones telemétricas	29
Tabla 9.1-1 Parámetros geomorfológicos de subcuencas	35
Tabla 9.1-2 Números de Curva según Uso y Grupo hidrológico de los suelos	38
Tabla 9.1-3 Parámetros hidrológicos de las subcuencas	38
Tabla 9.2-1 Condición antecedente de humedad	41
Tabla 9.4-2 Tiempo de retorno asociado a cada evento	57
Tabla 9.4-5 Tiempos de concentración modificados para la Etapa 2 de calibración.....	60
Tabla 9.4-7: Tiempos de concentración modificados para la Etapa 3 de calibración.....	62
Tabla 9.4-9 Tiempos de concentración y números de curva modificados para la Etapa 4 de calibración .	64
Tabla 10.2-1 Características de cada punto de cierre	76
Tabla 10.2-2 Área de cuenca, caudal turbinable y potencia generada en cada cierre	76
Tabla 10.2-3 Volumen embalsado en cada cierre	77
Tabla 10.2-4 - Influencia en las inundaciones	77
Tabla 10.2-5 Área inundada en cada cierre.....	77
Tabla 10.2-7 - Distancia a línea de transmisión.....	79
Tabla 10.2-8 Resumen características de cada cierre	80
Tabla 10.3-1 - Resultados del análisis económico - financiero.....	83
Tabla 10.4-1 Características de los cierres según alturas.....	85
Tabla 10.4-2 Área de cuenca, potencia y energía generada según altura.....	85
Tabla 10.4-3 Volumen embalsado según altura	86
Tabla 10.4-4 - Influencia sobre las inundaciones	86
Tabla 10.4-5 – Superficie del lago y afectaciones.....	86
Tabla 10.4-6 - Análisis económico - financiero para la determinación de la altura óptima del cierre 3	87
Tabla 10.5-1 Características del cierre Durazno	90
Tabla 10.5-3 - Influencia en las inundaciones	91
Tabla 10.5-7 - Influencia sobre las inundaciones	93
Tabla 10.6-1 - Análisis económico-financiero para la selección final del cierre	95
Tabla 11.1-1 - Características de la cuenca de la represa.....	97
Tabla 11.1-2 - Datos altura, superficie y volumen del vaso.....	98
Tabla 12.2-1: Coordenadas del dique sobre el río Yí.	100
Tabla 12.3-1: Avenidas de diseño según categoría de la presa	101

Tabla 12.3-2: Coordenadas y Diagrama del vertedero	104
Tabla 12.3-4: Características del vertedero y cuenco de amortiguación	106
Tabla 12.4-1: Perfil geológico del suelo	107
Tabla 12.4-3: Calculo de cota de coronamiento y altura de presa	109
Tabla 12.4-4: Propiedades de los materiales	110
Tabla 12.4-5: Características del núcleo	111
Tabla 12.4-6: Características del Dentellón	112
Tabla 12.4-7: Espesores y limitante de granulometría para enrocado sobre taludes de 3:1	112
12.4-8 Características geotécnicas e hidráulicas del dren	113
12.4-9 Características geotécnicas e hidráulicas de los filtros	113
12.4-10 Parámetros para la verificación de la no tubificación	114
Tabla 12.5-1 Valores admisibles de factores de seguridad	116
Tabla 13.1-1 - Ciclo de precipitación media anual.....	125
Tabla 13.1-2 - Ciclo de evapotranspiración media anual	125
Tabla 13.1-3 - Unidad de Suelo, Área de influencia y Agua Disponible	126
Tabla 13.1-4 - Ciclo medio anual de escurrimientos	126
Tabla 13.5-1 - Potencia mensual generada	129
Tabla 16.1-2 Padrones afectados	146
Tabla 16.1-3 Personas afectadas	146
Tabla 16.1-4 Comparación de áreas de inundación	148
Tabla 16.1-5 Tiempos de retorno	149
Tabla 16.2-1 Características de las represas.....	150
Tabla 16.3-1 Padrones afectados por el lago permanente	150
Tabla 17.2-1 Costos de la represa	156

ACRÓNIMOS

CECOED	Centro Coordinador de Emergencias Departamentales
CONAET	Comisión Nacional de Estudio Agroeconómico de la Tierra, MGAP
DINAGUA	Dirección Nacional del Agua, MVOTMA
DNE	Dirección Nacional de Energía, MIEM
IDE	Instituto de Datos Espaciales
IMFIA	Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, Universidad de la Republica
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
INUMET	Instituto Uruguayo de Meteorología
MDT	Modelo Digital de Terreno
MGAP	Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca
MIEM	Ministerio de Industria, Energía y Minería, Uruguay
MOPTMA	Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, España
MVOTMA	Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Uruguay
NRSC	Natural Resources Conservation Service (Estados Unidos)
OEA	Organización de Estados Americanos
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PCH	Pequeña Central Hidroeléctrica
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PROHIMET	Red iberoamericana para el monitoreo y pronóstico de fenómenos hidrometeorológicos
RENARE	Dirección General de Recursos Naturales Renovables, MGAP
SAT	Sistema de alerta temprana
SIG	Sistema de Información Geográfica
SNAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas, MVOTMA

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto pretende abordar dos temas de especial interés tanto a nivel nacional como regional. Por un lado, la promoción de fuentes energéticas autóctonas y renovables que permitan reducir la alta dependencia que el sector energético uruguayo tiene con las fuentes de energía primarias (petróleo, gas natural, etc.). Por otro lado, la creciente preocupación por las frecuentes inundaciones en la ciudad de Durazno, las cuales causan cada año innumerables daños económicos y sociales.

Respecto a la transformación de la matriz energética uruguaya, la misma se enmarca en la Política Energética 2005 – 2030 desarrollada por el MIEM y DNE, aprobada por el Poder Ejecutivo en el año 2008 y convertida en Política de Estado en el año 2010.

La misma establece metas a corto (2015), mediano (2020) y largo (2030) plazo, realizando una fuerte apuesta a la incorporación de fuentes autóctonas en general y en particular de energías renovables, impulsando la introducción de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), entre otras.

Desde el año 1993, el IMFIA cuenta con un estudio donde se localizan 101 posibles sitios para instalar PCH en Uruguay, 7 de ellos se encuentran sobre el río Yí.¹

Respecto a las inundaciones en la ciudad de Durazno, éstas no son un asunto nuevo, sino por el contrario, resulta ser un problema histórico que data de tiempos anteriores a su fundación.

A lo largo de los siglos el río Yí ha buscado desplazar su cauce sobre la margen norte, dejando en la margen sur rastros de sus antiguos cursos y un relieve plano que conforma su planicie de inundación.

En 1821 el Gral. Fructuoso Rivera, conociendo los desbordes del río Yí, funda de forma estratégica Villa San Pedro de Durazno sobre la margen Sur del río Yí. Sabía que de hacerlo en la margen Norte los pobladores quedarían frecuentemente encerrados entre las crecidas del río Negro y Yí. Sin embargo, las zonas que alcanzaban las crecidas del Yí permanecieron despobladas durante varias décadas.

Es a partir de 1870, cuando se comienza a alambrar los campos, provocando la expulsión de centenares de familias de las estancias, las cuales desarraigadas se instalaron a orillas del río Yí, comenzando a sufrir las consecuencias y perjuicios socioeconómicos de las inundaciones. Las crecidas adquieren a partir de este momento un carácter de drama social.

Sin embargo, la preocupación por este tema cobra aún más fuerza en los últimos años, debido al incremento observado tanto en los volúmenes acumulados como intensidad y frecuencia de las precipitaciones.

Son evidentes las consecuencias que tienen las crecidas en la ciudad, ya sean directas para los evacuados, como indirectas para todos aquellos que brindan sus servicios ante la emergencia.

¹ MIEM-DNETN, ONUDI (Agosto 2010), "Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Uruguay"

"...Con diferentes características, producto de la naturaleza y el propio accionar del hombre, todas las crecientes estuvieron signadas por un denominador común: el dolor de miles de vecinos, de las zonas más bajas, quienes debieron dejar sus hogares..."²



Figura 2.1-1 – Fotografía del puente de la actual Ruta 5 el día 07/05/2007 ³



Figura 2.1-2 - Fotografía aérea de la ciudad de Durazno el día 21/04/2016 ⁴

² Extraído de nota del Diario "El Acontecer" de Durazno, publicada el 20/09/2014.

³ Imagen extraída de sitio web www.tudurazno.net/inundaciones.html

⁴ Imagen extraída de sitio web www.subrayado.com.uy



Figura 2.1-3 - Fotografía aérea de la ciudad de Durazno el día 05/02/2014

En mayo de 2007 tiene lugar el evento de mayor magnitud hasta el momento, registrándose en el puente de la ex Ruta 5 un nivel aproximado de 12.95 m, 4.35 m sobre el nivel de alerta roja que maneja el Centro Coordinador de Emergencias Departamentales. Se registraron más de 6,000 evacuados, con una población de 37,372 habitantes según el censo de 2011, esto es aproximadamente un 20% de la población de la ciudad de Durazno.

En febrero de 2010, se produjo una tormenta de características muy similares a las ocurridas en 2007. El río Yí alcanzó una altura de 12.08 m en el puente de la ex Ruta 5, dejando aproximadamente 5.500 personas evacuadas.

En el año 2015, decenas de vecinos de Durazno cortaron la Ruta 5 en protesta y cansados de las inundaciones que viven cada año, reclamando una solución definitiva para las crecidas del río Yí.⁵

Durante el mes de abril de 2016, mientras se efectuaba el presente informe, ocurrió la tercera inundación en orden de magnitud en la ciudad de Durazno. La creciente avanzó sobre el puente de la ex Ruta Nº 5 con un nivel máximo de 11.31 m el día 21 de abril. En este evento fueron evacuados aproximadamente 4000 duraznenses.

Lo expuesto obliga a plantearse la necesidad de evaluar la factibilidad de la construcción de una represa sobre el río Yí que permita dar solución y compatibilizar ambas problemáticas, es decir, la promoción de una fuente de generación hidroeléctrica de pequeña escala y el control de inundaciones en la ciudad de Durazno.

Este análisis es lo que abordará el presente informe.

⁵ Extraído de nota “Vecinos de Durazno exigen solución a inundaciones; cortaron ruta 5”. Sitio web www.subrayado.como.uy

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo General

Diseñar una represa multipropósito localizada sobre el río Yí aguas arriba de la ciudad de Durazno. La misma se diseña de modo que sea capaz de contemplar los siguientes usos: control de inundaciones en la ciudad de Durazno y generación hidroeléctrica.

De esta forma se pretende aportar en la búsqueda de soluciones al problema de inundaciones que afecta a la ciudad de Durazno, de modo de contribuir en la mejora de la calidad de vida de los miles de afectados.

2.2 Objetivos específicos

- I. Proponer la ubicación de la represa estableciendo criterios de selección de ubicación. Para esto se cuenta con dos ubicaciones posibles y se deberá además proponer una tercera.
- II. Diseño de la represa a nivel de anteproyecto
- III. Analizar impacto de rotura de represa
- IV. Realización del estudio de impacto ambiental de la represa proyectada
- V. Estudio de costos del proyecto de la alternativa seleccionada
- VI. Analizar el impacto sobre la población afectada por las inundaciones

3. ALCANCE

El alcance del presente proyecto consiste en la localización y diseño de la represa a nivel de anteproyecto, junto con lineamientos de la operación hidrológica – hidráulica de la misma.

Queda fuera del proyecto la evaluación del impacto de la presa diseñada sobre la generación hidroeléctrica en la represa de Palmar, y el eventual uso del embalse para riego.

4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La ejecución del proyecto se lleva a cabo siguiendo las etapas que se enumeran a continuación:

1. En primer lugar y a modo de puesta a punto de la situación se realiza una recopilación y análisis de estudios antecedentes. (ver Capítulo 5)
2. Seguidamente se estudia y caracteriza la zona del proyecto. Conjuntamente se realiza una recopilación y análisis de información hidrometeorológica y topográfica en la cuenca. (ver Capítulos 6, 7 y 8)
3. Para poder evaluar las distintas configuraciones de soluciones a implementar, se confecciona un modelo hidrológico-hidrodinámico del río Yí, mediante el cual se conoce la respuesta y comportamiento del cauce frente a diversos eventos de lluvia. (ver Capítulo 9)
4. Para definir y proponer la ubicación de la represa se realiza un análisis de alternativas de localización y volumen de la represa, optimizando simultáneamente la generación hidroeléctrica, el control de inundaciones y el costo de la obra. Se conocen con anterioridad dos posibles localizaciones de la represa, evaluadas en el marco del proyecto de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Se analizan las dos localizaciones conocidas y otras propuestas en este proyecto. (ver Capítulos 10 y 11)
5. Luego de tener una ubicación definida se procede a realizar el diseño de la represa a nivel de anteproyecto. (ver Capítulos 12 y 13)
6. Se propone una alternativa de operación de la represa de modo de compatibilizar ambos usos. (Capítulo 14)
7. Se realiza un análisis de las consecuencias de la rotura de la represa. (Capítulo 15)
8. Se analiza la influencia de la represa tanto sobre la población afectada por las inundaciones como sobre la generación de energía hidroeléctrica y se realiza un estudio de costos de la misma. (ver Capítulos 16 y 17)
9. Se elabora un Estudio de Impacto Ambiental identificando y evaluando los principales impactos que la represa tendrá sobre el ambiente. (ver documento Estudio de Impacto Ambiental Represa Para Control de Avenidas en la ciudad de Durazno y Generación Hidroeléctrica)

5. RECOPLIACIÓN DE ESTUDIOS ANTECEDENTES

5.1 Plan de emergencia contra inundaciones para la ciudad de Durazno, República Oriental del Uruguay. Cascos Blancos 2002

El objetivo específico fue desarrollar un proceso metodológico para el diseño y elaboración de un plan de emergencia a aplicar cuando se prevean inundaciones en la ciudad de Durazno, conteniendo la programación de rápidas acciones de respuesta conducidas en forma eficiente y organizada y que pueda ser utilizado en otras ciudades de la República Oriental del Uruguay afectadas por este problema.

El estudio realiza recomendaciones en lo que se refiere al ordenamiento territorial y otras posibles medidas estructurales y no estructurales que pudieran ser eficaces para el control de las inundaciones.

Las actividades realizadas se focalizaron en el estudio de cuatro elementos centrales: análisis hidrológico, modelación hidrodinámica, estudio socioeconómico y de ordenamiento territorial, y plan de emergencia.

En particular, se realizó mediante un análisis estadístico a partir del registro histórico de niveles máximos diarios en la estación de Durazno N° 125.1, ubicada en el puente de la ex Ruta 5 (Puente Viejo), en el período 1962 – 2001, considerando los 40 valores mayores de toda la serie, obteniendo una correspondencia entre niveles y períodos de retorno.

5.2 Proyecto piloto PROHIMET: Alerta temprana para la ciudad de Durazno ante las avenidas del Río Yí.

Este proyecto cuyo objetivo fue la mejora de la gestión de las inundaciones en la ciudad de Durazno, fue realizado en el periodo 2009 - 2011 por el IMFIA, financiado por OMM.

En el marco del proyecto se desarrolló un sistema de alerta temprana de inundaciones, con base en pronósticos meteorológicos e información hidrológica en tiempo real, que permite prever el nivel máximo que alcanzará el río Yí en la ciudad de Durazno, fecha y permanencia por encima de las cotas críticas.

Se implementó un modelo hidrológico-hidrodinámico del mencionado río y se elaboraron curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para la ciudad de Durazno.

5.3 Generación hidroeléctrica en pequeña escala. IMFIA. ANII.

En 2013, el Instituto de Mecánica de los Fluidos de la Facultad de Ingeniería – UdelaR y la Asociación Nacional de Investigación e Innovación (ANII) presentaron el informe de “Generación Hidroeléctrica en pequeña escala”.

En este trabajo se relevaron los lugares del Uruguay en que puede existir la potencialidad de generar energía hidroeléctrica. Se consideraron los posibles aprovechamientos que menos impactos negativos presentaran desde el punto de vista ambiental y económico y se realizó un listado exhaustivo de todos los impactos (ambientales y socioeconómicos) asociados a los emprendimientos hidroeléctricos.

Se realizaron 5 anteproyectos preliminares en lugares representativos seleccionados como los más promisorios. En ellos se estudiaron más exhaustivamente la posibilidad de implantación, con estimación de costos y de impactos más detallada. Entre estos 5 anteproyectos se presenta un cierre asociado al río Yí a cota 85 msnm.

6. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

6.1 Ubicación

La zona de estudio corresponde a la cuenca asociada al río Yí, desde sus nacientes hasta la ciudad de Durazno, más precisamente en el puente de la Ruta Nacional N° 5 “Brigadier General Fructuoso Rivera” sobre el río Yí. Abarcando una extensión total de 8,860 km².

La cuenca situada en la zona centro-sur de Uruguay, presenta un límite bien marcado al Este por la Ruta Nacional N° 7 y al Oeste por la Ruta N°3. Al Norte, queda limitada por el eje aproximado que une a la ciudad Carlos Reyles con la intersección entre la Ruta N°6 y Ruta N°43. Al Sur, por el eje de la Ruta N° 58. Las Rutas N° 5 y N° 6 son las principales vías de acceso a la cuenca y zona de estudio.

La siguiente tabla presenta las coordenadas geográficas del cierre de la cuenca en el sistema de proyección UTM 21S.

Tabla 6.1-1 - Coordenadas del cierre de la cuenca

X (m)	Y (m)
545442	6307240

El río Yí oficia de límite departamental entre el departamento de Durazno y Florida. Esto implica que del área total de la cuenca, unos 3,457 km² se encuentren dentro del departamento de Durazno y 5,403 km² en el departamento de Florida.

El área cubierta por la cuenca se caracteriza por ser plenamente rural, presentando grandes extensiones de terreno de uso agrario y en menor medida zonas urbanas.

Dentro de la cuenca se destacan la ciudad de Durazno, capital del departamento homónimo, ubicada al sur-oeste del mismo a unos 190 km de la ciudad de Montevideo. La ciudad de Sarandí del Yí, también ubicada en el departamento de Durazno, a 222 Km de Montevideo. Y la ciudad de Polanco del Yí, ubicada en el departamento de Florida a unos 185 Km de la ciudad de Montevideo. Todas las ciudades ubicadas sobre las márgenes del río Yí.



Figura 6.1-1. Ubicación Nacional

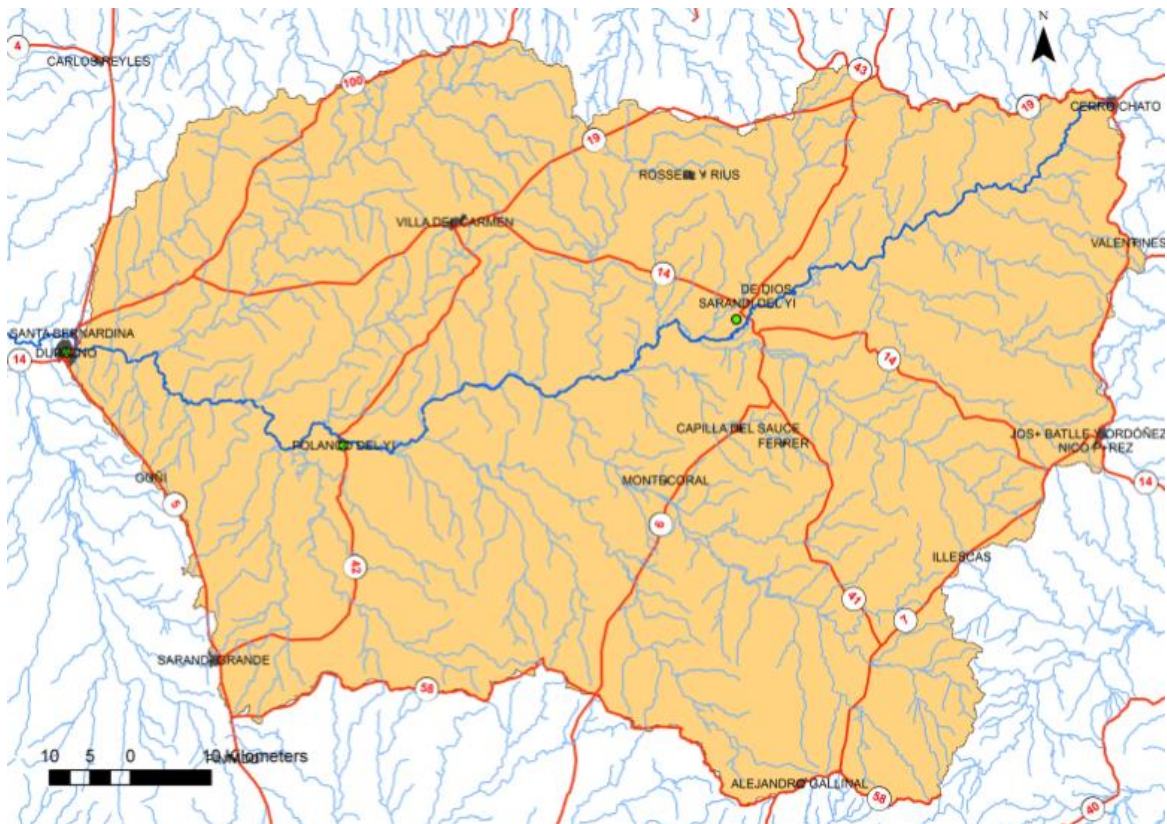


Figura 6.1-2. Ubicación Regional

6.2 Parámetros físicos e hidrológicos

En la siguiente tabla se presentan las principales características físicas e hidrológicas de la cuenca.

Tabla 6.2-1: Parámetros físicos e hidrológicos de la cuenca del Río Yí

Cuenca	Río Yí
Punto de Cierre	Puente Ruta Nº 5
Área (Km²)	8860
Índice de Compacidad	2.06
Longitud cauce ppal (Km)	203
Cota máxima (m)	293
Cota mínima (m)	66
Pendiente media cauce (%)	0.11
Pendiente media cuenca (%)	2.67
Tiempo de concentración (hs)	55.6

Para la determinación de los parámetros anteriores fue necesario implementar un modelo digital del terreno (tamaño de celda 90 x 90) generado a partir de las curvas de nivel cada 10 metros del Servicio Geográfico Militar (SGM). El tiempo de concentración es calculado a partir de la formulación de Ramser y Kirpich⁶.

Cabe destacar que el punto de cierre de la cuenca se elige de modo tal de caracterizar el área de aporte a la ciudad de Durazno, dado que uno de los principales objetivos del proyecto es el control de inundaciones en dicha ciudad. Por otro lado se tuvo en cuenta que en dicho punto se encuentra instalada la estación telemétrica de UTE con registros de precipitación y niveles del río Yí.

6.3 Clima

La principal variable climatológica de interés en el presente estudio es la precipitación. Su conocimiento es de importancia tanto a la hora de evaluar las inundaciones en la ciudad de Durazno como el volumen de agua a acumular por la presa para la generación de energía hidroeléctrica.

La precipitación media anual en la cuenca resulta de 1300 mm.

Para el cálculo de la precipitación media anual se aplica el método del cuadrado de la distancia recíproca, utilizando series históricas de precipitación en el período 1994 – 2015 para un total de 13 pluviómetros (los de mayor influencia en la zona de estudio).

⁶ Hidrología Aplicada. Ven Te Chow et al. Ed. Enero 2000.

6.4 Unidades de Suelos

En la cuenca se encuentran 16 tipos de Unidades Cartográficas de Suelos, según la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay del año 1976 a escala 1:1.000.000, disponible para su uso con un sistema de información geográfico en la página web de RENARE.

A cada unidad cartográfica de suelo es posible asignarle un grupo hidrológico, a través de la tabla “Grupo hidrológico según unidad de suelos del Uruguay”.⁷

El grupo hidrológico es una forma de clasificar el tipo de suelo según la textura del perfil, siendo un parámetro fundamental para determinar el potencial de escurrimiento del suelo.

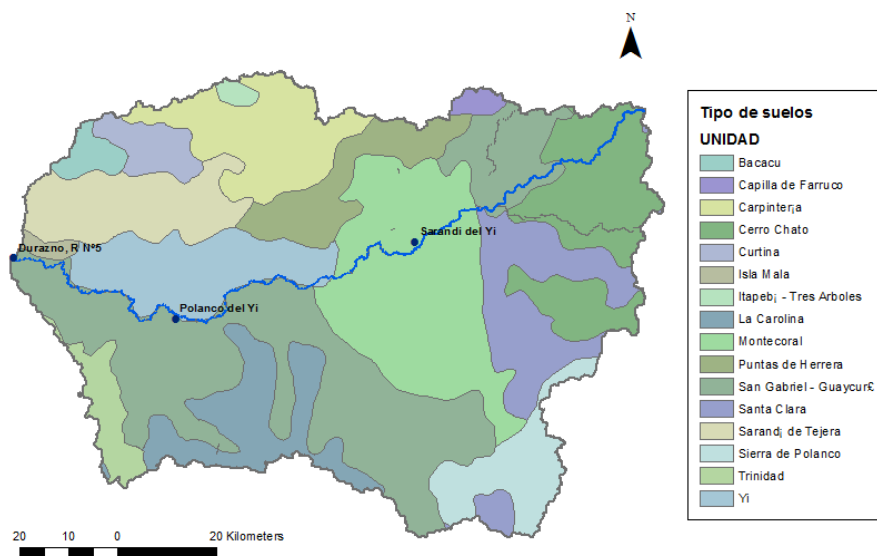


Figura 6.4-1. Unidad de suelos de la cuenca del Río Yí

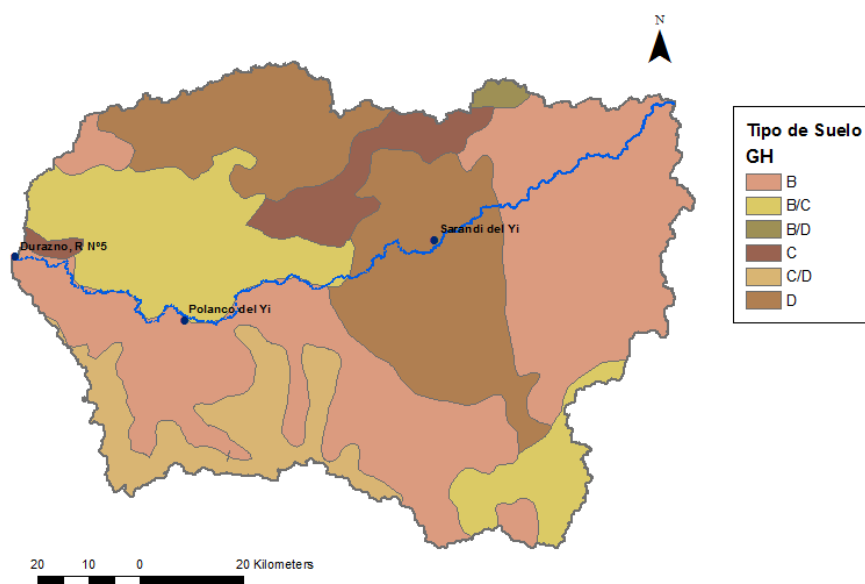


Figura 6.4-2. Grupo hidrológicos en los suelos de la cuenca del río Yí

⁷ Durán, A. (1996). *Los Suelos del Uruguay*.

En la tabla a continuación se observan las unidades de suelos encontradas y sus respectivos grupos hidrológicos.

Tabla 6.4-1: Unidades de suelo y Grupos Hidrológicos de la cuenca del río Yi.

CODIGO	UNIDAD	GH
I -TA	Itapebí - Tres Arboles	D
CF	Capilla de Farruco	B/D
SCI	Santa Clara	B
CCh	Cerro Chato	B
Cu	Curtina	D
Cpt	Carpintería	D
Ba	Bacacué	B
SG-G	San Gabriel - Guaycurú	B
PH	Puntas de Herrera	C
IM	Isla Mala	C
SdT	Sarandí de Tejera	B/C
Mc	Montecoral	D
Yi	Yi	B/C
LC	La Carolina	C/D
Tr	Trinidad	C/D
SP	Sierra de Polanco	B/C

Las características de los suelos asociados a cada uno de los grupos hidrológicos (en adelante GH) son los siguientes:

- GH A: Suelos profundos depositados por viento (arenas profundas, limos, agregados)
- GH B: Suelos poco profundos depositados por el viento (magra arenosa)
- GH C: Suelos con bajo contenido orgánico y suelos con alto contenido de arcillas (magras arcillosas)
- GH D: Suelos que se expanden cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

6.5 Usos y Coberturas del Suelo

La clasificación en usos y coberturas del uso de suelo es obtenida del Mapa de Cobertura del Suelo de Uruguay, del año 2014 a escala 1:1.000.000, disponible en la página web de RENARE.

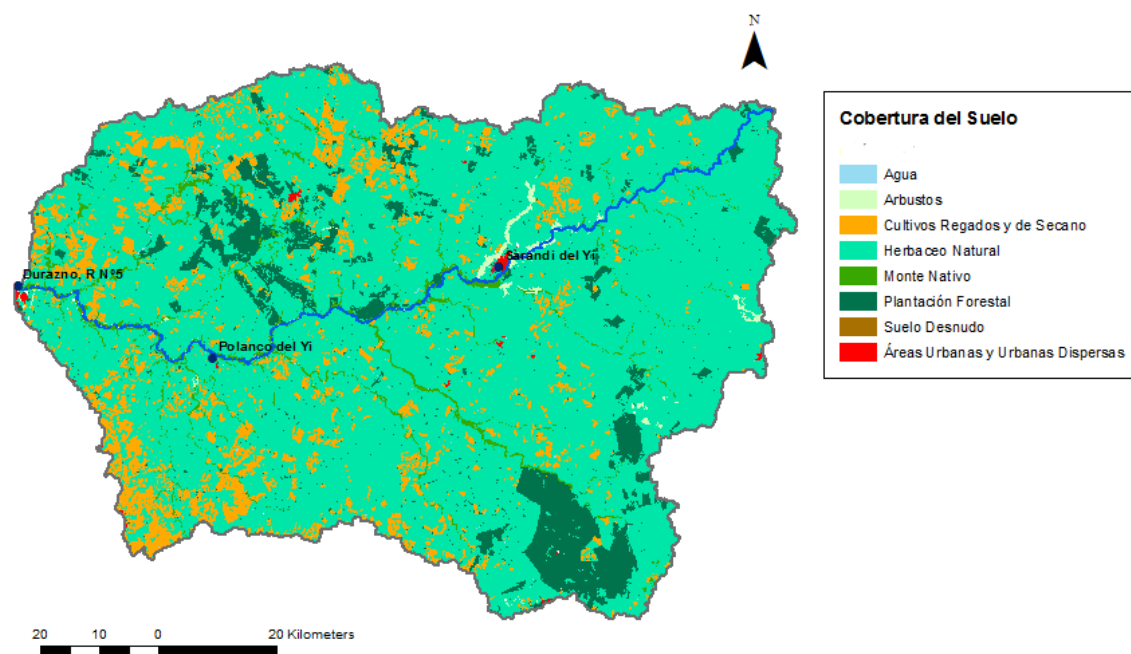


Figura 6.5-1. Cobertura del suelo da la cuenca del río Yí

Tabla 6.5-1: Cobertura del suelo de la cuenca del río Yí

Cobertura	Área (Km ²)	Relación respecto área total (%)
Agua	14.4	0.16
Arbustos	51.39	0.58
Áreas Urbanas y Urbanas Dispersas	20.39	0.23
Cultivos Regados y de Secano	937.92	10.59
Herbáceo Natural	6898.92	77.87
Monte Nativo	223.48	2.52
Plantación Forestal	703.8	7.94
Suelo Desnudo	2.39	0.03

De la Figura 6.5-1 y la tabla anterior, se desprende que la zona de estudio se caracteriza por ser plenamente rural, con apenas un 0.23% de zonas urbanas, distribuidas de forma aislada en el total de la cuenca.

El principal uso de suelo de la cuenca, abarcando un 78% del área total, es el de vegetación herbácea natural. Esta se compone principalmente por gramíneas y no gramíneas, incluyendo campo natural y campo regenerado (áreas que fueron cultivadas o manejadas y luego abandonadas donde se regeneró la vegetación natural).

Le siguen en menor medida, con un 11% y 8% del área total, usos destinados a los cultivos regados y de secano, y a la plantación forestal respectivamente.

Siendo prácticamente despreciable la influencia de los demás usos de suelo en el área de estudio, se decide simplificar la caracterización en 4 usos: Pasturas, Cultivos, Forestal y Urbano disperso.

6.6 Suelos CONEAT

Los grupos CONEAT no son estrictamente unidades cartográficas básicas de suelo, sino que constituyen áreas homogéneas, definidas por su capacidad productiva en términos de carne bovina, ovina y lana en pie. Esta capacidad se expresa por un índice relativo a la capacidad productiva media del país, a la que corresponde el índice 100.

En base a la información obtenida del SIG de RENARE, se puede distinguir un total de 58 suelos CONEAT distintos en la zona de estudio, según se ilustran a continuación.

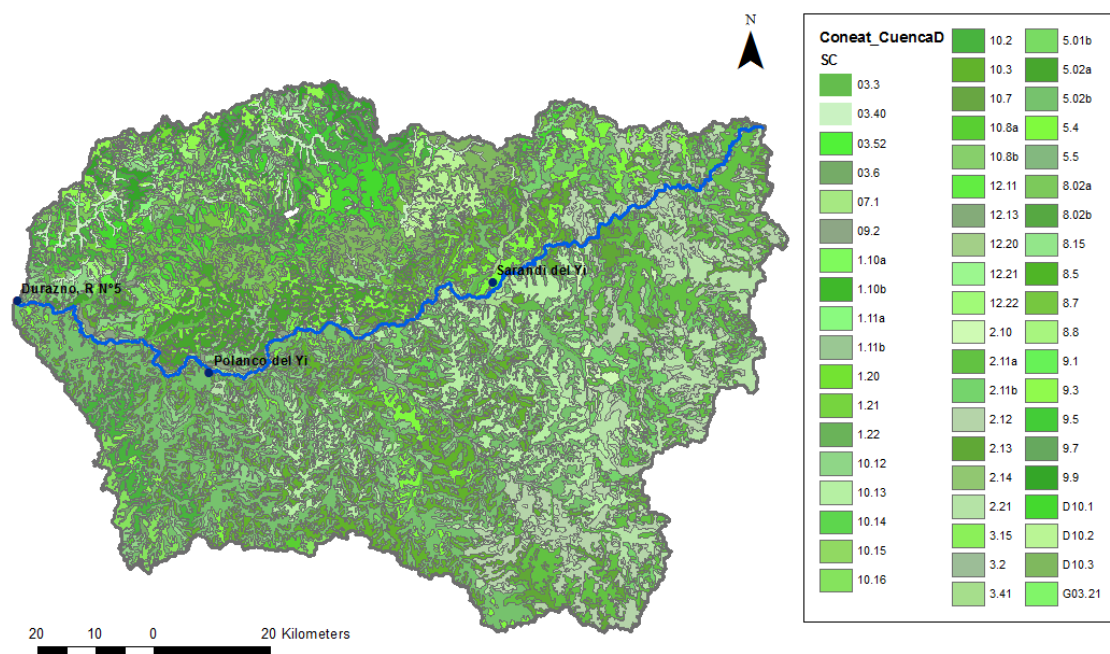


Figura 6.6-1 Suelos Coneat

Los suelos CONEAT que se destacan por su mayor presencia son los siguientes:

5.02b

Esta unidad representa el 18% del área total de la cuenca. Presenta Índice Coneat de 88 y su principal uso es el pastoril.

Se caracteriza por un relieve ondulado y ondulado fuerte, con pendientes modales de 5 a 7%. El material geológico corresponde a litologías variables de rocas predevonianas, como granitos, migmatitas, rocas metamórficas esquistosas, etc.

Los suelos son Brunosoles Subéutricos Háplicos moderadamente profundos y superficiales (Praderas Pardas moderadamente profundas y Regosoles), a los que se asocian Inceptisoles (Litosoles) a veces muy superficiales.

La rocosidad es moderada y varía entre un 2 al 10% del área con afloramientos. En toda el área pueden existir bajos angostos, asociados a vías de drenaje de poca importancia, que contienen Gleysoles Lúvicos (Gley húmicos) y Brunosoles Éútricos Típicos o Lúvicos (Praderas Negras y Praderas Pardas máximas), hidromórficas, que contienen muy buenas pasturas estivales.

10.3

Esta unidad presenta un Índice Coneat de 140 y representa el 8.3% del área total de la cuenca. El uso predominante de esta unidad es el pastoril, aunque son frecuentes los cultivos forrajeros en el área correspondiente a la cuenca lechera.

La misma se desarrolla en toda la gran región del basamento cristalino, expresándose como interfluvios discontinuos, ligeramente convexos, con aplanamientos cuspidales con ojos de agua y esporádicamente pequeños afloramientos rocosos.

El material geológico es un delgado sedimento limo arcilloso de 0.5 a 2 metros de espesor en contacto con litologías del basamento cristalino del cual hereda arenas gruesas y gravillas.

El relieve es ondulado suave, con pendientes de 1 a 3 %. Los suelos dominantes corresponden a Brunosoles Éútricos Lúvicos (Praderas Pardas muy oscuras medias a máximas), de color negro o pardo muy oscuro, textura franca a franco arcillosa, fertilidad alta y moderadamente bien drenados. Asociados existen Brunosoles Éútricos Típicos (Praderas Negras Vertisólicas) y Vertisoles Rúpticos Lúvicos (Grumosoles).

2.11a

Esta unidad representa el 7.5% del área total de la cuenca. Presenta un Índice Coneat de 53. La vegetación es pradera de ciclo estival y matorrales asociados, predominando el uso pastoril.

Se trata de sierras rocosas con paisaje ondulado fuerte y pendientes entre 5 y 20 %. Los materiales geológicos están constituidos básicamente por rocas ígneas, metamórficas y algunas efusivas ácidas, y la rocosidad puede alcanzar niveles de hasta el 10 %.

En este grupo, deben establecerse dos regiones con asociaciones de suelos diferentes:

a) La región sur donde los suelos dominantes son Brunosoles Subéútricos Háplicos, arenoso franco gravillosos y franco gravillosos, superficiales, pedregosos (Regosoles). Los Brunosoles (Háplicos y Típicos) ocupan en conjunto más del 70% del área y se desarrollan entre los afloramientos de rocas fundamentalmente migmatitas y granitos intrusivos, en tanto que los Litosoles ocurren próximos a los afloramientos, o en las áreas más rocosas de la unidad. b) La región norte en la que los suelos dominantes son Inceptisoles Úmbricos, franco arenosos, gravillosos, a veces pedregosos, superficiales y moderadamente profundos, ácidos con tenores variables de aluminio.

Las restantes unidades de suelo representan menos de 7% del área total.

6.7 Geología

De acuerdo a la información obtenida de la Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.00 y su memoria explicativa⁸, los materiales geológicos que afloran de forma predominante en la zona de estudio y fundamentalmente sobre las márgenes del río Yí, son las siguientes unidades:

Complejo Basal (Pp_cb)

Unidad del precámbrico medio. Se compone fundamentalmente de rocas de origen ígneo metamórfico, como ser neissen muscovíticos y/o biotíticos, neisses anfibólicos y anfibolitas. Ortoneises ácidos y básicos, cuercitas, leptinitas y esquistos. Migmatitas de textura variadas. Es frecuente la intercalación de rocas graníticas

Granitos Indiferenciados (Pp_y)

Unidad del precámbrico medio. Se compone de rocas de origen plutónico o intrusivo, producto del enfriamiento lento de grandes masas de magma. Se distinguen los granitos calco alcalinos de grano medio a porfiroide, generalmente hornblendo-biotíticos; leucogranitos de grano medio a grueso; granodioritas hornblendo-bióticas; metagranitos y granitos orientados.

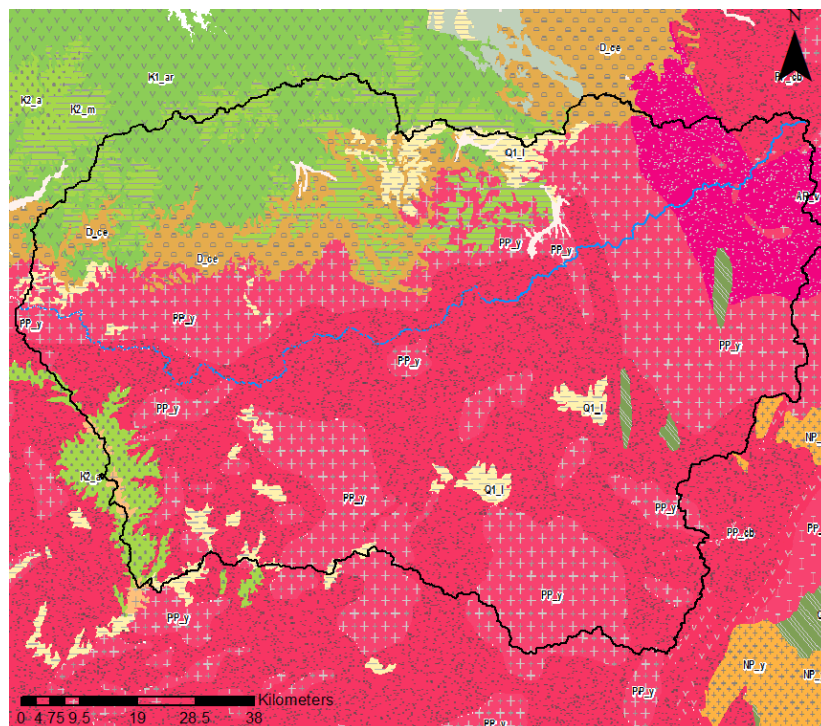


Figura 6.7-1: Unidades geológicas

⁸ MIEM-DINAMIGE (1985). *Memoria Explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a Escala 1:500.000*

7. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

7.1 Información Hidrometeorológica

7.1.1 Información pluviométrica

Para el presente informe se utilizaron datos de 20 estaciones pluviométricas convencionales de INUMET, las cuales por su ubicación se consideraron influyentes en la cuenca del río Yí con cierre en Paso del Bote. Se cuenta con datos de precipitaciones diarias desde el año 1994 hasta la actualidad. Cabe aclarar que para el desarrollo de este informe se utilizó en todos los pluviómetros la serie histórica 1994-2015.

En la tabla a continuación se observan los nombres de cada estación, su código y sus correspondientes coordenadas. Se agregaron además los nombres de sus 3 pluviómetros más cercanos.

Se presenta también en la Figura 7.1-1 la ubicación de cada pluviómetro dentro de la cuenca del río Yí con cierre en Paso del Bote.

Tabla 7.1-1 Estaciones pluviométricas convencionales

Estación	Codigo	X (m)	Y (m)	Cercano 1	Cercano 2	Cercano 3
Carlos Reyles	2061	549435	6341804	Los Tapes	E.M.Durazno	V.Carmen
Cerro Chato	2073	673334	6336132	Nico Perez	Sdi.del Yi	Col.R.y Rius
Paso del Bote	2107	512434	6326929	Los Tapes	Marincho	E.M.Trinidad
Los Tapes	2108	517810	6328095	Carlos Reyles	E.M.Durazno	Marincho
Marincho	2154	484749	6306074	E.M.Trinidad	Porongos	Los Tapes
V.Carmen	2164	591989	6321465	Col.R.y Rius	Sdi.del Yi	Polanco del Yi
Col.R.y Rius	2167	621460	6327490	Sdi.del Yi	V.Carmen	Cerro Chato
Porongos	2204	516713	6289940	E.M.Trinidad	E.M.Durazno	Marincho
E.M.Durazno	2206	546302	6309674	Polanco del Yi	Los Tapes	P.de Maciel
Sdi.del Yi	2215	628307	6310922	Col.R.y Rius	V.Carmen	Mansavillagra
Polanco del Yi	2257	578344	6294194	Pantanos	V.Carmen	P.de Maciel
Nico Perez	2266	671570	6293889	Mansavillagra	Sdi.del Yi	Cerro Chato
E.M.Trinidad	2297	507788	6289215	Porongos	Marincho	P. del Sauce
P.de Maciel	2349	559118	6279483	Sdi.Gde.	Polanco del Yi	Pantanos
Pantanos	2351	596925	6289744	Polanco del Yi	P.de Maciel	Sdi.del Yi
Mansavillagra	2357	641822	6279162	Cerro Colorado	Nico Perez	Sdi.del Yi
Sdi.Gde.	2395	562280	6268418	P.de Maciel	Pantanos	Polanco del Yi
Puntas del Sauce	2436	498465	6256726	Pintos	E.M.Trinidad	Porongos
Pintos	2486	522418	6251224	P. del Sauce	Porongos	Sdi.Gde.
Cerro Colorado	2498	635474	6259671	Mansavillagra	Pantanos	Nico Perez



Figura 7.1-1 Ubicación de estaciones pluviométricas

7.1.2 Información hidrométrica

Se dispone de información hidrométrica diaria en el puente de la Ruta Nº 5 sobre el río Yí y de información hidrométrica en el antiguo puente de la Ruta Nº 5 conocido más comúnmente como “Puente Viejo”.

Se utilizó para el presente informe la serie de niveles diarios desde el año 1962 hasta el 2016. Las series de datos de nivel en ambas estaciones no son contemporáneos. La serie de niveles en el “Puente Viejo” se corresponden con el período 1962 – 2010, mientras que el resto de la serie 2011 – 2016 es medida en el puente de la actual Ruta Nº 5.

La estación hidrométrica en el Puente Viejo mientras estuvo en funcionamiento fue gestionada por la actual Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA) bajo el código de estación 125.1. Su cota cero referida al cero oficial es +61.06 msnm.

Si bien DINAGUA gestionó la estación en el puente de la actual Ruta Nº 5, denominando esta estación como 125.2, luego de un tiempo también UTE colocó una regla en dicha ubicación. Es posible debido a la gestión de UTE obtener sus datos desde la página web de dicha empresa. Los datos de nivel de esta estación se encuentran referidos a la cota +60.71 msnm.

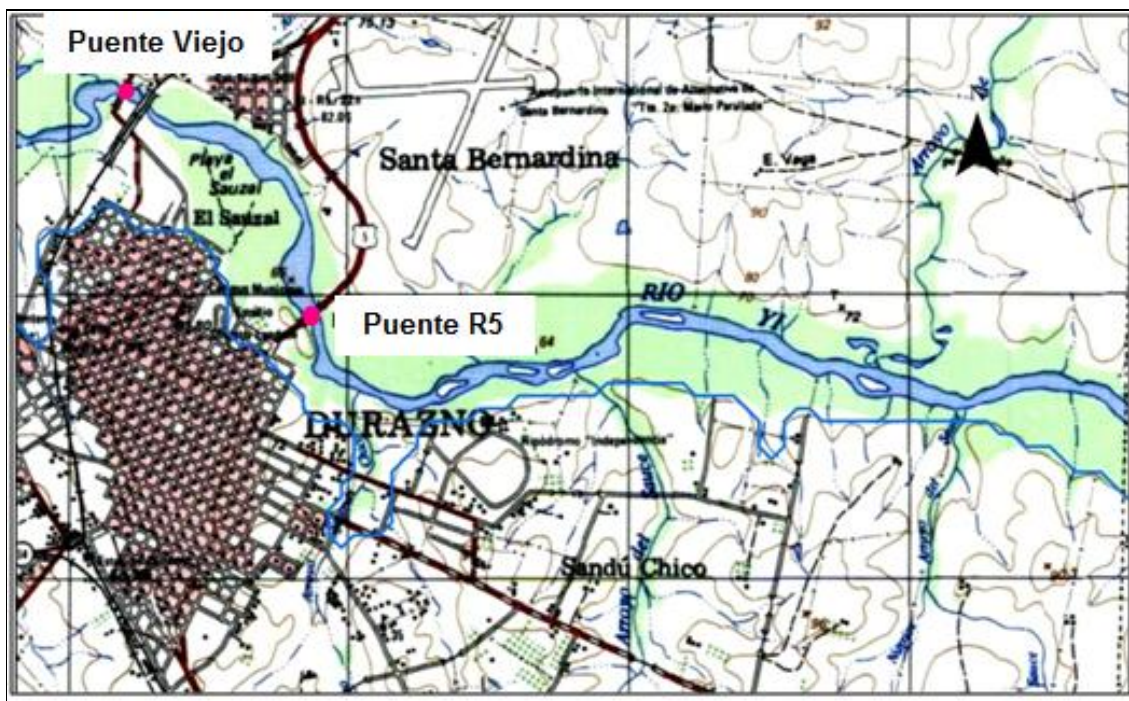


Figura 7.1-2 Estaciones hidrométricas

La estación 125.1 cuenta con una curva de aforo⁹ elaborada por DINAGUA que permite obtener datos de caudal a partir de las mediciones de nivel, la cual se presenta en la tabla a continuación.

$$Q = k \times (H + 0.3)^b$$

Tabla 7.1-2 Curva de aforo estación 125.1

Límite inferior de H	Límite superior de H	k	b
-0.11 m	0.16 m	102.96247	3.81593
0.16 m	5.64 m	20.2629	1.73795
5.64 m	9.9 m	2.13775	2.99968

7.1.3 Información de Red Telemétrica de UTE

La empresa UTE cuenta a partir del 2010 con una red hidrológica telemétrica de la cuenca del Río Negro compuesta de 24 estaciones de medida pluvio-limnimétricas, 1 estación pluviométrica, y 1 estación con registro de nivel, precipitación y dirección e intensidad de viento. La información es recibida en un servidor, el que permite gestionar la información recibida y operar-configurar las estaciones de medida en forma remota.

⁹ IMFIA, DINAGUA, CECOED Durazno, MGAP, PROHIMET (2012). *Proyecto Piloto Prohimet: Alerta Temprana para la Ciudad de Durazno ante las avenidas del río Yí – Informe Final.*

En lo que respecta a la cuenca del río Yí existen 4 estaciones de la red telemétrica dentro de la misma. Las mismas se detallan en la tabla a continuación.

Tabla 7.1-3 Estaciones telemétricas

Código	Río	Nombre	Ubicación Estación	Tipos de sensores
A2019	Río Yí	Sarandí del Yí	Puente	Pluviométrico-Nivel
A2020	Río Yí	Polanco del Yí R42	Margen	Pluviométrico-Nivel
A2021	Río Yí	Durazno R5	Puente	Pluviométrico-Nivel
A2022	Río Yí	Barra de Porongos	Margen	Pluviométrico-Nivel



Figura 7.1-3 Ubicación estaciones telemétricas

7.2 Información cartográfica

- Cartas del Servicio Geográfico Militar, escala 1:50.000

G19 – “Cerro Chato”	J24 – “Talita”
G20 – “Valentines”	K19 – “Molles”
G21 – “Cuchilla del Pescado”	K20 – “Villasboas”
G22 – “Illescas”	K21 – “Tomás Cuadra”
G23 – “Manguera Azul”	K22 – “Goñi”
G24 – “Polanco”	K23 – “Sarandí Grande”
H19 – “Chileno”	K24 – “La Cruz”
H20 – “Rossel y Rius”	L19 – “Quinteros!”
H21 – “Sarandí del Yí”	L20 – “Feliciano”
H22 – “Mansavillagra”	L21 – “Durazno”

H23 – “Timote”	L22 – “Porongos”
H24 – “Cerro Colorado”	L23 – “Tala del Maciel”
J19 – “Puntas del Carpintería”	M19 – “Porrúa”
J20 – “Carmen”	M20 – “Paso del Puerto”
J21 – “Yí”	M21 – “Marincho”
J22 – “Gallinal”	M22 – “Trinidad”
J23 – “Palermo”	M23 – “Ojosmín”

- Imágenes Satelitales de “Google Earth Pro”
- Carta Geológica del Uruguay – Escala 1:500.00 – DINAMIGE
- Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay – Escala 1:1.000.000 – MGAP
- Carta Grupos CONEAT – Archivo en formato shape – RENARE - MGAP.
- Carta de Usos de Suelos – Archivo en formato shape - RENARE – MGAP.
- Información catastral – Padrones Rurales y Urbanos – Archivos en formato shape – Infraestructura de Datos Espaciales (IDE)
- Curvas de nivel cada 10 m – Archivo en formato shape - Servicio Geográfico Militar
- Curvas de nivel cada 2 m en zonas urbanas – Archivo en formato shape - IDE
- Curvas de nivel cada 1 m en zonas particulares de la ciudad de Durazno – Archivo en formato shape – Servicio Geográfico Militar

7.3 Relevamiento topográfico

Del Proyecto “Plan de emergencia contra inundaciones para la ciudad de Durazno, República Oriental del Uruguay” finalizado por OEA-Cascos Blancos en junio de 2002 se aprovecharon las secciones relevadas del río Yí en el tramo entre Paso San Borja y Paso del Bote, 15 km y 60 km aguas arriba y debajo de la ciudad de Durazno respectivamente. La ubicación planimétrica de dichas secciones en el tramo de la ciudad de Durazno se presentan en la figura siguiente.

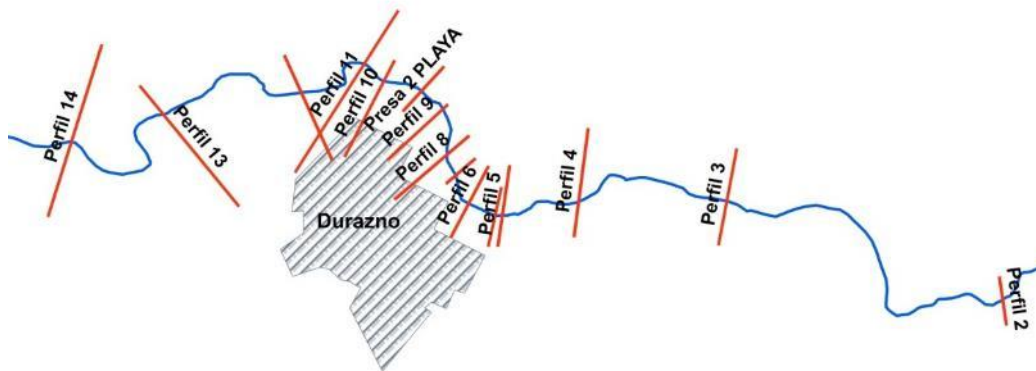


Figura 7.3-1 Secciones relevadas por Cascos Blancos

Del Proyecto del PROHIMET, “Alerta Temprana para la ciudad de Durazno ante las Avenidas del río Yí”, se aprovecharon las secciones relevadas del río Yí entre el puente de la Ruta Nacional N°6 “Joaquín Suarez” sobre el río Yí, en la ciudad de Sarandí del Yí, y el puente de la Ruta Nacional N°5 “Brigadier General Fructuoso Rivera”, en la ciudad de Durazno. La ubicación planimétrica de dichas secciones se presentan en la siguiente figura.

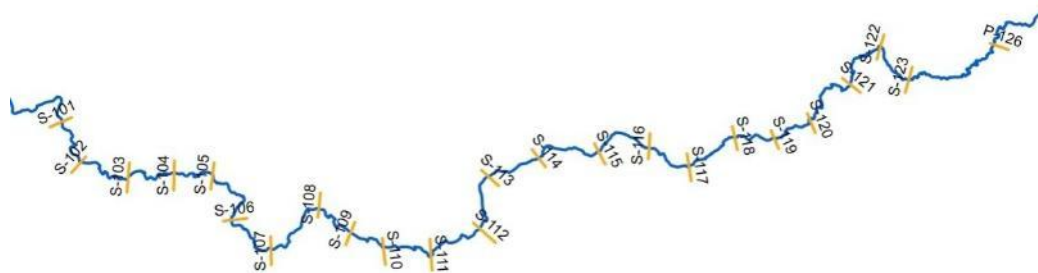


Figura 7.3-2 Secciones relevadas PROHIMET

De este último relevamiento se obtuvieron además las secciones transversales de los puentes relevados sobre el río Yí. A modo de ejemplo se presentan las secciones del puente sobre el río Yí en Paso San Borja y del puente de la Ruta 42 sobre el río Yí en Polanco del Yí.

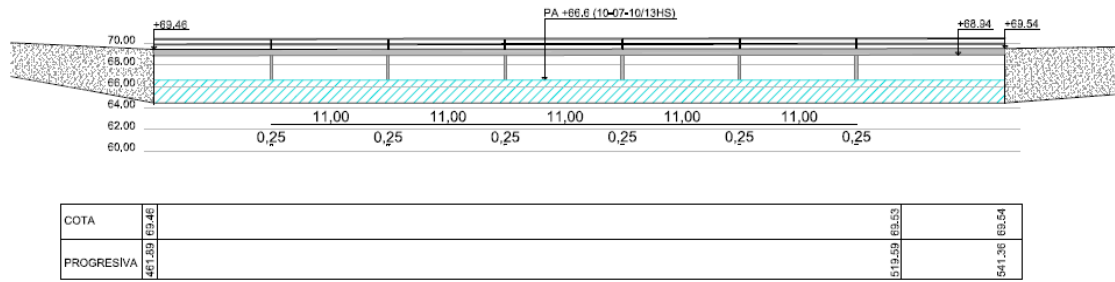


Figura 7.3-3 Sección puente Paso San Borja

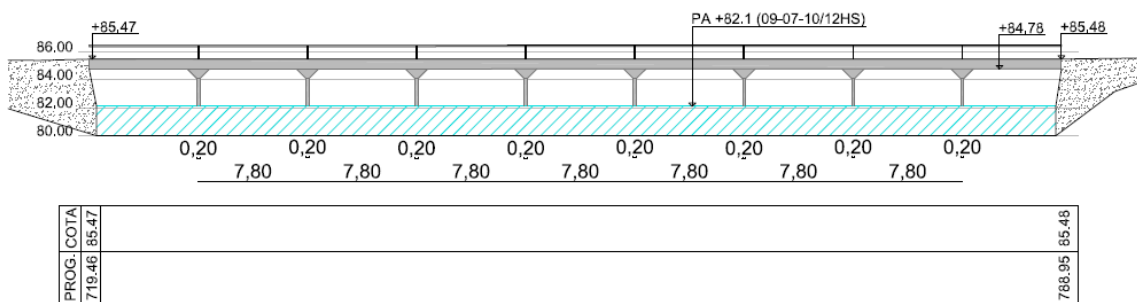


Figura 7.3-4 Sección Puente Polanco del Yí

8. MODELO DIGITAL DEL TERRENO

La generación de un modelo digital del terreno (MDT) tiene por objetivo representar los resultados obtenidos de la modelación hidrodinámica a través de curvas de inundación asociadas al río Yí para diferentes eventos de precipitación reales y eventos de diseño.

8.1 Información de base

- Curvas de nivel cada 10 metros en toda la extensión de la zona de estudio (SGM)
- Curvas de nivel cada 2 metros en el área urbana de la ciudad de Durazno (IDE)
- Curvas de nivel cada 1 metro en el área urbana de la ciudad de Durazno, entre las cotas 70 y 76 m cero oficial (PROHIMET)

8.2 Metodología

Dada la variedad de información en la zona urbana de la ciudad de Durazno, previa generación del MDT, se procede a chequear la información de base de modo de eliminar redundancias e incoherencias.

En aquellas zonas donde se superponen las distintas curvas de nivel se decide conservar únicamente aquellas curvas con información más detallada. Esto es, en donde se cuenta con curvas cada 2 y 10 metros, se conservan las curvas cada 2 m, y en aquellas zonas donde se cuenta con curvas cada 2 y 1 metro, se conservan las curvas cada 1 m.

A su vez, se completa información faltante respecto a las cotas de las curvas, en función de la equidistancia de las curvas.

Luego de considerar que la información de base era adecuada y que a partir de ella es posible representar la topografía de la zona de estudio, se emplean herramientas del software ArcGIS 10.1, desarrollado por ESRI, para generar el MDT.

9. MODELACIÓN HIDROLÓGICA-HIDRODINÁMICA

9.1 Definición en subcuencas

9.1.1 Delimitación de subcuencas

Para la implementación del modelo hidrodinámico se considera como cuenca de aporte, la cuenca asociada al río Yí con punto de cierre en Paso del Bote, ubicado a 62 Km aguas abajo del puente de la Ruta Nacional N° 5 sobre el río Yí.

Se decide cambiar el punto de cierre, respecto al empleado para caracterizar la zona de estudio, de modo de contemplar los efectos de los aportes al río Yí aguas abajo de la ciudad de Durazno, en las inundaciones provocadas en dicha ciudad.

La cuenca, con una extensión de 12,754 Km², se divide en 20 subcuencas de aporte lateral al río. De esta forma se logra distribuir lo más uniformemente posible y lo más semejante a la realidad, el ingreso del caudal de aporte a lo largo del cauce principal.

La delimitación de las subcuencas se realiza teniendo en cuenta esencialmente los principales afluentes al río Yí. Los mismos se identificaron calculando el orden de cada uno de los cauces afluentes al río Yí.

En la Figura 9.1-1 se puede observar el resultado de la subdivisión de cuencas, junto con las principales ciudades de interés en la cuenca.

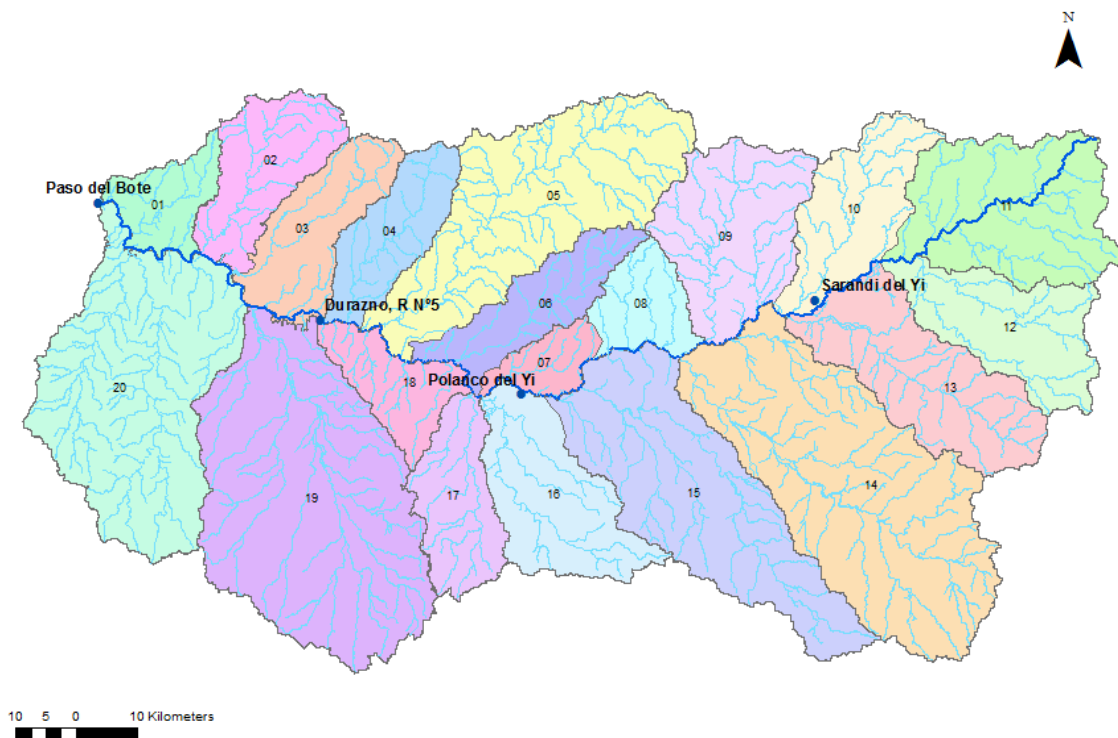


Figura 9.1-1. Subcuencas de la cuenca del Río Yí

9.1.2 Caracterización de subcuencas

Se caracteriza cada una de las subcuencas de modo de determinar los parámetros geomorfológicos e hidrológicos de las mismas, obteniendo la información de base que permite llevar a cabo la modelación hidrodinámica.

9.1.2.1 Parámetros geomorfológicos

Los parámetros geomorfológicos que se tuvieron en cuenta son los siguientes:

- Área
- Longitud del cauce principal
- Desnivel máximo
- Pendiente media del cauce principal

Los parámetros anteriores fueron calculados a partir de la información dada por las curvas de nivel cada 10 metros del SGM. Sus resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 9.1-1 Parámetros geomorfológicos de subcuencas

Cuenca	Área subcuenca (km ²)	Longitud cauce ppal. (km)	Desnivel máximo (m)	Pend media del cauce (%)
1	226	36	81	0.23
2	410	68	79	0.12
3	413	75	70	0.09
4	268	15	60	0.40
5	1070	92	94	0.10
6	347	50	104	0.21
7	147	25	64	0.26
8	235	26	82	0.31
9	614	57	64	0.11
10	454	54	101	0.19
11	741	51	204	0.40
12	500	55	167	0.30
13	668	61	172	0.28
14	1520	86	160	0.19
15	1049	88	164	0.19
16	550	61	104	0.17
17	358	47	74	0.16
18	268	15	60	0.40
19	1587	124	100	0.08
20	1263	84	111	0.13

9.1.2.2 Parámetros Hidrológicos

Los parámetros hidrológicos de principal interés en la modelación hidrodinámica son los siguientes:

- Tiempo de concentración
- Número de curva

El tiempo de concentración representa el tiempo en que toda la cuenca contribuye al flujo superficial, es decir, el tiempo de tránsito entre el punto más alejado de la cuenca al punto de cierre. Para su determinación se emplea el método de Ramser y Kirpich¹⁰ aplicable a flujos concentrados:

$$T_c = 0.4 \frac{L^{0.77}}{S^{-0.385}}$$

Siendo: Tc: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud del cauce principal (Km)

S: Pendiente del cauce principal (%)

El número de curva es un parámetro adimensional que surge del método del NRCS (Natural Resources Conservation Service) para el cálculo de las abstracciones. Permite cuantificar los efectos que genera el grado de impermeabilización del suelo en los escurrimientos extremos de la cuenca.

Para su determinación se utiliza la tabla “Números de curva para las diferentes combinaciones hidrológicas de suelo-vegetación (para la cuenca en condiciones de humedad antecedente medias, AMCII por sus siglas en inglés)” (Ven Te Chow, 1994). La misma permite obtener un valor teórico del NC a partir del tipo de suelo (grupo hidrológico) y el uso de suelo.

En la Figura 9.1-2 y Figura 9.1-3 se presentan los grupos hidrológicos y usos de los suelos presentes en la cuenca del Río Yí. Los mismos fueron determinados a partir de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay y Mapa de Cobertura de Suelos del Uruguay respectivamente, extraídos del SIG de RENARE.

¹⁰ Ven Te Chow, et al. (2000). *Hidrología Aplicada*.

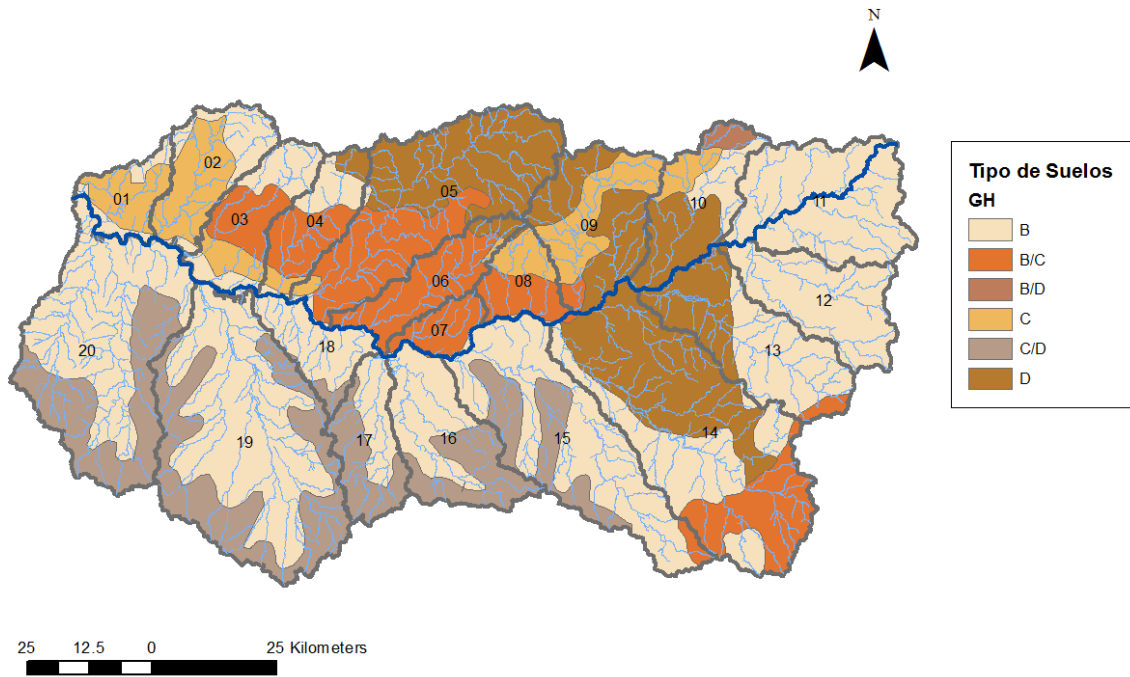


Figura 9.1-2. Grupos hidrológico de los suelos de la cuenca del Río Yí

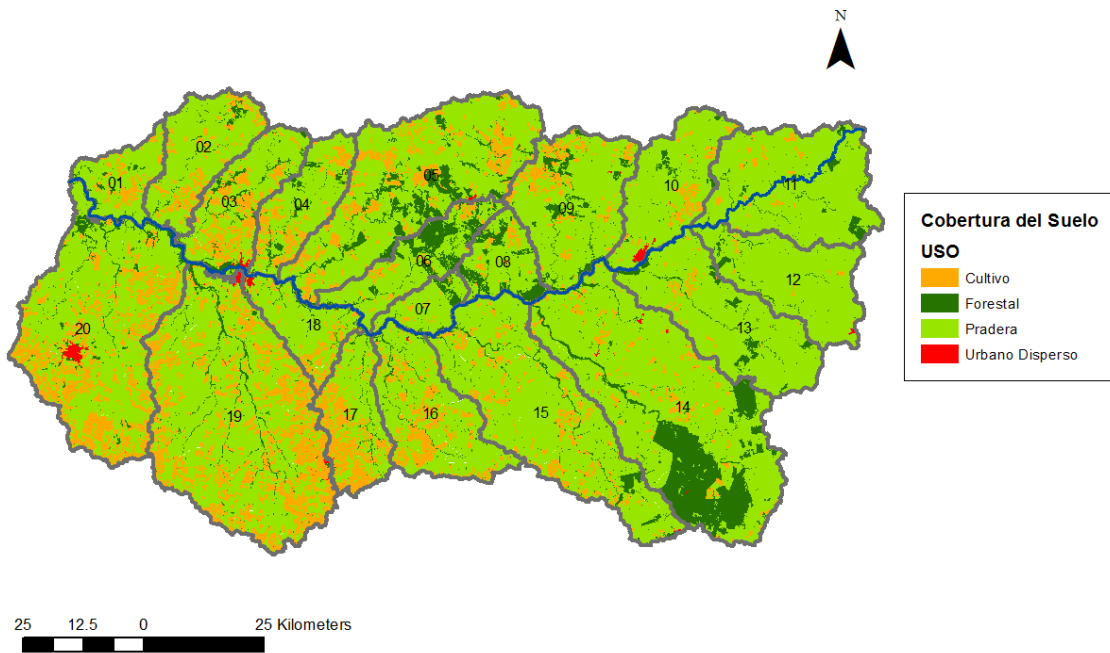


Figura 9.1-3. Cobertura de los suelos de la cuenca del río Yí

Cabe destacar que la amplia variedad de coberturas de suelo identificadas en la Sección 6.5, dada la proporción de cada uno de ellos respecto al área total, se simplificaron en: Pradera, Cultivo, Forestal y Urbano Disperso. (ver Figura 9.1-3)

A partir de lo anterior y según la bibliografía antes mencionada se obtienen los siguientes valores de NC para condiciones medias de humedad antecedente.

Tabla 9.1-2 Números de Curva según Uso y Grupo hidrológico de los suelos

Uso	Grupo Hidrológico		
	B	C	D
Cultivo	78	85	89
Pradera	69	79	84
Forestal	60	73	79
Urbano Disperso	79	86	89

El NC para cada subcuenca se obtiene realizando el promedio ponderado considerando el área de influencia de cada uso de suelo.

Las características hidrológicas para cada una de las subcuencas se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 9.1-3 Parámetros hidrológicos de las subcuencas

Cuenca	Tc Kirpich (hs)	NC
1	11.2	76
2	23.6	77
3	27.7	74
4	4.6	75
5	31.2	81
6	14.9	74
7	8.0	73
8	7.8	75
9	20.7	82
10	16.4	80
11	11.8	69
12	13.9	69
13	15.6	75
14	23.6	76
15	24.1	74
16	18.9	76
17	15.9	79
18	4.6	72
19	43.1	77
20	26.4	76

9.2 Implementación del modelo hidrológico

El modelo hidrológico implementado corresponde al método desarrollado por el NRCS, Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos¹¹. El mismo se programa utilizando la plataforma Matlab 7.0.4.

El método permite simular el proceso de transformación precipitación-escorrentía sobre una cuenca y determinar de forma indirecta los caudales e hidrogramas de crecida de eventos extremos, a partir de la precipitación, las características del suelo, cobertura de la cuenca y condiciones antecedentes de humedad.

El modelo hidrológico puede considerarse compuesto por tres grandes módulos. En primer lugar, la determinación o construcción de la precipitación incidente, en segundo lugar, la estimación de la precipitación efectiva y por último, la determinación del hidrograma de crecida. Cada uno de estos módulos así como los parámetros necesarios para su determinación se detalla a continuación.

Los hidrogramas de crecida obtenidos serán datos de entrada del modelo hidrodinámico, que permite estimar la evolución de niveles del río Yí en las secciones transversales consideradas. Ingresando al modelo hidrodinámico las obras hidráulicas (por ejemplo, las represas que se prevé analizar), se evalúa la mitigación que producirían sobre las inundaciones en la ciudad de Durazno, considerando el efecto de los eventos extremos con y sin obra.

9.2.1 Precipitación Incidente

Para determinar la precipitación incidente se utilizan datos diarios de precipitación registrados por los pluviómetros de influencia en la cuenca del río Yí, una vez realizado un análisis de calidad y consistencia de los registros (ver Anexo I).

La precipitación media diaria en cada subcuenca es determinada a partir de los polígonos de Thiessen, ponderando en función del área asociada a cada pluviómetro.

Cabe destacar que considerar precipitaciones diarias supone que la intensidad de precipitación es constante durante todo el día. Sin embargo, dada la información disponible, utilizar datos diarios de precipitación permite representar de forma más acertada la distribución espacial de los eventos de lluvia dentro de la cuenca. Utilizar los registros horarios de las estaciones telemétricas de UTE, si bien permite obtener un detalle mayor en la descripción del evento, no estaría representando adecuadamente la distribución espacial del evento y por otro lado, se perderían eventos de lluvia anteriores al año 2010.

9.2.2 Precipitación Efectiva

La metodología empleada para la estimación de la precipitación efectiva, o escorrentía, es el Método del Número de Curva o Método de las abstracciones del NRCS.

¹¹ Ven Te Chow, et al. (2002). *Hidrología Aplicada*.

El método asume que la infiltración tendrá dos componentes: La primera denominada Abstracción Inicial (I_a) corresponde a un volumen inicial de infiltración en la cuenca, previa ocurrencia del escurrimiento, y propone que sea calculada como un 20% del almacenamiento máximo del suelo en la cuenca (S). La segunda componente se denomina Abstracción Continuada (F_a) y responde a una infiltración a tasa decreciente en el tiempo, conforme el suelo se va saturando como consecuencia de la precipitación incidente.

Bajo la hipótesis de que la relación entre el volumen de escurrimiento y lo máximo que podría escurrir es igual a la relación entre lo que verdaderamente no escurre y el máximo almacenamiento del suelo, y junto a la aplicación de la ecuación de continuidad durante el evento, el método calcula la precipitación efectiva como:

$$Pe = 0 \quad \text{si } P \leq 0.2 S$$
$$Pe = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad \text{si } P \geq 0.2 S$$

Siendo: Pe : Precipitación Efectiva (mm)

P : Precipitación Total (mm)

S : Almacenamiento máximo del suelo en la cuenca (mm)

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{NC - 10} \right)$$

NC : Número de curva (adimensional)

De lo anterior se concluye que, partiendo de un hietograma de precipitaciones, el principal parámetro de la función de infiltración y cálculo de la precipitación efectiva es el Número de Curva. Este parámetro depende del tipo de suelo, uso del suelo y condiciones de humedad antecedentes del suelo.

Es importante destacar que los valores de NC calculados en la Sección 9.1.2.2 para cada una de las subcuencas corresponden a la condición de humedad antecedente media (AMC II, por sus siglas en inglés).

La condición de humedad antecedente de cada evento, se determina en función de la precipitación de los 5 días anteriores al comienzo del evento según se indica en el siguiente cuadro.

Tabla 9.2-1 Condición antecedente de humedad

Condición de humedad antecedente	Lluvia antecedente total en 5 días (mm)	
	Estación Inactiva (Abr – Set)	Estación de Crecimiento (Oct – Mar)
Seca (I)	Menor que 12.5	Menor que 35
Media (II)	Entre 12.5 y 27.5	Entre 35 y 52.5
Húmeda (III)	Mayor que 27.5	Mayor que 52.5

Luego, para las condiciones secas o condiciones húmedas, los NC equivalentes se calculan según las siguientes expresiones:

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

$$NC(III) = \frac{23.0 NC(II)}{10 + 0.13 NC(II)}$$

Si bien el método fue desarrollado para calcular la precipitación efectiva total asociada a una tormenta extrema, la aplicación del método para intervalos de tiempo sucesivos permite estimar el volumen escurrido por intervalos, obteniendo un hietograma de escurrimientos.

Se destaca que en el modelo desarrollado no se consideró la sugerencia del US Bureau of Reclamation de incorporar una infiltración mínima de 1.2 mm/h o 2.4 mm/h según el tipo de suelo. Esta decisión se sustenta en que dicha recomendación al modelo del NRCS surge del hecho que el mismo tiende a generar valores de infiltración nula al final de las tormentas. Las tormentas de diseño propuestas por el NRCS, generadas a partir del método del bloque alterno, se caracterizan por ser variables en el tiempo de duración de la misma y supone una intensidad de precipitación constante en cada intervalo de precipitación, por lo que es recomendable que la duración de cada intervalo de precipitación sea pequeña. De lo contrario al suponer la infiltración constante durante todo el intervalo, con una duración larga, estaríamos perdiendo un gran volumen de precipitación efectiva.

Las tormentas empleadas en el presente modelo son eventos reales, no necesariamente tienen la forma de la tormenta de diseño, por lo que los valores de infiltración mínima no tienen por qué darse al final de la tormenta. Por otro lado, el hecho que las tormentas empleadas sean de paso diario genera que la tasa de infiltración sea bastante inferior a los valores recomendados de infiltración mínima. Esto implica implementar la corrección de infiltración en la mayoría de los intervalos de precipitación, dando lugar a escurrimientos mucho menores e incluso nulos.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que no se está completamente bajo las hipótesis en las que se basó la sugerencia de corrección de infiltración mínima y que en caso de aplicarla se estaría perdiendo volúmenes de esorrentía de magnitud significativa, se opta por no tenerla en cuenta.

9.2.3 Hidrograma de Crecida

El hidrograma de crecida generado por el evento de precipitación efectiva se deduce a partir del hidrograma triangular unitario (HUT) del NRCS, aplicando las propiedades de linealidad y superposición del mismo.

El hidrograma unitario representa el hidrograma de escorrentía directa resultante de 1 mm de exceso de lluvia generado uniformemente sobre el área de la cuenca a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva. En particular, el hidrograma unitario triangular permite relacionar las características del hidrograma con las características de la cuenca al incorporar el tiempo de concentración y el área de la cuenca en los parámetros que lo definen.

A continuación se esquematiza la forma del hidrograma triangular utilizado y se definen cada uno de sus parámetros.

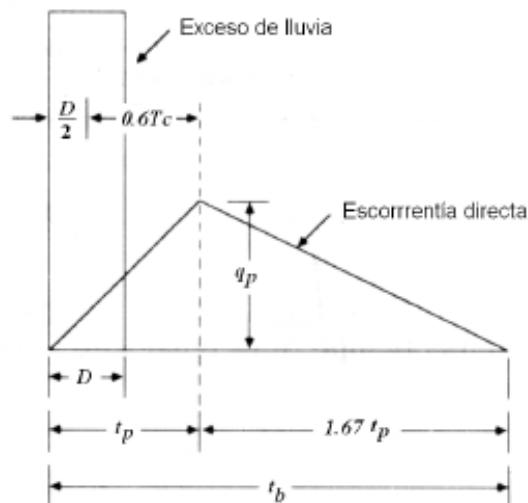


Figura 9.2-1. Hidrograma unitario triangular del NRCS

El tiempo pico del hidrograma unitario, considerando que el retraso desde el centro de gravedad de la precipitación efectiva y el pico del hidrograma es igual a 0.6 veces el tiempo de concentración, está dado por la siguiente expresión:

$$t_p = \frac{D}{2} + 0.6 t_c$$

Siendo: t_p : Tiempo pico del HUT (horas)

D : Intervalo de tiempo de la precipitación efectiva (horas)

t_c : Tiempo de concentración de la cuenca (horas)

Considerando que el lado ascendente del hidrograma contiene el 37.5% del volumen total, se tiene las siguientes expresiones para el tiempo base y caudal pico del HUT:

$$tb = 2.667 tp$$
$$qp = 0.208 \frac{A}{(0.5 D + 0.6 tc)}$$

Siendo: qp: Caudal pico (m³/s/mm)

A: Área de la cuenca (Km²)

El hidrograma de crecida correspondiente a una tormenta se obtiene de multiplicar el HUT obtenido por cada incremento de escurrimiento y sumando dichos hidrogramas desfasados en tiempo una cantidad D.

9.3 Implementación del modelo hidrodinámico

Con el objetivo de analizar el comportamiento hidráulico del río Yí y sus afectaciones sobre la ciudad de Durazno, se implementó un modelo numérico hidrodinámico unidimensional del mismo.

Las leyes físicas que gobiernan el flujo de agua en una corriente son el principio de conservación de la masa (continuidad), y el principio de conservación del momento. Estas leyes se expresan matemáticamente en forma de ecuaciones diferenciales parciales, que se denominan como ecuaciones Saint-Venant.

La modelación hidrodinámica se realizó entonces, utilizando el software libre HEC-RAS 5.0, que resuelve las ecuaciones de Saint-Venant para flujo a superficie libre no estacionario unidireccional, mediante un esquema numérico de diferencias finitas.

9.3.1 Geometría del modelo

Definir la geometría del modelo implica la introducción de datos geométricos e información que caractericen el cauce, las secciones transversales y estructuras hidráulicas que componen el sistema fluvial a modelar.

9.3.1.1 Longitud a modelar

Se modelaron aproximadamente 200 km del río Yí desde 24 km aguas arriba de la ciudad de Sarandí del Yí hasta la zona de Paso del Bote, ubicada unos 55 km aguas abajo de la ciudad de Durazno.

9.3.1.2 Secciones transversales

La modelación se realizó mediante 47 secciones del río Yí, de las cuales 33 corresponden a relevamientos realizados del río y su planicie y las restantes se estimaron con el modelo digital de terreno y con las curvas de nivel del SGM. En la ilustración siguiente se muestra la ubicación planimétrica de los perfiles diferenciándose las distintas fuentes de origen por color.

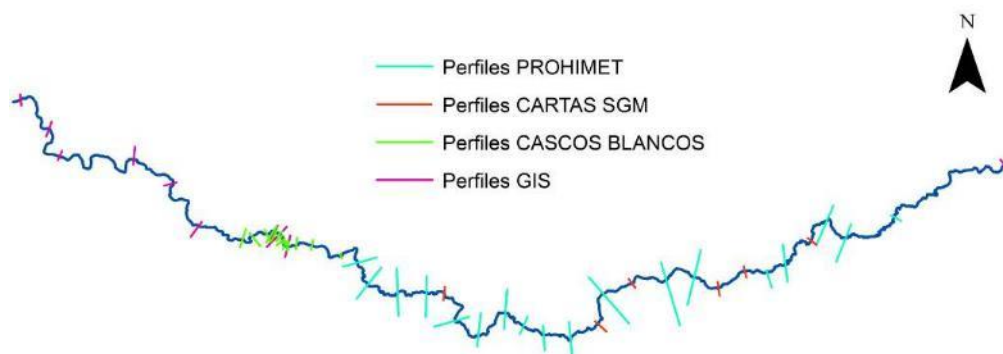


Figura 9.3-1 Secciones modeladas

Los perfiles identificados con celeste corresponden a los perfiles relevados para la realización del Proyecto Piloto PROHIMET denominado Sistema de Alerta Temprana (SAT) para la ciudad de Durazno ante las avenidas del río Yí. Dicho relevamiento consistió en el relevamiento planialtimétrico de la planicie, representándose el cauce como secciones trapezoidal cuyas dimensiones varían a lo largo del mismo.

Los perfiles identificados con rojo corresponden a perfiles también utilizados en el modelo hidrodinámico realizado para el Proyecto Piloto PROHIMET, pero no son en este caso perfiles relevados. Los mismos fueron representados utilizando la información de las curvas de nivel cada 10 m realizadas por el Servicio Geográfico Militar.

Los perfiles representados en color verde corresponden a perfiles utilizados en el Proyecto Plan de Emergencia para el Control de Inundaciones de la Ciudad de Durazno desarrollado con la participación y apoyo del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, a través de su Dirección Nacional de Hidrografía, y de la Intendencia de la Ciudad de Durazno. Los mismos fueron obtenidos mediante relevamientos planialtimétricos de la planicie de inundación y batimetría dentro del cauce propiamente dicho.

Por último para completar el modelo hidrodinámico se representaron 10 secciones del río (en color fucsia) construidas a partir del modelo digital de terreno.

Se verifica que en todas las secciones modeladas el agua se encuentre contenida dentro de la sección, y en caso contrario se extiende la sección con los datos de las curvas de nivel cada 10 m y 2 m según corresponda.

Luego de ingresadas al modelo las 47 secciones con las que se cuenta, se procedió a interpolar las mismas cada 200 m. Se obtuvo así un total de 1122 secciones a lo largo del tramo modelado del río Yí.

9.3.1.3 Representación de Puentes y Represas

En la actualidad existen 2 pequeñas represas ubicadas en el río Yí, en las cercanías de la ciudad de Durazno.

Dichas represas corresponden a las secciones 30 y 35 del modelo. La sección 30 es una pequeña represa de OSE de aproximadamente 2 m de altura, cuyo fin es embalsar agua para asegurar un mínimo volumen con el cual abastecer la planta de

potabilización de agua de la ciudad de Durazno. La sección 35 corresponde a una presa también de aproximadamente 2 m de altura pero en este caso la misma se construyó con fines meramente recreativos.

En la figura a continuación se observa la ubicación planimétrica de dichas secciones.

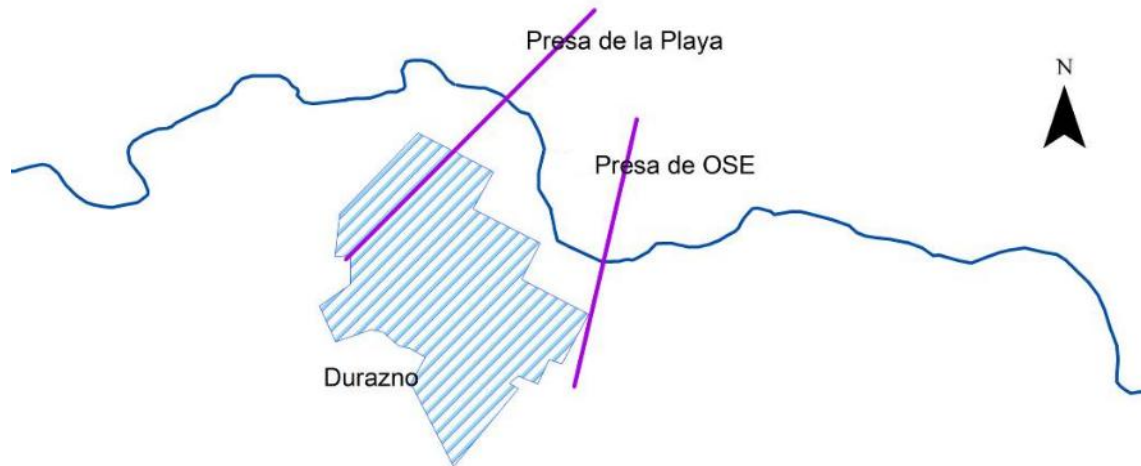


Figura 9.3-2 Ubicación de represas

En el software ambas presas fueron modeladas como “Blocked Obstruction”, esta opción permite definir las áreas de la sección transversal en las cuales el flujo será bloqueado de forma permanente. Las obstrucciones disminuyen el área de flujo y añaden perímetro mojado cuando el agua entra en contacto con la obstrucción. Una obstrucción no impide que el agua pueda circular fuera de ella.

En la ilustración siguiente se muestran las presas representadas.

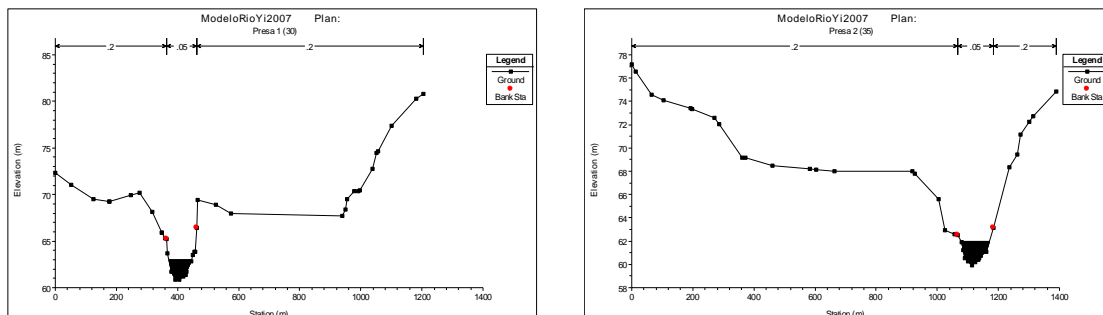


Figura 9.3-3 Modelación de las represas

Por otro lado, se representaron en el modelo los 6 puentes que se encuentran a lo largo de todo el tramo modelado. Los mismos fueron modelados como “Bridges” en el software.

HEC- RAS calcula las pérdidas de energía causadas por estructuras tales como puentes en tres partes. Una parte consiste en contemplar las pérdidas que se producen en el tramo inmediatamente aguas abajo de la estructura, donde en general se realiza una expansión del flujo. La segunda parte tiene en cuenta las pérdidas en la estructura en sí, que puede ser modelado con varios métodos diferentes. La tercera parte consiste en determinar las pérdidas que se producen en el tramo inmediatamente aguas arriba de la estructura, donde el flujo es en general, de contracción.

Si bien es evidente que para cada uno de los puentes el largo en el que ocurren completamente la expansión y la contracción son diferentes por las características de los mismos, se asumió para este modelo que estas distancias son iguales en todos los casos. Se tomó como suposición que la contracción comienza 10 m aguas arriba del puente y que la expansión continúa 20 m aguas abajo del puente.

Además de estas secciones para modelar la expansión y contracción del flujo en el puente, se requieren dos secciones adicionales para modelar las pérdidas por fricción.

Estas secciones deben ubicarse inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del puente. Comúnmente se ubican en la punta aguas arriba y aguas abajo del terraplén de la carretera. Estas secciones deben representar el terreno natural (canal principal y la llanura aluvial) justo aguas arriba y aguas abajo del puente.

Las rutinas de cálculo en los puentes en HEC-RAS permiten analizar un puente con varios métodos diferentes sin cambiar la geometría del mismo. Las rutinas de puente tienen la capacidad de modelar el flujo cuando el mismo pasa por debajo del tablero, cuando el flujo es a presión (es decir que el flujo de agua ha llegado a la parte inferior del tablero) y cuando trabajan como un vertedero pasando el flujo de agua por sobre el puente.

Para esta modelación se definió que el cálculo numérico en los puentes para todos los tipos de flujo, responda al método basado en la energía. Este método trata a un puente de la misma manera que las restantes secciones transversales naturales del río, excepto en la zona del puente que queda por debajo de la superficie del agua. Esta sección del puente se resta de la superficie total, y el perímetro mojado se incrementa debido al contacto con la estructura del puente.



Figura 9.3-4 Puentes modelados

Comenzando desde aguas arriba hacia aguas abajo, el primer puente es el de la Ruta Nacional Nº 6 “Joaquín Suarez”, que atraviesa el río Yí a la altura de Sarandí del Yí. El mismo fue modelado con su “tablero” a cota máxima +124.14 msnm, un espesor de 50 cm. Su largo es de 240 m y su ancho de 9 m. En la Figura 9.3-5 se muestra una imagen de dicho puente y la modelación en HEC-RAS.

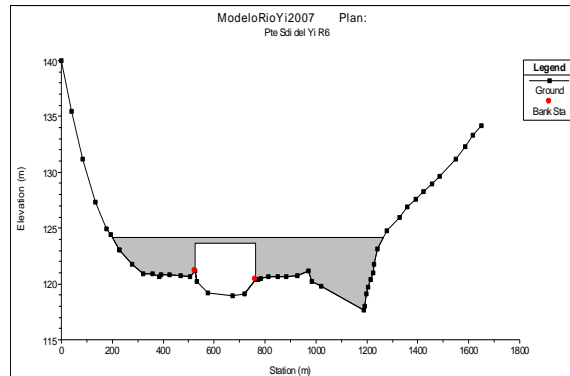


Figura 9.3-5 Modelación Puente Ruta N° 6

Si nos movemos en el río hacia aguas abajo el siguiente puente que encontramos es el puente de la Ruta 42, en las cercanías de Polanco del Yí. Éste fue modelado con una cota máxima de “tablero” de +85.48 msnm y un espesor de 70 cm. Su largo es de aproximadamente 70 m y su ancho 8 m. Cuenta además con 8 pilares de 20 cm de diámetro cada uno.

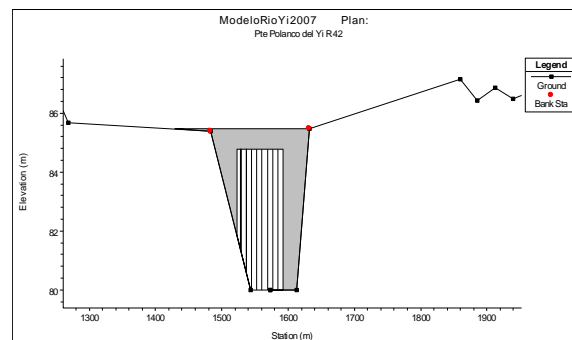


Figura 9.3-6 Modelación Puente Ruta N° 42

Continuando aguas abajo se encuentra el puente conocido como Paso San Borja, el mismo tiene aproximadamente 7 m de ancho y 80 m de longitud. Su cota máxima del tablero es de +69.54 msnm, teniendo el mismo un espesor de 60 cm. Cuenta con 8 pilares de 25 cm de diámetro cada uno.

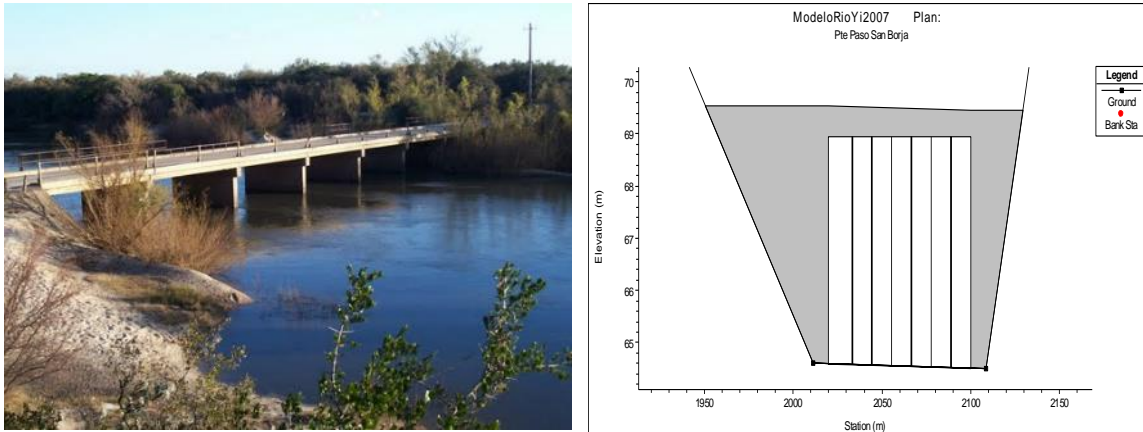


Figura 9.3-7 Modelación Puente Paso San Borja

A aproximadamente 10 km aguas abajo del puente de Paso San Borja se encuentra el actual puente de la Ruta Nacional N° 5 “Brigadier General Fructuoso Rivera” sobre el río Yí. El mismo se construyó a cota +79.95 msnm con un espesor de tablero de 2.55 m. Tiene un largo de aproximadamente 430 m y un ancho de 10 m. Sus pilares son 14 de 1 m de diámetro.

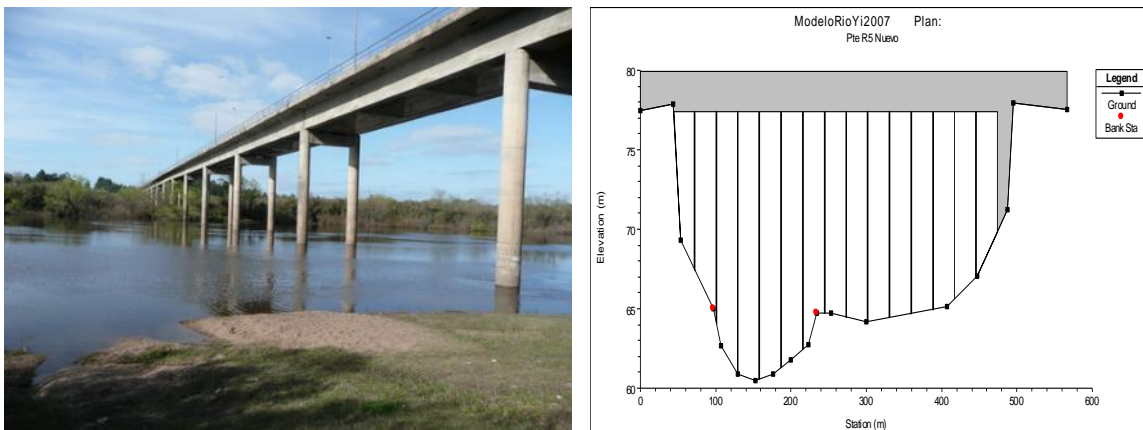


Figura 9.3-8 Modelación Puente Ruta N° 5 "Nuevo"

Avanzando en el río Yí aguas abajo se encuentra el antiguo puente del ferrocarril de la ciudad de Durazno. El mismo tiene una cota de tablero de +75.85 msnm y un espesor de 70 cm, un largo sobre el río de aproximadamente 600 m y un ancho de 10 m. A lo largo de su pasaje por el río tiene 11 pilares de 2.5 m de diámetro distribuido uniformemente.

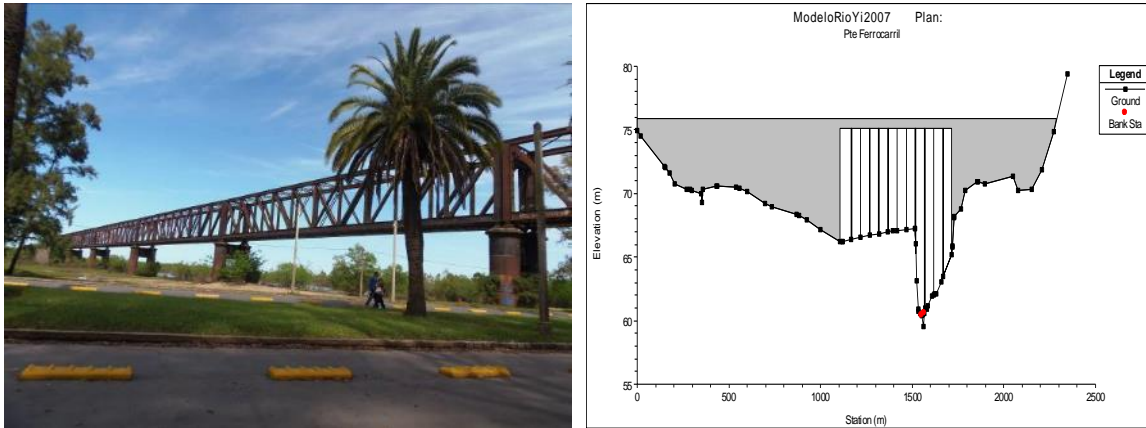


Figura 9.3-9 Modelación Puente vía férrea

Por último y no menos importante, a unos 350 m aguas abajo del puente del ferrocarril se ubica el puente que antiguamente correspondía a la Ruta 5 sobre el Yí. El mismo es de gran importancia, ya que los duraznenses refieren las cotas de las crecidas a los niveles de agua en dicho puente.

Se modeló con una altura máxima de tablero de +66.24 msnm y un espesor de 60 cm. Tiene aproximadamente 135 m de largo y 10 m de ancho. Cuenta además con 18 pilares de 50 cm de diámetro cada uno.

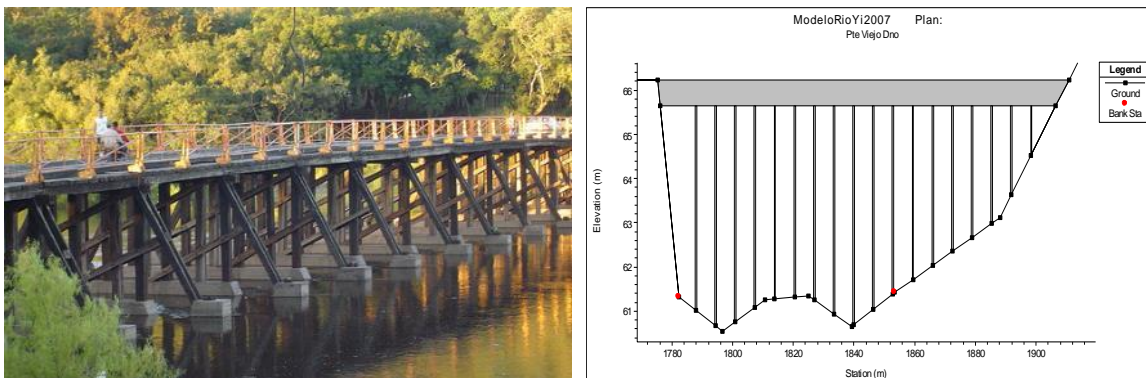


Figura 9.3-10 Modelación Puente Ruta N° 5 "Viejo"

9.3.1.4 Rugosidad

El valor del coeficiente de rugosidad de Manning (n) es muy variable y depende de algunos factores. Nuestro modelo será calibrado mediante este parámetro, pero para obtener un primer valor del mismo desde el cual comenzar la calibración se realiza una primera aproximación teórica. Para seleccionar el valor de n apropiado es conveniente analizar los factores de los que n depende:

Rugosidad superficial: La rugosidad superficial se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forman el perímetro mojado y que producen un efecto retardador del flujo. En general, los granos finos dan como resultado un valor de n bajo, y los granos gruesos, un valor alto de n .

Vegetación: La vegetación puede considerarse como una clase de rugosidad superficial, pero también reduce de manera notable la capacidad del canal y retarda el flujo. Este efecto depende de la altura, la densidad, la distribución y el tipo de vegetación.

Irregularidad del canal: Las irregularidades del canal incluyen irregularidades en el perímetro mojado y variaciones en la sección transversal, tamaño y forma de la misma a lo largo del canal. En ríos, por ejemplo, estas irregularidades por lo general son producidas por la presencia de barras de arena, ondas de arena, crestas y depresiones, etc.

Alineamiento del canal: Curvas suaves con radios grandes producirán valores de n relativamente bajos, mientras curvas bruscas con meandros severos incrementan el n .

Obstrucción: La presencia de obstrucciones de troncos, pilares de puentes y estructuras similares tienden a incrementar el n .

A partir del reconocimiento de varios factores principales que afectan el coeficiente de rugosidad, Cowan desarrolló un procedimiento para estimar el valor de n . Mediante este procedimiento, el valor de n puede calcularse como:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Donde n_0 representa el material involucrado, n_1 el grado de irregularidad del canal, n_2 las variaciones de la sección transversal, n_3 el efecto de las obstrucciones, n_4 la vegetación y m_5 el grado de los efectos por meandros. Se tomaron como hipótesis las siguientes condiciones (Tabla 9.3-1) del río a modelar, con las cuales se obtuvo un valor del coeficiente de rugosidad de Manning en el cauce de $n = 0.05$.

Tabla 9.3-1 Números de Manning

Material involucrado	Tierra	n_0	0.020
Grado de irregularidad	Suave	n_1	0.000
Variaciones de la sección transversal	Ocasionalmente alternante	n_2	0.005
Efecto de las obstrucciones	Menor	n_3	0.010
Vegetación	Media	n_4	0.010
Grado de los efectos de los meandros	Apreciable	m_5	1.150
		n	0.05

Para la planicie de inundación se consideró que el mismo es de 0.15 siendo que dicho valor corresponde según bibliografía¹² a una planicie de inundación con árboles del tipo sauces densos.

¹² Ven Te Chow (2014). *Hidráulica de canales abiertos*.

9.3.2 Modelación del flujo no estacionario

Para realizar una modelación del flujo no estacionario en HEC-RAS se requieren datos de condiciones de contorno (externas e internas) y de condiciones iniciales.

Las condiciones de contorno pueden establecerse a todos los extremos del sistema fluvial que se está modelando.

Los extremos de aguas arriba de un sistema fluvial se pueden modelar con condiciones de contorno como hidrogramas de caudal y/o como limnigramas.

Los extremos aguas abajo del sistema fluvial pueden modelarse con condiciones de contorno como la profundidad normal, hidrogramas de caudal y limnigramas.

Las condiciones de contorno también pueden establecerse en lugares internos dentro del sistema fluvial. Se puede especificar como condición de borde un hidrograma de caudal lateral entre otras opciones.

9.3.2.1 Condiciones de borde

Se colocó como condición de borde aguas arriba y de las secciones internas del modelo, hidrogramas de caudal.

Se analizaron los puntos de cierre de las subcuencas definidas, de modo de colocar correctamente sus respectivos hidrogramas en secciones dentro del modelo en HEC-RAS. Para ello se definieron posibles puntos de ingresos de los hidrogramas, los cuales se observan en la Figura 9.3-11.

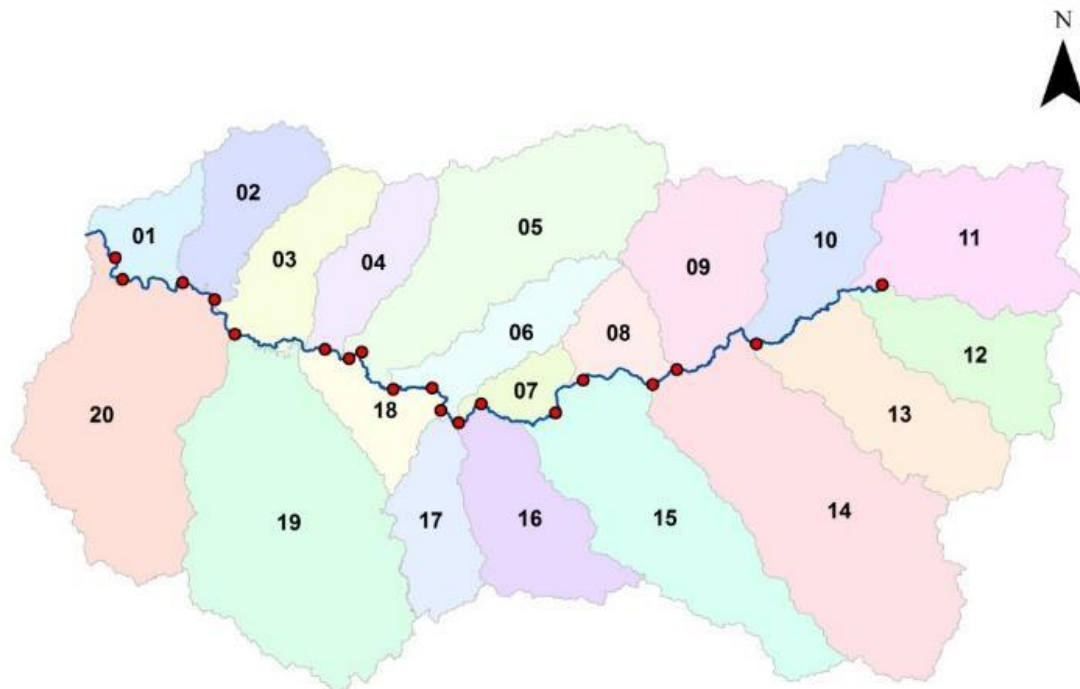


Figura 9.3-11 Puntos de ingreso de caudales

En la Tabla 9.3-2 y Figura 9.3-12 que siguen se muestran las secciones en las cuales se colocan los hidrogramas de cada subcuenca, en función de los puntos de ingreso definidos anteriormente.

Tabla 9.3-2 Sección de ingreso de caudal de cada subcuenca

Subcuenca	ID Sección	Subcuenca	ID Sección
SC1	GIS 9	SC11	GIS 1
SC2	GIS 7	SC12	GIS 1
SC3	GIS 6	SC13	S 123
SC4	P 3	SC14	S 117
SC5	P 2	SC15	S 112
SC6	S 105	SC16	S 107
SC7	S 108	SC17	S 106
SC8	S 114	SC18	S 103
SC9	S 118	SC19	GIS 5
SC10	S 123	SC20	GIS 8

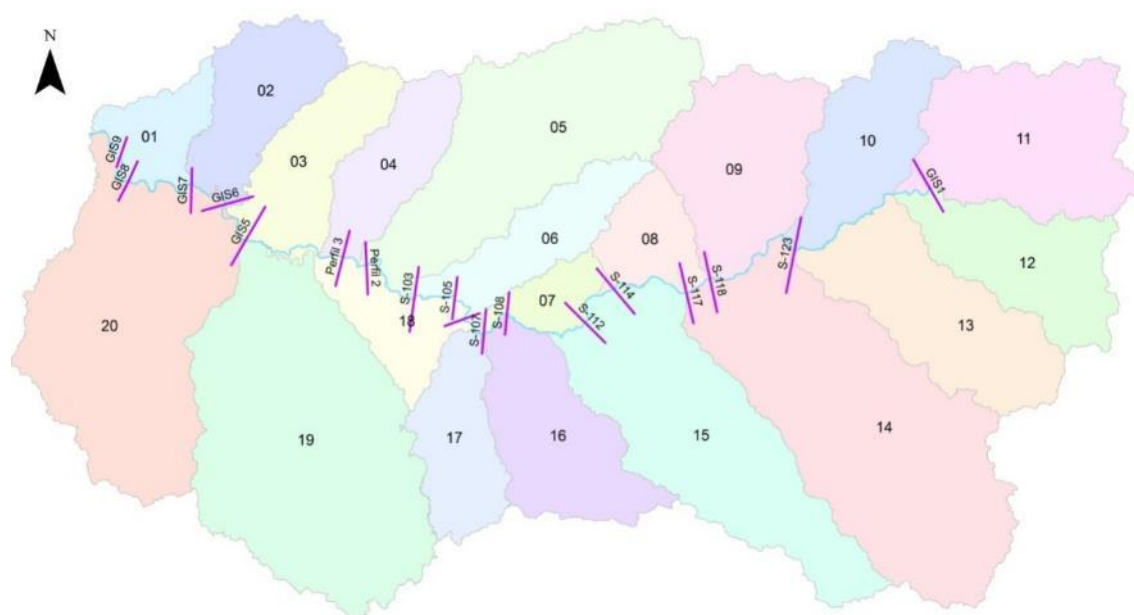


Figura 9.3-12 Sección de ingreso de caudal de cada subcuenca

Por otro lado, la condición aguas abajo del modelo fue definida como el tirante normal del río, utilizando como dato de ingreso para el cálculo del mismo la pendiente del río en su último tramo. Ésta pendiente corresponde a un valor de 0.0001 m/m.

9.3.2.2 Condiciones iniciales

Con el fin de evitar inestabilidades se definió como condición inicial en todas las tormentas modeladas un caudal de $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

De igual manera y por el mismo motivo se estableció para todos los hidrogramas ingresados en el modelo un valor mínimo de caudal de $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Se asumió que dicho valor de caudal no influye en los valores de los niveles obtenidos de la modelación, ya que los mismos corresponden a eventos extremos cuyos caudales superan ampliamente los $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

9.4 Calibración y Validación del modelo

Mediante la calibración y validación se busca generar un modelo que represente el comportamiento real del río Yí y sea lo suficientemente confiable como para poder ser utilizado como una herramienta de diagnóstico, análisis y propuesta de soluciones.

La calibración del modelo hidrológico e hidrodinámico se realiza de forma conjunta. Para ello se simula una serie de eventos extremos y se busca ajustar los principales parámetros de ambos modelos (Número de curva, Tiempo de concentración y Coeficiente de Manning), de forma tal que los niveles de agua simulados en Durazno se aproximen lo más posible a los niveles registrados.

Luego que los parámetros hidrológicos e hidrodinámicos del modelo fueron calibrados, se procede a validar el modelo, esto es, verificar que el modelo calibrado represente de forma correcta los niveles registrados en Durazno para otra serie de eventos.

Se presentan a continuación los eventos seleccionados para la calibración y validación del modelo, así como también las distintas etapas del proceso y los resultados obtenidos.

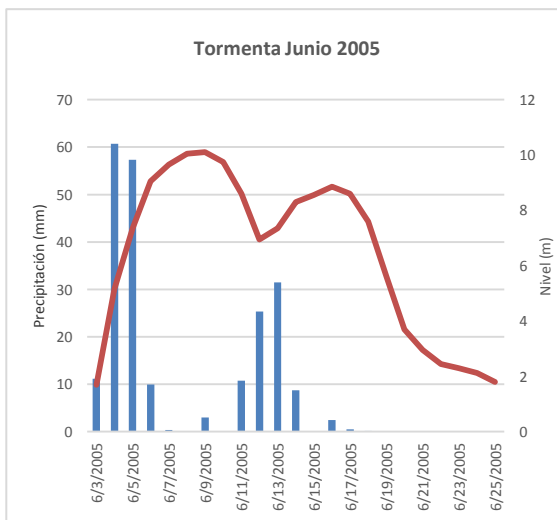
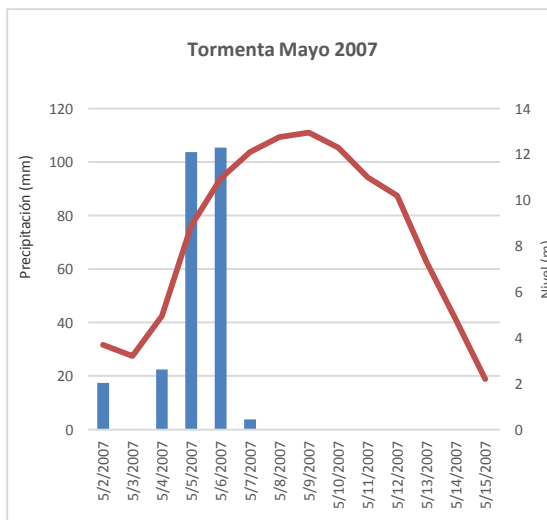
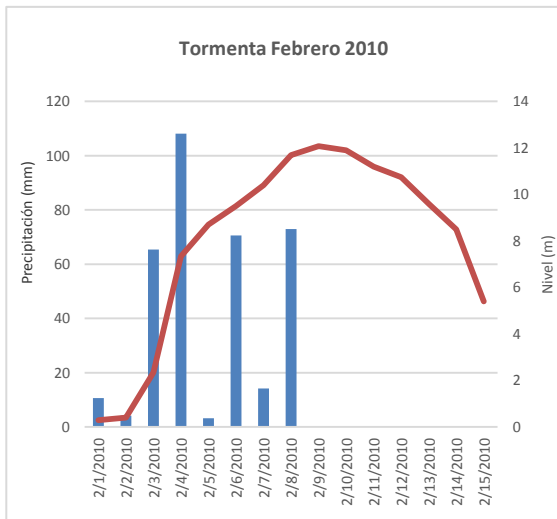
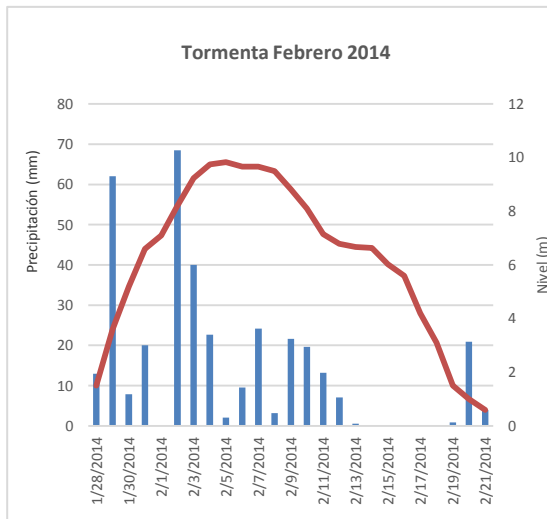
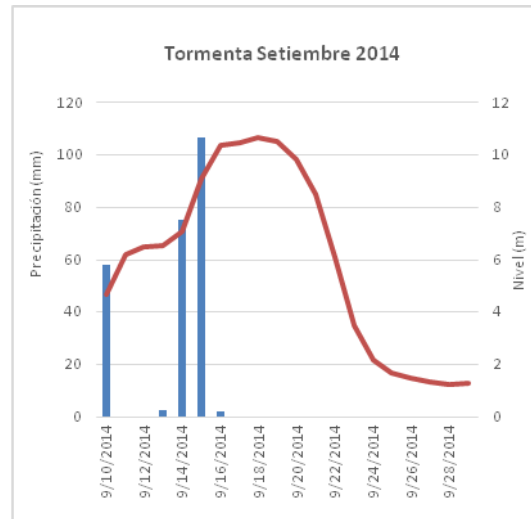
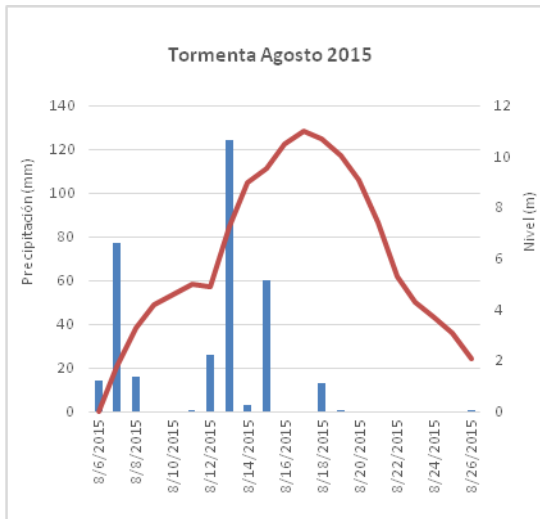
9.4.1 Elección de eventos a modelar

Para la selección de las tormentas a utilizar se realiza un análisis de la serie histórica de niveles en el puente de la Ruta Nº 5 en la Ciudad de Durazno, para el período 2000 – 2015.

Como criterio de selección se consideran relevantes aquellos eventos para los cuales los niveles registrados en el "puente viejo" superan la cota de 9 metros, dado que 8,60 m es la cota de seguridad que maneja el Centro Coordinador de Emergencias Departamentales (CECOED). Se refiere al "puente viejo" por ser este la referencia de nivel que se acostumbra en el colectivo social de los Duraznenses.

Luego de identificar aquellos días con registros mayores a 9 metros, se procede a analizar cómo fue la precipitación media en la cuenca en los días previos (utilizando el método de Polígonos de Thiessen) y evaluar la coherencia entre la precipitación y los niveles registrados.

A continuación en la Figura 9.4-1 se presentan los hietogramas medios y los limnigramas de los eventos seleccionados.



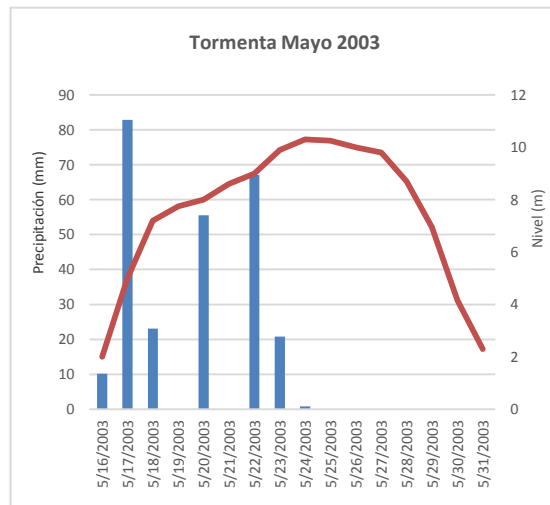


Figura 9.4-1: Hietogramas de precipitación media en la cuenca y Limnigramas registrados en Durazno para eventos en el período 2000 - 2015

Cabe destacar que mientras se llevaba a cabo el proceso de calibración se produce un evento de particular interés. Con una duración de 6 días, del 16 al 21 de Abril del corriente año, se registra en Durazno una precipitación acumulada de 222 mm, un nivel del río Yí de 12.9 metros en el puente de la Ruta N° 5 y en la que se vieron afectadas unas 176 manzanas y 809 hogares.

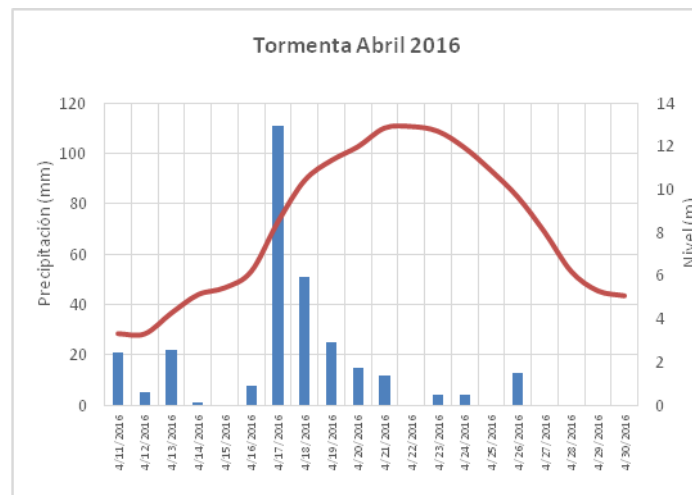


Figura 9.4-2 Hietograma y Limnigrama registrado en EM Durazno durante el evento de Abril 2016

En la imagen anterior se presenta, a modo de ejemplo, la precipitación registrada en la Estación Meteorológica de Durazno. La principal característica de este evento es que su forma se asemeja a una típica tormenta de diseño, comenzando con poca intensidad, aumentando hasta llegar al pico de intensidad para luego disminuir en el final. Razón por la cual se decide incorporar este evento en el proceso de calibración y validación del modelo.

En particular, los eventos de precipitación que deciden emplearse para la etapa de calibración son:

- Evento 1: 2 al 7 de Mayo del 2007
- Evento 2: 28 de Enero al 13 de Febrero del 2014
- Evento 3: 6 al 18 de Agosto del 2015
- Evento 4: 16 al 21 de Abril del 2016

Los eventos de precipitación con los que se decide validar el modelo son:

- Evento 1: 16 al 22 de Mayo del 2003
- Evento 2: 3 al 14 de Junio del 2005
- Evento 3: 1 al 8 de Febrero del 2010
- Evento 4: 10 al 16 de Setiembre del 2014

En la elección de los anteriores eventos de calibración se prioriza aquellos eventos posteriores al año 2010 de modo de aprovechar los registros de niveles de paso horario registrado por las estaciones telemétricas de UTE.

Por otra parte, se procura contemplar eventos de precipitación semejantes en ambas etapas.

9.4.2 Análisis de recurrencia de los eventos

En el Proyecto Cascos Blancos¹³, mediante un análisis estadístico a partir del registro histórico de niveles máximos diarios en la estación de Durazno Nº 125.1, ubicada en el puente de la ex Ruta 5 (Puente Viejo), en el período 1962 – 2001, considerando los 40 valores mayores de toda la serie, se obtuvo la correspondencia entre niveles y períodos de retorno.

En la Tabla 9.4-1 se observan los resultados de dicho ajuste, y se aclara que los niveles presentados son referidos al cero local.

Tabla 9.4-1 Ajuste estadístico Proyecto Cascos Blancos

TR (años)	Nivel (m)
2	8.79
5	9.50
10	10.03
20	10.55
50	11.24
100	11.76
250	12.25
500	12.76

La actualización del análisis estadístico excede el alcance del proyecto, por lo que para el presente informe se asumió que dicho ajuste continúa siendo válido, y se procedió a

¹³ “Plan de Emergencia contra Inundaciones para la ciudad de Durazno, República Oriental del Uruguay” Realizado en conjuntos por OEA – BID – Cascos Blancos – MTOP-DNH, Año 2002.

interpolarse los valores de nivel máximo diario en el puente viejo de los eventos seleccionados, y así obtener su correspondiente período de retorno.

Tabla 9.4-2 Tiempo de retorno asociado a cada evento

Evento	Niveles* (m)	Fuente	Tr (años)
May. 2003	10.36	DINAGUA PV	16
Jun. 2005	10.15	DINAGUA PV	12
May. 2007	12.95	DINAGUA PV	598
Feb. 2010	12.08	UTE PV	178
Feb. 2014	9.83	UTE PV	8
Set. 2014	10.68	UTE PV	25
Ago. 2015	11.02	UTE PV	41
Abr. 2016	11.31	UTE PV	61

*Niveles en Puente Viejo Referidos al cero local

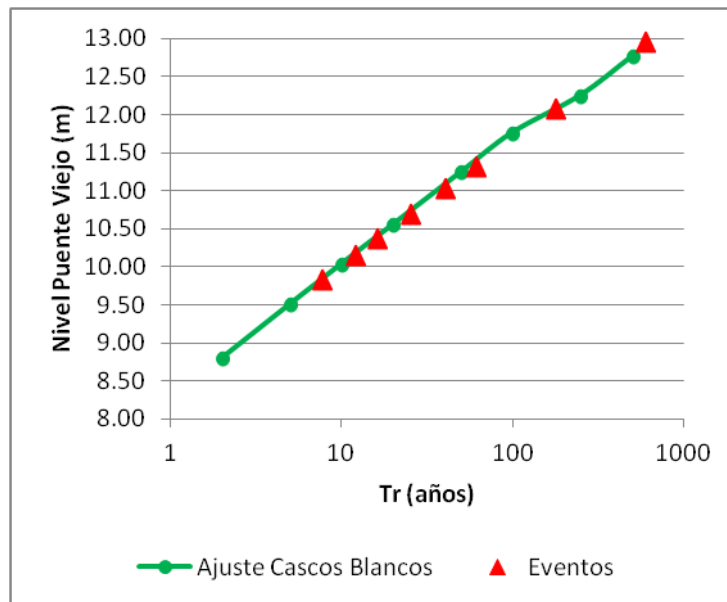


Figura 9.4-3 Interpolación niveles de eventos

Así mismo, con el fin de conocer el ranking histórico de niveles sucedidos en la ciudad de Durazno, se realizó el mismo procedimiento para todos los máximos anuales de cada año desde 1962 hasta la fecha.

Se observa como dato interesante, que los 3 niveles más altos ocurridos hasta la fecha se dan en los últimos 10 años del registro.

Tabla 9.4-3 Ranking de niveles máximo anuales serie 1962-2016

Año	Nivel (m)	Tr (años)	Año	Nivel (m)	Tr (años)
2007	12.95	598	2011	8.80	2
2010	12.08	178	2012	8.70	2
2016	11.31	61	1975	8.62	1
1978	11.10	45	1993	8.57	1
1998	11.05	42	2013	8.50	1
2015	11.02	41	1981	8.40	1
1997	11.00	40	1982	8.40	1
2014	10.68	25	1968	8.27	1
2003	10.36	16	1991	8.25	1
1999	10.15	12	1971	8.21	1
2005	10.15	12	1992	8.12	1
1994	9.89	8	1963	8.00	1
2014	9.83	8	1964	8.00	1
1986	9.80	7	1967	8.00	1
2002	9.80	7	2006	8.00	1
1980	9.50	5	1976	7.90	1
1990	9.46	5	1987	7.50	<1
1977	9.45	5	1966	7.46	<1
1984	9.30	4	1979	7.29	<1
1996	9.24	3	1962	6.67	<1
2000	9.10	3	2004	6.50	<1
2001	9.10	3	1969	6.30	<1
1970	9.00	2	1995	6.22	<1
1974	9.00	2	1965	5.59	<1
1973	8.99	2	1988	5.27	<1
1972	8.95	2	2008	3.60	<1
2009	8.95	2	1989	3.25	<1
1985	8.90	2			
1983	8.84	2			

De los 8 eventos seleccionados para calibración y validación, 6 corresponden a los 10 mayores ocurridos entre 1962 a la fecha.

9.4.3 Calibración del modelo

9.4.3.1 Etapa 1

El proceso de calibración comienza con los valores de los parámetros hidrológicos presentados en la sección 9.1.2.2 (Tc y NC) y parámetros hidrodinámicos en la sección 9.3.1.4 (coeficiente de manning).

Los limnigramas obtenidos de la modelación y los registrados en Durazno se presentan en las siguientes figuras.

Cabe destacar que para aquellos eventos anteriores al 14 de Diciembre del 2010, los niveles modelados se obtienen de la sección correspondiente al puente de la Ex Ruta N°5, mientras que para los eventos recientes se obtienen de la sección sobre el puente de la nueva Ruta N°5.

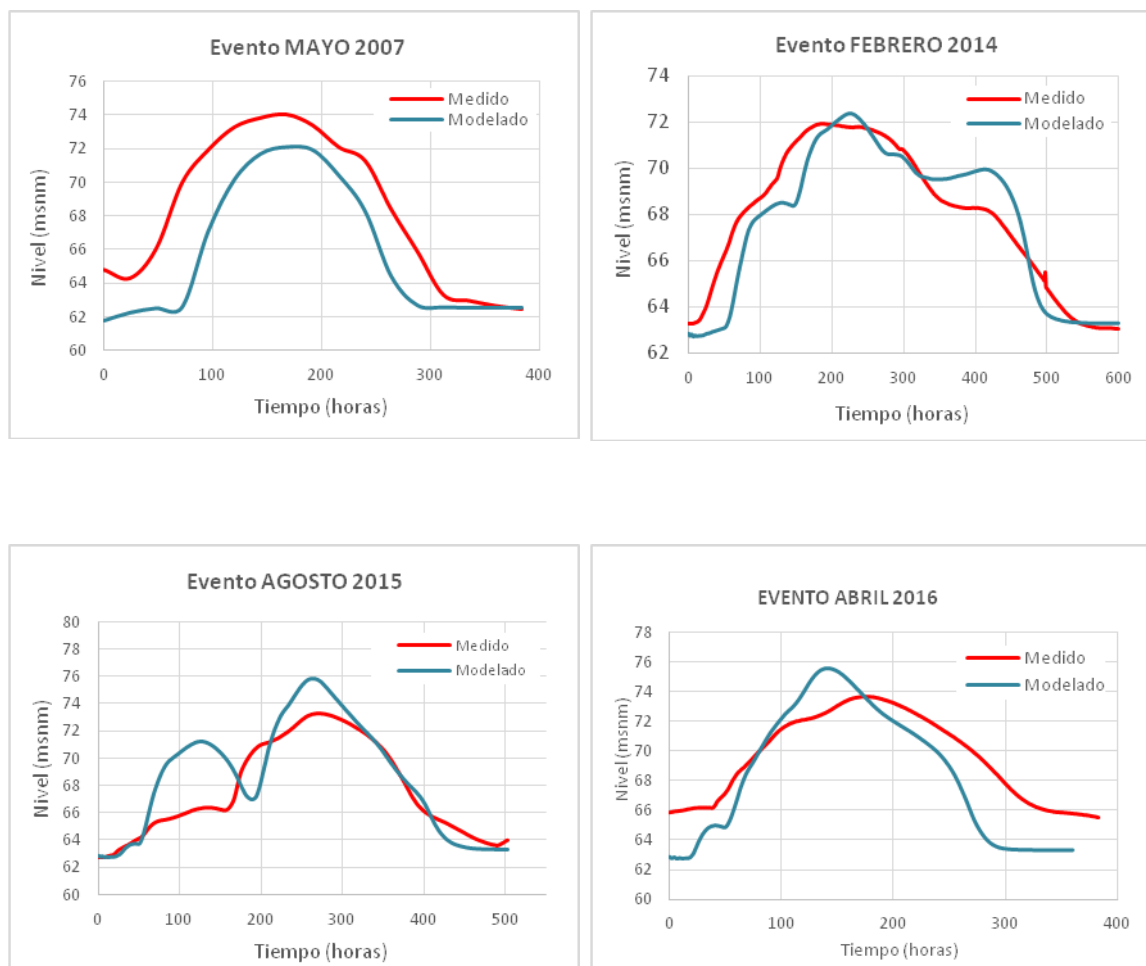


Figura 9.4-4: Limnigramas modelados y medidos en Durazno en la Etapa 1 de calibración

Tabla 9.4-4 Diferencias de cotas entre los niveles máximos medidos y modelados en la Etapa 1 de calibración

Evento MAY 2007	Evento FEB 2014	Evento AGO 2015	Evento ABR 2016
1.89	-0.40	-2.55	-1.90

En la Figura 9.4-4 y Tabla 9.4-4 se puede observar como los parámetros hidrológicos e hidrodinámicos teóricos dan lugar, en la mayoría de los eventos, a una sobreestimación de los niveles máximos respecto a los valores medidos. Respecto al volumen de escurrimiento se observa que en los eventos de 2007 y 2016 es menor a los valores registrados, no siendo tan notoria esta diferencia en el evento de 2014 y siendo mayor en el evento de 2015.

9.4.3.2 Etapa 2

Entendiendo que las diferencias observadas en la etapa 1 de calibración responden principalmente a aspectos hidrológicos, se procede en primer lugar a aumentar el Tc manteniendo los valores de NC teóricos.

Para aumentar el Tc se emplea la formulación del NRCS presentada por Tucci en la publicación "Hidrología-Ciencia e Aplicação" (2000), con la cual se obtienen valores de Tc mayores a los obtenidos con la formulación de Kirpich. Dicha formulación, como se observa a continuación, involucra además de parámetros físicos, parámetros hidrológicos de la cuenca.

$$T_c = \frac{3.42}{60} L^{0.8} \left(\frac{1000}{NC} - 9 \right)^{0.7} S^{-0.5}$$

Siendo: Tc: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud del cauce principal (km)

NC: Número de curva

S: Pendiente media del cauce principal (m/m)

Cabe destacar que la anterior formulación también fue empleada con el mismo fin durante la calibración del modelo generado en el proyecto PROHIMET para el Sistema de Alerta Temprana, luego de una extensa revisión bibliográfica sobre determinación de tiempos de concentración.

En la siguiente tabla se presentan los valores de Tc determinados con la formulación del NRCS para cada una de las subcuencas modeladas.

Tabla 9.4-5 Tiempos de concentración modificados para la Etapa 2 de calibración

Subcuenca	Tc NRCS (horas)	Subcuenca	Tc NRCS (horas)
1	57.3	11	69.1
2	128.8	12	84.3
3	169.5	13	80.6
4	22.1	14	126.5
5	154.5	15	136.6
6	82.1	16	100.6
7	43.5	17	77.6
8	38.7	18	24.0
9	97.1	19	249.9
10	76.8	20	147.2

Determinados los hidrogramas de aporte de las subcuencas para los nuevos valores de Tc, se ingresan en el modelo hidrodinámico y se obtienen como resultados los siguientes limnigramas.

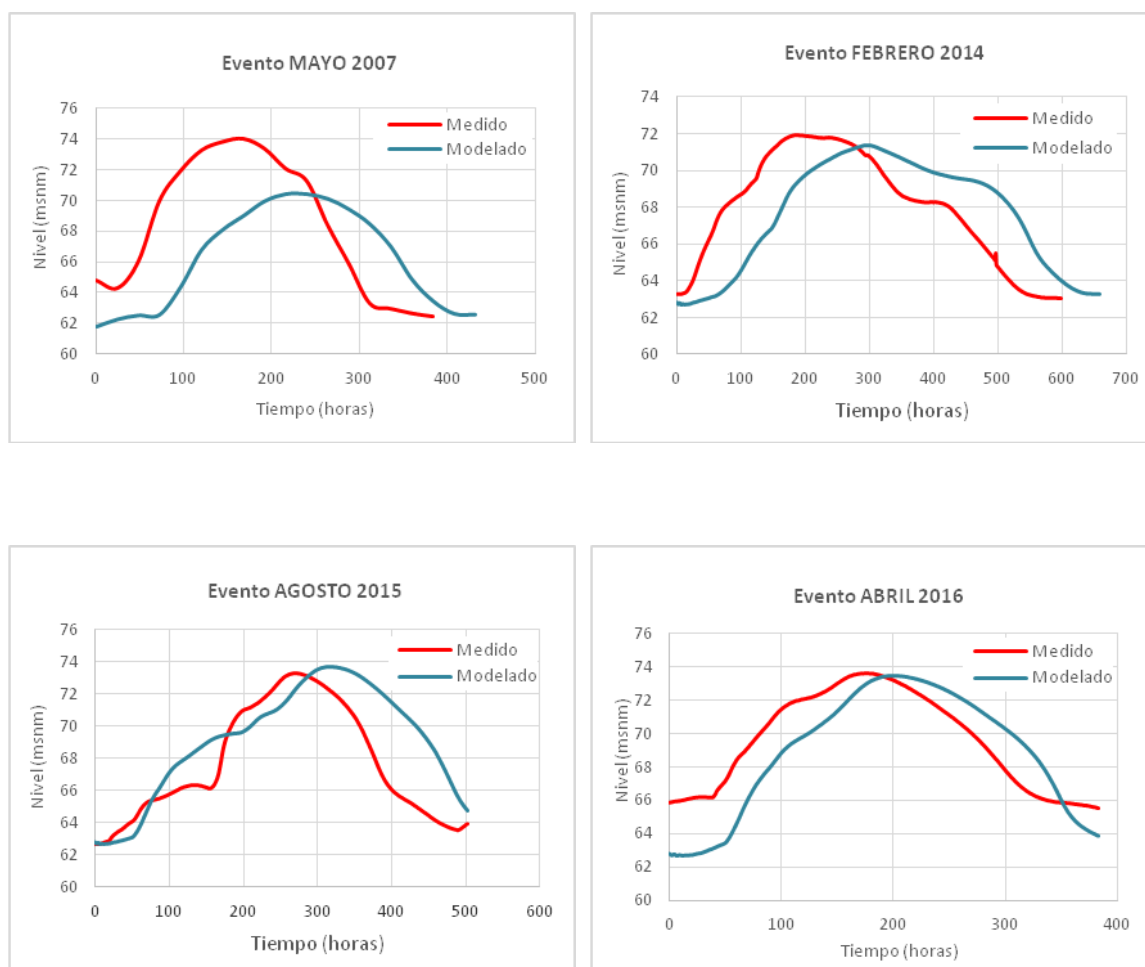


Figura 9.4-5: Limnigramas modelados y medidos en Durazno en la Etapa 2 de calibración

Tabla 9.4-6 Diferencias de cotas entre los niveles máximos medidos y modelados en la Etapa 2 de calibración

Evento MAY 2007	Evento FEB 2014	Evento AGO 2015	Evento ABR 2016
3.57	0.57	-0.45	0.17

En la Figura 9.4-5 se puede observar como la modificación en la determinación del T_c da lugar a una mejora en la forma de los limnigramas, aunque se mantiene el corrimiento en el momento del pico de nivel y aun no se logra representar correctamente la rama ascendente y descendente de los limnigramas.

La Tabla 9.4-6 muestra las diferencias de niveles máximos entre los valores modelados y medidos, éstos resultan aceptables salvo para el evento del 2007 donde una diferencia de 3.6 metros por debajo del valor medido es realmente significativa.

9.4.3.3 Etapa 3

Con el fin de corregir los aspectos anteriores (especialmente en el evento de 2007) se procede a incrementar el NC en un 20% respecto a los valores teóricos para todas las subcuencas, de forma de mantener la variabilidad espacial del mismo, manteniendo la formulación del NRCS para la determinación del T_c .

Mediante esta modificación se espera un aumento en los volúmenes de escurrimiento y una disminución en el Tc, dada la relación inversa de proporcionalidad entre las variables Tc y NC según se observa en la formulación del NRCS.

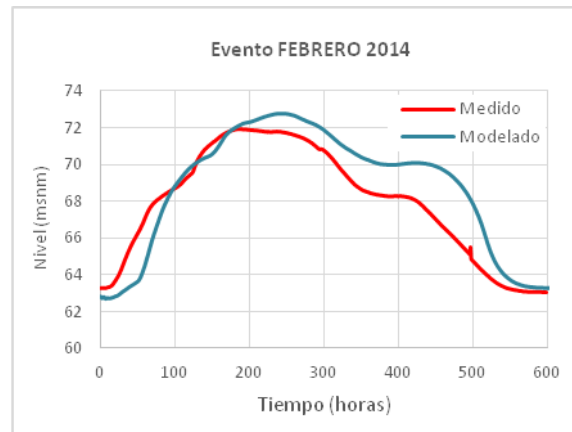
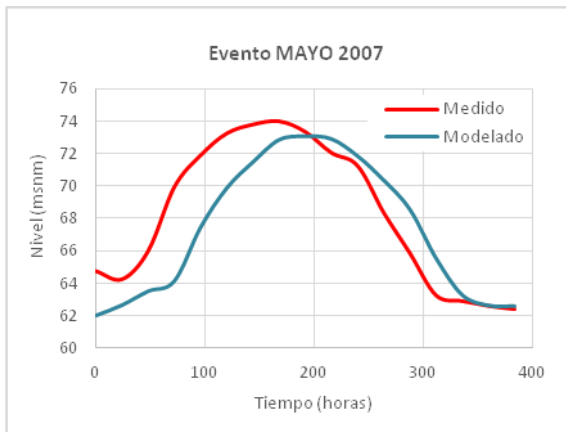
En la Tabla 9.4-7 se presentan los valores de Tc y NC (CHAI) resultantes de la anterior modificación.

Subcuenca	Tc NRCS (horas)	NC (+20%)
1	33.9	91
2	74.4	92
3	104.5	89
4	13.3	90
5	79.2	97
6	50.6	89
7	27.3	88
8	23.4	90
9	47.9	98
10	40.8	96

Subcuenca	Tc NRCS (horas)	NC (+20%)
11	46.1	83
12	56.2	83
13	48.7	90
14	74.9	91
15	84.2	89
16	59.6	91
17	42.5	95
18	15.3	86
19	144.5	92
20	87.1	91

Tabla 9.4-7: Tiempos de concentración modificados para la Etapa 3 de calibración

Luego de determinar los hidrogramas de aporte de las subcuencas para los nuevos valores de Tc y NC, se corre nuevamente el modelo hidrodinámico obteniendo como resultado los siguientes limnigramas.



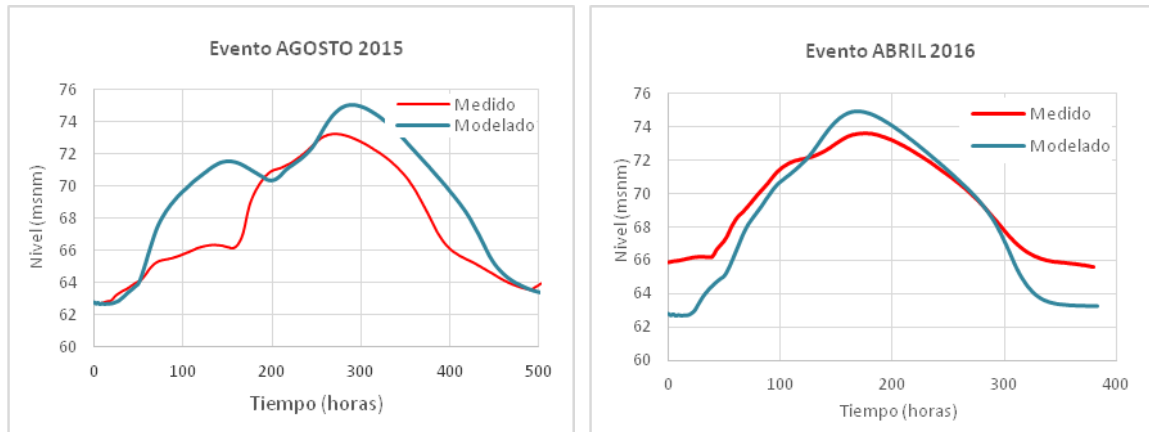


Figura 9.4-6 Limnigramas modelados y medidos en Durazno en la Etapa 3 de calibración

Tabla 9.4-8 Diferencias de cotas entre los niveles máximos medidos y modelados en la Etapa 3 de calibración

Evento MAY 2007	Evento FEB 2014	Evento AGO 2015	Evento ABR 2016
0.93	-0.83	-1.75	-1.26

En la Figura 9.4-6 y Tabla 9.4-8 se puede observar como las modificaciones realizadas provocan para el evento de 2007, una mejora significativa en la subestimación del volumen de escurrimiento como en el nivel máximo, reduciendo unos 2.64 metros la diferencia entre los valores medidos y modelados. En los evento de 2014 y 2016, si bien aumenta la diferencia de los niveles, mejoran los volúmenes de escurrimiento.

9.4.3.4 Etapa 4

En esta etapa se ajusta la variación del número de curva de modo de realizar un mejor ajuste de los limnigramas.

Observando los resultados obtenidos en la etapa 3 se decide modificar levemente el aumento realizado a los números de curva, disminuyendo a 18% dicha variación, esperando así que los limnigramas de los eventos se ajusten mejor.

En la Tabla 9.4-9 se presentan los valores de Tc y NC (AMCII) resultantes de la anterior modificación.

Tabla 9.4-9 Tiempos de concentración y números de curva modificados para la Etapa 4 de calibración

Subcuenca	Tc NRCS (horas)	NC (+18%)
1	36.1	90
2	79.6	91
3	110.6	87
4	14.2	89
5	86.6	96
6	53.6	87
7	28.8	86
8	24.9	89
9	52.7	97
10	44.3	94

Subcuenca	Tc NRCS (horas)	NC (+18%)
11	48.2	81
12	58.8	81
13	51.7	89
14	79.8	90
15	89.1	87
16	63.4	90
17	45.9	93
18	16.1	85
19	154.5	91
20	92.8	90

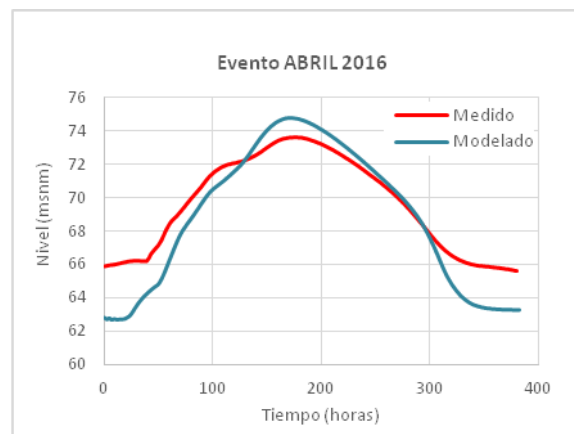
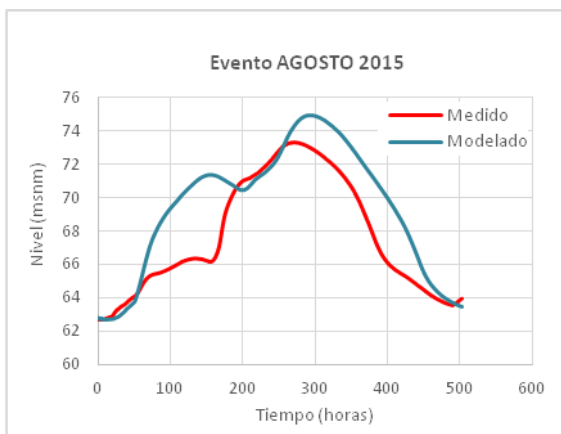
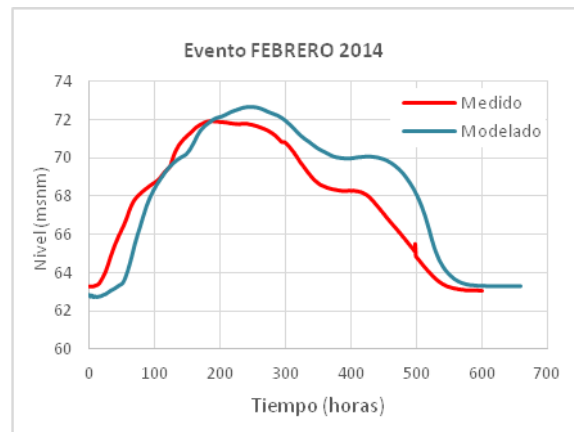
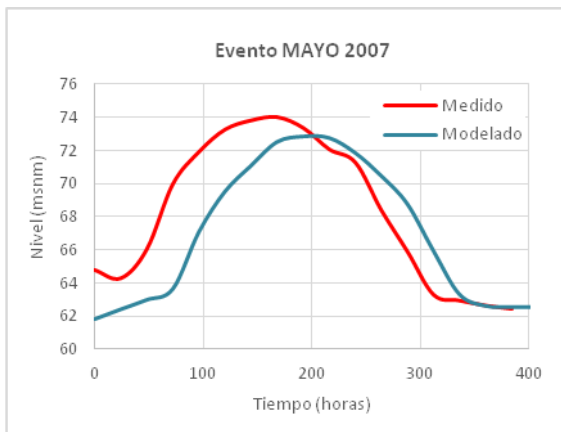


Figura 9.4-7: Limnigramas modelados y medidos en Durazno en la Etapa 4 de calibración

Tabla 9.4-10 Diferencias de cotas entre los niveles máximos medidos y modelados en la Etapa 4 de calibración

Evento MAY 2007	Evento FEB 2014	Evento AGO 2015	Evento ABR 2016
1.19	-0.70	0.93	-1.13

Se observa que con esta modificación las diferencias de niveles máximos se aproximan entre sí, la forma de los limnigramas resultantes del modelo son similares a los limnigramas registrados. Estos resultados se consideran satisfactorios.

De esta manera se da por concluida la calibración del modelo y se procede a la validación.

9.4.4 Validación del modelo

Como se mencionó previamente los eventos seleccionados para calibrar son:

- Evento 1: 16 al 22 de Mayo del 2003
- Evento 2: 3 al 14 de Junio del 2005
- Evento 3: 1 al 8 de Febrero del 2010
- Evento 4: 10 al 16 de Setiembre del 2014

A continuación se presentan los limnigramas obtenidos para dichos eventos junto con los limnigramas registrados.

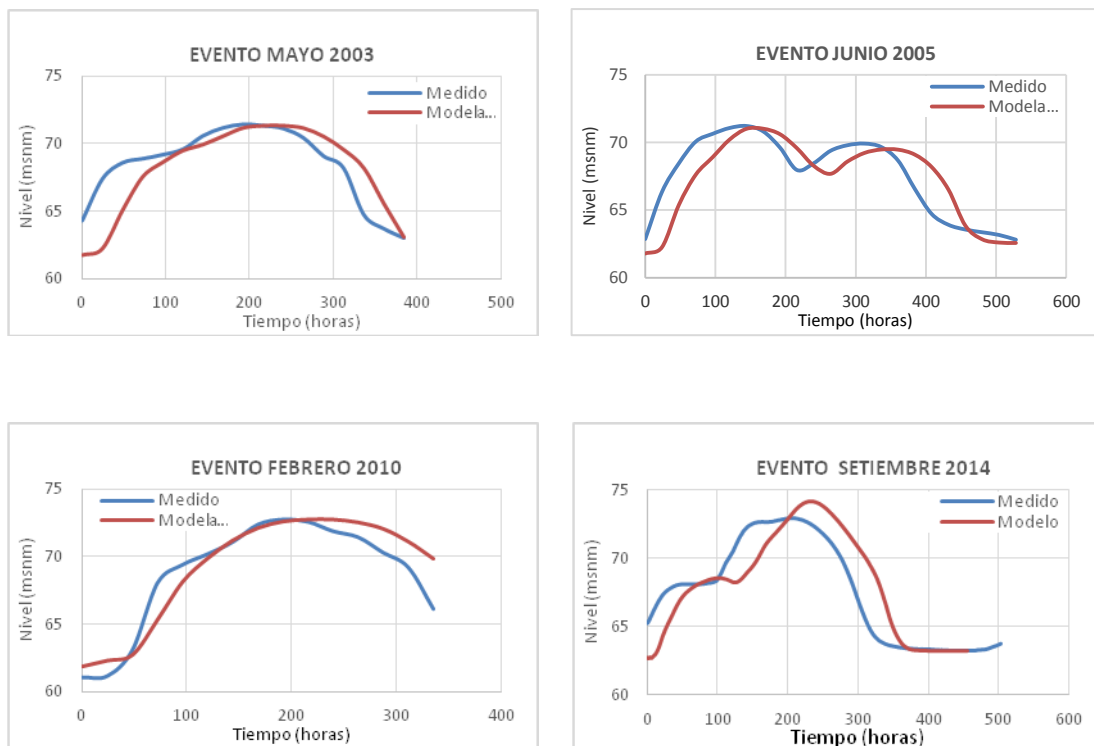


Figura 9.4-8 Limnigramas modelados y medidos en Durazno en la etapa de validación.

Tabla 9.4-11 Diferencias de cotas entre los niveles máximos medidos y modelados en la etapas de validación

Evento MAY 2003	Evento JUN 2005	Evento FEB 2010	Evento SET 2014
0.14	0.19	0.03	-1.22

9.4.5 Conclusiones

- Analizando la precipitación media de la cuenca para los eventos modelados y los respectivos niveles en la ciudad de Durazno se observa que el inicio de la precipitación en la cuenca hasta que se alcanzan los niveles máximos en Durazno pasan entre 2 y 5 días.
- Es necesario destacar que en las etapas de calibración se utilizó el evento de Agosto de 2015, este evento no se ajustó en ninguna de las etapas a la respuesta del modelo. En este sentido lo que se puede decir es que el modelo hidrológico-hidrodinámico no representa bien este tipo de eventos en los que se presentan dos picos juntos. El ajuste es razonable para el objetivo de un modelo de eventos que es predecir el máximo, el error es menor al metro. Para representar el hidrograma se requiere aplicar un modelo de tipo continuo, que considera evaporación, estado de humedad del suelo, etc.
- Se observa como una fortaleza de esta calibración el hecho de haber utilizado un coeficiente de ajuste del número de curva único para todas las cuencas, esto implica que es una calibración de ajuste físico y no matemático, ya que respeta los números de curva obtenidos teóricamente y siguen estando asociados al tipo y uso de suelo y humedad antecedente, lo que permite que el modelo ajuste mejor para otros eventos.
- En el mismo sentido, el ajuste del tiempo de concentración también fue basado en las características físicas ya que no se realizó un ajuste aleatorio del mismo sino que se utilizó una ecuación que ajusta mejor y tiene en cuenta los parámetros físicos de cada cuenca. Así al igual que en el punto anterior, el modelo responderá más adecuadamente a otros eventos diferentes.

9.5 Curvas de inundación

A través del modelo hidrológico-hidrodinámico generado es posible determinar el impacto y alcance espacial de las inundaciones sobre la ciudad de Durazno.

Para determinar las curvas de inundación se emplea la aplicación HEC-GEORAS, desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, que permite compatibilizar la información de ambos software: HEC-RAS y ArcGIS.

De esta forma fue capaz de agregarle al MDT los resultados de niveles máximos obtenidos en HEC-RAS para los eventos modelados en las etapas de calibración y validación. Se obtiene como resultado las imágenes que se presentan a continuación.



Tr (años)	61
Nivel Pte. viejo (m)	11.31
Área afectada (Km ²)	15.9

Figura 9.5-1 Curva de inundación Abril 2016



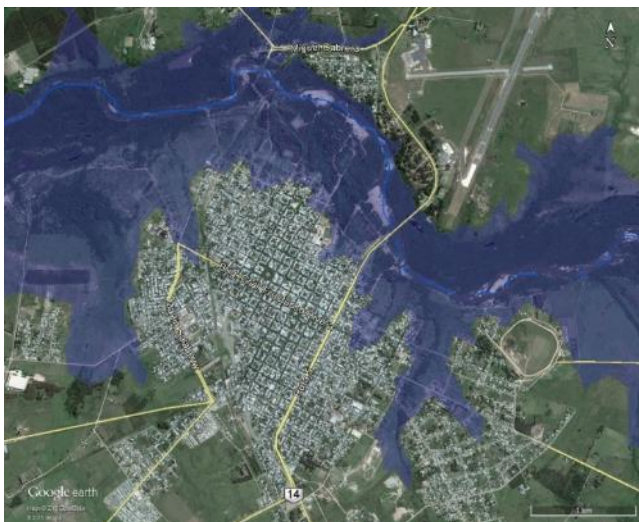
Tr (años)	41
Nivel Pte. viejo (m)	11.02
Área afectada (Km ²)	16.3

Figura 9.5-1 Curva de Inundación - Agosto 2015



Tr (años)	25
Nivel Pte. viejo (m)	10.68
Área afectada (Km ²)	15.1

Figura 9.5-2: Curva de inundación - Setiembre 2014



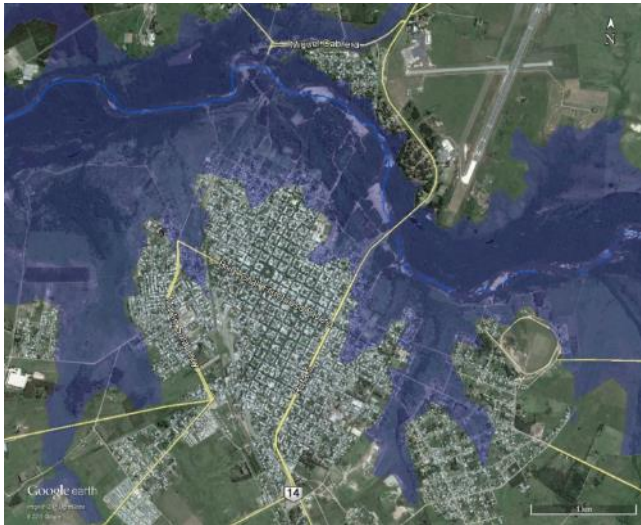
Tr (años)	8
Nivel Pte. viejo (m)	9.83
Área afectada (Km ²)	12.9

Figura 9.5-3: Curva de inundación - Febrero 2014



Tr (años)	178
Nivel Pte. viejo (m)	12.08
Área afectada (Km ²)	15.6

Figura 9.5-4: Curva de inundación - Febrero 2010



Tr (años)	598
Nivel Pte. viejo (m)	12.95
Área afectada (Km ²)	15.5

Figura 9.5-5: Curva de inundación - Mayo 2007



Tr (años)	12
Nivel Pte. viejo (m)	10.15
Área afectada (Km ²)	12.5

Figura 9.5-6: Curva de inundación - Junio 2005



Tr (años)	16
Nivel Pte. viejo (m)	10.36
Área afectada (Km ²)	13.1

Figura 9.5-7: Curva de inundación - Mayo 2003

Los resultados obtenidos de la modelación reflejan de forma acertada la problemática y compleja situación que enfrenta la ciudad de Durazno y sus habitantes frente a las inundaciones.

Eventos de precipitación que varían entre 8 y 598 años de período de retorno provocan una variación en el nivel del río del orden de 3 metros, sin embargo, el alcance espacial de las inundaciones es muy similar. Esto responde básicamente a la topografía del terreno en la zona y a la extensión de la planicie de inundación del río Yí.

El área afectada por los eventos analizados es en promedio de 15 km², la cual incluye grandes extensiones de área urbanizada y monte nativo, inundando servicios de importancia como la planta de tratamiento de aguas residuales y vías de comunicación como la ex Ruta N° 5.

Según datos proporcionados por el Centro Coordinador de Emergencias Departamentales (CECOED) al diario El Observador, “La zona más vulnerable es la que se anega cuando el río alcanza los 9.15 metros”, la cual “comprende a más de 1,000 viviendas y a 3,000 personas”. Resultados de un relevamiento realizado por la Facultad de Arquitectura en la zona afectada en 2010 indican que “en la franja más cercana la Yí, el 88% de las casas eran de construcción precaria”, donde “cinco de cada 10 personas tienen menos de 29 años”.¹⁴

Es claro que Durazno es una ciudad que se encuentra instalada sobre las planicies de inundación del río Yí y sus habitantes sufren las consecuencias de tal ocupación. Las planicies de inundación si bien no presentan agua de forma permanente, es un espacio que pertenece al sistema fluvial y permiten el drenaje en aquellos eventos para los cuales la capacidad hidráulica del cauce principal se ve superada.

¹⁴ Artículo diario El Observador (7/02/2014): Inundaciones en Durazno: una carrera contra el río.
<http://www.elobservador.com.uy/inundaciones-durazno-una-carrera-contra-el-rio-n271237>

10. LOCALIZACIÓN DEL CIERRE

Desde el inicio del proyecto se cuenta con 2 cierres obtenidos del Informe Generación Hidroeléctrica en Pequeña Escala desarrollado por el IMFIA. Los mismos fueron denominados como Durazno – 85 y Sarandí – 142 en función de su ubicación y su cota de vertido.

En esta etapa del presente estudio se procede a evaluar dichos cierres junto con nuevos cierres propuestos para seleccionar la ubicación que se considere más viable para el diseño de la represa.

10.1 Características a evaluar

Con el fin de seleccionar uno o más puntos de cierre sobre el río Yí a utilizar como posibles ubicaciones de la represa, se definen las siguientes características para su posterior evaluación.

10.1.1 Sección estrecha del cauce, con pendientes laterales fuertes

Este criterio permite obtener una menor longitud de dique y por ende un menor volumen de movimiento de suelos. Asimismo, las pendientes laterales fuertes permitirán tener el mayor volumen inundando la menor superficie posible.

Se utiliza para definir la sección del cauce curvas de nivel cada 5 metros generadas a partir del modelo digital de terreno.

Para obtener el movimientos de suelo en cada emplazamiento se supone una altura de vertido de 15 m y una franquía de 4 m, además una sección con 10 m de ancho de coronamiento y taludes aguas arriba y aguas abajo 3H:1V y 2.5H:1V respectivamente.

10.1.2 Área de la cuenca y potencia generada

El área de la cuenca será un parámetro relacionado a la potencia generada, en donde su relación es directamente proporcional. Cuanto mayor es el área de la cuenca, mayor será la potencia generada, para un mismo salto.

La potencia generada se calcula como

$$P (kW) = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \delta$$

donde γ es el peso específico del fluido, en este caso agua, H es el salto lográble que en cada caso se puede determinar como la cota del embalse menos la cota de fondo (inicialmente se evalúan todos los cierres bajo un salto lográble de 15 m), δ es el rendimiento global de la turbina y del generador que se supuso del 80% y Q es el caudal turbinable, el cual como una primera aproximación se calcula como el área de la cuenca A por la precipitación efectiva media mensual Pe .

La precipitación efectiva media mensual es de 30 mm/mes. La misma se calcula como la precipitación media mensual P obtenida de la serie histórica, cuyo valor es de 107 mm/mes, por el coeficiente de escorrentía. Cabe destacar que el coeficiente de

escorrentía fue calculado para la serie histórica 1962 – 2015 de precipitaciones y niveles en la cuenca, obteniéndose un valor promedio de 0.28 (Ver Anexo II).

10.1.3 Energía generada

Con el fin de estimar la energía generada en cada cierre se supone un factor de capacidad de 0.50. Dicho factor permite conocer la relación entre la energía efectivamente generada y la energía máxima generable. Se calcula así la energía generada como

$$E_{generada} = E_{m\acute{a}x\ generable} \times FC$$

$$E_{generada}(MWh) = \frac{Pot(kW) \times 8760 \frac{horas}{a\tilde{n}o} \times FC}{1000}$$

El valor de factor de capacidad fue supuesto en base al análisis realizado en el Anexo N°9 del Informe Pequeñas Centrales Hidroeléctricas realizado por el IMFIA¹⁵. En el mismo se observa una gran variabilidad del factor dependiente del cierre seleccionado, motivo por el cual se asumió 0.50 como factor de capacidad medio, con el fin de comparar los cierres seleccionados.

10.1.4 Largo del vertedero

Se supone para todos los cierres la construcción de un vertedero frontal tipo Ogee de hormigón. Para tener una primera aproximación del largo del vertedero se realiza un análisis de la relación entre el área de la cuenca y el largo de vertedero para tres diferentes embalses. Dos de ellos corresponde a anteproyectos realizados por el IMFIA en el marco del proyecto de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas¹⁶, y el tercero corresponde al embalse de Paso Severino.

Si bien existen otras represas en el país que podrían utilizarse para la estimación se buscó que las represas consideradas no contaran con compuertas en sus aliviaderos centrales.

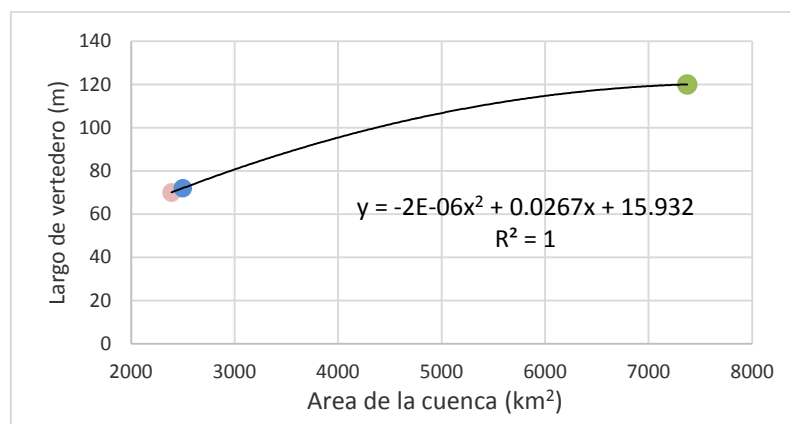


Ilustración 8 - Curva relación área de la cuenca - largo del vertedero

¹⁵ IMFIA (2013). *Generación Hidroeléctrica en pequeña escala*

Del análisis se obtuvo una ecuación polinómica de segundo orden que permite calcular conociendo el área de la cuenca de un cierre dado su correspondiente largo de vertedero.

10.1.5 Volumen embalsado y control de inundaciones

El volumen embalsado será un indicador de la capacidad de amortiguar las crecidas que tendrá la represa en el punto de cierre a evaluar.

Para evaluar la influencia sobre el control de inundaciones se supone en primera instancia que al momento de laminar el caudal proveniente de los escurrimientos, el embalse se encuentra vacío, utilizando el total de su volumen para amortiguar.

Con el fin de conocer los beneficios que otorgará la implantación de un cierre u otro en lo que respecta a los padrones inundados en la ciudad de Durazno y a la cantidad de días que los mismos se encuentran anegados, se realiza la modelación hidrodinámica de la serie histórica de escurrimientos 1994-2015 en el software HEC-RAS 5.0 para los diferentes cierres evaluados y para la situación actual.

Los días evacuados fueron supuestos como aquellos cuyo nivel en el puente viejo de Durazno superaran el nivel 8.60 m, nivel que actualmente corresponde al nivel de alerta rojo para el Sistema de Alerta Temprana de la ciudad.¹⁶

La cantidad de padrones inundados se calcula considerando la superficie de inundación generada por el nivel promedio de los niveles que superan el nivel de seguridad. Para los distintos cierres evaluados este nivel medio varía entre 70.60 msnm y 70.80 msnm correspondientes a 9.54 m y 9.74 m respectivamente referido al cero del puente viejo. Esto implica que la cantidad de padrones inundados, en las distintas situaciones, se mantenga.

10.1.6 Superficie del lago

Por una razón de costos cuanto menor sea la superficie permanente del lago, menor será el costo de expropiación de tierras.

Es sumamente importante conocer cuáles son las afectaciones que el lago del embalse genera, ya que se descartarán cierres cuyo embalse deje aislada o inunde alguna población, corte rutas o camino, afecte áreas incluidas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) o inunde líneas de alta tensión o algún otro tipo de servicio.

10.1.7 Distancia del cierre al poblado más cercano aguas abajo

Este simple criterio permite evaluar los posibles daños generados por una rotura de presa sin necesidad de modelar numéricamente el problema. Se valora como aspecto positivo aquellos cierres cuya distancia al poblado más cercano sea mayor.

¹⁶ Nivel de seguridad que maneja el CECEOED.

10.1.8 Distancia a la línea de transmisión más cercana

Debido a que el costo de conexión a la red de distribución de energía eléctrica aumenta con la distancia se considera como valor relevante la distancia del cierre a la línea de media tensión más cercana realizando el trayecto por caminos y rutas existentes.

10.2 Etapa 1: Caracterización de nuevos cierres

Se evalúan nuevos puntos de cierre en la zona intermedia entre los puntos de cierre propuestos inicialmente, Durazno y Sarandí del Yí, ya que se considera que los mismos son cierres extremos. El cierre ubicado aguas arriba de Sarandí del Yí posee una cuenca pequeña por estar en la naciente del cauce y por el contrario el cierre de Durazno abarca casi la totalidad de la cuenca del río Yí.

Se comienza el análisis de manera de elegir los cierres con secciones más estrechas, es decir cuyas curvas en la zona del cauce se encuentren a poca distancia entre sí.

Para su evaluación se supuso para todos los cierres una altura de vertido de 15 m por encima de la cota de fondo del cauce, y una franquía de 4 m. En etapa posterior se analizará la altura óptima para los cierres seleccionados.

10.2.1 Secciones estrechas

Según los criterios definidos en la sección 10.1.1 se seleccionan los cierres que se presentan en la Figura 10.2-1.

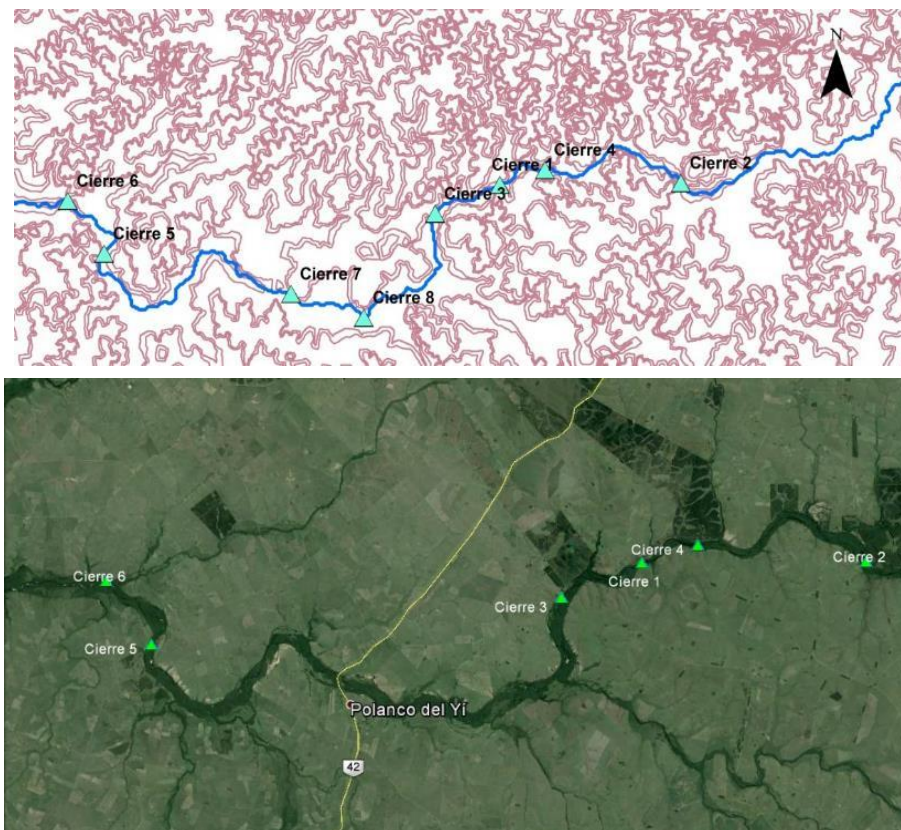


Figura 10.2-1 Ubicación de los cierres

Se muestran en las ilustraciones siguientes las secciones obtenidas para cada cierre, así como en la tabla se presentan su largo de dique y su volumen de movimiento de suelos.

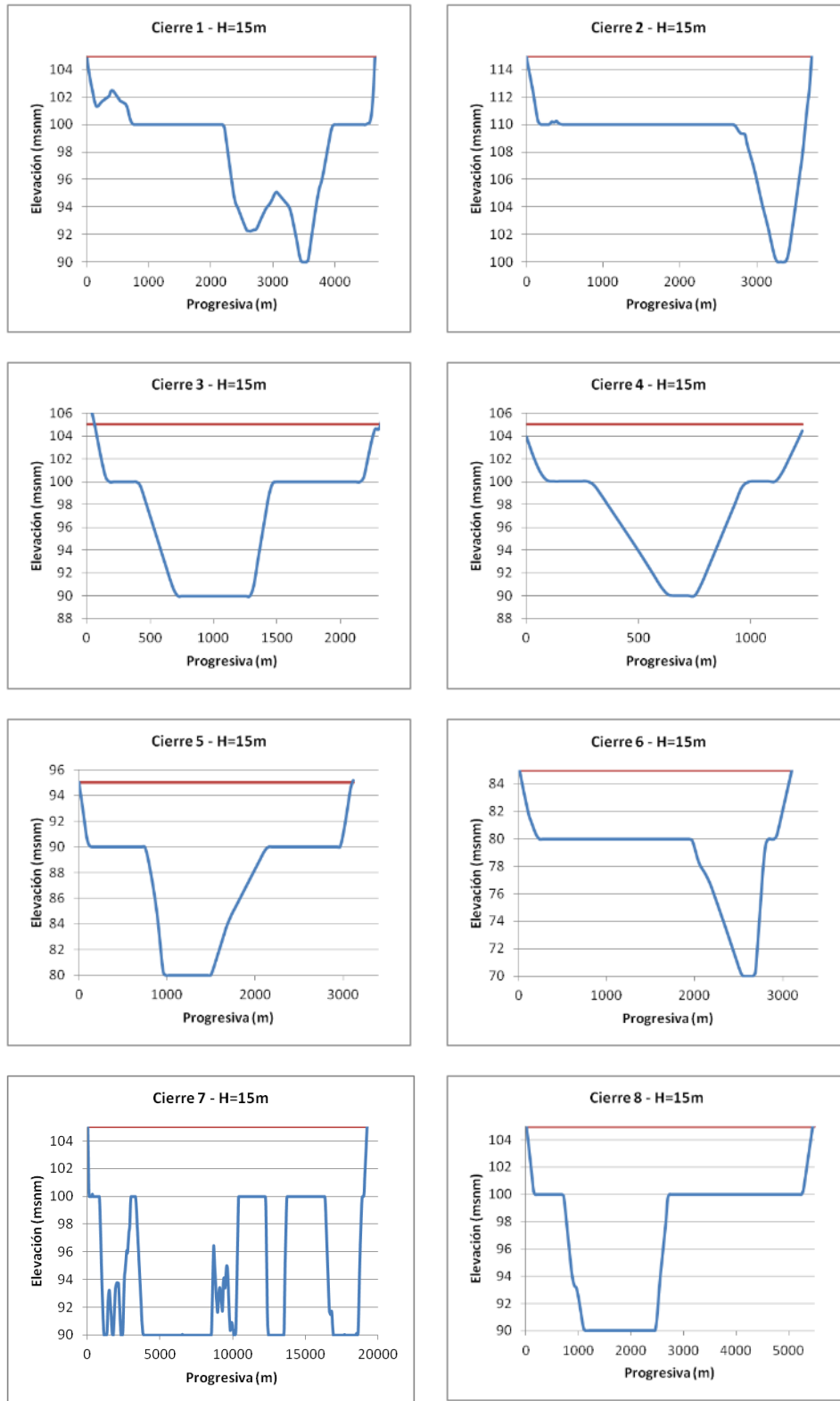


Figura 10.2-2 Sección del Río en cada punto de cierre

Tabla 10.2-1 Características de cada punto de cierre

Cierre	Altura de dique (m)	Largo de dique (m)	Movimiento de Suelos (m ³)
Cierre 1	15	4,647	1,098,810
Cierre 2	15	3,712	709,968
Cierre 3	15	2,217	644,218
Cierre 4	15	1,230	371,448
Cierre 5	15	3,355	916,923
Cierre 6	15	3,104	624,118
Cierre 7	15	19,277	9,352,511
Cierre 8	15	5,488	1,701,909

10.2.2 Área de la cuenca y potencia generada

Con cada punto de cierre queda entonces definida su respectiva cuenca.

Siguiendo el análisis presentado en la sección 10.1.2 se presentan los siguientes resultados.

Tabla 10.2-2 Área de cuenca, caudal turbinable y potencia generada en cada cierre

Cierre	Área de la cuenca (km ²)	Q turb (m ³ /s)	Potencia Generada (MW)
Cierre 1	4,796	55	6,519
Cierre 2	4,522	52	6,147
Cierre 3	4,821	56	6,554
Cierre 4	4,651	54	6,322
Cierre 5	6,849	79	9,310
Cierre 6	7,164	83	9,737
Cierre 7	5,838	67	7,936
Cierre 8	5,808	67	7,895

10.2.3 Energía generada

Como se explica en el apartado 10.1.3 se calcula la energía generada para cada cierre obteniéndose los siguientes resultados.

	Cierre 1	Cierre 2	Cierre 3	Cierre 4	Cierre 5	Cierre 6	Cierre 7	Cierre 8
Energía (MW.h)	28,552	26,925	28,705	27,691	40,779	42,650	34,760	34,580

10.2.4 Volumen embalsado y control de inundaciones

El volumen embalsado en cada punto de cierre será una función de la altura de lago supuesta, por lo que para esta primera etapa de evaluación se analizan los valores de volumen embalsado a una altura de 15 m desde el fondo del cauce para todos los cierres.

Se supondrá además que al momento de la avenida extrema, la operación del embalse permitirá utilizar el total del volumen del embalse para amortiguar el caudal extraordinario.

En la Tabla 10.2-3 se presentan los volúmenes embalsados en cada caso y en la Tabla 10.2-4 se observan los resultados obtenidos de la modelación hidrodinámica discretizada por períodos de 5 años.

Tabla 10.2-3 Volumen embalsado en cada cierre

Cierre	Volumen embalsado (hm3)
Cierre 1	155
Cierre 2	506
Cierre 3	242
Cierre 4	78
Cierre 5	1253
Cierre 6	217
Cierre 7	1338
Cierre 8	1115

Tabla 10.2-4 - Influencia en las inundaciones

	Días inundados					Total días	Padrones Inundados
	94-99	99-04	04-09	09-14	14-15		
Sin Presa	29	60	48	42	38	217	616
Cierre 1	19	51	46	30	33	179	616
Cierre 2	18	43	44	25	33	163	616
Cierre 3	18	48	43	27	32	168	616
Cierre 4	22	51	47	30	35	185	616
Cierre 5	23	53	45	31	32	184	616
Cierre 6	25	56	45	37	33	196	616
Cierre 7	20	52	55	31	32	190	616
Cierre 8	18	46	41	26	32	163	616

En la tabla siguiente se muestra la superficie de inundación de cada cierre estando su lago a una cota 15 m por encima del fondo del cauce. Se presenta además las características de la superficie inundadas, observadas mediante Google Earth.

Tabla 10.2-5 Área inundada en cada cierre

Cierre	Área del lago (ha)	Inunda o aísla poblados	Inunda rutas, caminos u otro servicio	Inunda áreas protegidas
Cierre 1	3077	NO	NO	NO
Cierre 2	11159	NO	NO	NO
Cierre 3	3,955	NO	NO	NO
Cierre 4	1847	NO	NO	NO
Cierre 5	19925	SI	SI	NO
Cierre 6	4958	NO	SI	NO
Cierre 7	14475	NO	NO	NO
Cierre 8	12561	NO	NO	NO

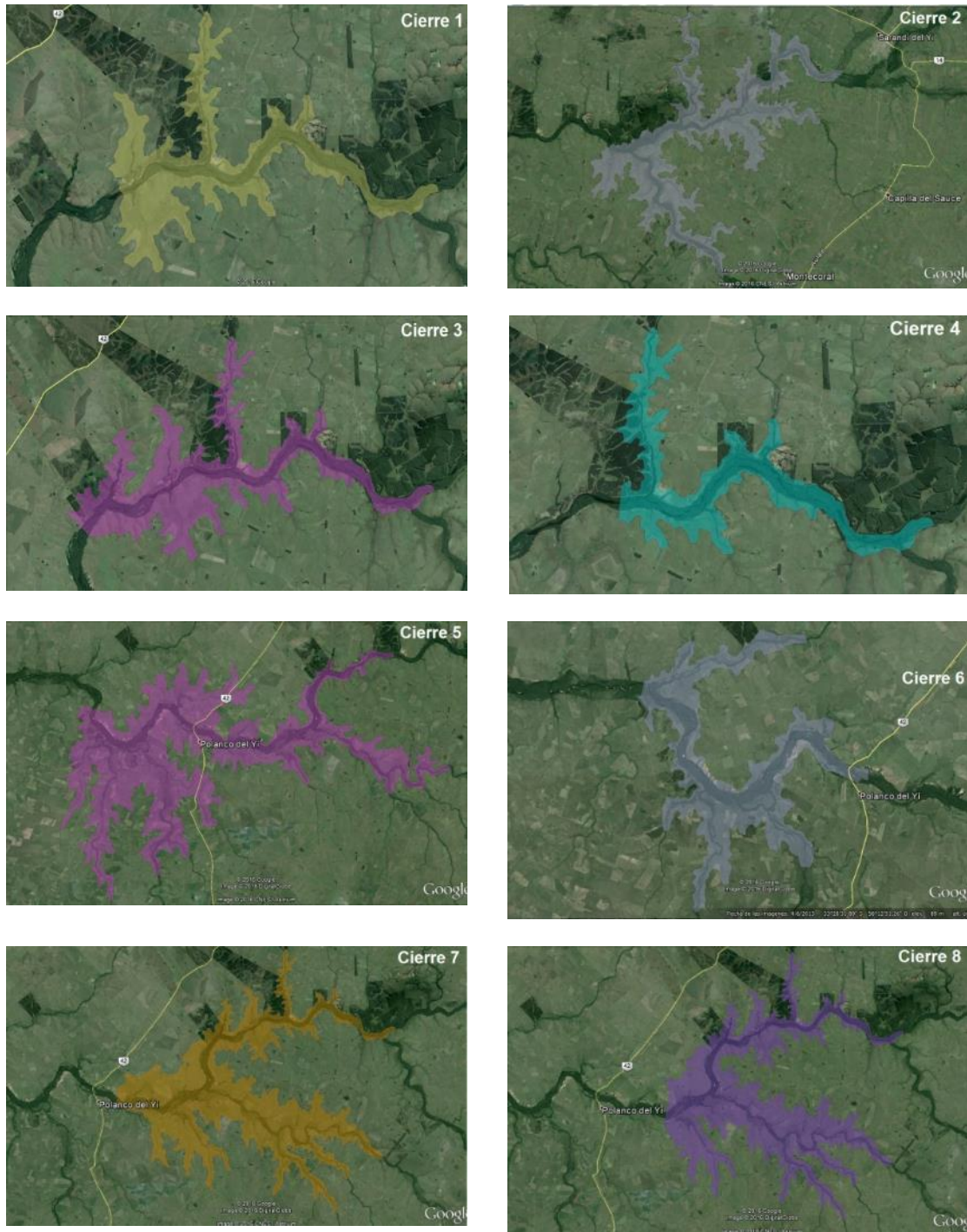


Figura 10.2-3 Área inundada en cada cierre

10.2.5 Distancia del cierre al poblado más cercano aguas abajo

En la tabla a continuación se muestra para cada cierre la localidad más cercana aguas abajo y la distancia hasta la misma.

Tabla 10.2-6 Distancia del cierre a la localidad más cercana

Cierre	Poblado más cercano	Dist poblado (km)
Cierre 1	Polanco del Yí	15
Cierre 2	Polanco del Yí	25
Cierre 3	Polanco del Yí	11
Cierre 4	Polanco del Yí	18
Cierre 5	Durazno	26
Cierre 6	Durazno	23
Cierre 7	Polanco del Yí	2
Cierre 8	Polanco del Yí	6

10.2.6 Distancia a la línea de transmisión más cercana

En la tabla siguiente se observan las distancias de cada cierre a la línea de media tensión más cercana.

Tabla 10.2-7 - Distancia a línea de transmisión

	Cierre 1	Cierre 2	Cierre 3	Cierre 4	Cierre 5	Cierre 6	Cierre 7	Cierre 8
Distancia (km)	32	24	34	30	13	14	31	40

10.2.7 Resumen de los Resultados de la Etapa 1

A modo de resumen de los criterios evaluados se presentan en la siguiente tabla los parámetros más representativos de cada cierre.

Tabla 10.2-8 Resumen características de cada cierre

	H = 15 m							
	Cierre 1	Cierre 2	Cierre 3	Cierre 4	Cierre 5	Cierre 6	Cierre 7	Cierre 8
Largo de dique (m)	4,647	3,712	2,217	1,230	3,355	3,104	19,277	5,488
Movimiento de Suelos (m3)	1,098,810	709,968	644,218	371,448	916,118	624,118	9,352,511	1,701,909
Área de la cuenca (km2)	4,796	4,522	4,821	4,651	6,849	7,164	5,838	5,808
Largo de vertedero (m)	100	100	100	100	120	120	115	115
Potencia generada (kW)	6,519	6,147	6,554	6,322	9,310	9,737	7,936	7,895
Energía generada (MWh)	28,552	26,925	28,705	27,691	40,779	42,650	34,760	34,580
Volumen embalsado (hm3)	155	506	242	78	1253	217	1338	1115
Días inundados período 94-15	179	163	168	185	184	196	190	163
Área del lago (ha)	3,077	11,159	3,955	1,847	19,925	4,958	14,475	12,561
Inunda o aísla poblados	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
Inunda rutas, caminos u otro servicio	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO
Inunda áreas protegidas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Distancia al poblado (km)	15	25	11	18	26	23	2	6
Distancia a línea de transmisión (km)	32	24	34	30	13	14	31	40

Se observa en esta primera etapa del análisis una gran variabilidad de las características de los cierres por lo que en la etapa siguiente se procede a evaluar los cierres considerando criterios de carácter económico – financiero con el fin de compararlos para su selección.

Se observa que los cierres 5 y 6 se inundan rutas y aíslan poblados no siendo factibles de construir, de todas maneras se los incluye en el análisis económico-financiero.

10.3 Etapa 2 – Análisis económico – financiero de los nuevos cierres

Como se menciona anteriormente esta etapa corresponde al análisis económico-financiero de los cierres presentados y caracterizados en la etapa 1.

Para ello se asigna a las diferentes características un valor de mercado para obtener los costos o beneficios correspondientes.

A continuación se describen las hipótesis tomadas para el cálculo de costos y beneficios.

10.3.1 Costos

- Movimiento de suelos

El costo de movimiento de suelos para cada cierre se calcula como el volumen de movimiento de suelos presentado en el apartado 10.2.1 por un costo unitario de 5 U\$S por m³ de movimiento de suelo.

- Hormigón del vertedero

El costo del hormigón para la construcción del vertedero se calcula como el volumen de hormigón por un costo unitario de 600 U\$S el m³¹⁷. El volumen se determina como el largo del vertedero por la sección de vertedero Ogee correspondiente a cada largo del mismo, realizando el diseño para una tormenta de período de retorno 1000 años.

- Expropiación de tierras

El costo de expropiación de tierras se calcula como el área inundada a nivel de vertedero en cada cierre por un costo unitario de 3,300 U\$S por ha inundada. Este valor fue extraído de la página del MGAP¹⁸ en su informe SERIE “PRECIO DE LA TIERRA” Compraventas Año 2015.

- Equipamiento electromecánico

El costo del equipamiento electromecánico se calcula por kW de potencia instalada con un valor unitario de 2,500 U\$S.¹⁸

- Línea de transmisión

Se asume un costo de 75,000 U\$S por km de línea de transmisión que se requieran para conectarse a la red nacional.¹⁸

¹⁷ IMFIA (2013). *Generación Hidroeléctrica en pequeña escala*

¹⁸ SERIE “PRECIO DE LA TIERRA” Compraventas Año 2015 Página Web: www.mgap.com.uy

10.3.2 Beneficios

- Ahorro en las inundaciones

Mediante la modelación de la serie histórica de 22 años 1994-2015 se obtuvo el ahorro, en lo que respecta al costo generado por las inundaciones, que se hubiese tenido en dicho período con la construcción de cada una de las represas evaluadas.

Es importante aclarar que se asumió un valor de 90 U\$S/hab.día¹⁹ el cual únicamente incluye el costo que representa para el Estado un evacuado por día. Este valor implica el costo de recursos humanos, logística, combustible, alimentación, energía eléctrica en los locales para evacuados, reparación de calles secundarias y poco circuladas (calles tierra) para permitir circulación, etc.

Es evidente que existirán además costos provocados por los daños en las viviendas inundadas y en todo el mobiliario que se tiene en ellas. Además, se tienen costos incuantificables en lo que respecta a la sociedad y la sensación que les produce el miedo a las inundaciones y sus consecuencias. Es por esto que si bien se evalúa sólo una parte de los beneficios se dará especial importancia a aquellos cierres que representen un mayor ahorro en las inundaciones, ya que se entiende que detrás de ellos se encuentran ocultos grandes beneficios para la sociedad.

- Energía generada

La energía generada anualmente por cada cierre se supone a un precio de mercado de 65 U\$S el MW.h y se realiza su análisis en un período igual al analizado en las inundaciones de 22 años. Esto implicaría que los cierres son evaluados para repagarse en este período.

¹⁹ Diario de Sesiones Cámara de Representantes - 36ª Sesión, ROU (01.09.2015)
<http://www.diputados.gub.uy/wp-content/uploads/2015/09/d3988.pdf>

10.3.3 Resultados

Tabla 10.3-1 - Resultados del análisis económico - financiero

			Costos (U\$S)							
	Unidad	Precio Unitario	Cierre 1	Cierre 2	Cierre 3	Cierre 4	Cierre 5	Cierre 6	Cierre 7	Cierre 8
Movimiento de tierra	U\$S/m ³	5	5,494,052	3,549,838	3,221,091	1,857,242	4,584,616	3,120,592	46,762,553	8,509,545
Volumen hormigón	U\$S/m ³	600	11,820,000	11,820,000	11,820,000	11,820,000	14,184,000	14,184,000	13,593,000	13,593,000
Expropiación de tierras	U\$S/ha	3,300	10,155,321	36,825,921	13,051,500	6,095,331	65,751,642	16,361,136	47,767,698	41,450,508
Equipamiento electromecánico	U\$S/kW	2,500	16,296,859	15,368,125	16,384,036	15,805,081	23,275,682	24,343,709	19,840,120	19,737,568
Línea de transmisión	U\$S/km	75,000	2,400,000	1,800,000	2,550,000	2,205,000	1,200,000	1,050,000	2,325,000	3,000,000
Inunda Poblados, Rutas	-	-	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO
Sub total	U\$S		46,166,231	69,363,884	47,685,241	37,782,654	108,995,941	59,059,437	130,288,372	86,290,621

			Beneficio (U\$S)							
	Unidad	Precio Unitario	Cierre 1	Cierre 2	Cierre 3	Cierre 4	Cierre 5	Cierre 6	Cierre 7	Cierre 8
Energía	U\$S/MW.h	65	40,829,498	38,502,685	41,047,908	39,597,417	58,313,964	60,989,755	49,706,644	49,449,714
Ahorro Inundaciones	U\$S/Hab.día	90	5,477,472	7,783,776	7,063,056	4,612,608	4,756,752	3,027,024	3,891,888	7,783,776
Sub total	U\$S		46,083,080	46,286,461	48,110,964	44,210,025	63,070,716	64,016,779	53,598,532	57,233,490

Costo-Beneficio	U\$S		-140,739	23,077,423	-425,723	-6,427,371	45,925,225	-4,957,342	76,689,840	29,057,131
------------------------	-------------	--	-----------------	-------------------	-----------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Se observa de la tabla de resultados que los cierres 3, 4 y 6 son los más factibles económicamente hablando. Como se menciona antes el cierre 6 inunda poblados y rutas de acceso por lo que directamente se descarta su elección.

En lo que respecta a los cierres 3 y 4 si bien se puede notar una diferencia aproximada de U\$S 6,000,000 a favor de cierre 4, es notoria también la diferencia en cuanto al beneficio producido por las inundaciones a favor de cierre 3.

Como se explica antes es claro que muchos beneficios en las inundaciones no están siendo tenidos en cuenta debido a su imposibilidad de ser cuantificados, por lo que se les dará una gran importancia a aquellos cierres que tengan mayor beneficio en las inundaciones ya que conllevarán detrás beneficios sociales de toda índole.

Es evidente que el cierre 3 tiene cerca del doble de ahorro respecto al cierre 4 en lo que supone gastos a la comunidad por las inundaciones, por lo que sumado a su buena relación costo beneficio es elegido como el cierre a evaluar junto con Durazno – 85 y Sarandí – 142 como posible emplazamiento para la represa.

10.4 Etapa 3 – Definición de la altura óptima

Para el cierre 3 elegido como uno de los candidatos a posibles emplazamientos de la represa a diseñar se realiza el análisis para determinar su altura óptima. El análisis se realiza de igual manera que en la etapa 2, con un estudio económico-financiero pero en este caso se evalúa el mismo cierre bajo diferentes alturas de vertido.

10.4.1 Sección del cauce.

Se analiza para cada altura el largo de dique resultante y el movimiento de suelos.

Se presentan en la siguiente tabla los resultados obtenidos.

Tabla 10.4-1 Características de los cierres según alturas

Cierre	Altura de dique (m)	Largo de dique (m)	Movimiento de Suelos (m ³ /m)
Cierre 3	15	2,559	644,218
Cierre 3	16	2,559	970,996
Cierre 3	17	2,606	1,140,891
Cierre 3	18	2,924	1,318,953
Cierre 3	19	3,200	1,516,481

10.4.2 Potencia generada

Se calcula la potencia y la energía anual generada con cada altura de igual manera que se presentó al inicio del análisis pero con la particularidad de que la potencia se calcula como la generada por el caudal turbinable correspondiente a un 85 % de permanencia en la cuenca.

Tabla 10.4-2 Área de cuenca, potencia y energía generada según altura

Cierre	Altura de dique (m)	Área de la cuenca (km ²)	Potencia Generada (kW)	Energía anual (MWh)
Cierre 3	15	4,821	4,605	28,705
Cierre 3	16	4,821	4,912	30,214
Cierre 3	17	4,821	5,219	32,102
Cierre 3	18	4,821	5,526	33,990
Cierre 3	19	4,821	5,833	35,879

10.4.3 Volumen embalsado

De igual manera que se calculó en la sección 10.2.3, se calcula el volumen embalsado en cada altura, luego se modela la serie de escurrimiento 1994-2015 obteniéndose la cantidad de días y la cantidad de padrones evacuados en estos 22 años.

Tabla 10.4-3 Volumen embalsado según altura

Cierre	Altura de dique (m)	Volumen embalsado (hm ³)
Cierre 3	15	202
Cierre 3	16	242
Cierre 3	17	284
Cierre 3	18	326
Cierre 3	19	368

Tabla 10.4-4 - Influencia sobre las inundaciones

	Días evacuados						Padrones Inundados
	94-99	99-04	04-09	09-14	14-16	Total Días	
SP	29	60	48	42	38	217	616
C3.0 - 15 m	18	48	43	27	32	168	616
C3.1 - 16 m	18	43	43	25	31	160	616
C3.2 - 17 m	19	43	41	25	30	158	616
C3.3 - 18 m	18	41	41	24	29	153	616
C3.4 - 19 m	18	39	39	22	29	147	616

10.4.4 Superficie del lago

Es evidente que a medida aumenta la cota de vertido el lago aumenta su superficie inundada. En la tabla que sigue se muestran las superficies de lago obtenidas para cada altura evaluada.

Tabla 10.4-5 – Superficie del lago y afectaciones

Cierre	Altura de vertido (m)	Área del lago (ha)	Inunda o aísla poblados	Inunda rutas, caminos u otro servicio	Inunda áreas protegidas
Cierre 3	15	3,955	NO	NO	NO
Cierre 3	16	4,155	NO	NO	NO
Cierre 3	17	4,196	NO	NO	NO
Cierre 3	18	4,201	NO	NO	NO
Cierre 3	19	4,202	NO	NO	NO

10.4.5 Análisis económico – financiero

De igual manera que en la etapa 2 se realiza un análisis económico – financiero para la determinación de la altura óptima del cierre 3.

En la tabla que sigue se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 10.4-6 - Análisis económico - financiero para la determinación de la altura óptima del cierre 3

			Costos (U\$S)				
	Unidad	Precio Unitario	Cierre 3-15m	Cierre 3-16m	Cierre 3-17m	Cierre 3-18m	Cierre 3-19m
Movimiento de tierra	U\$S/m ³	5	3,221,091	4,854,978	5,704,453	6,594,765	7,582,403
Volumen hormigón	U\$S/m ³	600	11,820,000	11,820,000	11,820,000	11,820,000	11,820,000
Expropiación de tierras	U\$S/ha	3,300	13,051,500	13,710,114	13,846,140	13,863,663	13,865,742
Equipamiento electromecánico	U\$S/kW	2,500	11,511,721	12,279,169	13,046,617	13,814,066	14,581,514
Línea de transmisión	U\$S/km	75,000	2,550,000	2,550,000	2,550,000	2,550,000	2,550,000
Inunda Poblados, Rutas, etc			NO	NO	NO	NO	NO
Sub total	U\$S		45,694,312	42,850,261	44,603,210	46,278,493	48,035,659

			Beneficio (U\$S)				
	Unidad	Precio Unitario	Cierre 3-15m	Cierre 3-16m	Cierre 3-17m	Cierre 3-18m	Cierre 3-19m
Energía	U\$S/MW.h	65	41,047,908	43,205,307	45,905,639	48,605,971	51,306,302
Ahorro Inundaciones	U\$S/Hab.día	90	7,063,056	8,216,208	8,504,496	9,225,216	10,090,080
Sub total	U\$S		43,106,539	45,214,261	46,967,210	48,642,493	50,399,659

Costo-Beneficio	U\$S		-5,004,425	-6,207,254	-7,442,925	-9,188,694	-10,996,724
------------------------	-------------	--	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------

No quedan dudas que la altura que presenta mejores características económicamente hablando es la altura de vertido de 19 m. Se observa que a pesar de generarse un aumento en el movimiento de suelo para la construcción de su dique, estos costos se ven compensados por los beneficios que la represa otorga tanto en la generación de energía como en las inundaciones.

Se define entonces como altura óptima de vertido del **Cierre 3, 19 m.**

10.5 Etapa 4 – Caracterización de cierres dados

En el marco del proyecto "Generación hidroeléctrica de pequeña escala" se relevaron lugares de Uruguay donde puede existir la potencialidad de generar energía hidroeléctrica en pequeña escala.

Se consideraron los posibles aprovechamientos que menos impactos negativos presentaran desde el punto de vista ambiental y económico, realizando para estos un diseño de ante proyecto, definiéndose la altura óptima de vertido en cada caso.

De los puntos analizados sobre el río Yí se seleccionan dos sitios que en principio podrían permitir compatibilizar otros usos, particularmente, el control de inundaciones en la ciudad de Durazno.

Estos cierres se caracterizan por:

	ID	Latitud	Longitud	Cota vertido (msnm)	Altura vertido (m)
Localización 1	Durazno	-33.422	-56.392	85	16
Localización 2	Sarandí del Yí	-33.286	-55.497	142	17

A continuación se caracterizan ambos cierres para posteriormente ser evaluados como candidatos a emplazamiento de la represa a diseñar en el presente proyecto.

Se aclara que ambos cierres serán evaluados con los mismos criterios que se presentaron en la etapa 1 con la particularidad de que para tener un mayor nivel de detalle en los ítems de potencia y energía generada se realizaron algunas modificaciones. La potencia se calcula en este caso con el caudal turbinable correspondiente al 85 % de permanencia en la cuenca.

En la Figura 10.5-1 se presentan las ubicaciones de los cierres dados.



Figura 10.5-1 Ubicación de los cierres dados

Es importante aclarar que se utilizan las características presentadas anteriormente para su evaluación de manera de compatibilizar el análisis con el nuevo cierre propuestos.

10.5.1 Cierre Durazno

10.5.1.1 Sección del cierre

La cota de fondo del cauce en este punto es de 69 msnm. Se establece como cota de vertido 85 msnm, lo que significa una altura de 16 m de nivel de agua en el lago. Estableciendo para este análisis preliminar una altura de revancha de 4 m, significa una cota de coronamiento de 89 msnm.

Se determina la sección del cauce, obteniéndose a través de ella el largo de dique y el movimiento de suelos con la misma sección supuesta que en la etapa 1.

En este caso el largo del dique resulta de 2,462 metros, generando un movimiento de suelos de 1,200,116 m³.

En la Figura 10.5-2 se observa la sección del cauce en dicho punto.



Figura 10.5-2 Sección del río en el cierre Durazno

Tabla 10.5-1 Características del cierre Durazno

Cierre	Altura de dique (m)	Largo de dique (m)	Movimiento de Suelos (m ³ /m)
Durazno	20	2462	1,200,116

10.5.1.2 Área de la cuenca, potencia y energía generada

El área de la cuenca de aporte a este punto de cierre es 9344 km².



Figura 10.5-3 Cuenca de aporte cierre Durazno

La potencia generada calculada ahora como la potencia generada con el caudal correspondiente al 85 % de permanencia es 7,909 kW y la energía anual generada es de 49,381 MWh.

10.5.1.3 Volumen embalsado y control de inundaciones

El volumen embalsado es 531 hm³.

Como se hizo con los otros cierres se supone que al momento de la avenida extrema, la operación del embalse permitirá utilizar el total del volumen para amortiguar el caudal extraordinario y se modeló la serie histórica de escurrimientos 1994-2015 obteniéndose la cantidad de días y padrones evacuados en los 22 años.

Tabla 10.5-2 Volumen embalsado cierre Durazno

Cierre	Volumen embalsado (hm ³)
Durazno	531

Tabla 10.5-3 - Influencia en las inundaciones

	Días evacuados						Padrones
	94-99	99-04	04-09	09-14	14-16	Total	
Durazno	21	51	44	29	32	177	616

10.5.1.4 Superficie del lago

La superficie de lago, que equivale al área a inundar permanente es 9344 ha.

Se observa dicha superficie en la Figura 10.5-4 de Google Earth.



Figura 10.5-4 Área inundada con cierre Durazno

Tabla 10.5-4 Área inundada cierre Durazno

Cierre	Área del lago (ha)	Inunda o aísla poblados	Inunda rutas, caminos u otro servicio	Inunda áreas protegidas
Durazno	9344	NO	SI	NO

10.5.1.5 Distancia del cierre al poblado más cercano aguas abajo

Este cierre se ubica 15 km aguas arriba de la ciudad de Durazno.

10.5.1.6 Distancia a la línea de transmisión

Se observó que la distancia a la línea de media tensión más cercana es de 9 km.

10.5.2 Cierre en Sarandí del Yí

10.5.2.1 Sección del cierre

La cota de fondo de cauce en este punto es 125 msnm. Se establece como cota de vertido 142 msnm, lo que significa una altura de 17 m de nivel de agua en el lago. Estableciendo para este análisis preliminar una altura de revancha de 4 m, significa una cota de coronamiento de 146 msnm.

Se determina la sección del cauce, obteniéndose a través de ella el largo de dique y el movimiento de suelos.

En este caso el largo del dique resulta de 2879 metros, generando un movimiento de suelos de 1,472,822 m³.

En la Figura 10.5-5 se observa la sección del cauce en dicho punto.

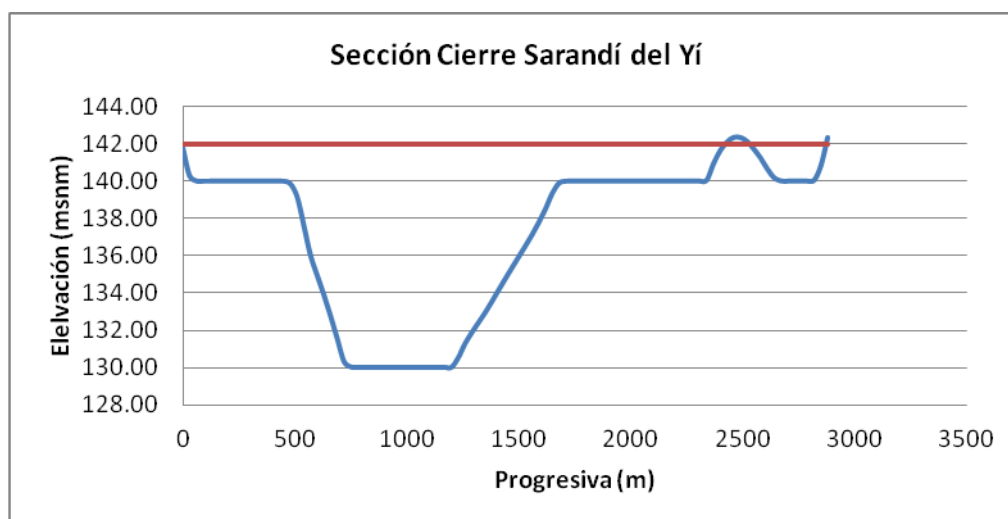


Figura 10.5-5 Sección del río en el cierre Sarandí del Yí

Tabla 10.5-5 Características cierre Sarandí del Yí

Cierre	Altura de dique (m)	Largo de dique (m)	Movimiento de Suelos (m ³)
Sarandí del Yí	21	2879	1,472,822

10.5.2.2 Área de la cuenca, potencia y energía generada

El área de la cuenca e aporte a este punto de cierre es 1232 km². Se observa en la siguiente figura dicha cuenca.

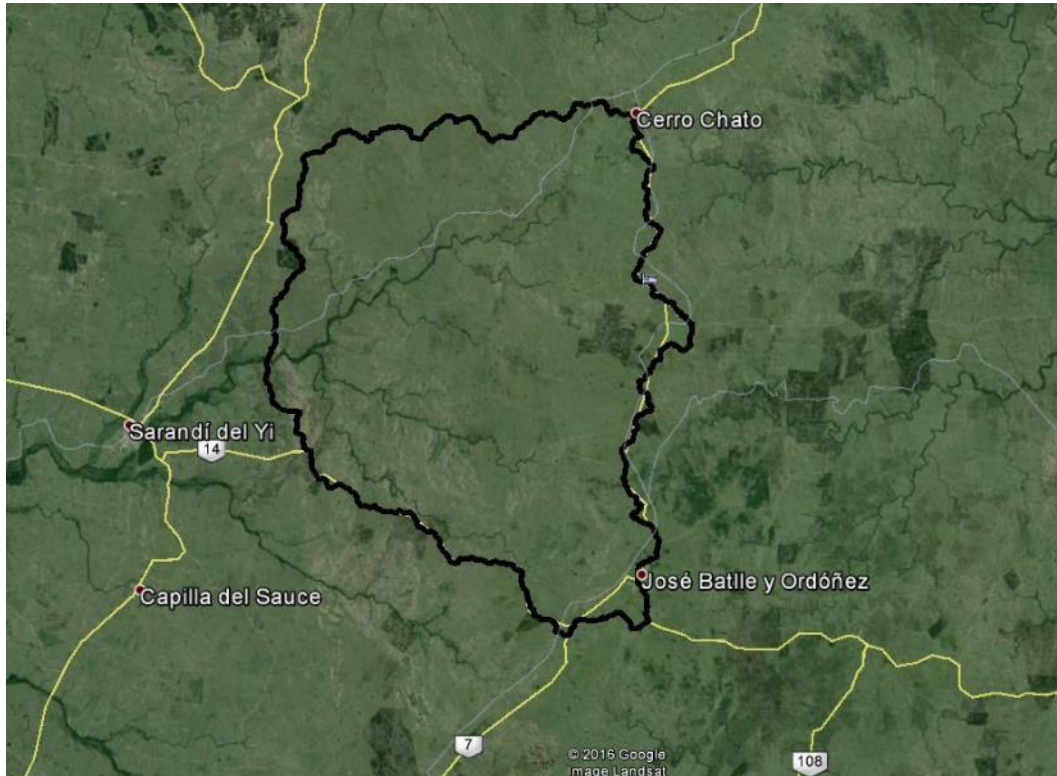


Figura 10.5-6 Cuenca de aporte a cierre Sarandí del Yí

La potencia generada con un 85 % de permanencia en el caudal turbinable es de 1,397kW y la energía anual generada es 8,435 MWh.

10.5.2.3 Volumen embalsado y control de inundaciones

El volumen embalsado es 141 hm³ y inunda durante la serie histórica 1994-2015 616 padrones durante 177 días.

Tabla 10.5-6 Volumen embalsado cierre Sarandí del Yí

Cierre	Volumen embalsado (hm ³)
Sarandí del Yí	141

Tabla 10.5-7 - Influencia sobre las inundaciones

	Días evacuados						Padrones
	94-99	99-04	04-09	09-14	14-16	Total	
Sarandí	21	54	41	29	32	177	616

10.5.2.4 Superficie del lago

La superficie permanente de lago es 3930 ha.

Se observa dicha superficie en la Figura 10.5-7 de Google Earth.

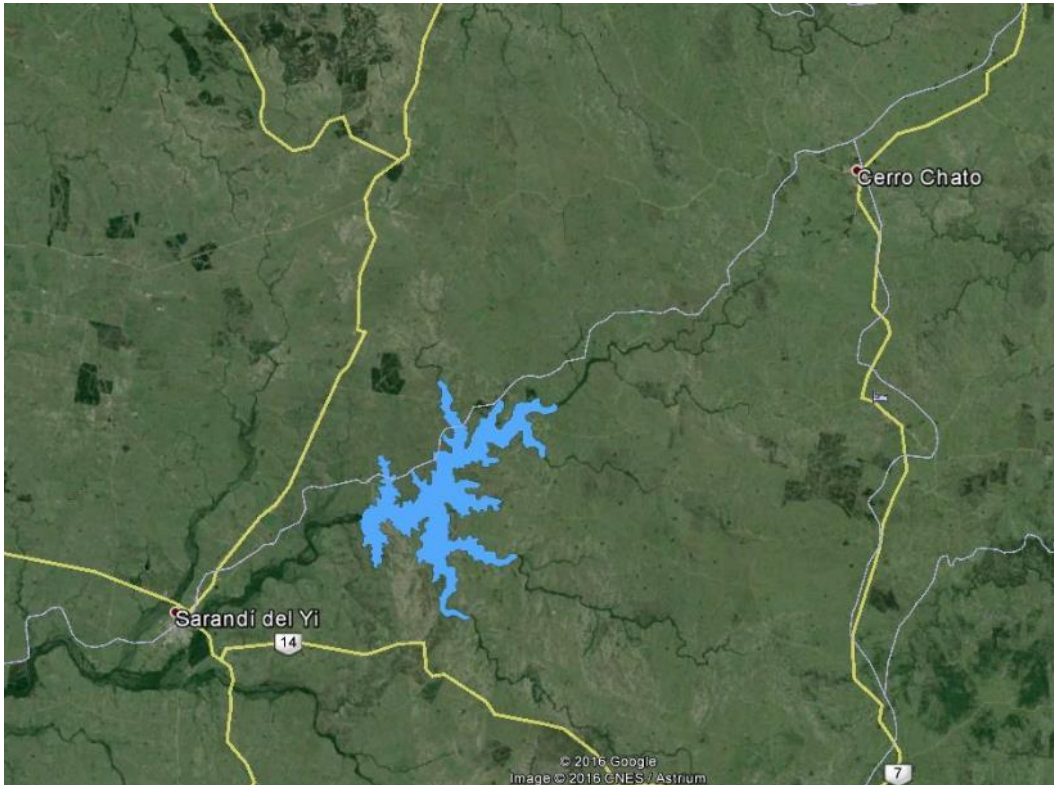


Figura 10.5-7 Área inundada con cierre Sarandí del Yí

Tabla 10.5-8 Área inundada cierre Sarandí del Yí

Cierre	Área del lago (ha)	Inunda o aísla poblados	Inunda rutas, caminos u otro servicio	Inunda áreas protegidas
Sarandí del Yí	3930	NO	NO	NO

10.5.2.5 Distancia del cierre al poblado más cercano aguas abajo

Este cierre se ubica 15 km aguas arriba de la ciudad de Sarandí del Yí.

10.5.2.6 Distancia a la línea de transmisión

Se observó que la distancia a la línea de media tensión más cercana es de 1 km.

10.6 Etapa 5 – Selección final del cierre

Considerando que en esta etapa se cuenta con el cierre 3 a altura de vertido 19 m y los dos cierres dados Durazno -85 y Sarandí – 142 se procede a seleccionar cuál de estos 3 es más factible económica y ambientalmente para el diseño de la represa contemplando el mismo análisis que en las etapas anteriores.

Se muestra entonces en la tabla a continuación el resultado del análisis de los 3 cierres mencionados anteriormente.

Tabla 10.6-1 - Análisis económico-financiero para la selección final del cierre

	Costos (U\$S)		
	Cierre 3.4	Cierre Dno - 85 m	Cierre Sdi - 142 m
Movimiento de tierra	7,582,403	6,000,578	7,364,111
Volumen hormigón	11,820,000	14,184,000	8,274,000
Expropiación de tierras	13,865,742	30,835,200	12,969,000
Equipamiento electromecánico	14,581,514	19,771,355	3,492,410
Línea de transmisión	2,550,000	675,000	75,000
Inunda Poblados, Rutas, etc	NO	SI	NO
Sub total	50,399,659	71,466,133	32,174,521

	Beneficio (U\$S)		
	Cierre 3.4	Cierre Dno - 85 m	Cierre Sdi - 142 m
Energía	51,306,302	70,615,371	12,062,753
Ahorro Inundaciones	10,090,080	5,765,760	5,765,760
Sub total	61,396,382	76,381,131	17,828,513

Costo-Beneficio	- 10,996,724	- 4,914,998	14,346,008
------------------------	---------------------	--------------------	-------------------

Se evidencia que el cierre 3 representa el cierre más factible económicamente con una relación costo – beneficio de aproximadamente U\$S 11,000,000 a favor de los beneficios.

Se observa claramente lo mencionado unos apartados atrás sobre la extremidad de los cierres analizados en el informe sobre Generación a Pequeña Escala. El cierre cercano a Durazno si bien tiene el mejor beneficio respecto a la generación de energía hidroeléctrica por tener la cuenca más grande, es el más costoso en cuanto a su construcción y equipamiento. Por el contrario, el cierre ubicado en las cercanías de Sarandí del Yí presenta los menores beneficios respecto a la energía y a la vez un menor costo de construcción y equipamiento.

El cierre 3 sin dudas, permite equilibrar esta situación con una construcción y equipamiento menos costoso y beneficios en cuanto a la generación de energía intermedios a los otros 2.

En cuanto a los beneficios respecto a las inundaciones no cabe dudas de que el cierre 3 es el que cuenta con el mejor valor.

Por todo lo descrito anteriormente se decide diseñar la represa ubicada en el cierre 3 con una altura de vertido de 19 m desde el fondo del cauce.

11. DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LA PRESA A DISEÑAR

Se selecciona para la ubicación de la represa a diseñar el **Cierre 3 con una altura de 19 m**. Se presentan a continuación a modo de resumen las principales características del cierre seleccionado.

11.1 Localización y accesos

11.1.1 Ubicación geográfica

El emprendimiento está situado sobre la zona sur del departamento de Durazno, a unos 11 km de Polanco del Yí y a 45 km de la ciudad de Durazno, tal como se observa en las ilustraciones siguientes.



Figura 11.1-1 - Ubicación nacional del emprendimiento

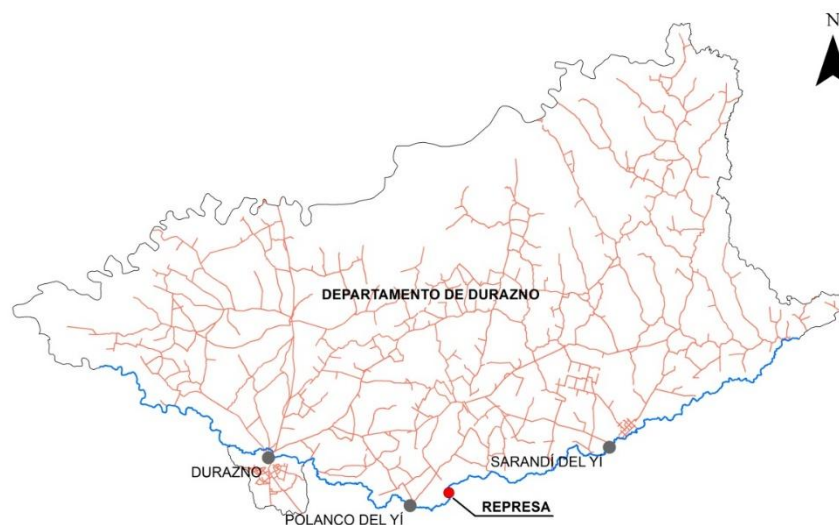


Figura 11.1-2 - Ubicación regional

El dique se localizará en el padrón 10.473 de la 10ª Sección Catastral del departamento de Durazno y en el padrón 11.935 de la 7ª Sección Catastral del departamento de Florida. Esta situación se da por ser el río Yí el límite político entre los departamentos de Durazno y Florida.

El lago ocupará 7 padrones del departamento de Florida y 52 padrones del departamento de Durazno que se detallarán más adelante.

11.1.2 Accesos

Se accede desde el km 63 de la Ruta Nacional Nº42 ubicado en el tramo entre Polanco del Yí y Villa del Carmen en el departamento de Durazno. Tomando camino vecinal al sureste de la ruta, será necesario recorrer 5.5 km hasta llegar al cierre de la represa.

11.1.3 Cuencas

Conforme se indicó anteriormente, el cauce que se proyecta represar corresponde al río Yí, tributario del Río Negro, perteneciente a la cuenca del mismo río.

El punto de cierre de coordenadas -33.4419 latitud y -56.0485 longitud genera la cuenca presentada en la siguiente ilustración cuyas características se indican en la tabla.



Figura 11.1-3 Ubicación regional y nacional de la cuenca asociada al cierre 3

Tabla 11.1-1 - Características de la cuenca de la represa

Área (km ²)	4,821
Longitud del cauce principal (km)	127
Pendiente del cauce principal (%)	0.13
Tc (hs)	37
Pendiente media de la cuenca (%)	2.67

11.1.4 Caracterización del vaso

Empleando la información topográfica disponible se obtuvieron las curvas características de superficie y volumen en función de la altura del vaso de almacenamiento del embalse.

En la tabla se muestran los valores de altura, superficie y volumen embalsado y en la ilustración se muestran las curvas altura-superficie y altura-volumen.

En el punto de cierre seleccionado el cauce tiene una cota de fondo 89 msnm. La altura de vertido será de 19 m sobre el fondo, por lo que la cota de vertido será 108 msnm.

Tabla 11.1-2 - Datos altura, superficie y volumen del vaso

Cota msnm	Altura m	Área ha	Volumen hm ³
89	0	367	0
90	1	415	3.9
91	2	465	8.3
92	3	515	13.2
93	4	568	18.6
94	5	620	24.6
95	6	675	31.1
96	7	731	38.1
97	8	787	45.7
98	9	845	53.8
99	10	3005	62.6
100	11	3242	93.8
101	12	3480	127.4
102	13	3722	163.4
103	14	3955	201.8
104	15	4155	242.4
105	16	4196	284.2
106	17	4201	326.2
107	18	4202	352.1
108	19	4202	368.2

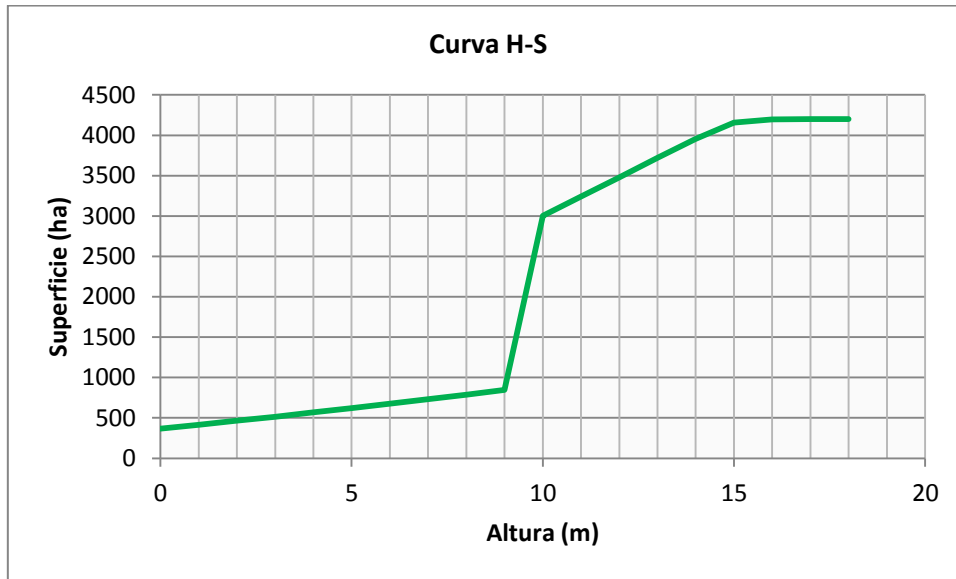


Figura 11.1-4 - Curva Altura-Superficie

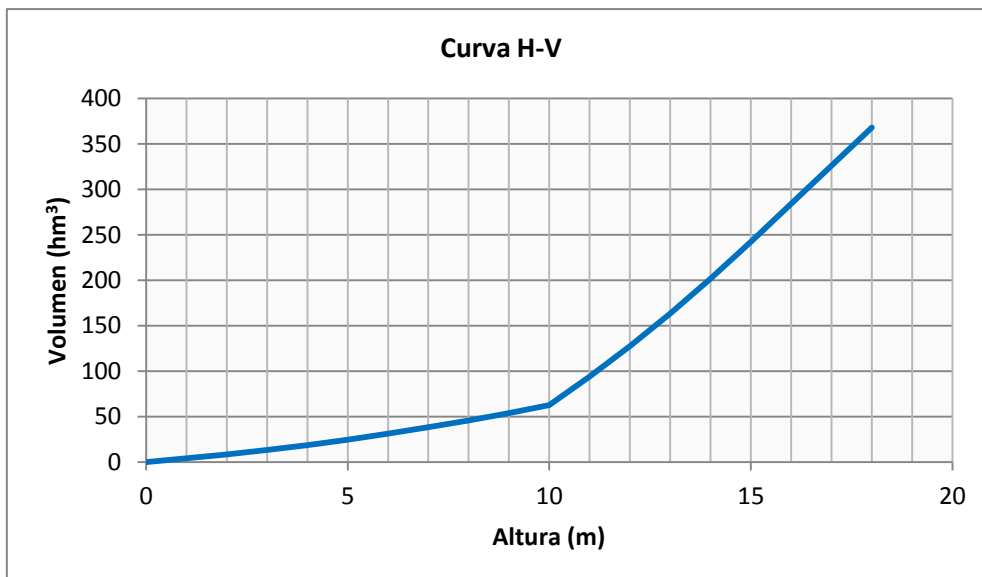


Figura 11.1-5 - Curva Altura-Volumen

12. DISEÑO DE LA REPRESA

12.1 Generalidades

En este capítulo se presenta el diseño a nivel de anteproyecto de una represa sobre el río Yí, en el cierre identificado como N° 3 con altura 19 m, con el fin de generar energía hidroeléctrica y amortiguar las inundaciones en la ciudad de Durazno.

Dadas las características topográficas y geológicas del Uruguay, la represa a construir será de materiales sueltos, de sección heterogénea con núcleo central impermeable de arcilla, confinado por faldones de material de granulometría mayor.

El tamaño de la cuenca de aporte y en consecuencia el caudal de diseño resultante, dan lugar a la proyección de un aliviadero central tipo Ogge que vierta de forma libre, es decir, sin compuertas.

Las turbinas se ubican al pie de la presa, a un lado del dissipador de energía que sigue al vertedero, la zona de restitución del agua turbinada se ubica aguas abajo del mencionado dissipador.

El diseño intenta minimizar los principales costos de la obra, los cuales corresponden al movimiento de suelos para la construcción del dique y las obras de hormigón para el vertedero central.

12.2 Localización

El sitio seleccionado para el emprendimiento se localiza sobre el río Yí, límite departamental entre Durazno y Florida, más específicamente en el punto con las siguientes coordenadas:

Tabla 12.2-1: Coordenadas del dique sobre el río Yí.

Sistema de proyección	X (m)	Y (m)
UTM WGS84 21S	588454.68	6299313.08
Gauss Krüger	476905.99	6300440.99

El sitio de la presa se encuentra a 11 km (medidos en línea recta) aguas arriba de la ciudad de Polanco del Yí y de la ruta nacional N° 42, y a 34 km (siguiendo caminos y rutas) de la red de distribución eléctrica de UTE de media tensión.

12.3 Diseño del vertedero

El tamaño de la cuenca de aporte y en consecuencia el caudal de diseño resultante, dan lugar a la proyección de un aliviadero central tipo Ogge que vierta de forma libre, es decir, sin compuertas.

El vertedero se diseña de modo que permita evacuar el agua proveniente de las avenidas que el embalse no es capaz de retener. El mismo debe ser apto para transportar y restituir al cauce natural aguas abajo la excedencia de agua, de forma segura y eficaz, evitando principalmente la destrucción de la presa por sobrepasamiento, riesgo especialmente crítico en presas de materiales sueltos.

La normativa Española establece en el Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses (MOPTMA, España 1996) la clasificación de las presas de acuerdo a su importancia, en las tres categorías siguientes:

Categoría A

Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto pueden afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, así como producir daños materiales o medioambientales muy importantes.

Categoría B

Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un número reducido de viviendas.

Categoría C

Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales de moderada importancia o solo incidentalmente pérdidas de vidas humanas. En todo caso, a esta categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en la A o B.

A esas categorías corresponden los períodos de retorno para fijar las avenidas de proyecto y la avenida extrema que se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 12.3-1: Avenidas de diseño según categoría de la presa

CATEGORÍA	Avenida de proyecto (años)	Avenida extrema (años)
A	1,000	5,000 a 10,000
B	500	1,000 a 5,000
C	100	100 a 500

En este caso, dada la presencia aguas abajo de la localidad Polanco del Yí a 11 km y la Ciudad de Durazno a 44 km (ambas medidas en línea recta), esta represa se categoriza como A.

Dada esta categorización, el vertedero se diseña para que sea capaz de evacuar una tormenta de 1,000 años de período de retorno. A su vez, se verifica que sea capaz de evacuar, sin afectar la estabilidad y durabilidad de la obra, la creciente de 10,000 años de período de retorno.

En el ANEXO III, se presenta en detalle la metodología de diseño y el dimensionado de diferentes configuraciones de vertedero, en las que se varía el ancho del vertedero central y la implementación o no de un vertedero lateral como aliviadero de excedencia.

Los criterios de elección entre las distintas configuraciones responden principalmente a la minimización de los costos de construcción de la obra, en especial el movimiento de suelos para la construcción del dique y el volumen de hormigón en masa para la construcción del vertedero.

A continuación se desarrolla la opción seleccionada como óptima.

12.3.1 Geometría del Vertedero

12.3.1.1 Ancho del vertedero

Se opta por proyectar un vertedero central con un ancho total de 100 m de longitud.

El caudal descargado por el vertedero (Q) y la lámina de agua sobre la cresta del mismo (Hd) se determinan a través del ingreso de la estructura hidráulica en el modelo hidrodinámico desarrollado en la Sección 9, de modo de aprovechar la potencialidad de cálculo del software HEC-RAS, resultando para una avenida de 1,000 años de periodo de retorno:

$$Q = 3612 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Hd = 6.50 \text{ m}$$

Se decide instalar pilares sobre el vertedero, los cuales permitirán la construcción de un camino sobre la presa que ofrezca facilidades operativas en el mantenimiento de la misma.

Cabe destacar que el efecto de los pilares es la contracción del flujo y como consecuencia, la disminución de la longitud efectiva del vertedero. La longitud efectiva de uno de los vanos en el vertedero queda definida según la siguiente expresión²⁰:

$$L_{\text{efectiva vano}} = L_o - KNH_e$$

Siendo, L_o : Luz total del vano (m)

K: Coeficiente de contracción del pilar

N: Número de contracciones laterales (N=2)

H_e : Altura total sobre la cresta del vertedero (incluida la altura de velocidad)

Pruebas en modelos sobre vertederos demostraron que el efecto de la velocidad de aproximación es despreciable cuando la altura del vertedero es mayor que $1.33Hd$, siendo Hd , la altura de agua sobre la cresta del vertedero para la condición de diseño¹⁷.

En este caso, para la avenida de diseño se tiene que $1.33Hd$ es igual a 8.65 m, valor inferior a la altura del vertedero (21.8 m), siendo posible considerar H_e igual a Hd de ahora en más.

²⁰ Ven Te Chow, (2004). *Hidráulica de canales abiertos*

Se decide colocar en el ancho total del vertedero, 3 pilares tipo III. El ancho de cada pilar será de 1.74 m por lo que la luz total del vano (L_0) es igual a 23.70 m. Para pilares de narices puntiagudas se considera un coeficiente de contracción (K) igual a 0.04.¹⁷

La anterior configuración genera una longitud efectiva de cada vano igual a 23.2 m, por tanto el vertedero tendrá la siguiente longitud efectiva:

$$L_{efectiva} = 92.7 \text{ m}$$

La reducción de la longitud efectiva del vertedero implica una disminución del caudal descargado por el vertedero, resultando igual a:

$$Q = 3348 \text{ m}^3/\text{s}$$

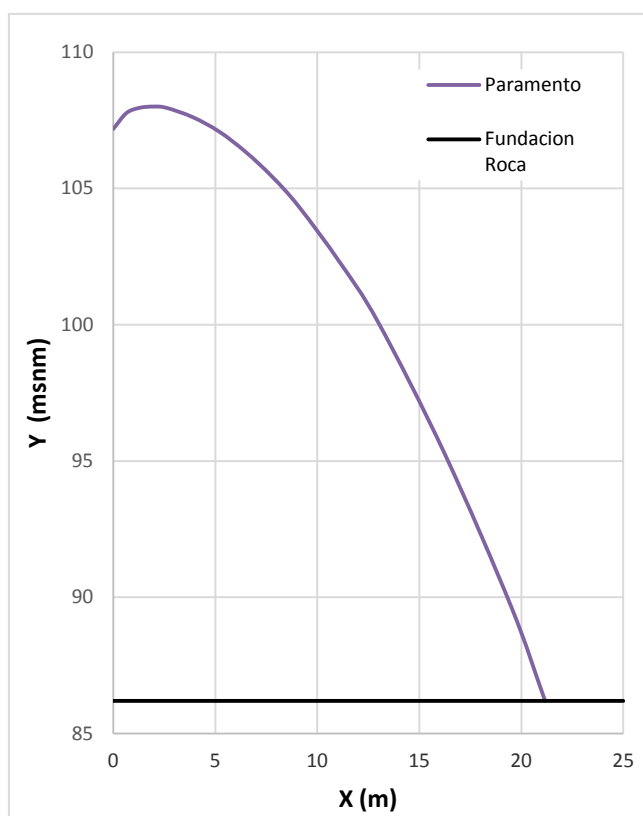
12.3.1.2 Paramento del vertedero

El vertedero tipo Ogge consiste en un vertedero de perfil curvo, denominado perfil Creager, cuya forma se asemeja a la superficie inferior de la lámina de agua que descarga por un vertedero de cresta delgada, y es diseñado de forma tal que no se produzcan depresiones en el umbral de vertido, separaciones de la lámina vertiendo ni fenómenos de cavitación sobre la pared.

La forma del perfil Creager es ampliamente conocida para una lámina de vertido igual a 1 m. Para obtener el perfil Creager asociado a una lámina de vertido H_d , basta multiplicar las coordenadas del perfil por H_d .

Por lo tanto, para una lámina de vertido de $H_d = 6.50 \text{ m}$, se tiene la siguiente geometría.

Tabla 12.3-2: Coordenadas y Diagrama del vertedero



X (m)	Y (msnm)
0.000	107.181
0.650	107.766
1.300	107.955
1.950	108.000
2.600	107.955
3.900	107.610
5.200	107.077
6.500	106.330
7.800	105.420
9.100	104.328
11.050	102.345
13.000	100.070
16.250	95.260
19.500	89.670
21.17	86.2

12.3.1.3 Drenes y Galería

Los drenes se conforman por una serie de pozos verticales equidistantes entre sí, cerca del paramento vertical, cuyo objetivo es controlar la subpresión sobre la fundación del vertedero.

En este caso, se opta por seguir recomendaciones generales²¹ y colocar drenes de 10 cm de diámetro separados cada 3 metros a lo largo del veredero. Estos se prolongan unos 3.30 m sobre la roca, valor que corresponde al 15% de la altura de la presa.

Se proyecta a 2 metros de la fundación del vertedero, una galería horizontal de 3 m de ancho y 3 m de altura, con el fin de vigilancia y de recoger el agua de los drenes. Desde de la misma es posible realizar, aguas arriba de los drenes, una pantalla de inyección de mezcla de cemento y agua sobre la roca con el fin de crear una zona impermeable que dificulte el paso del agua a través de posibles fracturas o zonas de falla en la roca.

12.3.2 Obra de restitución al cauce

La obra de restitución al cauce está condicionada por la necesidad de disipar la energía que acumulada en forma de energía potencial en el embalse se transforma en energía cinética en la conducción. Para disipar esa energía y evitar efectos de erosión en el río

²¹ Vallarino, E. *Tratado Básico de Presas, Tomo I* (6ta edición)

y riesgo de desestabilizar la cimentación de la presa, se decide generar un resalto al pie de la presa.

Para controlar el resalto se decide colocar un cuenco excavado por debajo del lecho natural del cauce de modo tal que el tirante en el cauce coincida con el tirante conjugado del resalto. Se decide optar por esta solución ya que la diferencia entre ambos tirantes no es significativa.

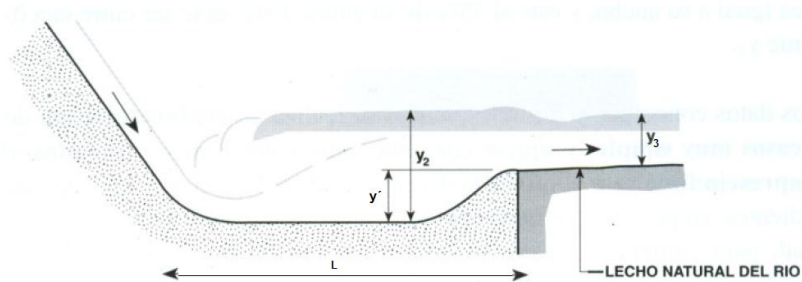


Figura 12.3-1: Esquema del cuenco de amortiguación

Para el caudal descargado por el vertedero para la avenida de diseño se presentan en la siguiente tabla los parámetros de interés en el diseño del cuenco de amortiguación.

Tabla 12.3-3: Parámetros de diseño del cuenco amortiguador

Tirante al pie del vertedero, y_1 (m)	3.38
Velocidad al pie del vertedero, v_1 (m/s)	10.7
Tirante conjugado, y_2 (m)	8.09
Longitud del resalto (m)	29.04
Tirante sobre el cauce, y_3 (m)	7.7
Profundidad del cuenco, y' (m)	0.39

Dado que el vertedero, por tratarse de una estructura de hormigón, se funda sobre la roca, se decide excavar el cuenco una profundidad igual a 2.40 m de modo de fundar a éste también sobre la roca (asumiendo un espesor del cuenco de 0.50 m).

Esta modificación en el diseño permite asegurar que el tirante en el cauce sea mayor al tirante y_2 , logrando que el resalto tenga un desarrollo menor a 29.0 m y por ende posible garantizar que el resalto ocurra dentro del cuenco. Esta diferencia, no aporta cambios significativos de los parámetros presentados en la tabla anterior.

Cabe destacar que si estudios geotécnicos demuestran que la roca sobre la cual se funda el vertedero es adecuada y no presenta signos de alteración, es posible permitir que el vertedero descargue sobre la misma, sin tener que realizar el cuenco de hormigón, lo cual permite reducir los costos de la obra.

12.3.3 Fenómeno de Cavitación

Los fenómenos de cavitación sobre el vertedero tienen lugar cuando la lámina de agua sobre la cresta del vertedero es mayor a la lámina de diseño H_d .

En esta condición el chorro que se genera en la descarga tiene una menor curvatura, tiende a separarse de la pared del vertedero, generándose subpresiones, y consecuentemente aumentando los riesgos de ocurrencia de fenómenos de cavitación.

Por seguridad se recomienda²²:

$$H_{max} = 1.65 H_d$$

Siendo, H_{max} : Lámina de agua máxima la cresta del vertedero (m)

H_d : Lámina de agua sobre el vertedero en la condición de diseño (m)

Se verifica la no cavitación para la avenida extraordinaria de 1000 años de período de retorno, la cual establece sobre el vertedero una lámina de agua H_{NAE} igual a 7.50 m y por tanto establece que la relación entre H_{NAE} y H_d menos a 1.65.

12.3.4 Resumen

Las características del vertedero resultante se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 12.3-4: Características del vertedero y cuenco de amortiguación

Vertedero	Ancho total (m)	100
	Ancho útil (m)	92.7
	Altura de lámina (m)	6.50
Cuenco	Profundidad (m)	2.40
	Ancho (m)	100
	Largo (m)	29.04

12.4 Diseño de la represa de materiales sueltos

12.4.1 Perfil geológico

El perfil geológico adoptado para la cimentación se determina de forma estimativa a partir de la Carta Geológica del Uruguay y de la Carta de Suelos del Uruguay junto con sus respectivas memorias.

Según la Carta Geológica del Uruguay, en la zona aflora el Complejo Basal y Granitos Indiferenciados, pertenecientes al Eon Proterozoico. Su litología se compone de rocas de origen metamórfico tipo neisses con frecuente intercalación de rocas de origen plutónico como el granito.

Según la Carta de Suelos del Uruguay, en la zona del dique se distingue la unidad de suelo Yí, al Norte del río Yí, y la unidad San Gabriel-Guaycurú, al Sur. En ambas se puede encontrar materiales franco arenoso, franco arcilloso y gravillas. La diferencia entre ambas unidades radica principalmente en la potencia de los diferentes tipos de suelo en el perfil geológico del suelo.

Dado que no se cuenta con información certera del perfil real del suelo en la zona de interés, se opta por realizar una estimación del mismo mediante una combinación de las características geológicas de las unidades de suelo presentes.

El perfil resultante se presenta a continuación.

²² Notas del curso de Represas y Canales (año 2015).

Tabla 12.4-1: Perfil geológico del suelo

Potencia (cm)	Descripción
0 - 18	Franco arenoso con gravillas
18 - 30	Franco arcillo arenoso a franco con gravillas
30 - 62	Arcilloso con gravillas abundantes
62 - 90	Arcilloso con gravillas abundantes
90 - 190	Franco arcilloso
190 - 290	Gravilloso
290 - más	Granito no alterado

Es importante destacar que para el desarrollo de un trabajo más preciso, tanto en la ubicación de la obra como en su diseño, es imprescindible el conocimiento de la geología y tipos de suelo o rocas que conforman la cimentación de la presa, así como la disponibilidad de materiales de préstamo para la construcción de los diques.

Resulta fundamental conocer al menos la clasificación de los suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), así como las propiedades físicas y mecánicas de los distintos materiales presentes.

12.4.2 Fundación

Para lograr una adecuada cimentación de la presa es necesario remover la capa de suelo orgánico, ya que la misma presenta una baja capacidad soporte.

Se decide fundar los espaldones de la presa sobre el estrato impermeable Franco Arcilloso, para lo cual será necesario remover los primeros 0.90 m de suelo. El núcleo se fundará sobre el estrato más profundo de Granito no alterado a una profundidad de 2.90 m.

El vertedero se decide fundar sobre el mismo Granito no alterado.

El suelo del desmonte será acopiado provisoriamente para ser luego colocado como protección del paramento aguas debajo de la presa para evitar su erosión.

12.4.3 Niveles de diseño

Los niveles en el embalse que se tendrán en cuenta para su diseño son los siguientes:

- Nivel Máximo Normal (NMN):
Máximo nivel que puede alcanzar el embalse en un régimen normal de explotación.
- Nivel de Avenida de Proyecto (NAP):
Máximo nivel que se alcanza en el embalse cuando recibe la avenida de proyecto.
- Nivel de Avenida Extrema (NAE):
Máximo nivel que se alcanza en el embalse cuando recibe la avenida extrema.

El NMN, corresponde al nivel de agua en el embalse a cota de vertido. La avenida de proyecto y la avenida extrema que determinan los niveles NAP y NAE, dependen de la categorización de la presa según el riesgo potencial de la misma.

Dada la categorización de la represa como A, para definir el NAP se utiliza una avenida de 1,000 años de periodo de retorno y para definir el NAE se utiliza 10,000 años como periodo de retorno.

Para obtener los niveles mencionados, se transita la avenida de proyecto y la avenida extrema en el modelo hidrodinámico realizado en el software HEC-RAS 5.0, de modo de aprovechar la potencialidad de cálculo del software al resolver las ecuaciones completas de Saint Venant, en vez de realizar un cálculo más simplificado como el método de piscina nivelada para transitar las avenidas en el embalse.

En la siguiente tabla se presentan los niveles de diseño obtenidos.

Tabla 12.4-2: Niveles de Diseño

	Nivel (m)	Cota (msnm)
NMN	18.9	108.0
NAP	25.4	114.5
NAE	26.4	115.5

12.4.4 Dimensiones del dique

12.4.4.1 Cota de coronamiento

La cota de coronamiento (CC) se proyecta de forma tal de evitar el sobrepasamiento del terraplén debido a las sobreelevaciones del nivel de agua en el embalse, las cuales pueden deberse a avenidas, vientos, entre otros.

Para su determinación se utiliza la normativa española, en particular la Guía Técnica N°1 y N°2: "Criterios para Proyectos de Presas y sus Obras Anexas, Tomo I y Tomo II", respectivamente. Las mismas recomiendan que el nivel de coronamiento debe definirse de forma tal que sea mayor que:

- NMN + Sobreelevación de la Ola Máxima (SOM)
- NAE + Sobreelevación de la Ola en Avenida (SOA)

Para determinar la SOM y SOA es necesario realizar un análisis de la afectación de los vientos y determinar la altura de la ola que éstos producen en el embalse. La altura depende de la intensidad, persistencia y dirección del viento dominante en la zona, y del fetch (máxima distancia entre la presa y la costa del embalse, medida en la dirección del viento.)

Para el cálculo de la amplitud de la ola máxima se utiliza la fórmula simplificada de Stevenson:

$$A = 0.76 + 0.34 F^{1/2} - 0.26F^{1/4}$$

Siendo: A: Amplitud de la onda del oleaje (m)

F: Fetch (km).

La sobreelevación de la ola máxima (SOM) respecto al nivel del embalse se define según la siguiente expresión:

$$SOM = \frac{4}{3} A$$

La sobreelevación de la ola en la avenida (SOA), es considerada menor que la SOM debido a la reducida probabilidad de ocurrencia del pico de la avenida y el viento máximo de 100 y 10 años de período de retorno, quedando definida a partir de la siguiente expresión:

$$SOA = 0.7 SOM$$

Deben considerarse además, los asentamientos post-constructivos. La norma establece que a falta de una mejor estimación de los asentamientos, para presas de núcleo este se considere como el 1% de la altura de la presa.

Por último, la guía establece que el resguardo es considerado suficiente si al resguardo resultante de lo anterior se le añade un adicional para cubrir las imprecisiones inherentes a los detalles de los procesos de estudio. Dicho resguardo adicional se establece de 1 m para presas de categoría A.

Por lo tanto la cota de coronamiento de la presa está dado por la siguiente expresión:

$$CC = \text{máx}(NMN + SOM; NAE + SOA) + H_{revancha} + H_{asentamiento}$$

Tabla 12.4-3: Calculo de cota de coronamiento y altura de presa

Fetch (Km)	11.4
Amplitud Ola máxima, A (m)	1.4
Sobreelevación Ola máxima, SOM (m)	1.9
Sobreelevación Ola avenida, SOA (m)	1.3

NMN + SOM (m)	20.8
NAE + SOA (m)	27.7
Nivel Máximo (m)	27.7

Cota de fondo cauce, TN (msnm)	89.1
Desmante (m)	0.9
Revancha adicional (m)	1.0
CC Sin Asentamiento (msnm)	117.8
Altura a TN (m)	28.7
Altura a Fundación (m)	29.6
Asentamiento (m)	0.3

Cota Coronamiento (msnm)	118.1
Resguardo (m)	10.1
Altura a terreno natural (m)	29.0
Altura a Fundación (m)	29.9

12.4.4.2 Ancho de coronamiento

Para determinar el ancho de coronamiento mínimo se utilizaron las fórmulas que se presentan en la normativa española y la fórmula presentada en Design of Small Dams.

La primera recomienda que:

$$C \geq 3 + 1.5 \sqrt[3]{H - 15}$$

Siendo, C: Ancho de coronamiento (m)

H: altura de la presa (m)

Resultando, en $C \geq 6.7$ m.

Por otro lado, el Design of Small Dams establece que:

$$C = \frac{H}{5} + 3$$

Siendo, H: altura de la presa (m).

Resultando, para este caso, $C = 8.9$ m.

Teniendo en cuenta ambas formulaciones de cálculo, se adopta de modo de estar del lado de la seguridad un ancho de coronamiento $C = 10$ m.

12.4.5 Materiales del cuerpo de la represa

La presa será de sección heterogénea, conformada por un núcleo central impermeable y espaldones de material permeable. Los materiales que se utilizarán para la construcción serán, arcilla CH para el núcleo y Grava GW para los espaldones, de acuerdo a la disponibilidad en la zona.

Las propiedades hidráulicas y resistentes de los materiales a emplear se presentan en la siguiente tabla.²³

Tabla 12.4-4: Propiedades de los materiales

Condición	CH - Núcleo impermeable				GW - Espaldones			
	K (m/s)	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	φ (°)	K (m/s)	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	φ (°)
CD	4.8E-10	15	105	20	2.6E-07	19	5	38
CU			11	20			5	38
UU			11	5			6	38

12.4.6 Sección tipo de la represa

12.4.6.1 Espaldones

La inclinación de los taludes se fija dentro de los rangos establecidos en normativa, verificando que se cumpla con las condiciones de estabilidad y minimizando costos.

²³ Design of Small Dams - Bureau of Reclamation Edición en Español 1966

El talud del espaldón aguas arriba será 3H: 1V y para el espaldón aguas abajo será 2.5H: 1V. Se verifica en la sección 12.5, la estabilidad de la presa.

12.4.6.2 Núcleo

Se decide proyectar un núcleo vertical, dado que presenta mayor impermeabilidad por estar comprimido por su propio peso.

Las dimensiones del núcleo se determinan siguiendo las recomendaciones de las notas del curso de Represas y Canales (año 2015) y la normativa española, en las cuales se establece que:

- La relación entre el ancho de la base del núcleo (B_{base}) y la altura de la presa (H_{presa}), se encuentre comprendida entre 1/3 y 1. Optándose por la relación $B_{base}/H_{presa} = 1$.
- El ancho de la cara superior del núcleo (B_{sup}) sea al menos igual a 10 pies (3 m). Se opta por considerar el ancho superior del núcleo igual al ancho del coronamiento.
- La altura del núcleo debe ser tal que la máxima cota del embalse quede contenida dentro del núcleo. Se elige que considerar una altura igual a 1 m sobre el nivel del NAE.

La inclinación de los taludes del núcleo estará dada por la relación entre la altura del núcleo y los anchos de la cara superior e inferior del mismo.

En la siguiente tabla se resumen las características del núcleo.

Tabla 12.4-5: Características del núcleo

Ancho base, B_{base} (m)	29.9
Ancho superior, B_{sup} (m)	10.0
Altura a Fundación Arcilla, $H_{núcleo}$ (m)	26.5
Talud AA mH:1V	2.7
Talud aa m:H:1V	2.7

12.4.6.3 Dentellón

Como el estrato impermeable se encuentra a poca profundidad, se construirá un dentellón impermeable hasta la profundidad donde se encuentra la roca de manera de cortar las filtraciones de la cimentación permeable. Este es el método más efectivo para controlar el volumen de filtraciones y de asegurarse que no se experimentarán dificultades por tubificación a través de la cimentación o por subpresiones en el talud aguas abajo.²⁴

El ancho del fondo del dentellón se calcula según la siguiente fórmula presentada por el Bureau Of Reclamation en libro el Design of Small Dams:

$$w = h - d$$

²⁴ Design of Small Dams - Bureau of Reclamation Edición en español 1966

Siendo, w : ancho de la base del dentellón (m)
 h : carga hidráulica sobre la superficie del terreno (m)
 d : profundidad del dentellón (m)

En la tabla que sigue se observan las características del dentellón.

Tabla 12.4-6: Características del Dentellón

Altura embalse, $h=NAP$ (m)	25.4
Profundidad, d (m)	2.0
Ancho base, w (m)	23.4
Talud AA mH:1V	0.6
Talud aa m:H:1V	0.6

12.4.7 Protección de los taludes

12.4.7.1 Talud aguas arriba

El talud de aguas arriba de la presa debe protegerse del efecto destructivo de las olas. Se define que la protección se coloque sobre todo el talud aguas arriba.

Dado el perfil geológico de la zona, se presume que se puede encontrar fácilmente roca aflorando en las cercanías del cierre y por lo tanto los costos asociados no serán significativos. . En caso de ser escasa la roca en las cercanías del emplazamiento, la protección del paramento se extenderá por lo menos desde el coronamiento hasta 2 metros por debajo del NMN.

El Bureau of Reclamation en el Design of Small Dams presenta la siguiente tabla para determinar el enrocado de protección de paramentos con talud 3H:1V.

Tabla 12.4-7: Espesores y limitante de granulometría para enrocado sobre taludes de 3:1

Fetch del vaso (Km)	Espesor nominal (cm)	Granulometría, porcentaje de piedras de diferentes pesos (Kg)			
		Tamaño máximo	Cuando menos que el 25% mayor que	de 45 a 75% mayor que	No más del 25% menor que
< 1.6	46	454	136	5-136	5
4	61	680	272	14-272	30
8	76	1134	454	23-454	50
16	91	2268	907	45-2268	100

En este caso, como se menciona anteriormente el fetch es igual a 11.4 km por lo que se adoptan las condiciones resaltadas en la tabla.

El espesor del enrocado tendrá entonces 1 metro.

12.4.7.2 Talud aguas abajo

El talud de aguas abajo deberá protegerse contra la erosión por la acción del viento y el escurrimiento pluvial.

Se colocará un recubrimiento de 20 cm de espesor de tierra vegetal proveniente del desmonte para la cimentación de la presa.

12.4.8 Filtros y drenes

Se opta por colocar un dren chimenea entre el núcleo y el espaldón aguas abajo con el objetivo de drenar el agua infiltrada a través del núcleo.

La granulometría del dren deber garantizar que el agua pueda pasar a través del mismo, atraiga las líneas de corriente y baje la de saturación.

Se utilizan materiales intermedios entre el núcleo y el espaldón.

12.4-8 Características geotécnicas e hidráulicas del dren

γ (kN/m ³)	K (m/s)	tan φ
17.04	1.00E-05	0.57

El espesor del dren chimenea se estima según la siguiente formulación.²⁵

$$t_d = 1.5 H \left(\frac{k_c}{k_d} \right)^{1/2}$$

Siendo, t_d : Espesor del dren (m)

H: Altura de la presa (m)

k_c : Permeabilidad del núcleo

k_d : Permeabilidad del dren

De esta manera se obtiene $t_d = 2.4$ m.

A su vez, se colocan filtros entre el dren y el núcleo de modo de evitar el arrastre de finos a través del cuerpo de la presa. Se utilizan materiales intermedios entre el núcleo y el dren con las siguientes características.

12.4-9 Características geotécnicas e hidráulicas de los filtros

γ (kN/m ³)	K (m/s)	tan φ
16.04	1.00E-06	0.46

12.4.8.1 Verificación del fenómeno de tubificación

La tubificación es un fenómeno en el cual existe un arrastre de las partículas más finas hacia aguas abajo y la formación de una cavidad, ocasionando que la erosión interna progrese hacia aguas arriba, pudiendo formar una cavidad que comunica la salida de aguas abajo con la sección de entrada.

Existe una regla empírica Regla de Lane para establecer el peligro de tubificación tanto en el cuerpo de la presa como en su cimentación.

Para que no exista tubificación se debe cumplir que:

²⁵ Hidraulic Structures - P.Novak. - Ed Agosto 2014

$$L_v + \frac{1}{3}L_H > cH$$

Siendo,

L_v : el recorrido vertical que debe hacer el agua en la masa del suelo

L_H : el recorrido horizontal

H: La diferencia de nivel entre aguas arriba y aguas abajo

c : Coeficiente empírico que depende del material,

En este caso se utiliza como material único la arcilla consistente del núcleo para realizar el cálculo, y según la tabla: C = 2

Se tiene que

12.4-10 Parámetros para la verificación de la no tubificación

c	2
Lv	26.3
Lh	102
H	26.3

$$L_v + \frac{1}{3}L_H = 60.3$$

$$cH = 52.6$$

Se concluye que no existe tubificación.

12.5 Estabilidad

12.5.1 Presa de materiales sueltos

Para la estabilidad de la presa se utiliza el software Slide 5.0 de Rocsciense. En el mismo se ingresa la geometría de la presa, las características geotécnicas e hidráulicas de los materiales involucrados y las condiciones de borde. El software realiza los cálculos de infiltración realizando un análisis mediante elementos finitos.

12.5.1.1 Infiltración en el cuerpo de la presa y en la cimentación

El estudio de la infiltración se realiza a partir de la determinación de la red de flujo en el cuerpo de la presa y en el terreno de cimentación de la misma.

Para obtener la ubicación de la curva de infiltración y la red de flujo se utiliza el software Slide 5.0 de Rocsciense con su módulo Groundwater.

La curva de infiltración se calculó para la situación con el embalse a NMN, o lo que es lo mismo a cota de vertedero +108.0 msnm.

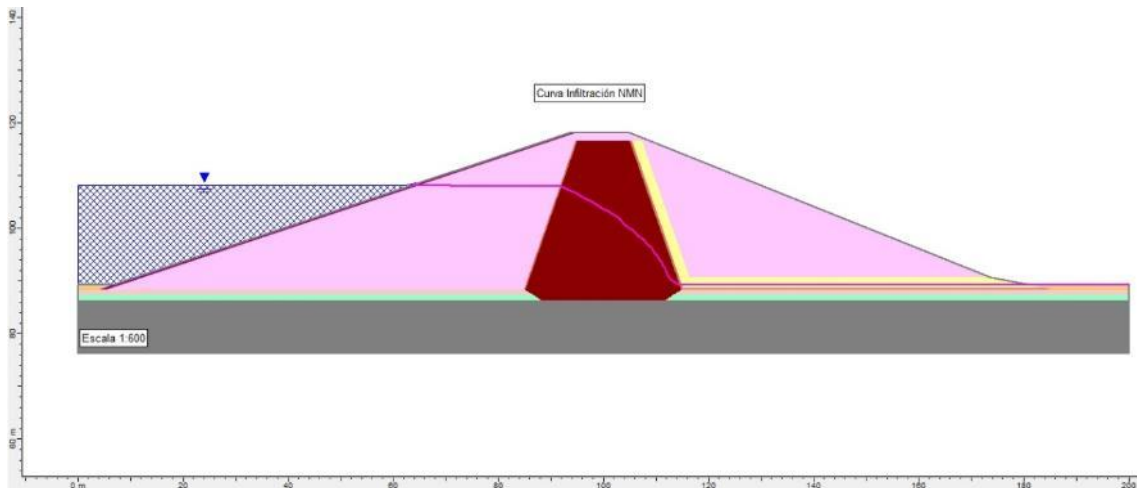


Figura 12.5-1 Curva de infiltración

Se obtuvo la red de flujo compuesta por sus líneas de flujo y las equipotenciales. La misma se observa en la ilustración que sigue.

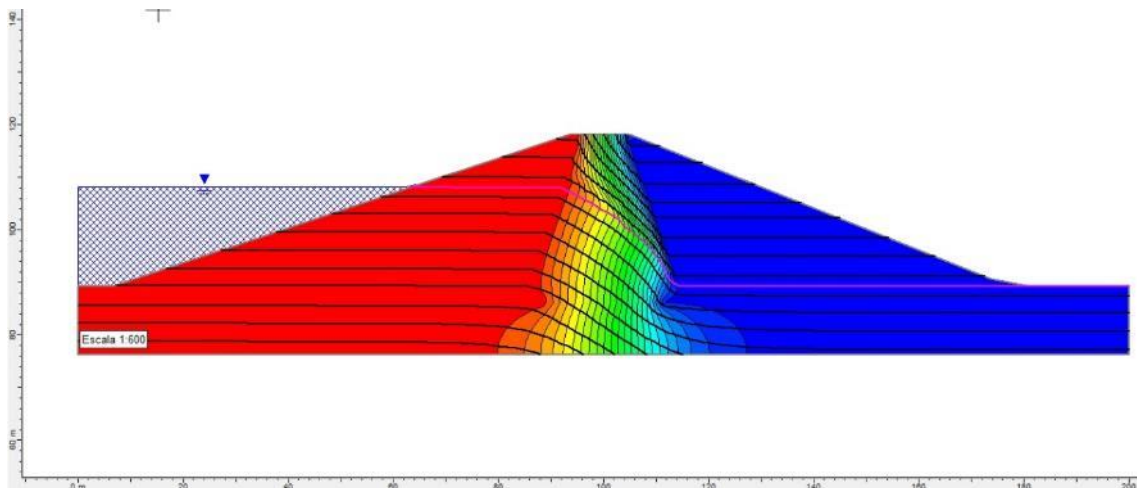


Figura 12.5-2 Red de flujo

El caudal de infiltración por unidad de ancho de presa en la sección analizada de la presa (sección de máxima altura) es de $1.33 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Multiplicando por la longitud de la presa de tierra de aproximadamente 3100 m se obtiene un caudal de 0.04 L/s, o bien equivale a un caudal mensual de aproximadamente $107 \text{ m}^3/\text{mes}$.

Dicho caudal resulta insignificante frente al caudal con un 90% de permanencia en el cauce, el cual corresponde a $12 \text{ m}^3/\text{s}$.

12.5.1.2 Análisis de estabilidad de taludes

Se realiza un análisis de estabilidad de taludes, considerando tres diferentes situaciones de cálculo.

- Fin de construcción, verificando estabilidad para ambos taludes.
- Embalse lleno, crítico para el talud aguas abajo.
- Vaciado rápido, crítico para el talud aguas arriba.

Para cada una de estas situaciones se analiza la estabilidad de la presa, por medio del factor de seguridad frente al deslizamiento definido según:

$$FS = \frac{M_{Resistente}}{M_{Motor}}$$

Donde $M_{Resistente}$ es el momento respecto al centro del círculo de falla de las fuerzas estabilizadoras y el M_{Motor} es el momento respecto al centro del círculo de falla de las fuerzas desestabilizadoras. Para el cálculo de este factor de seguridad se utiliza también el software Slide 5.0 con su módulo Slope-Stability. El análisis que realiza se basa en un análisis del estado plano tensional mediante la discretización del problema con dovelas. En particular se utiliza el método denominado Morgenstern Price.

Se considera que la presa es estable si verifica que el factor de seguridad hallada en cada situación es igual o mayor al factor de seguridad recomendado por la normativa española para presas de tierra con núcleo. Los valores de estos factores de seguridad se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 12.5-1 Valores admisibles de factores de seguridad²⁶

Situación	FS
Fin de construcción	1.2
Embalse Lleno	1.4
Desembalse	1.3

12.5.1.3 Fin de construcción

Esta situación es crítica debido a la falta de consolidación, ya que si bien los materiales fueron compactados aún no se encuentran consolidados.

Para esta situación se emplean los parámetros de resistencia al corte supuestos para el ensayo UU.

En las ilustraciones que siguen, se muestran las superficies críticas obtenidas mediante el software Slide para el talud aguas abajo y para el de aguas arriba, cuyos factores de seguridad son 1.89 y 2.81 respectivamente.

²⁶ Guía Técnica N° 2 Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España, 2005

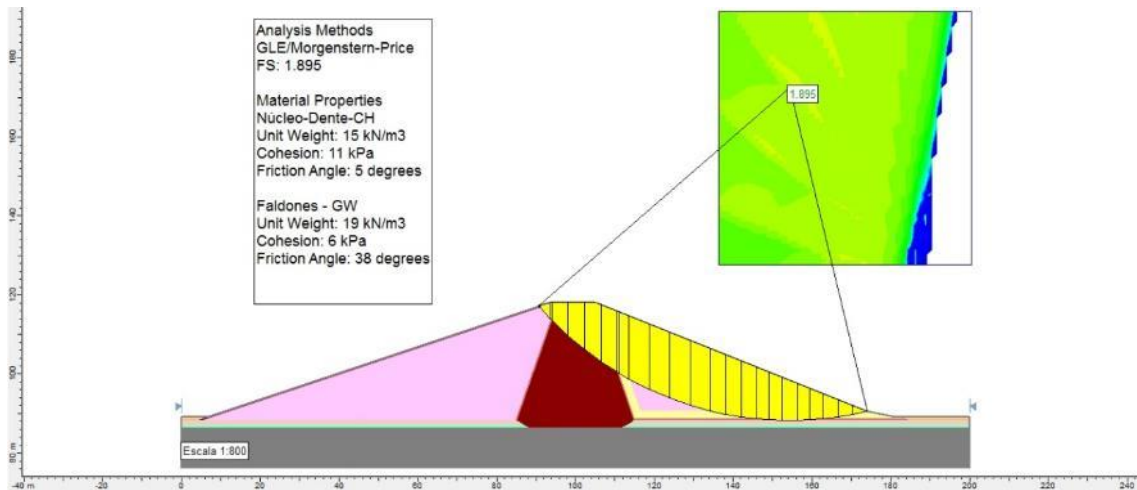


Figura 12.5-3 Fin de construcción - Aguas abajo

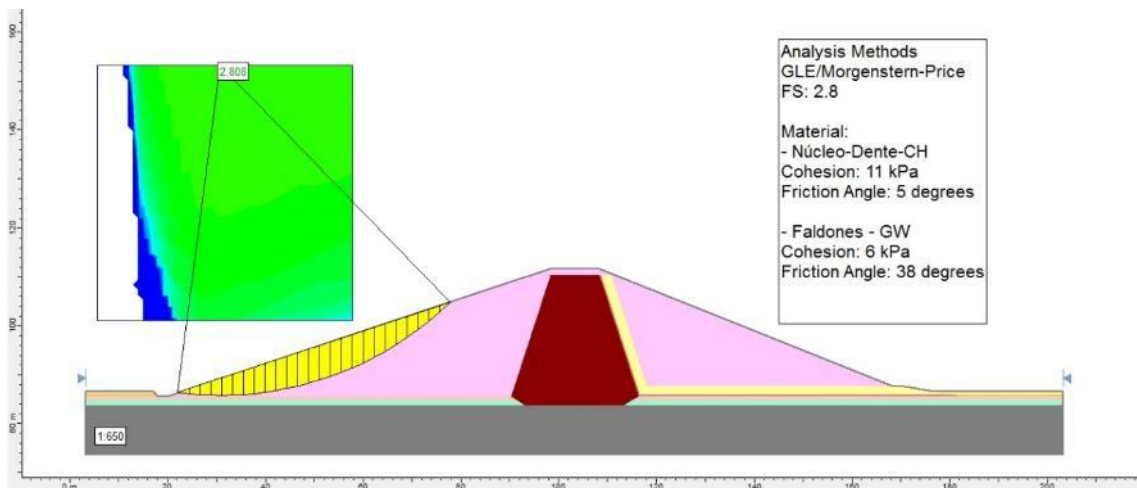


Figura 12.5-4 Fin de construcción - Aguas arriba

12.5.1.4 Embalse lleno

En la situación de embalse lleno se da el mayor flujo a través de la presa, por lo que se considera una situación crítica, en particular para el talud aguas abajo, ya que el de aguas arriba se ve estabilizado por el peso de la columna de agua sobre el mismo.

Los parámetros resistivos empleados en ésta situación son los correspondientes al ensayo CD.

En la ilustración siguiente se muestra la superficie crítica obtenida para el talud aguas abajo cuyo factor de seguridad es de 1.88.

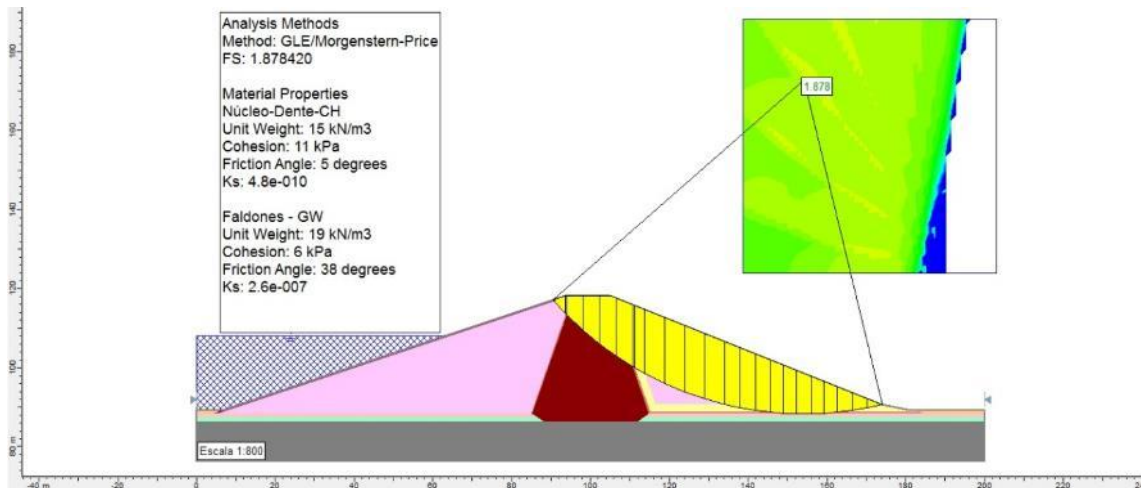


Figura 12.5-5 Embalse lleno

12.5.1.5 Vaciado rápido

La situación de vaciado rápido es crítica debido a que los tiempos con que desciende el nivel freático en el cuerpo de la presa no acompañan al tiempo del vaciado del embalse. Esta situación afecta principalmente al talud aguas arriba, por ser el que se encuentra saturado inicialmente.

Los parámetros de resistencia al corte que se emplean son los obtenidos en el ensayo CU.

Para modelar esta situación se considera que el talud de aguas arriba se encuentra saturado y sin el peso de la columna de agua.

En la ilustración a continuación se observa la superficie de falla crítica obtenida, la cual se corresponde con un factor de seguridad de 1.47.

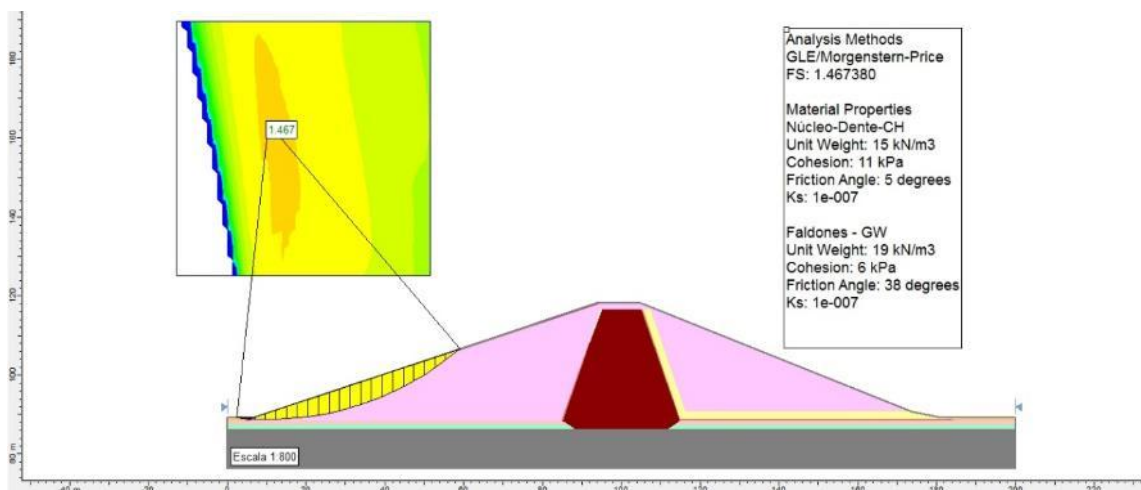


Figura 12.5-6 Vaciado rápido

12.5.2 Estabilidad de vertedero Creager

El cálculo de la estabilidad se realiza para la condición de nivel máximo normal sobre el embalse.

Se consideran las siguientes fuerzas actuantes sobre el vertedero:

- Peso propio: considerando un peso específico del hormigón $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$. Si bien el hormigón alcanza pesos específicos mayores es recomendable trabajar con este valor al menos en el pre dimensionado, dada la posibilidad de construcción de galerías, etc.
- Empuje hidrostático, se calcula considerando una altura del agua de 21.8 m, es decir el embalse a cota +108 mnsn.
- Subpresiones: Se considera una distribución triangular con valores de 218 kN/m^2 aguas arriba y 0 aguas abajo. Según la guía N°2 de la norma española se tiene un plano de drenes se produce un quiebre en la distribución, con un valor de $h+(H-h)/3$ en el quiebre

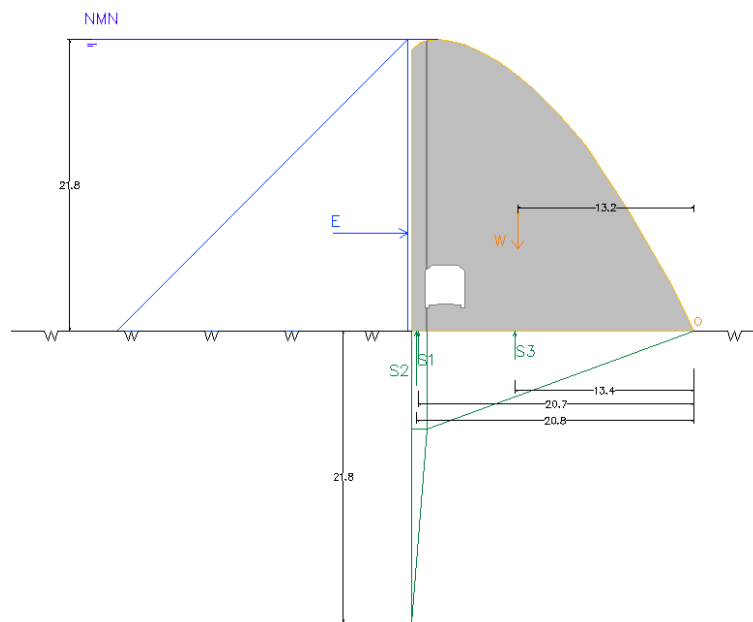


Figura 12.5-7 Diagrama de fuerzas y presiones actuantes

12.5.2.1 Estabilidad vertical

Esta verificación se deberá realizar al momento del proyecto ejecutivo verificando la capacidad portante del suelo de cimentación del vertedero.

12.5.2.2 Estabilidad al vuelco

La condición de estabilidad al vuelco exige que toda la base del vertedero de hormigón esté sometida a tensiones normales de compresión, sin que en ninguna zona de la base aparezcan esfuerzos de tracción.

Se debe verificar para la relación

$$V \cdot a \geq 6M_0$$

Donde V es la componente vertical de las fuerzas activas

a es el ancho del vertedero a la altura del corte horizontal

M_0 es el momento de las fuerzas activas respecto al eje que pasa por el centro de la sección de la base del vertedero.

En la siguiente tabla se presentan los valores de los parámetros presentados anteriormente.

Tabla 12.5-2 - Cálculo de estabilidad al vuelco - Vertedero

V (kN/m)	6,283
M_0 (kN)	2,079
a (m)	21.2
$V \cdot a$ (kN)	133,010
$6M_0$ (kN)	12,472

12.5.2.3 Estabilidad al deslizamiento

Se calcula el factor de seguridad al deslizamiento con la siguiente fórmula:

$$FS = \frac{f * N}{T}$$

siendo f el coeficiente de fricción que se asume igual a 0.8, T y N las componentes tangencial y normal de la fuerza resultante respecto al plano de cimentación.

Se obtiene un $FS = 2.1$ el cual es mayor a 1.5, valor exigido por la norma española.

12.6 Diseño del descargador de fondo

Para el diseño del descargador de fondo se toma como requerimiento a satisfacer contar con la posibilidad de bajar significativamente el nivel en el embalse en un tiempo de entre 3 y 5 días, tiempo en el cual se puede pronosticar la ocurrencia de un evento de precipitaciones.

Se supone que para bajar el nivel del embalse se podrán utilizar junto con el descargador de fondo las tuberías a presión de las turbinas.

Se define entonces que las tuberías del descargador de fondo tengan diámetro de 2.6 m al igual que las tuberías a presión. En estas condiciones y considerando que la salida de las tuberías se encuentra a 89 msnm se calcula el caudal de salida por 1, 2, 3 y 4 tuberías del descargador de fondo para diferentes cotas del embalse y el caudal de salida de las 5 tuberías a presión de las turbinas.

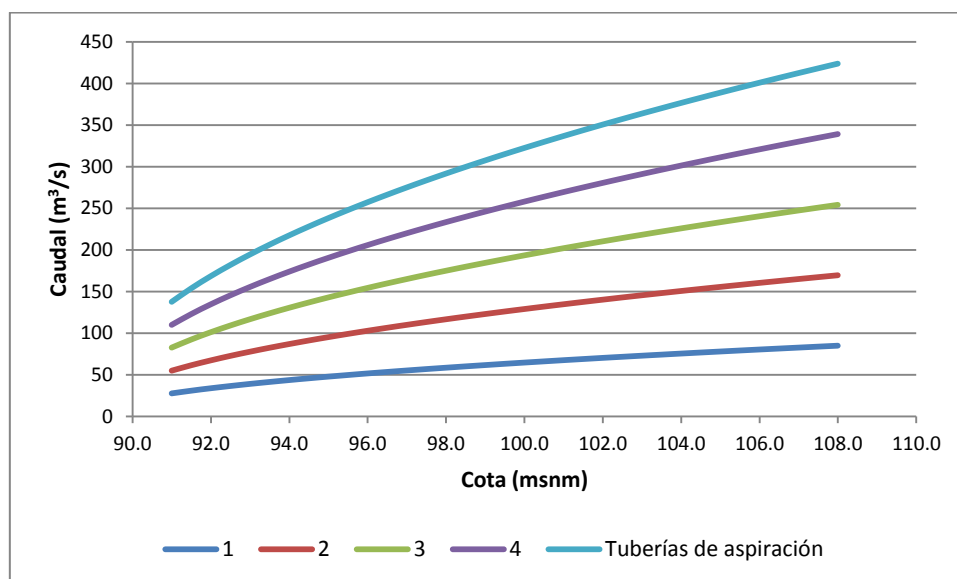


Figura 12.6-1 - Caudal de salida en función de la cota para 1, 2, 3 y 4 tuberías y para las tuberías a presión

Con estos caudales y conociendo la relación del volumen del embalse con su cota obtenemos cuál será el nivel de agua del embalse que se podrá descender en un tiempo de entre 3 y 5 si inicialmente el mismo se encuentra a nivel de vertido, con el fin de definir el número de tuberías a colocar.

Se reitera que estos cálculos se realizan considerando que se descarga siempre por las tuberías a presión y a ellas se les adiciona el caudal de salida de las tuberías del descargador de fondo.

Tabla 12.6-1 – Escenarios evaluados de cantidad de tuberías en el descargador de fondo

Escenarios	Tiempo (días)	Nivel desc (m)	Vol descargado (hm ³)
Tub Presión (TP)	3	2.5	105
TP + 1	3	3	126
TP + 2	3	3.5	146
TP+ 3	3	4	166
TP + 4	3	4.5	185
Tub Presión (TP)	5	4	166
TP + 1	5	5	204
TP + 2	5	6	240
TP + 3	5	7	274
TP + 4	5	7.5	290

Mediante los datos presentados en la tabla anterior se procede a graficar el volumen descargado en 5 días en función de la cantidad de tuberías adicionales a colocar que oficiarán de descargador de fondo. Se obtiene entonces la siguiente gráfica.

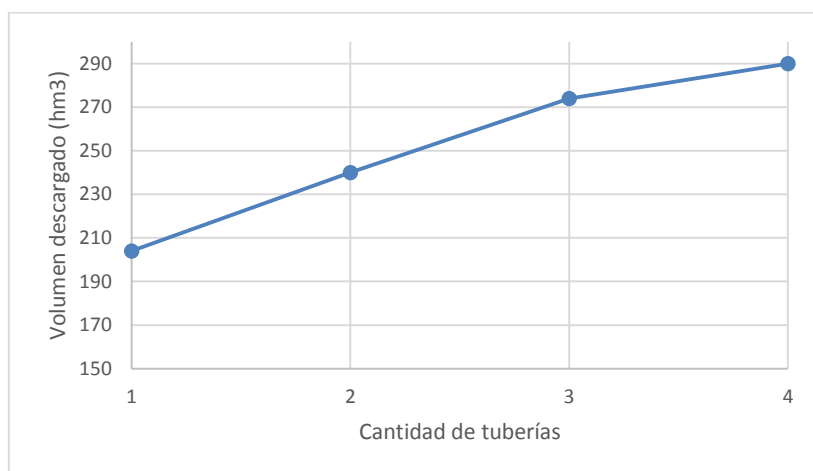


Figura 12.6-2 - Gráfica de volumen descargado en función del Nº de tuberías de descargador de fondo

De la ilustración anterior se observa que la pendiente se mantiene constante hasta la colocación de 4 tuberías donde la misma disminuye. Es decir, la colocación de una cuarta tubería no aumenta en igual medida el volumen descargado, es por esto que se define la colocación de **3 tuberías de 2.6 m de diámetro** que oficiarán de descargador de fondo ya que se considera razonable que se puedan descargar entre 166 y 274 hm³ del embalse siendo que el mismo tiene un total de 368 hm³ a nivel de vertido. En otras palabras, se podrá descargar aproximadamente el 75% del volumen del embalse en 5 días.

Como dato a destacar se presenta que si se descarga con las tuberías a presión y con 3 tuberías que componen el descargador de fondo se estima que el tiempo necesario para vaciar el embalse si el mismo comienza a nivel de vertido es de 7.5 días.

12.7 Caudal ambiental

Existen numerosas definiciones del concepto de caudal ambiental en bibliografía, todas se centran en la cantidad de agua de un sistema en particular, necesaria para mantener algún o todos los componentes del sistema y sus funciones en un estado deseado.

La definición de caudal ambiental adaptada para Uruguay, según se presenta en el estudio "Fortalecimiento del concepto de Caudales Ambientales como Herramienta para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos" desarrollado por PNUMA y Vida Silvestre Uruguay, es la de "Régimen hidrológico y calidad de agua de ecosistemas acuáticos continentales que asegure la sustentabilidad a largo plazo de la estructura y funcionalidad del ecosistema que mantenga los servicios ecosistémicos en la cuenca".

Uruguay si bien cuenta con un amplio marco jurídico que contempla la gestión integral de recursos hídricos nacionales y aquellos compartidos con los países limítrofes, no tiene hasta el momento ninguna reglamentación específica sobre el tema.

El MGAP establece en el “Manual para el diseño y construcción de Tajamares de Aguada” que el caudal ecológico que se deberá evacuar de forma de satisfacer las necesidades naturales de los predios situados aguas es igual a $0,4 \text{ l/s/km}^2$ de cuenca.

La gran variedad de factores que influyen en su definición hace que no sea sencilla ni única la metodología a aplicar para la determinación de dicho caudal. A su vez estas metodologías se diferencian según el enfoque disciplinar en: métodos hidrológicos, hidráulicos, eco-hidráulicos y holísticos.

Los métodos hidrológicos se basan en el análisis de información de series temporales de caudales de los cursos de agua. Los métodos hidráulicos involucran además parámetros como la velocidad, profundidad, perímetro mojado, etc. y requieren la aplicación de herramientas de modelación. Los métodos eco-hidráulicos o de simulación de hábitat también utilizan los análisis hidráulicos pero además modelan la cantidad e idoneidad del hábitat acuático utilizable para un organismo en particular. Y por último, los métodos holísticos implican un abordaje interdisciplinario en el cual se determina el caudal ambiental de forma que contemple todos los factores biológicos y abióticos del sistema, así como el espectro completo del régimen hidrológico.

En este caso se decide emplear métodos hidrológicos, los cuales son ampliamente utilizados en Latinoamérica y se destacan por presentar las ventajas de bajos requerimientos de información, la fácil obtención de la misma y por la simplicidad del método. Las otras metodologías, en contraposición, requieren una mayor cantidad de información de datos hidrológicos, ecológicos y socioeconómicos específicos de cada caso.

Dentro de los métodos hidrológicos se aplicaron los siguientes métodos que establecen un único valor de caudal ambiental:

- Porcentaje de excedencia: Q95, Q90, Q85
- Porcentaje del caudal medio anual: 10%, 25% y 30%

Los valores de caudales empleados se obtienen de la aplicación del modelo de Témez para el período 1994 – 2015. La información y metodología empleada para su determinación de detallan en el Capítulo 13.

En la siguiente tabla y gráfica se resumen los métodos y recomendaciones aplicadas y los resultados de caudal ambiental obtenidos.

Tabla 12.7-1 – Caudales ambientales

		Caudal ambiental (m ³ /s)
MGAP (0.4 l/s/km²) (Á _{cuenca} = 4,821 km ²)		1.9
Porcentaje de excedencia	Q 95	5.4
	Q 90	12.5
	Q 85	19.2
Porcentaje del caudal medio anual (QMA = 94.20 m ³ /s)	10%	9.4
	25%	23.5
	30%	28.3

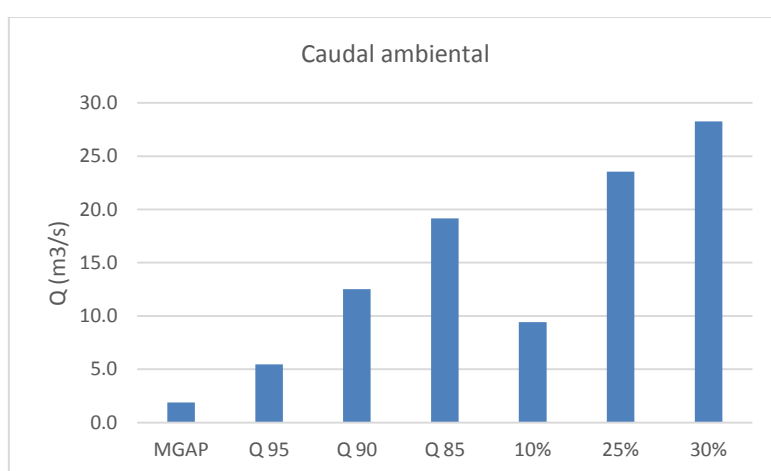


Figura 12.7-1 – Caudales ambientales

En la gráfica anterior se observa claramente la gran diferencia entre los valores de caudal ambiental obtenidos según las diferentes metodologías, variando desde 2 m³/s a 28 m³/s.

Por tal motivo se decide considerar como caudal ambiental al **porcentaje de excedencia Q 90**, entendiéndose que el método de las curvas de permanencia, estimando los caudales ecológicos como caudales que son superados en magnitud entre un 85 y 95% de las veces observadas, es uno de los métodos más empleados en Brasil, uno de los primeros países en aplicar el concepto de caudal ecológico y que ha aplicado mayor número de metodologías el cálculo de caudales ambientales (Benetti et al, 2003 y Tharme, 2002).

Por lo tanto, se considera:

$$Q_{\text{ambiental}} = 12.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

13. GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

13.1 Recursos hídricos disponibles

Con el fin de conocer el caudal que aporta la cuenca hidrológica correspondiente al cierre al embalse, se realizó un modelo de paso mensual denominado Témex. El modelo de Témex es un modelo de balance hídrico agregado, que estima el escurrimiento mensual de una cuenca a partir de la precipitación, el almacenamiento en el suelo y la evapotranspiración potencial.

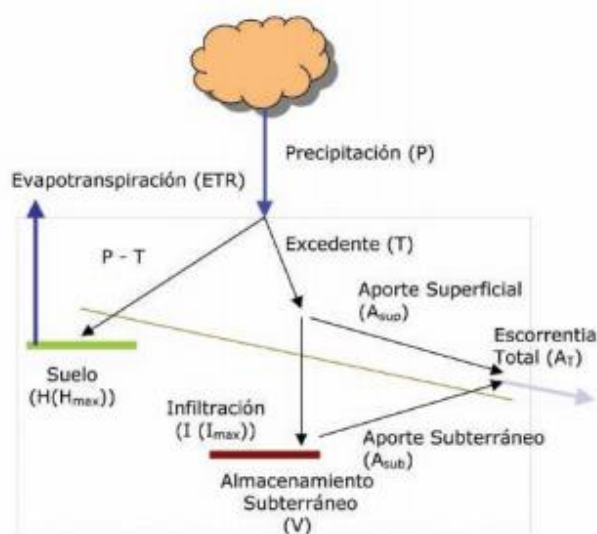


Figura 13.1-1 - Modelo Precipitación - Escurrimiento Témex

La precipitación se obtuvo de datos diarios de los pluviómetros existentes en la cuenca para la serie histórica 1994-2015. Estos se acumularon para obtener su caudal mensual y luego se ponderaron en su área de influencia mediante el método de Thiessen.

Tabla 13.1-1 - Ciclo de precipitación media anual

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
P (mm)	94	125	114	116	118	106	86	98	114	114	99	107	1291

Para la evapotranspiración se utilizaron datos diarios en el mismo período de tiempo de la Estación Experimental Agroclimática de INIA en Treinta y Tres. Estos datos fueron acumulados mensualmente.

Tabla 13.1-2 - Ciclo de evapotranspiración media anual

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ETP (mm)	154	119	100	62	35	24	30	46	66	97	128	152	1013

El almacenamiento en el suelo se relaciona directamente con el agua disponible y se calcula la cantidad de agua disponible de los suelos de la cuenca ponderando por las respectivas áreas ocupadas de cada unidad Cartográfica de suelo.

Tabla 13.1-3 - Unidad de Suelo, Área de influencia y Agua Disponible

Unidad de Suelo	Área (ha)	AD (mm)
Capilla de Farruco	4613	35.4
Carpintería	14320	63.6
Cerro Chato	82369	139.0
Montecoral	137799	92.4
Puntas de Herrera	39949	85.8
San Gabriel - Guaycurú	78839	84.7
Santa Clara	67674	71.0
Sierra de Polanco	36741	78.6
Yí	18730	73.0

Se obtiene un valor de agua disponible promedio de 81.8 mm.

Luego de aplicado el modelo se obtiene el caudal mensual para la serie 1994-2015. En la tabla a continuación se presenta su ciclo medio anual.

Tabla 13.1-4 - Ciclo medio anual de escurrimientos

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Esc (mm)	30	45	45	54	65	65	57	58	62	52	40	35	608

Se observa que el coeficiente de escorrentía medio para la cuenca es de 0.47. Este valor es similar al coeficiente de escorrentía obtenido para la cuenca con cierre en la ciudad de Durazno.

En las gráficas que se muestran a continuación se observa el caudal medio mensual a lo largo de la serie, el caudal medio anual, y la curva de permanencia de caudales.

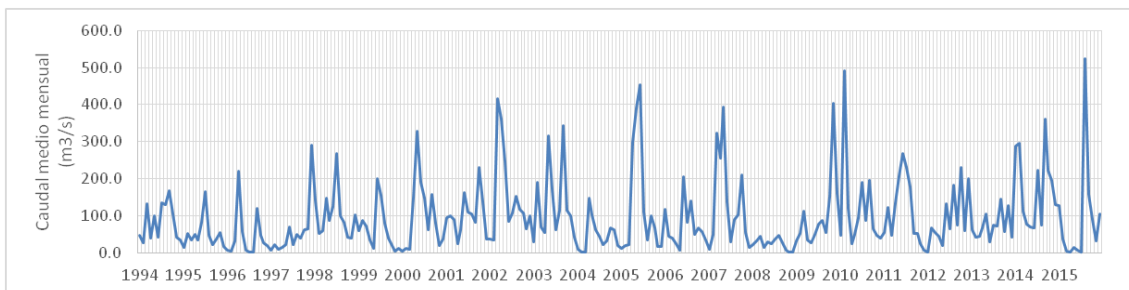


Figura 13.1-2 - Caudal medio mensual 1994-2015

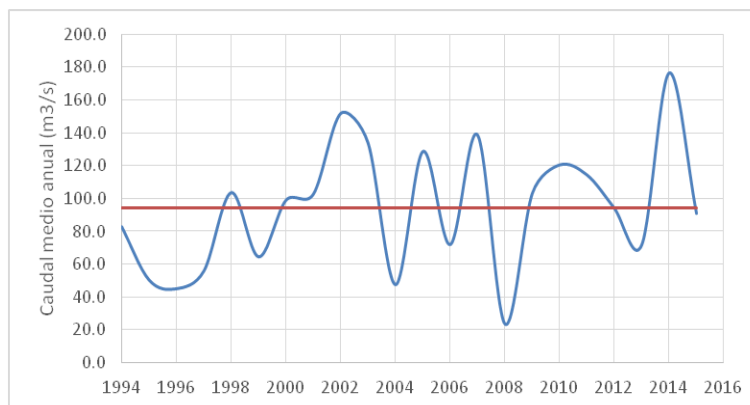


Figura 13.1-3 - Caudal medio anual

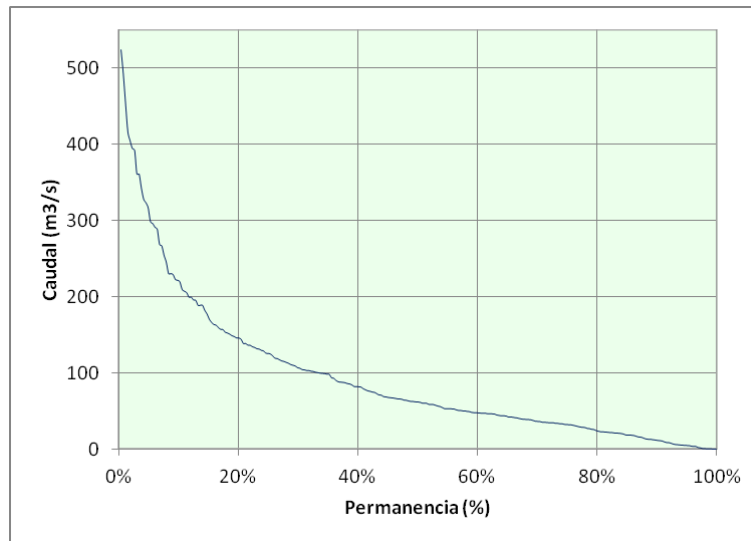


Figura 13.1-4 - Curva de permanencia de caudal serie 1994-2015

En las dos primeras gráficas se puede observar la gran variabilidad temporal de escurrimientos en la cuenca. Esto es de esperarse debido a la ya conocida variabilidad en las precipitaciones.

El **caudal medio mensual promedio** es de **94.2 m³/s**.

A través de la curva de permanencia se observa que este caudal medio mensual tiene aproximadamente un 36 % de permanencia. Esto quiere decir que el 64 % del tiempo el escurrimiento aportado al embalse es igual o menor a este caudal.

13.2 Salto neto

El salto neto es la diferencia de cotas entre el nivel del río aguas abajo del embalse y el nivel en el embalse propiamente dicho.

El nivel en el embalse se supone a cota de vertedero (108 msnm) y el nivel del río se obtiene de datos limnigráficos existentes en una sección 15 km aguas abajo del cierre, más precisamente en el puente de la Ruta N° 42 en Polanco del Yí.

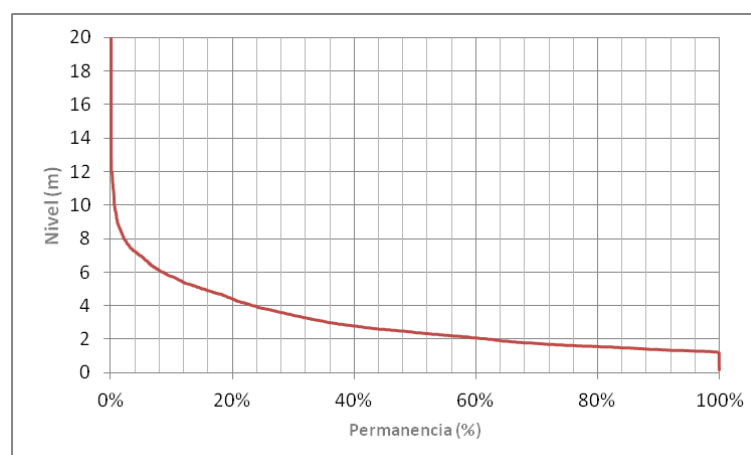


Figura 13.2-1 - Curva de permanencia de niveles aguas abajo de la represa

De manera similar que con el escurrimiento, el nivel medio de agua en el río Yí de 3.1 m corresponde a un 36 % en la permanencia. Este nivel será el utilizado para el cálculo del salto neto.

El fondo del cauce inmediatamente aguas abajo de la represa se ubica a cota +89.1 msnm, con lo que se obtiene que la cota media del nivel del agua sobre el río Yí en dicho punto es de 92.2 msnm. Se obtiene entonces un salto bruto de 15.8 m.

Suponiendo una pérdida de carga de 0.80 m (5% del salto bruto) en los canales y conductos de presión, el **salto neto** será de **15 m**.

13.3 Potencia a instalar

Se define instalar una potencia para turbinar el caudal medio de 92.4 m³/s y no un caudal mayor, ya que este tiene una permanencia relativamente baja de 36 %. Se considera por esta razón que no será factible realizar un sobre equipamiento para turbinar un caudal mayor.

Se turbinará además el caudal ecológico, el cual es de 12.5 m³/s.

Considerando un rendimiento de los equipo del 85 %, la potencia instalada será

$$P_{inst} = \gamma \times Q \times H_n \times \eta = \mathbf{13,404 kW}$$

De este valor se corresponden 1,625 kW de turbinar el caudal ambiental y 11,778 kW de las turbinas principales.

Estos valores serán ajustados cuando se proceda a la selección final de los equipos, en función de los diseños específicos de los fabricantes que puedan ofrecer.

13.4 Energía máxima anual generable

Si se turbinara la totalidad del caudal para el cual se instalaron los equipos, es decir si se pudiese generar la máxima energía anual posible, esta sería:

$$E_{m\acute{a}x} = P_{inst} \times 8760 \text{ hs} = \mathbf{117,415 MW.h}$$

13.5 Potencia mensual y energía anual generada

Se realiza un balance hídrico en el embalse considerando como entrada al mismo el escurrimiento de la cuenca y la precipitación directa y como salidas del embalse la evaporación, el caudal turbinado y el vertido de excedencias. La evaporación se consideró como un 70 % de la evaporación de Tanque A medida en la Estación Agroclimática INIA Treinta y Tres.

Del mismo se obtuvo la potencia mensual efectivamente generada y por ende la energía anual que esta potencia generaría.

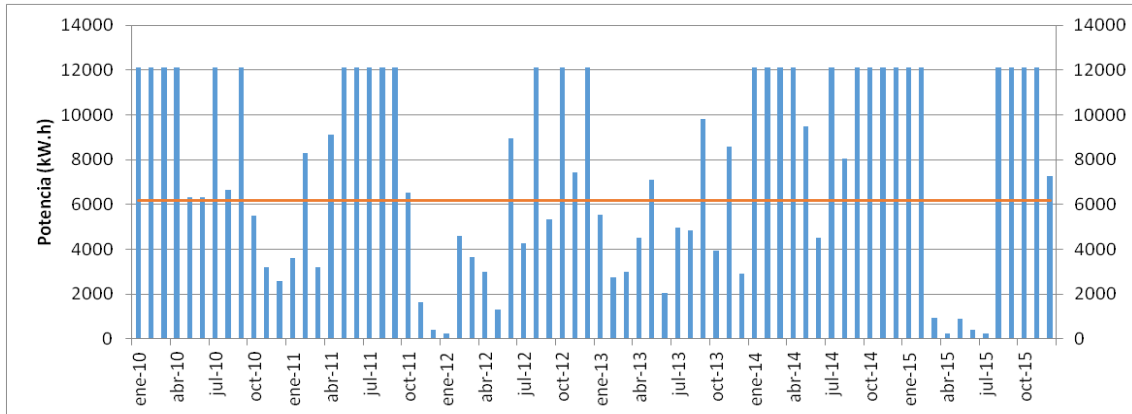


Figura 13.5-1 - Potencia generada en el período 2010-2015

En la tabla a continuación se presenta la máxima potencia mensual generada, la mínima y la media para la totalidad del período analizado.

Tabla 13.5-1 - Potencia mensual generada

	Pot (kW)
Máx	12100
Mín	252
Media	6167

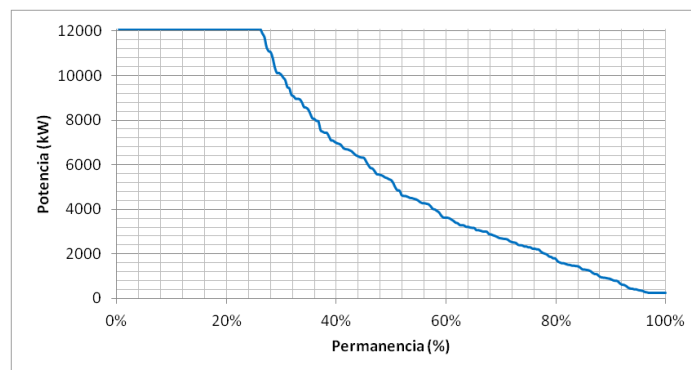


Figura 13.5-2 - Curva de permanencia de potencia

Sumando la potencia mensual efectivamente generada en el balance de toda la serie y dividiéndola por la totalidad de años analizados (22 años) se obtiene la energía media anual generada.

$$\text{Energía anual generada} = 55,628 \text{ MW.h}$$

13.6 Factor de capacidad

El factor de capacidad se define como la relación entre la energía generada y la máxima energía generable.

$$FC = \frac{\text{Energía Generada}}{\text{Máxima Energía Generable}}$$

En este caso la relación queda definida como

$$FC = \frac{55,628 \text{ MWh}}{117,415 \text{ MWh}} = 0.47$$

13.7 Cantidad de turbinas y punto de funcionamiento

Siendo el caudal a turbinar de $94.2 \text{ m}^3/\text{s}$, se define la colocación de 5 turbinas cuyas características nominales sean:

- Salto Neto de 15 m
- Caudal nominal de $24 \text{ m}^3/\text{s}$

Se propone además turbinar el caudal ecológico el cual es de $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta turbina tendrá las siguientes características nominales:

- Salto neto de 15 m
- Caudal nominal de $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$

De lo anterior y suponiendo una eficiencia del 85 % se obtiene para las turbinas grandes una potencia de 2,945 kW y para la turbina menor 1,625 kW.

13.8 Selección del tipo de turbina

La elección del tipo de turbina se basa en el valor de la velocidad específica (referida a la potencia) definida como

$$\Omega_p = \frac{N(\text{rad/s})P(W)^{1/2}}{\rho(\text{kg/m}^3)^{1/2}(g(\text{m/s}^2)H(\text{m}))^{5/4}}$$

Si la velocidad específica se ubica en valores entre 0.2 y 2 las turbinas más adecuadas serán las Francis. Si es menor a 0.2 serán Pelton y si es mayor a 2 serán Kaplan (axial).

Con estas consideraciones se tiene que las turbinas mayores serán de tipo axial, dado que suponiendo $N = 500 \text{ rpm}$ su **velocidad específica** será de **5.5**.

La turbina menor también será de tipo axial, debido a que con un $N = 750 \text{ rpm}$ la **velocidad específica** será de **6.2**.

Será deseable que las turbinas sean de eje horizontal, para evitar la excavación que requeriría el tubo difusor de las tuberías a presión de una turbina de eje vertical.

13.9 Tubería a presión

Se coloca un total de cinco tuberías a presión, una por turbina. El diámetro de las mismas se calcula para no exceder velocidades de 3 m/s.

En las turbinas principales y en la turbina ecológica, las tuberías a presión tendrán un **diámetro de 2.6 m**.

14. OPERACIÓN DE LA REPRESA

En el presente capítulo se propone una operación de la represa de manera de compatibilizar los dos usos a los que se encuentra destinada.

La premisa fundamental es acumular agua en las épocas de estiaje, utilizarla para la generación de energía y vaciarla en los eventos de tormentas extremas de manera que actúe como amortiguador de la crecida con el fin de minimizar las inundaciones en la ciudad de Durazno.

Se definen 2 modos de operación:

1. Modo de operación energética: Priorizando la generación de energía. Esta sería la operación normal de la represa cuando no haya pronóstico de lluvias extremas.
2. Modo de operación en crecida: Priorizando el control de las inundaciones. Se da cuando el pronóstico meteorológico prevea un evento extremo que amerite el vaciado de la represa

14.1 Modo de Operación Energética

Se tenderá a optimizar la Producción Energética. Este será el uso prioritario en este caso.

El funcionamiento en modo operación energética implica la acumulación de agua en el embalse durante eventos de escurrimiento medio. Los niveles de funcionamiento en este modo serán:

- El Nivel Mínimo de Operación Energética por debajo del cual la generación de energía no es eficiente. Se estima en un 40 % del salto neto, es decir a cota 95.1 msnm.
- El Nivel Máximo Normal, que corresponde al nivel en que la presa comienza a verter. Durante un evento de avenida se podrá operar las turbinas de manera de colaborar con el descenso del nivel en el embalse.

14.2 Modo de operación en crecida

Se procurará, en la medida de lo posible, atenuar los efectos negativos de las crecientes.

Se deben respetar las pautas de alerta y acción establecidas.

Para el adecuado funcionamiento se contará con el Sistema de Alerta Temprana (SAT), herramienta desarrollada para detectar con suficiente anticipación eventos de lluvia que provocaran inundaciones en la ciudad de Durazno. En ese caso la herramienta prevé el evento extremo con un máximo de 3 días de antelación. Considerando que el tiempo de tránsito por el río desde la cuenca alta hasta la represa son aproximadamente 2 días, se cuentan con 5 días para la descarga del agua del embalse.

La represa cuenta con 3 descargadores de fondo exclusivos para vaciar la represa y además cuenta con 5 tuberías a presión de las turbinas que también se utilizarán para el vaciado en avenidas.

Si se utilizan las 8 tuberías existentes para la descarga y el nivel del embalse al inicio del evento extremo es el nivel de vertido, el embalse en los 5 días disponibles baja su nivel 7.0 m, esto implica unos 274 hm³ para amortiguar.

15. ROTURA DE LA REPRESA

El análisis de rotura de presa es un aspecto fundamental en materia de seguridad y fiabilidad de la infraestructura proyectada, permitiendo evaluar en caso de accidente o falla las consecuencias aguas abajo. Estas consecuencias son muy variadas, como por ejemplo: daños a personas (heridos, fallecimientos), daños económicos ocasionados directamente por el impacto de las inundaciones, daños económicos indirectos como ser la interrupción de la economía y otras actividades de la zona, así como también daños medioambientales, trastorno social, entre otros.

En este caso el análisis de rotura de presa se centra principalmente en la evaluación de las áreas inundadas.

El abordaje metodológico para cuantificar los impactos aguas abajo de una eventual rotura será la modelación hidrodinámica en HEC-RAS de la rotura de presa para diferentes escenarios que puedan afectar la seguridad de la misma.

15.1 Dimensiones de la brecha y Tiempos de rotura

Para simular la rotura de la presa es necesario conocer: la geometría de la brecha, el tiempo de formación de la misma y el momento o condición de inicio de la rotura.

Estos parámetros son elementos de gran incertidumbre y dependen significativamente del tipo de la presa. Para su determinación se toman como referencia las recomendaciones de la Guía Técnica Española²⁷, para presas de materiales sueltos y presas de gravedad (vertedero), resultando:

Presa de gravedad

- Tiempo de rotura: 15 minutos (Rotura instantánea)
- Forma de rotura: Rectangular
- Profundidad de la brecha: Hasta el contacto con el cauce en el pie
- Ancho: 33.3 metros (1/3 de la longitud del vertedero)

²⁷ Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España (MAPMA) (2001). Guía Técnica para la elaboración de Planes de Emergencia de Presas

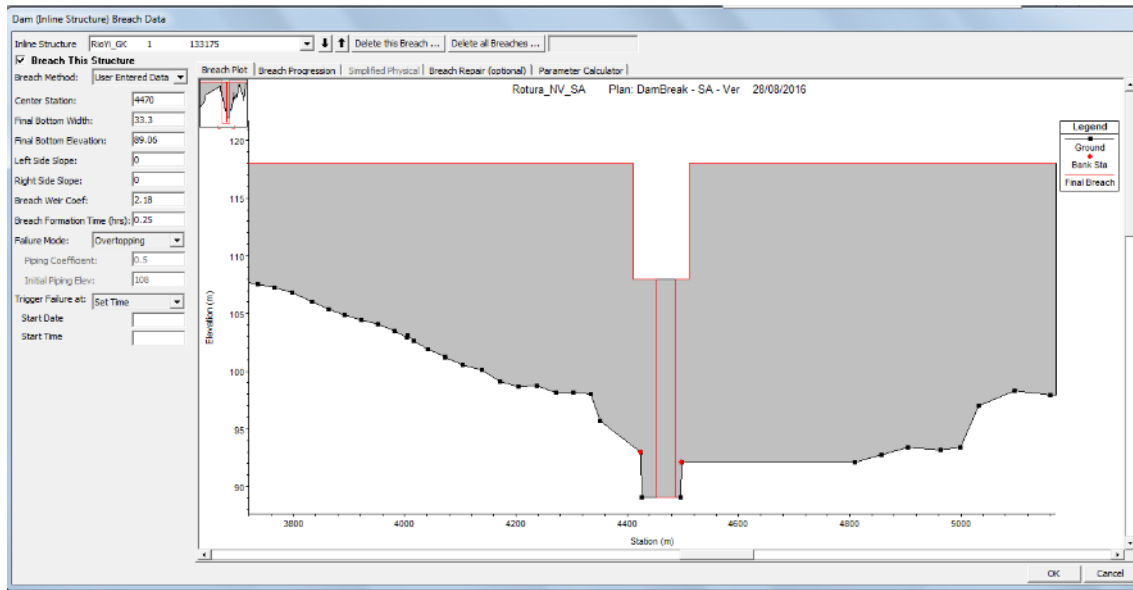


Figura 15.1-1 – Brecha Presa de Gravedad (Vertedero)

Presas de materiales sueltos

- Tiempo de rotura: 3.1 horas ($T(\text{hs}) = 4.8 \cdot V^{0.5}(\text{Hm}^3) / h(\text{m})$)
- Forma de rotura: Trapezoidal
- Profundidad de la brecha: Hasta el contacto con el cauce en el pie
- Ancho medio de la brecha: 204.8 metros ($b(\text{m}) = 20 \cdot (V(\text{Hm}^3) \cdot h(\text{m}))^{0.25}$)
- Taludes: 1H: 1V

Siendo: V el volumen del embalse (368 Hm³) y h la altura de la presa (29.9 m)

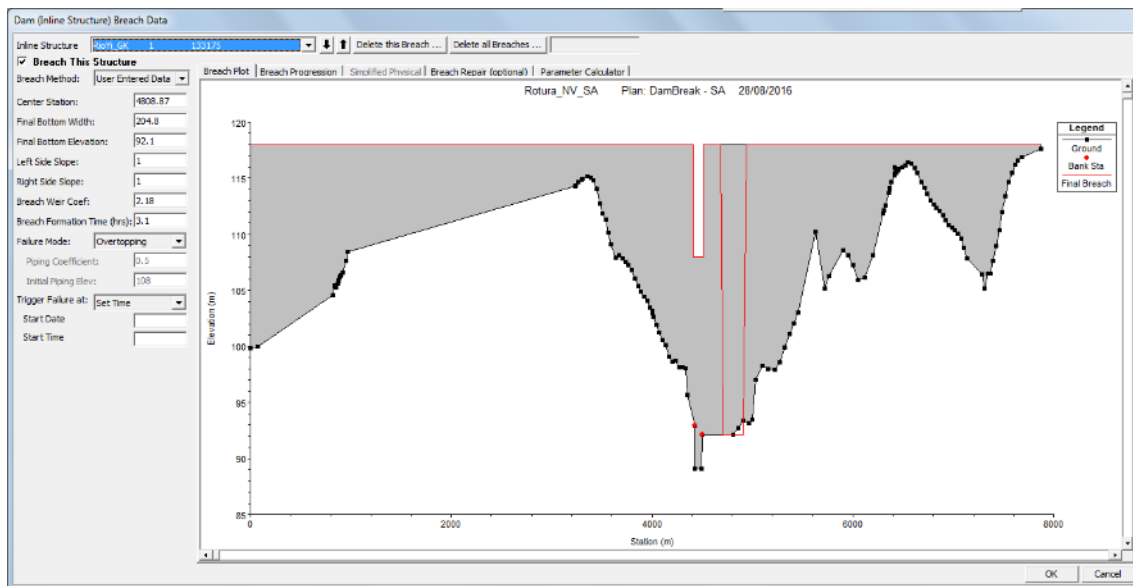


Figura 15.1-2 - Brecha Presa de Tierra

15.2 Escenarios modelados

Los escenarios a modelar se basan en recomendaciones de la “Guía Técnica para la Elaboración de Planes de Emergencia de Presas”, publicadas por el Ministerio de Medio Ambiente de España en Junio de 2001. Éstos surgen del análisis de diversas causas potenciales de rotura (avenidas, fallas estructurales de los materiales o la cimentación, etc) y corresponden a escenarios extremos que serán los que darán lugar a las situaciones más desfavorables.

Teniendo en cuenta que la estructura proyectada se trata de una presa de materiales sueltos con aliviadero central de hormigón, se analizan escenarios de rotura para cada una de sus partes, esto es: falla de los terraplenes de la presa y falla del vertedero.

Por lo tanto, los escenarios a modelar son los siguientes:

- **Escenario 1:** Rotura sin avenida
Considera al embalse en su nivel máximo normal (NMN), es decir, a nivel de vertido. Las condiciones de desagüe de la presa serán las correspondientes a su nivel máximo de explotación.
 - **Escenario 1a:** Falla de la presa
 - **Escenario 1b:** Falla del vertedero

- **Escenarios 2 y 3:** Rotura en situación de avenida
Considera al embalse con su nivel a cota de coronamiento, desaguando la avenida de proyecto (TR 1,000) y la avenida extrema (TR 10,000).
 - **Escenario 2a:** Falla de la presa – TR 1000
 - **Escenario 2b:** Falla del vertedero – TR 1,000
 - **Escenario 3a:** Falla de la presa – TR 10,000
 - **Escenario 3b:** Falla del vertedero – TR 10,000

15.2.1 Resultados

Se presentan como resultados de la modelación hidrodinámica de la rotura de presa las machas de inundación en las ciudades de Polaco del Yí y Durazno, ubicadas a 15 km y 58 km aguas debajo de la presa respectivamente, recorriendo por el cauce.

También se presentan en cada ciudad la cota de pelo de agua máximo, las velocidades en las planicies de inundación y cauce, así como también el tiempo de llegada de la onda de rotura y del pico de nivel.

Los datos se toman de las secciones sobre el puente de la Ex Ruta 5 (Durazno) y el puente de la Ruta 42 (Polanco del Yí).

Para la ciudad de Durazno se presenta también el nivel en el río Yí, considerando la cota de la escala referida al cero oficial en el puente viejo igual a + 61.06 m

15.2.1.1 Escenario 1

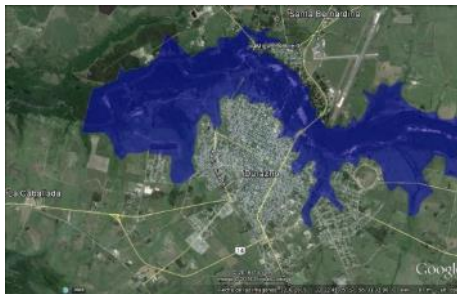
Escenario 1a



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	70.62
Nivel (m)	9.56
Velocidad cauce (m/s)	1.60
Velocidad planicie (m/s)	0.25
T Llegada onda (hs)	17
T Llegada pico (hs)	40

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	90.80
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	1.56
Velocidad planicie (m/s)	0.29
T Llegada onda (hs)	3
T Llegada pico (hs)	16

Escenario 1b



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	70.38
Nivel (m)	9.77
Velocidad cauce (m/s)	1.55
Velocidad planicie (m/s)	0.22
T Llegada onda (hs)	16
T Llegada pico (hs)	42

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	89.88
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	1.45
Velocidad planicie (m/s)	0.25
T Llegada onda (hs)	2
T Llegada pico (hs)	23

15.2.1.2 Escenarios 2 y 3

Escenario 2a



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	85.92
Nivel (m)	24.86
Velocidad cauce (m/s)	0.85
Velocidad planicie (m/s)	0.21
T Llegada onda (hs)	9
T Llegada pico (hs)	47

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	99.76
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	1.73
Velocidad planicie (m/s)	0.37
T Llegada onda (hs)	2
T Llegada pico (hs)	11

Escenario 2b



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	85.25
Nivel (m)	24.19
Velocidad cauce (m/s)	0.87
Velocidad planicie (m/s)	0.22
T Llegada onda (hs)	10
T Llegada pico (hs)	64

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	96.99
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	1.67
Velocidad planicie (m/s)	0.35
T Llegada onda (hs)	3
T Llegada pico (hs)	18

Escenario 3a



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	87.51
Nivel (m)	26.45
Velocidad cauce (m/s)	0.66
Velocidad planicie (m/s)	0.17
T Llegada onda (hs)	9
T Llegada pico (hs)	57



Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	99.89
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	2.72
Velocidad planicie (m/s)	0.62
T Llegada onda (hs)	2
T Llegada pico (hs)	10

Escenario 3b



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	87.03
Nivel (m)	25.97
Velocidad cauce (m/s)	0.64
Velocidad planicie (m/s)	0.17
T Llegada onda (hs)	12
T Llegada pico (hs)	76



Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	97.23
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	2.20
Velocidad planicie (m/s)	0.49
T Llegada onda (hs)	3
T Llegada pico (hs)	21

De los resultados anteriores resulta importante destacar que para lograr las condiciones de rotura del Escenario 2, fue necesario imponer como condición inicial del modelo un caudal de vertido de $7000 \text{ m}^3/\text{s}$, o bien una avenida igual a dos veces la avenida extraordinaria (TR 10,000), de modo de lograr que el embalse se encuentre inicialmente a cota de coronamiento.

Ésta condición inicial hace que las localidades de Polanco del Yí y Durazno se encuentren totalmente inundadas, incluso antes de que la presa rompa desagüando la avenida de proyecto y extraordinaria.

Se entiende que carece de sentido el análisis de este escenario dada la baja probabilidad de ocurrencia de la condición inicial seguida de una avenida de proyecto o extraordinaria. Es por este motivo que en lo que sigue se presentan dos nuevos escenarios con una mayor probabilidad de ocurrencia y se evalúa de igual manera la rotura tanto para la presa de tierra como para el vertedero.

15.3 Nuevos escenarios modelados

De forma de lograr escenarios de falla que sean más coherentes y permitan representar situaciones con probabilidades de ocurrencia más razonables, se plantean los siguientes escenarios:

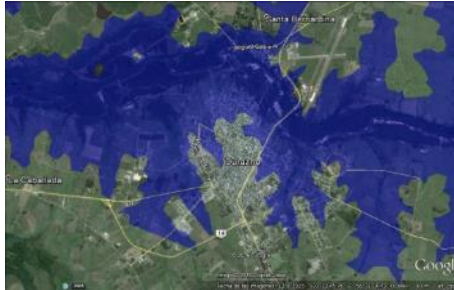
- **Escenario 4:** Rotura en situación de avenida de proyecto
Considera al embalse en su nivel máximo normal, desaguando la avenida de proyecto.
 - **Escenario 4a:** Falla de la presa
 - **Escenario 4b:** Falla del vertedero

- **Escenario 5:** Rotura en situación de avenida extraordinaria
Considera al embalse en su nivel máximo normal, desaguando la avenida extraordinaria.
 - **Escenario 5a:** Falla de la presa
 - **Escenario 5b:** Falla del vertedero

15.3.1 Resultados

15.3.1.1 Escenario 4

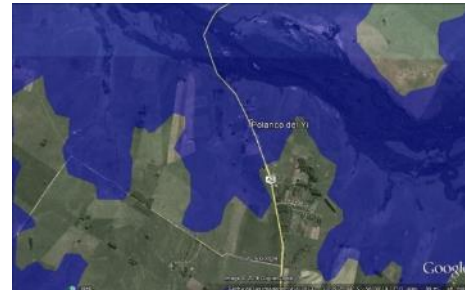
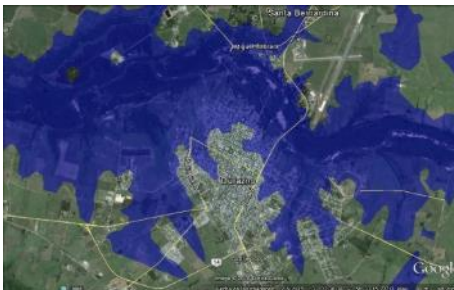
Escenario 4a



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	77.45
Nivel (m)	16.39
Velocidad cauce (m/s)	1.67
Velocidad planicie (m/s)	0.29
T Llegada onda (hs)	12
T Llegada pico (hs)	32

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	97.10
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	1.53
Velocidad planicie (m/s)	0.29
T Llegada onda (hs)	3
T Llegada pico (hs)	12

Escenario 4b

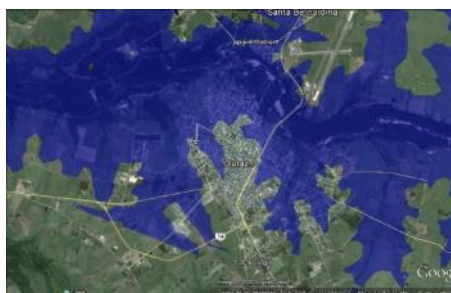


Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	76.63
Nivel (m)	15.57
Velocidad cauce (m/s)	1.67
Velocidad planicie (m/s)	0.29
T Llegada onda (hs)	13
T Llegada pico (hs)	41

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	97.10
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	1.53
Velocidad planicie (m/s)	0.28
T Llegada onda (hs)	2
T Llegada pico (hs)	20

15.3.1.2 Escenario 5

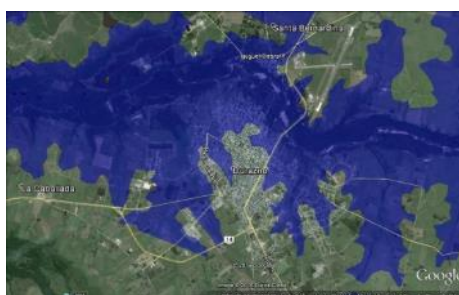
Escenario 5a



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	78.53
Nivel (m)	17.47
Velocidad cauce (m/s)	1.84
Velocidad planicie (m/s)	0.43
T Llegada onda (hs)	11
T Llegada pico (hs)	32

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	97.97
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	2.43
Velocidad planicie (m/s)	0.54
T Llegada onda (hs)	3
T Llegada pico (hs)	15

Escenario 5b



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	78.11
Nivel (m)	17.05
Velocidad cauce (m/s)	0.91
Velocidad planicie (m/s)	0.21
T Llegada onda (hs)	12
T Llegada pico (hs)	75

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	95.94
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	2.05
Velocidad planicie (m/s)	0.45
T Llegada onda (hs)	2
T Llegada pico (hs)	9

15.4 Conclusiones

Del análisis anterior se desprende que los escenarios a evaluar son los escenarios 1, 4 y 5 correspondientes a la represa a nivel de vertido, sin evento extraordinario, con la avenida de diseño y con la avenida extraordinaria respectivamente.

Se decide no considerar los escenarios 2 y 3 propuestos por la Guía Técnica para la elaboración de Planes de Emergencia de Presas debido a que los mismos tienen una menor probabilidad de ocurrencia respecto a los nuevos propuestos. Es decir, es probable que la represa falle antes de alcanzar la condición inicial de los escenarios 2 y 3 donde el nivel de agua del embalse se encuentra a nivel de coronamiento.

De los escenarios considerados (1, 4 y 5) se concluye que el **escenario 5**, cuya condición inicial es el embalse a cota de vertido y desaguando la avenida extraordinaria de 10,000 años de período de retorno, es la que genera mayores consecuencias en las localidades aguas abajo de la represa.

En este caso se cuantifican las consecuencias de la rotura con el área inundada de las localidades, el nivel de agua en los puentes más cercanos de cada localidad, las velocidades en el cauce y en la planicie de inundación y los tiempos de llegada de la onda de rotura y del pico de caudal.

En particular se observa que la rotura de la presa de tierra (Escenario 5a) genera niveles de agua mayores que cuando la rotura se da en el vertedero (Escenario 5b). Como consecuencia las curvas de inundación también son mayores. Respecto a los tiempos de llegada de la onda, la variación no es significativa entre la rotura de un elemento o el otro. En cambio, los tiempos de llegada del pico del hidrograma son aproximadamente el doble en la situación de rotura del vertedero en comparación con la rotura de la presa de tierra. Estas diferencias se explican por la geometría de la brecha en cada caso, siendo más ancha en la rotura de la presa de tierra. Se destaca que esta situación se da en todos los escenarios planteados.

Concluyendo definimos que el peor escenario planteado es el 5a, correspondiente a la rotura de la presa de tierra con el embalse a cota de vertido y desaguando la avenida extraordinaria.

Esta condición genera en la ciudad de Durazno, sobre el puente de la ex Ruta 5, un nivel de agua de 17.47 m, 4.52 m por encima de la máxima creciente ocurrida a la fecha (mayo 2007) que generó un nivel de 12.95 m en el mismo lugar.

En mayo de 2007 el área inundada de la ciudad de Durazno fue de 15.5 km², de ocurrir la rotura de la presa con las condiciones del escenario 5a el área inundada se extiende a 27.6 km². En términos de padrones inundados, en el primer caso se inunda 1,870 padrones y en situación de rotura la cantidad asciende a 5,842 padrones.

En la siguiente ilustración se muestran los mapas de inundación de mayo de 2007 y del escenario de rotura 5a.

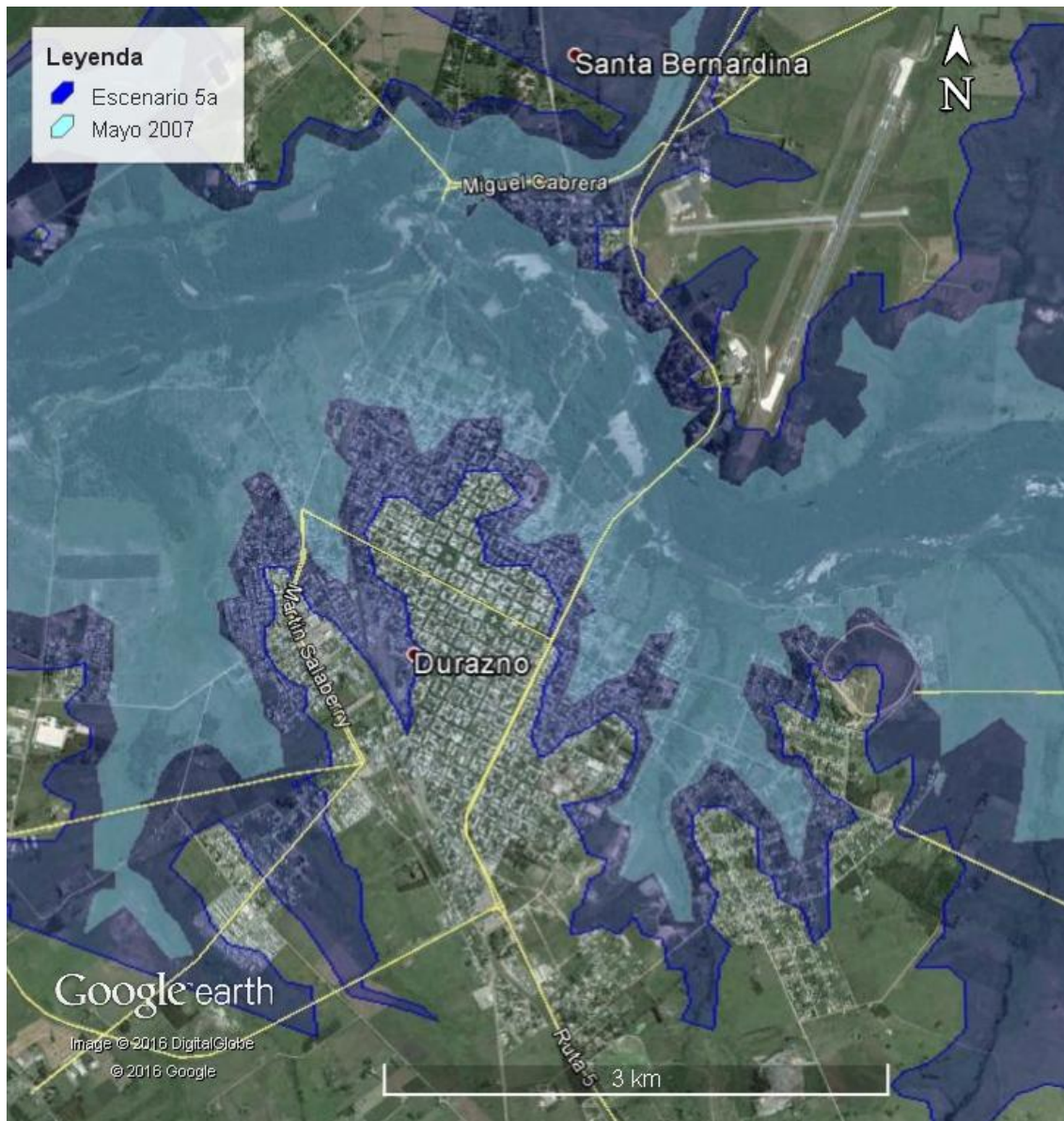


Figura 15.4-1 - Curvas de inundación Escenario 5a y Mayo 2007

La onda de crecida llega a Durazno en aproximadamente 11 horas, mientras que su pico lo hace 21 horas después.

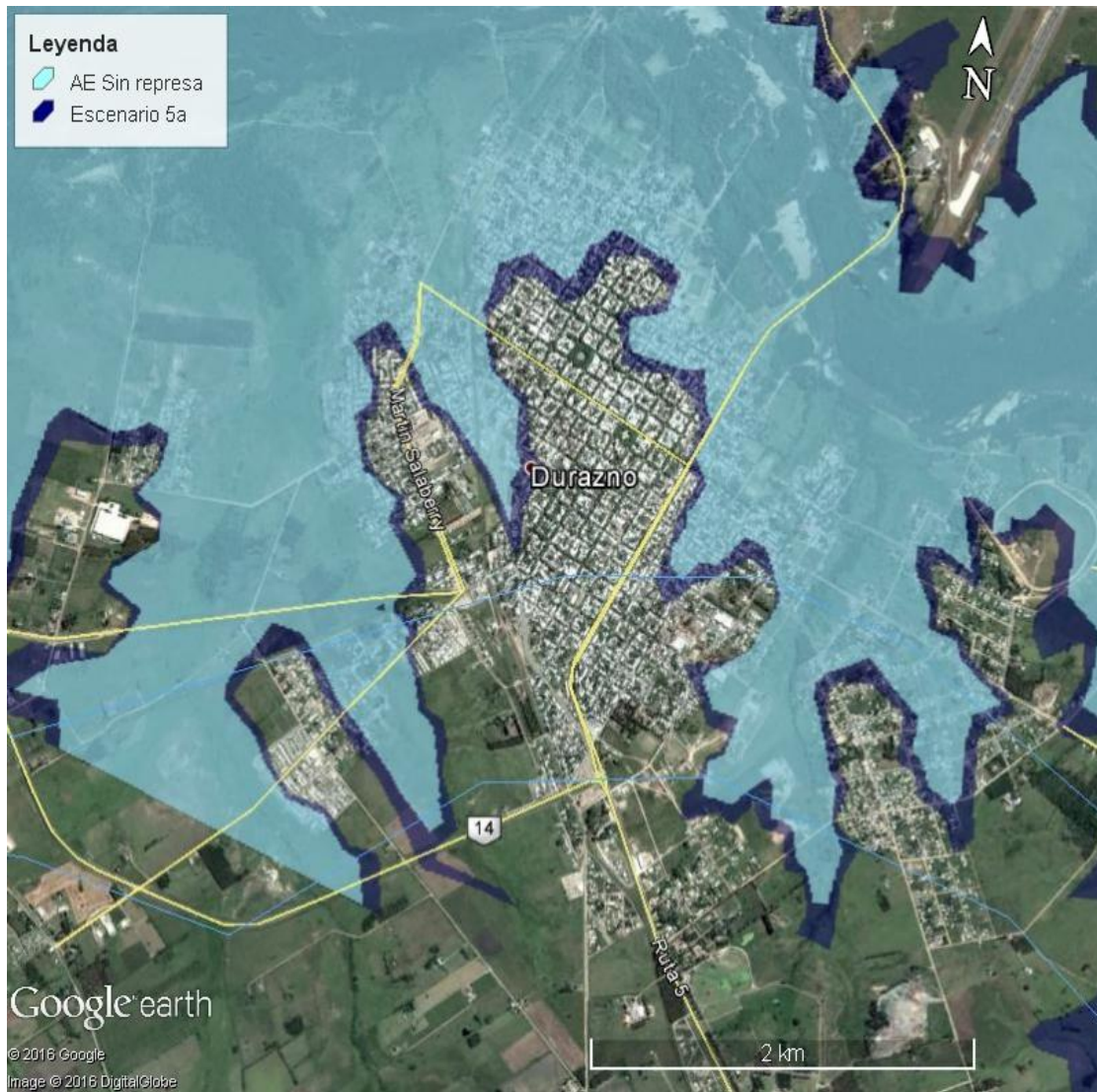
En la localidad de Polanco del Yí la situación se agrava debido a su cercanía a la represa, la onda de la rotura demora en llegar solamente 3 horas y su pico se da 12 horas después. La localidad de Polanco del Yí queda totalmente bajo agua de ocurrir la rotura, siendo la cota del pelo de agua en el puente de la Ruta N° 42 de 97.97 msnm.

Respecto a las velocidades en el cauce se observan cercanas a los 2.5 m/s en Polanco del Yí y del orden de 1.8 m/s en Durazno. Estos valores se consideran elevados respecto a los valores normales de velocidad en el cauce.

A su vez se comparan las superficies de inundación del escenario de rotura 5a con la situación de avenida extrema sin la presencia de la represa. En este caso el área inundada es de 24.4 km². Si se compara con el área inundada en caso de la rotura de la

represa para la avenida extrema que como se menciona anteriormente es de 27.6 km² se nota que la diferencia no es significativa.

Esto se puede observar en la imagen siguiente.



16. INFLUENCIA DE LA REPRESA

Se analizan en este apartado los efectos que tiene la instalación de la represa sobre el Río Yí. Se mencionan tanto los aspectos positivos como los aspectos negativos que se visualizan.

Se estudia cómo influye en las inundaciones que ocurren periódicamente en la ciudad de Durazno y también se analiza la generación de energía de la represa diseñada.

Finalmente se analiza cómo afecta la presencia de la represa a la actividad agraria que se realiza actualmente en los campos donde se instalará la misma.

16.1 Efecto sobre las inundaciones.

Para analizar el efecto de las inundaciones se realiza un modelo del Río Yí con y sin la presencia de la represa, utilizando el software HEC-RAS, y se analizan como varían los niveles en la ciudad de Durazno en las dos situaciones.

El análisis se realiza considerando la tormenta de diseño del NRCS para diferentes períodos de retorno. Se modelaron tormentas con Tr: 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500 y 1000 años.

Se comparan los niveles en los puentes nuevo y viejo de la ciudad para las dos situaciones en cada tormenta y utilizando el software ArcGis 10.1 con los resultados obtenidos del HEC-RAS se modelan las curvas de inundación (ver Anexo IV).

Se analiza también la cantidad de padrones afectados en cada caso y se estima la cantidad de personas afectadas, considerando 2.6 personas por padrón. Este valor se obtuvo con la cantidad de padrones afectados en una tormenta con periodo de retorno 500 años, ya que se contaba con el dato de la tormenta de Mayo de 2007 que corresponde a 596 años de periodo de retorno y 6000 evacuados.

A continuación, se presenta una tabla con los niveles en los puentes y la diferencia de niveles que genera la presencia de la represa para cada tormenta modelada. Además se presenta una tabla con la cantidad de padrones afectados en las dos situaciones para cada tormenta. Se calcula el porcentaje de padrones afectados en cada caso con respecto al total de padrones de la ciudad de Durazno. Se calcula además la cantidad de padrones que se dejarían de inundar gracias a la presencia de la represa y la relación de esta diferencia con los padrones afectados sin la represa.

La configuración de manzanas y padrones se obtuvo de la página Infraestructura de Datos Espaciales (ide.uy) de Presidencia de la República, en donde se encuentra disponible para descarga dicha información. La cantidad de padrones que tiene la ciudad de Durazno en total es 9,720. Este análisis se hace únicamente para la ciudad.

Cabe mencionar que este estudio se realiza considerando que la represa comienza vacía al inicio de la lluvia.

Tabla 16.1-1 Cotas en los puentes

Tiempo de retorno (años)	Cota máxima de agua puente nuevo (m)			Cota máxima de agua puente viejo (m)		
	Sin represa	Con represa	Diferencia	Sin represa	Con represa	Diferencia
2	71.48	69.03	2.45	70.24	68.09	2.15
5	72.74	70.61	2.13	71.33	69.48	1.85
10	73.43	71.55	1.88	71.94	70.31	1.63
20	74.04	72.33	1.71	72.48	70.97	1.51
50	74.77	73.16	1.61	73.12	71.72	1.4
100	75.27	73.72	1.55	73.56	72.22	1.34
500	76.31	74.88	1.43	74.58	73.2	1.38
1000	76.72	75.33	1.39	74.98	73.7	1.28

Tabla 16.1-2 Padrones afectados

Tiempo de retorno (años)	Sin presa	% del total	Con presa	% del total	Diferencia	Diferencia/ Padrones sin presa
2	394	4%	61	1%	333	85%
5	819	8%	209	2%	610	74%
10	1117	11%	407	4%	710	64%
20	1345	14%	683	7%	662	49%
50	1664	17%	998	10%	666	40%
100	1920	20%	1197	12%	723	38%
500	2508	26%	1718	18%	790	31%
1000	2717	28%	2006	21%	711	26%

Tabla 16.1-3 Personas afectadas

Tiempo de retorno (años)	Sin presa	Con presa	Diferencia
2	1021	158	863
5	2123	542	1581
10	2895	1055	1840
20	3486	1770	1716
50	4313	2587	1726
100	4976	3102	1874
500	6500	4453	2047
1000	7042	5199	1843

En las siguientes imágenes se representa en área de padrones desafectados por las inundaciones en caso de que la represa sea construida.

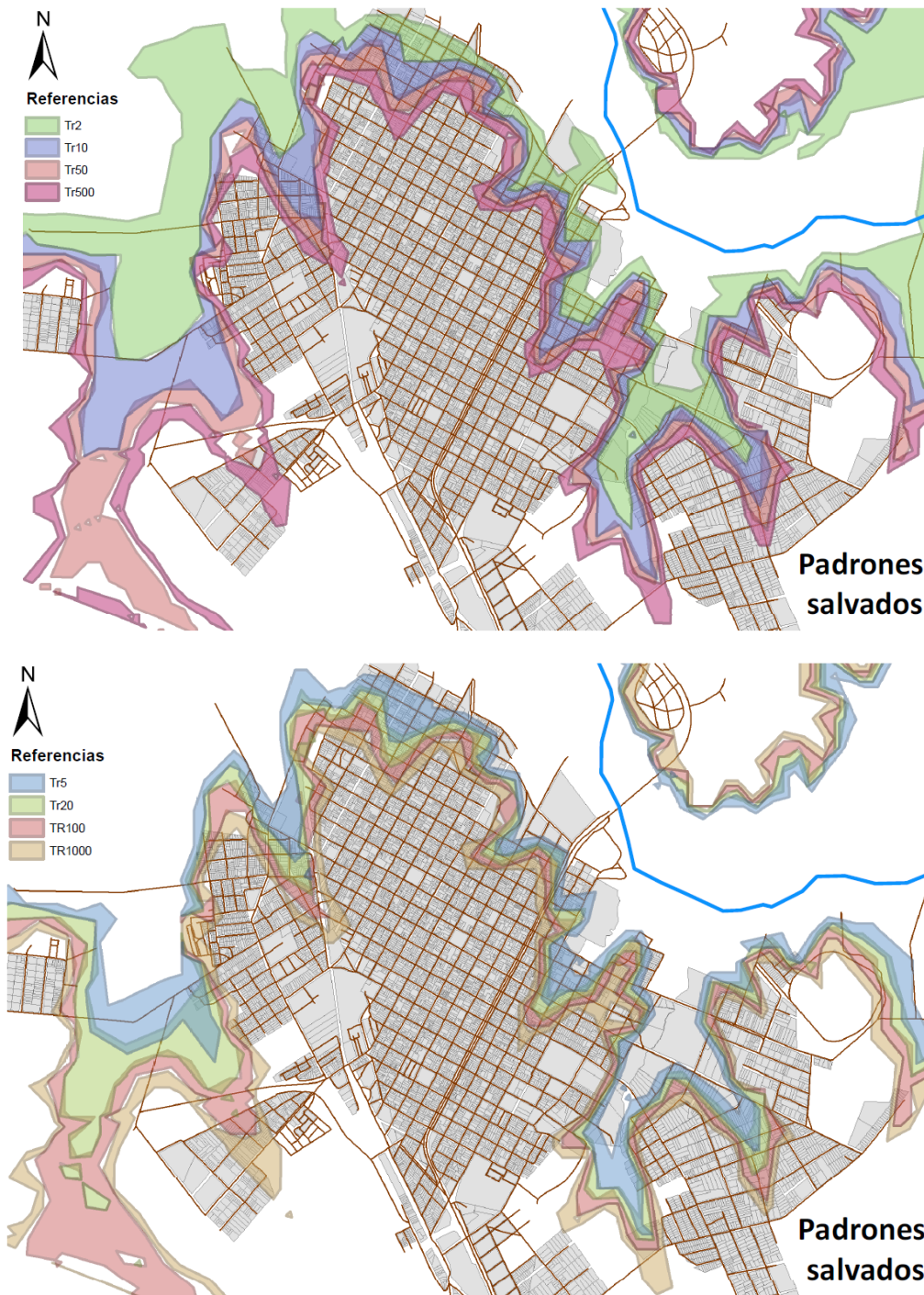


Figura 16.1-1 - Padrones desafectados por las inundaciones en presencia de la represa

Como ya se mencionó, este estudio se realizó considerando que la represa comienza vacía al inicio de la lluvia.

Teniendo en cuenta el descargador de fondo que se dimensionó y analizó en el Capítulo 12.6, en el tiempo que se tendría para realizar el vaciado de la represa se alcanzaría a bajar 7 metros de nivel. Es decir, si la represa está llena, a cota de vertido 108 msnm, el descargador de fondo es capaz de bajar el nivel hasta 101 msnm, esto equivale a un 25% del volumen del embalse. Por lo tanto, se decide evaluar también el efecto de la represa sobre las inundaciones en Durazno considerando que la represa tiene un nivel de 101 msnm al inicio de la tormenta.

Para evaluar dicha situación se utilizó el modelo HEC-RAS y se impuso como condición inicial el nivel 101 msnm en el embalse y se evaluaron las mismas tormentas que se presentaron anteriormente.

Los resultados obtenidos no se diferenciaron significativamente de los anteriores. Las curvas de inundación quedan prácticamente iguales, por lo que no se presentará nuevamente el mismo análisis.

De modo de evidenciar dichos resultados sin ser reiterativos en el análisis se presenta un cuadro comparativo de las superficies que ocupan las curvas de inundación con las dos situaciones planteadas.

Tabla 16.1-4 Comparación de áreas de inundación

TR (años)	Área de inundación (ha)	
	Embalse vacío	Embalse 25% lleno
2	674	901
5	1053	1096
10	1152	1196
20	1241	1280
50	1388	1415
100	1481	1504
500	1670	1687
1000	1791	1799

16.1.1 Conclusiones

- De este análisis se puede concluir que el efecto que produce la presencia de la represa es, como era esperable, mejor para tormentas de bajas recurrencias. Por ejemplo, para la tormenta con recurrencia 2 años se disminuye un 85% de los padrones inundados, mientras que para la de recurrencia 1000 años esta disminución es del 26%.
- Si bien no es un cambio significativo para la ciudad debido a que no evita que las casas se inunden, se considera que es positiva a los efectos de disminuir la cantidad de casas inundadas y personas evacuadas.
- Comparando las superficies de inundación y analizando los niveles en los puentes para distintos tiempos de retorno se realizó una correspondencia entre curvas de inundación con y sin represa respecto al área que ocupa dicha curva. Es decir, por ejemplo en la situación sin represa la curva de inundación de una lluvia con $Tr = 1000$ años es similar a la curva de inundación que provoca una lluvia con recurrencia 100 años con la existencia de la represa.

Tabla 16.1-5 Tiempos de retorno

Tr (años)	Con represa	10	20	50	100	500	1000
	Sin represa	2	5	10	20	50	100

16.2 Generación de energía hidroeléctrica

Uno de los fines principales de la represa es la instalación de una pequeña central hidroeléctrica. Una central hidroeléctrica es el conjunto de instalaciones realizadas con el objetivo de transformar la energía hidráulica en energía eléctrica útil, cuyo destino es autoconsumo o venta a la red eléctrica.

Si bien no existe un consenso para definir los límites de la clasificación de las centrales hidroeléctricas, basándonos en la propuesta de clasificación realizada por ONUDI, las PCH son aquellas que tienen una potencia instalada de entre 2 y 10 MW²⁸. En cambio, la propuesta de OLADE maneja el rango entre 0.5 y 5 MW²⁹ y CEDECAP maneja un límite entre 1MW y 10 MW²⁹.

La energía hidroeléctrica es renovable y la más relevante dentro de la matriz energética nacional.

El funcionamiento de la central hidroeléctrica permite el aprovechamiento de una fuente de energía renovable, el agua, y no produce emisiones de dióxido de carbono ni de otros contaminantes. Aún más, los costos de mantenimiento y explotación asociados a este tipo de centrales son más bajos comparados con los de las centrales térmicas.

En Uruguay está muy bien desarrollada la generación hidroeléctrica a gran escala, existen cuatro centrales hidroeléctricas: Salto Grande, Palmar, Gabriel Terra y Baygorria pero actualmente no existen pequeñas centrales conectadas a la red eléctrica.

El Poder Ejecutivo ha establecido un plan de políticas energéticas en el que prioriza la utilización de energías renovables. El objetivo general en el eje de la oferta de energía de dicho plan establece: "Diversificación de la matriz energética, tanto de fuentes como de proveedores, procurando reducir costos, disminuir la dependencia del petróleo y buscando fomentar la participación de fuentes energéticas autóctonas, en particular las renovables. Este proceso propiciará la transferencia de tecnología y el desarrollo de capacidades nacionales y procurará minimizar el impacto medioambiental del sector."³⁰

Dentro de las líneas de acción del mismo plan se menciona "Diseñar mecanismos para impulsar la introducción de micro generación hidráulica."

²⁸ IMFIA (2012). Características ambientales de proyectos de PCH en el Uruguay

²⁹ MIEM-DNETN, ONUDI (2010). *Proyecto Observatorio de Energías Renovables. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) en Uruguay*

³⁰ MIEM-DNETN. *Política Energética 2005-2030*.

Es por este motivo que se valora como positivo el aprovechamiento del potencial del Río Yí para la generación de energía hidroeléctrica.

La represa diseñada prevé una potencia instalada de 13 MW y una generación de energía anual máxima de 117 GWh. Estos valores son estimativos y se deberán ajustar en una etapa posterior de selección final de equipos.

Para tener una referencia comparativa y dado que no existen pequeñas centrales hidroeléctricas en el territorio nacional se resumen y presentan las características de la represa diseñada y de las cuatro centrales hidroeléctricas de Uruguay.

Tabla 16.2-1 Características de las represas

	Río Yí	Salto Grande	Gabriel Terra	Baygorria	Palmar
Área de cuenca (km ²)	4821	224000	39700	43900	62950
Volumen del embalse (Hm ³)	368	5000	8800	570	2854
Área del embalse (Km ²)	42	783	1070	100	320
Altura presa desde la cimentación (m)	29	69	51	46	66
Longitud presa (m)	3982	2487	1170	708	2080
Longitud vertedero (m)	100	361	163	146	140
Salto óptimo (m)	15	25	28	15	27
Potencia total instalada (MW)	13	1890	160	108	333
Cantidad de turbinas	5	14	4	3	3

16.3 Aspectos negativos de la construcción de la represa.

La ubicación de la represa genera un lago permanente a nivel de cota de vertido, esto implica que los padrones que quedan por debajo de la cota de vertido (CV = 108 msnm) que hoy tienen fines productivos dado que son padrones rurales, quedaran inutilizados. Se presentan las características de los suelos que se verán afectados.

Tabla 16.3-1 Padrones afectados por el lago permanente

Departamento	Número Padrón	Área total (ha)	Área inundada (ha)	% Área inundada
Durazno	1111	2.8	2.8	100%
Durazno	3756	3.1	3.1	100%
Durazno	5025	3.4	3.4	100%
Durazno	5040	4.7	4.7	100%
Durazno	6028	4.5	4.5	100%
Durazno	4667	3.3	3.3	100%
Durazno	5203	100.8	85.7	85%
Durazno	11707	255.0	216.1	85%
Durazno	1088	17.7	14.2	80%

Departamento	Número Padrón	Área total (ha)	Área inundada (ha)	% Área inundada
Durazno	4970	48.2	35.7	74%
Durazno	1088	59.7	43.7	73%
Durazno	1107	47.5	32.0	67%
Durazno	1102	84.1	56.0	67%
Durazno	10474	63.4	42.2	67%
Florida	11964	1817.4	1193.6	66%
Durazno	10473	40.1	26.0	65%
Durazno	1100	213.1	136.3	64%
Durazno	7130	668.7	423.3	63%
Durazno	4916	56.2	34.7	62%
Durazno	1101	14.3	8.0	56%
Durazno	3620	48.2	25.6	53%
Durazno	1108	37.4	19.3	52%
Durazno	10881	94.3	46.0	49%
Durazno	3407	34.8	16.6	48%
Durazno	7129	714.9	330.2	46%
Durazno	5208	92.6	42.2	46%
Florida	4959	100.4	45.7	46%
Durazno	3617	27.4	12.3	45%
Durazno	5168	105.6	46.0	44%
Durazno	1104	34.6	13.2	38%
Durazno	1109	199.3	70.4	35%
Durazno	3615	76.6	26.9	35%
Durazno	1103	135.3	39.7	29%
Durazno	4718	64.3	18.5	29%
Durazno	3435	26.6	7.3	28%
Durazno	11706	1397.2	380.5	27%
Durazno	9479	278.4	75.7	27%
Durazno	3616	85.5	22.8	27%
Florida	11972	1976.1	501.6	25%
Durazno	10019	239.2	60.2	25%
Durazno	10946	120.9	29.3	24%
Durazno	1105	95.0	22.3	24%
Durazno	5774	33.8	6.8	20%
Durazno	1112	201.2	36.1	18%
Florida	2241	87.3	14.3	16%
Durazno	8975	87.3	14.2	16%
Durazno	1098	32.3	5.2	16%
Durazno	1871	30.7	4.1	13%
Durazno	6137	1677.2	216.5	13%
Durazno	10947	29.5	3.8	13%
Durazno	10880	136.8	16.0	12%

Departamento	Número Padrón	Área total (ha)	Área inundada (ha)	% Área inundada
Florida	11973	1972.3	217.9	11%
Durazno	3617	49.9	4.7	9%
Florida	11937	1293.6	97.1	8%
Durazno	6041	150.6	4.5	3%
Durazno	3435	52.3	0.7	1%
Durazno	3588	44.7	0.4	1%
Durazno	1114	477.1	4.4	1%
Florida	11971	1544.6	13.0	1%

Los padrones afectados son 60, 8 pertenecientes al departamento de Florida y 52 ubicados en el territorio de Durazno. Estos padrones serán afectados cuando el lago se encuentre a cota de vertido, sin embargo en ocasiones el embalse inundará áreas mayores pudiendo afectar otros padrones.

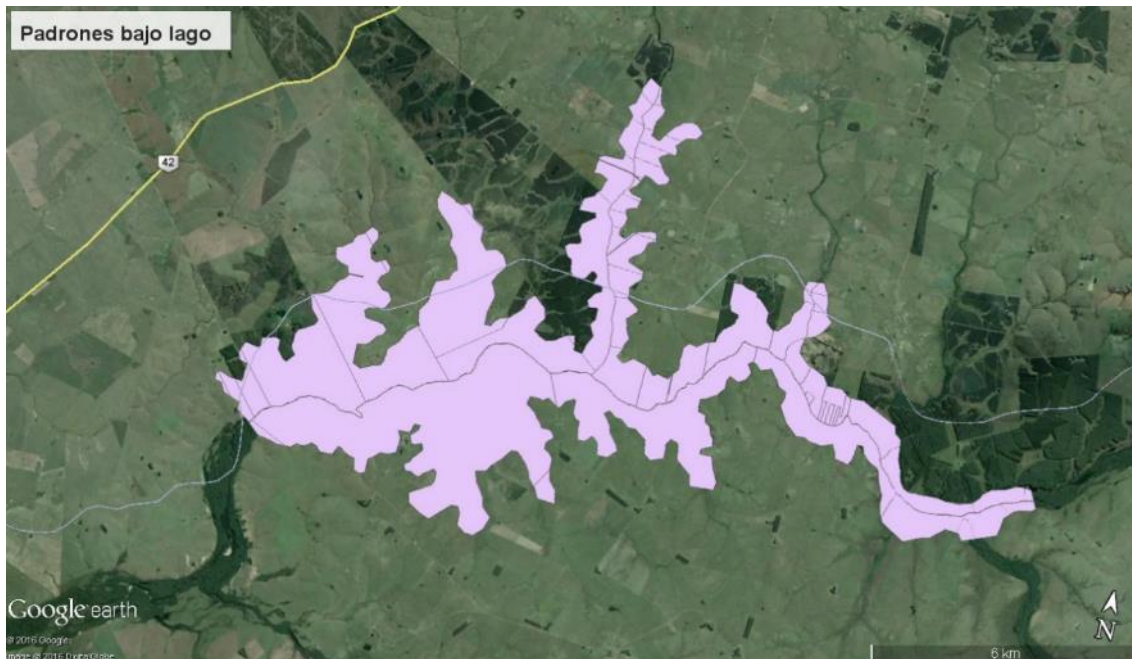


Figura 16.3-1 Padrones bajo lago a cota de coronamiento

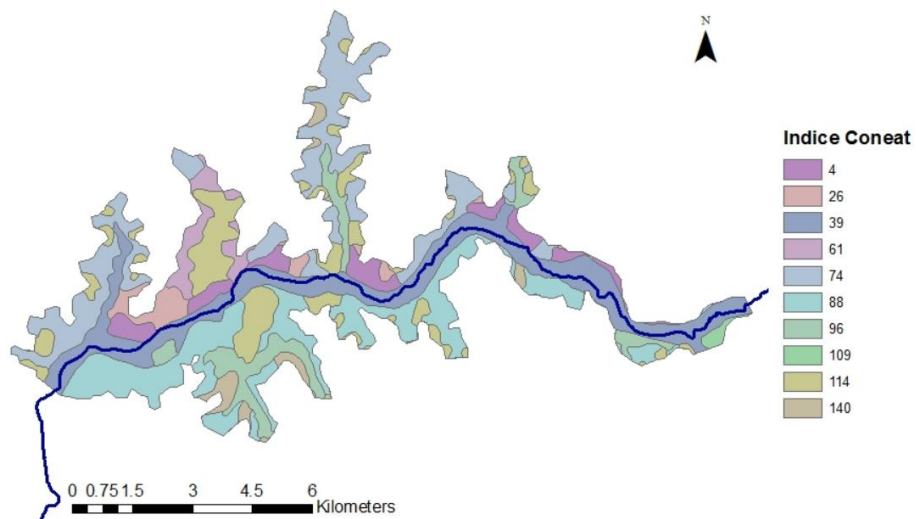


Figura 16.3-2 Coneat padrones inundados

El índice CONEAT ponderado del área inundada es 72.

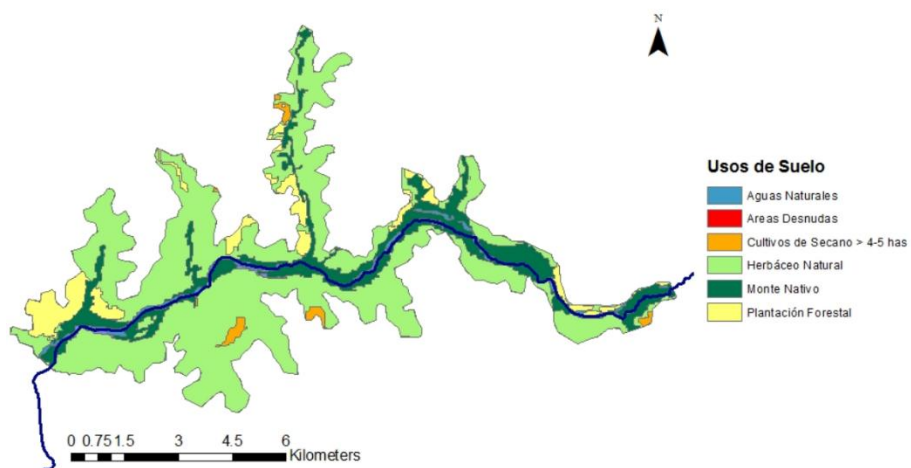


Figura 16.3-3 Uso de suelo de los padrones inundados

Del total del área inundada, 11% corresponde a uso forestal , 19% a monte nativo, 69% a pradera y 1% a cultivos.

17. COSTOS

17.1 Hipótesis de cálculo

Con el fin de dar un costo estimativo de la obra en su totalidad se asumen las siguientes hipótesis:

- El volumen de tierra necesario para la construcción del dique se calcula como la semisuma de las secciones trapezoidales a lo largo del dique, multiplicadas por la distancia entre ellas.
El volumen de tierra se asume con un costo unitario de U\$S 5 por m³ de tierra.
- El volumen de hormigón se calcula como el área de la sección transversal del vertedero Ogee fundado hasta la roca, multiplicada por su ancho de 100 m.
El volumen de hormigón, considerando que el mismo será de buena calidad, se asume con un costo unitario de U\$S 600 por m³ de hormigón.
- Se considera el costo de obras anexas necesarias para la construcción de la represa, tales como caminos, etc., como un 30 % adicional del costo del volumen de tierra.
- El costo de expropiación corresponde al área del lago a cota de vertedero, +108.0 m, multiplicado por el costo de una hectárea.
El valor de la hectárea en la zona de inundación del lago se asume con un costo de U\$S 3,300 la hectárea.³¹
- El equipamiento electromecánico se considera de U\$S 2,500 por kW de potencia generado.
- El costo de tendido de líneas de transmisión para conducir la electricidad generada hasta la red eléctrica nacional se asume de U\$S 75,000 por cada km de tendido.

Se observó que el tendido de red de media tensión más cercano se ubica al norte de la ciudad de Villa del Carmen, a aproximadamente 34 km del cierre de la represa transitando por caminería existente.

³¹ SERIE "PRECIO DE LA TIERRA" Compraventas Año 2015 Página Web: www.mgap.com.uy

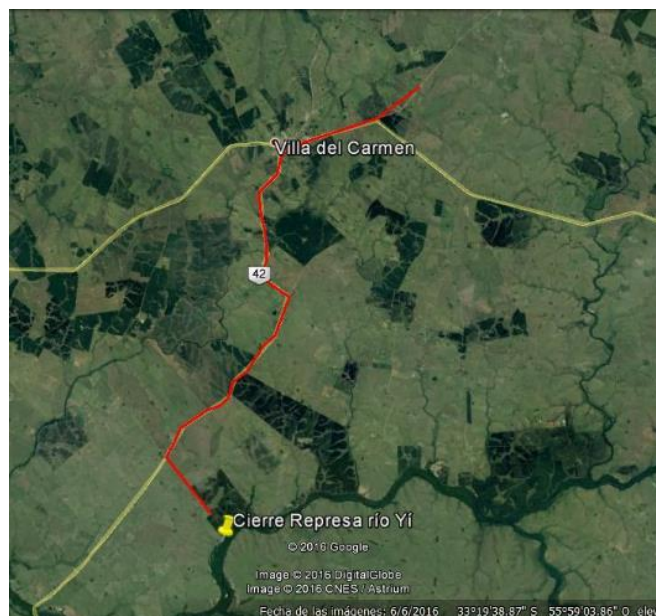


Figura 17.1-1 Imagen satelital - Recorrido línea de transmisión

El puesto de conexión se estimó con un valor global de U\$S 60,000.

En la Tabla 17.3-1 se muestra el desglose de costos y el costo total de la obra.

17.2 Retorno de la Inversión

El análisis del retorno de la inversión se realiza considerando los costos de inversión, operación, mantenimiento y la retribución asociada a la generación de energía.

Se estima para el costo de operación y mantenimiento de la presa y central hidroeléctrica, un valor de U\$S 400.000 anuales. Este valor comprende el salario nominal de 2 operarios por turno considerando 2 turnos al día, repuestos para reparación de equipamiento, mantenimiento de la obra civil, compra o renovación de algún instrumento menor o herramienta, lubricación, transporte para el personal, entre otros.

En base al cálculo realizado en la Sección 10.6, se estima que la retribución por generación de energía es de U\$S 2,332,105 anuales.

El saldo neto anual de la operación es de U\$S 1,932,105. Por lo tanto, la inversión de U\$S 82,577,847 se repagaría en 43 años.

Por otro lado, si se considera el beneficio anual por concepto de ahorro por la disminución de la magnitud de las inundaciones en la ciudad de Durazno, que se estima en U\$S 458,640, el repago de la inversión se realizará en 35 años.

Cabe aclarar que el mencionado ahorro se calcula como el promedio del ahorro total en la serie de 22 años de datos (sección 10.3.2).

17.3 Resumen de costos

Tabla 17.3-1 Costos de la represa

ID	Rubro	Cantidad		Costo unitario	Costo total
1 Obras civiles					
				U\$S	U\$S
1.1	Volumen de tierra	2,139,576	m ³	5	10,697,882
1.2	Volumen de hormigón	31,140	m ³	600	18,684,000
1.3	Obras anexas (caminería, etc)	1	u	3,209,365	3,209,365
Costo de expropiación de tierras a					
2 expropiar					
2.1	Costo de expropiación	4,202	ha	3300	13,866,600
3 Equipamiento electromecánico					
3.1	Equipamiento	13,404	kW	2,500	33,510,000
4 Líneas de transmisión					
4.1	Puesto de conexión	1	u	60,000	60,000
4.2	Línea de transmisión	34	km	75,000	2,550,000
Total					82,577,847

18. CONCLUSIÓN

Con el fin de diseñar una represa multipropósito que sea capaz de controlar las inundaciones en la ciudad de Durazno y generación hidroeléctrica, se analizaron en base a criterios económicos y socio-ambientales, un total de 10 puntos a los largo del río Yí.

El resultado obtenido consiste en una represa ubicada a 44 km aguas arriba de la Ciudad de Durazno y 11 km aguas arriba de Polanco del Yí.

Considerando el uso del embalse para la amortiguación de crecidas es evidente que la mejor condición se dará cuando el embalse se encuentre vacío. Por el contrario, la generación hidroeléctrica requiere que el embalse se encuentre siempre lleno de manera de alcanzar el mayor salto lográble. Estas condiciones óptimas de operación para cada uso reflejan una cierta incompatibilidad.

A pesar de esto, se propone una operación de los niveles en el embalse que permita obtener los mejores resultados de cada uso. Esto es, generar energía la mayor parte del tiempo con el mayor salto posible, y en caso de pronosticarse eventos extremos de precipitación vaciar el embalse para amortiguar las inundaciones en la ciudad de Durazno tanto como sea posible.

Si bien el uso del agua del embalse con fines de riego supera el alcance del presente estudio, es importante destacar que en caso de construirse la represa, ésta podría contemplar este tercer uso.

Se observa que la represa influye positivamente sobre las inundaciones disminuyendo la cantidad de población afectada de la ciudad de Durazno, como consecuencia de una reducción en las cotas máximas registradas en la ciudad en los diferentes eventos extremos.

El siguiente gráfico, cuyos datos se extraen de la Tabla 16.1-1, representa las cotas máximas en la sección del cauce correspondiente al puente “viejo” en la situación con y sin represa y la diferencia entre ambas situaciones.

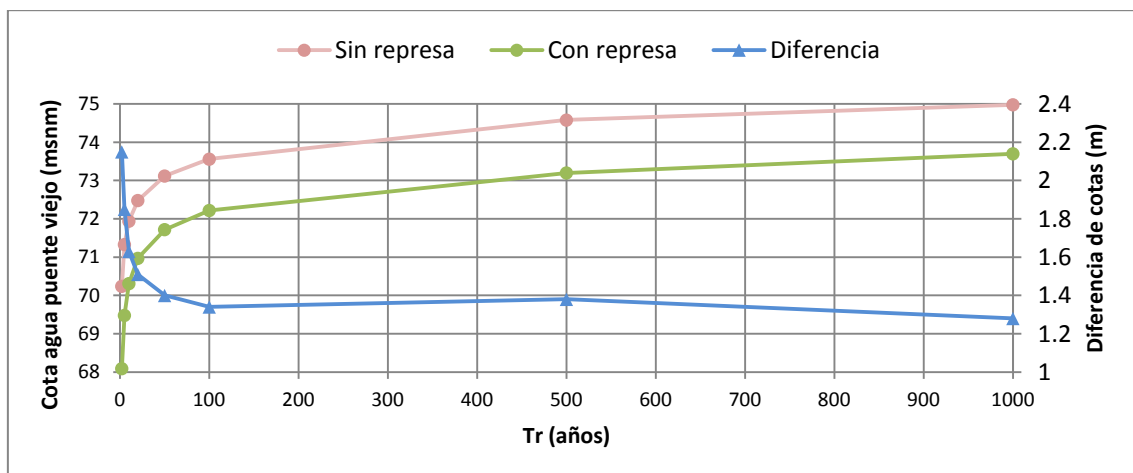


Figura 18-1 – Influencia de la represa en las cotas máximas de agua en Puente “Viejo” Ex Ruta N°5

Se observa que al incrementar el tiempo de retorno, la diferencia tiende a un valor casi constante, lo cual es de esperarse ya que el comportamiento de los eventos extremos frente al tiempo de retorno es de tipo logarítmico.

Es notorio además, que la diferencia de cotas que genera la construcción de la represa en esta situación es mayor cuanto menor es el tiempo de retorno del evento de precipitación ocurrido.

Tal es así que la diferencia para una tormenta de 2 años de período de retorno es de 2.15 m y para una tormenta de 5 años es de 1.85 m. Aumentando 3 años la recurrencia el cambio en los niveles disminuye un 14 %.

Si llevamos este análisis a eventos con tiempo de retorno de 1,000 años la influencia sobre los niveles desaparece hasta en un 40 % respecto a la mejoría obtenida para la tormenta de 2 años de período de retorno.

Es decir, **la construcción de la represa permite disminuir los niveles con mayor eficiencia cuando las tormentas ocurridas son de períodos de retorno bajos.**

Analizando la influencia respecto a la cantidad de padrones desafectados con la construcción de la represa, la relación es similar a la presentada anteriormente, donde la mayor desafectación de padrones se da para eventos con períodos de retorno más bajos, alcanzando hasta un 85 % de padrones desafectados respecto a los inundados en la situación sin represa para un período de retorno de 2 años.

Si bien a priori podemos ver que los resultados son alentadores en lo que respecta a la influencia que la represa tiene sobre las inundaciones en la ciudad de Durazno, debemos ser críticos y mencionar que si bien la represa permite desafectar a parte de la población que antes se veía golpeada fuertemente por esta situación, muchos duraznenses continuarán sufriendo las consecuencias de las inundaciones, a pesar de la construcción de la represa.

En el grafico a continuación se muestra el porcentaje de padrones respecto del total de padrones en la ciudad de Durazno que se ven afectados por las inundaciones aún con la construcción de la represa y de igual manera la población aún afectada respecto de la población total en la ciudad.

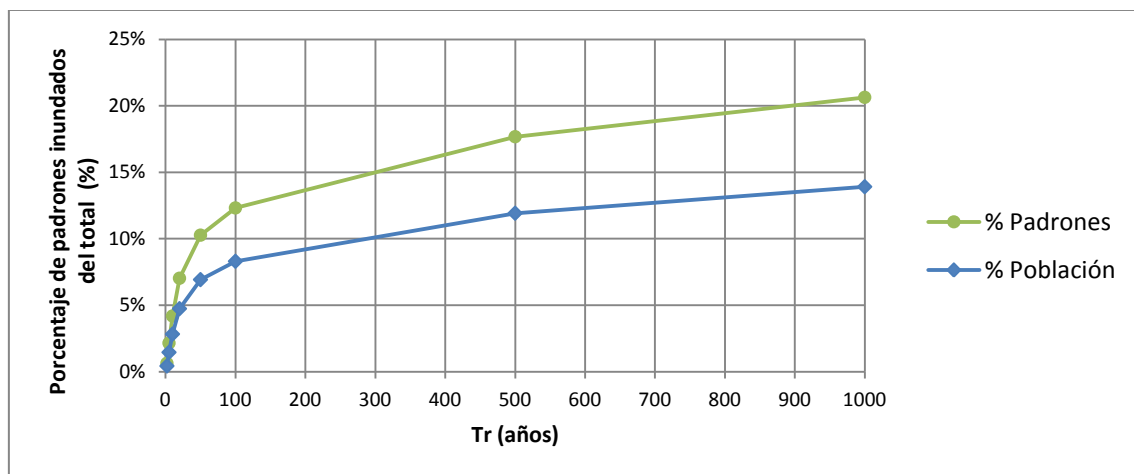


Figura 18-2– Influencia de la represa en el porcentaje de padrones inundados

A modo de comparar esta situación con la actual, observamos que en la máxima inundación en magnitud ocurrida hasta la fecha (Mayo 2007) que tiene un período de retorno de 600 años, el porcentaje de población afectada fue de aproximadamente un 20 % respecto a la población total. Con la represa se obtiene que el porcentaje de población inundada será del 12 % respecto a la población total de la ciudad.

Realizando una correspondencia entre curvas de inundación con y sin represa respecto al área que ocupa dicha curva, se observa que la presencia de la represa permite disminuir hasta un orden el tiempo de recurrencia de los eventos. Por ejemplo en la situación sin represa la curva de inundación de un evento extremo con $Tr = 1000$ años es similar a la curva de inundación que provoca un evento extremo con recurrencia 100 años con la existencia de la represa.

Tabla 18-1 – Influencia de la represa en las curvas de inundación según TR

Tr (años)	Con represa	10	20	50	100	500	1000
	Sin represa	2	5	10	20	50	100

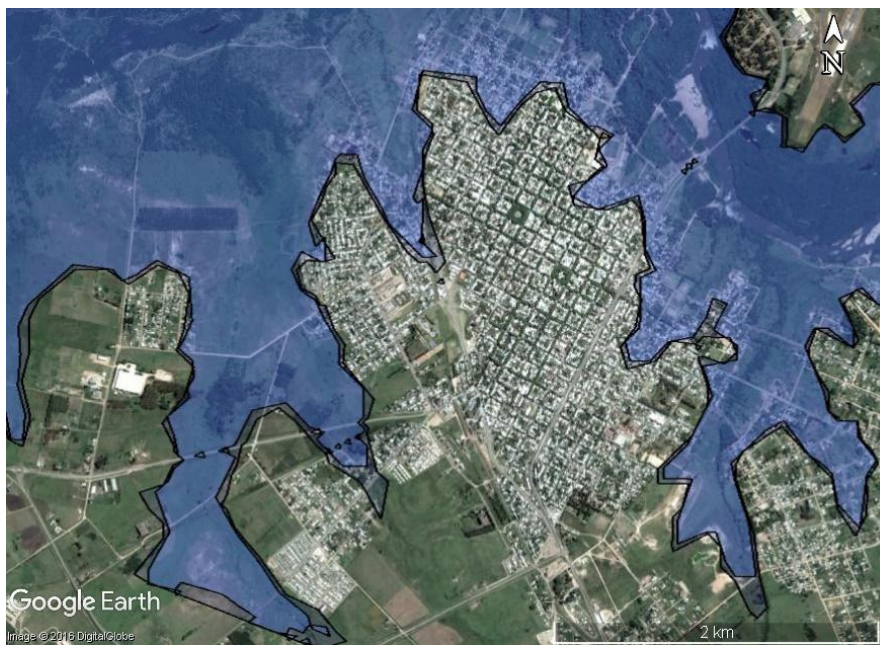


Figura 18-3 – Curvas de inundación: TR 1000 con presa (negro) y TR 100 Sin presa (azul)

Sin embargo, se debe tener en cuenta que cuando se trata de eventos con altos periodos de retorno las superficies de inundación son muy similares entre sí (figura 18-5), como consecuencia de la topografía de la zona. Por lo que, aun con la construcción de la represa, los efectos sobre la población seguirán siendo devastadores.



Figura 18-4 – Curvas de inundación sin represa para TR 100 (azul) y TR 1000 (celeste)

Observando entonces que si bien la represa podrá ser beneficiosa para disminuir las consecuencias de las inundaciones en la ciudad de Durazno, es imprescindible que se realice un ordenamiento territorial como una medida no constructiva para mitigar los efectos de las inundaciones sobre la población.

Se deberá realizar una zonificación en función del riesgo potencial de inundación, dejando zonas deshabitadas en aquellas franjas donde el agua inunda frecuentemente y franjas habitadas pero con rigurosos controles y alertas que permitan desalojar eficazmente a la población en caso de preverse inundaciones. En el Estudio de Impacto Ambiental realizado se presenta una propuesta de zonificación.

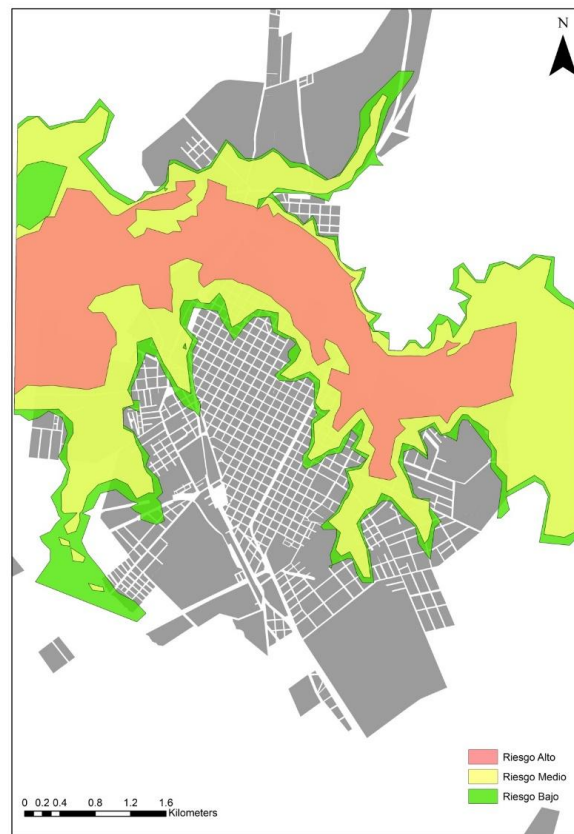


Figura 18-5 – Zonificación de la ciudad de Durazno según niveles de riesgo

En materia de generación de energía hidroeléctrica, la central proyectada permite instalar una potencia de 13 MW. Con un factor de capacidad de 0.47, la central es capaz de generar aproximadamente una energía media de 55,600 MWh por año y una energía máxima anual de 117 GWh, esto es el 1.3% de la energía anual demandada en Uruguay, la cual según la DNE 9,198,000 MWh.

De acuerdo a la potencia instalada, el emprendimiento estaría superando ligeramente el límite establecido para las PCH.

En el marco de la política energética que fijó el Poder Ejecutivo para el período 2005-2030, en el cual se fomenta la diversificación de la matriz energética del Uruguay, se prioriza el uso de fuentes de energías renovables y autóctonas que permitan disminuir la fuerte dependencia del sector energético uruguayo con el petróleo, se entiende que el proyecto de la central diseñada podría contribuir con el logro de este objetivo.

La energía eléctrica es un servicio básico fundamental con una influencia directa en las condiciones de vida de las comunidades locales al contribuir con el desarrollo económico y social, lo cual trasciende lo puramente energético. Proyectos de PCH podrían contribuir al aumento del porcentaje de electrificación en el Uruguay y lograr el adecuado acceso a la energía para todos los sectores de la sociedad.

Se estimó para la construcción de la presa y central hidroeléctrica un costo total de U\$S 82,600,000, con un costo de operación y mantenimiento anual de U\$S 400,000. El análisis de retorno de la inversión arroja que para cubrir la inversión se necesitan 43

años si se considera únicamente la generación de energía y un total de 35 años si se agrega el beneficio por el control de las inundaciones en la ciudad de Durazno.

Desde otra perspectiva, se tiene que la construcción de la represa trae consigo un cambio en el uso del suelo en el área donde se emplazará el lago. Esta superficie ocupa 4,200 ha, cuando el lago está a cota de vertido pudiendo ser mayor en ocasiones. Se trata de 60 padrones, 8 del departamento de Florida y 52 ubicados en el departamento de Durazno.

Estas hectáreas actualmente son de uso productivo. Habiendo 462 ha dedicadas a la forestación, 2,898 ha que se destinan a actividades ganaderas y 42 ha dedicadas al cultivo. Esto implica un perjuicio para los productores de la zona que deberán vender sus campos al Estado y si bien serán remunerados adecuadamente dejarán de beneficiarse por las actividades que llevaban a cabo en esas superficies.

A su vez existe un área de 940 ha de monte nativo que quedarán inundadas por el lago. Este fue uno de los impactos ambientales identificados en el Estudio de Impacto Ambiental realizado.

En este sentido se realizó un extenso y pormenorizado Estudio de Impacto Ambiental del que se destacan los siguientes resultados:

En primer lugar y del análisis y caracterización del medio receptor se observa que:

En el entorno del emplazamiento del proyecto, se ubica una variedad de especies prioritarias para la conservación. Sin embargo ninguna de ellas es del tipo endémico o casi endémico. Teniendo en cuenta la influencia del proyecto sobre los peces se destaca que ninguna especie de estos es del tipo migratoria.

A su vez se destaca que no existen áreas protegidas e ingresadas al SNAP en las inmediaciones. La zona protegida más cercana corresponde a la Localidad Rupestre de Chamangá, localizada a aproximadamente 44 km en dirección oeste del emprendimiento

La localización del proyecto tampoco se encuentra dentro de ninguna de las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves que presenta el territorio nacional.

No se identifican sitios de valor histórico o cultural en la zona de influencia directa del emprendimiento, así como tampoco en la zona de influencia indirecta, es decir, sobre la localidad de Polanco del Yí y la ciudad de Durazno. En la zona de influencia directa del emprendimiento, esto es en las inmediaciones de la represa proyectada, se identifican dos sitios con valor patrimonial debido a la presencia de arte rupestre, pinturas y grabados sobre rocas producidas por sociedades prehistóricas.

En segundo lugar y de la identificación y selección de impactos se observa que:

Se identificaron 99 impactos en las distintas fases del emprendimiento; construcción, operación y abandono. De los cuales 5 resultaron de alta significancia, 14 de media, 66 de baja significancia y 14 se valoraron positivos.

Los impactos de alta significancia fueron evaluados y todos resultaron admisibles. Éstos son:

1. **Eliminación del ecosistema de bosque galería y la posterior creación de un ecosistema de lago.** La eliminación del ecosistema de bosque ribereño, ya sea por su deforestación o inundación, es probablemente uno de los impactos más significativo del presente emprendimiento. El bosque ribereño que será destruido por la implantación del proyecto se extiende a lo largo de 21 km sobre las márgenes del río Yí y abarca una extensión de 940 ha. Esto corresponde a un 20% de la superficie afectada por el lago generado y apenas un 4.2% de la totalidad de monte nativo existente en la cuenca con punto de cierre en la ciudad de Durazno.
2. **Cambio total del paisaje por la presencia de la represa.** El cambio total del paisaje se produce por la eliminación del monte galería existente en la zona y la posterior formación del lago en su lugar. En este punto se considera que en el sentido del paisaje el cambio es total pero el nuevo paisaje generado mediante el lago aportará a la zona nuevos atractivos. Además se observa que el sitio de emplazamiento y el lago se podrá visualizar desde escasas zonas de rutas cercanas.
3. **Alteración del escurrimiento superficial de la cuenca.** Se utilizó en este caso un modelo para evaluar la alteración del régimen hidrológico superficial sobre la cuenca del río Yí. Los niveles de alteración en su mayor parte fueron clasificados como NIVEL I, esto significa nulo o bajo grado de afectación. El peor caso se da en los años clasificados como secos, en estos el nivel de alteración es IV, esto implica un grado de afectación alto. Sin embargo debe destacarse que los años secos son 5 en el total de la serie analizada de 19 años.
4. **Daños materiales y no materiales producidos por la rotura de la represa.** Se analizaron 5 escenarios de rotura de presa y se concluye que el peor caso corresponde a la rotura de la presa de tierra con el embalse a cota de vertido y desaguando la avenida extraordinaria. Si bien se considera que los impactos determinados por el modelo de rotura son de gran relevancia, se deberá contar con un plan de contingencia de manera de disminuir la probabilidad que ocurra y que en caso de ocurrencia minimizar los impactos.
5. **Falsa sensación de seguridad.** Dentro de la modificación del régimen natural de caudales que introduce el embalse, uno de los efectos más notorios es el de la laminación de los grandes volúmenes de agua, y así la reducción en frecuencia, intensidad y duración de los episodios de crecidas. Además de las consecuencias para el medio natural, existe la problemática humana de aumento de vulnerabilidad por la ocupación de los suelos inundables frente a avenidas que el embalse no es capaz de absorber. Si bien la construcción de la represa, tomada como una medida estructural para el control de las inundaciones en la ciudad de Durazno, podrá brindar beneficios en este aspecto, será de igual o mayor importancia poder contar con medidas no estructurales complementarias. Esta herramienta no estructural deberá evitar la ocupación no deseada del área inundable. Es por ello que se propone la elaboración de un Sistema de Cartografía de Zonas Inundables que contemple las zonas inundables y sus posibles riesgos, no permitiendo que sean ocupadas por parte de la población bajo ninguna circunstancia. (Figura 18-5)

19. BIBLIOGRAFÍA

Libros, Publicaciones y otros

- Benetti, A; Lanna, E; Cobalchini, M (2003) *Metodologías para determinação de vazoes ecológicas em ríos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 8, Nº 2, pp 149-160. Brasil.
- Bureau of Reclamation. (1966). *Design of Small Dams*. Ed. Español
- Chow, V. T.; Maidment, D. R.; Mays, L.W. (2000). *Hidrología Aplicada*.
- Chow, V. T. (2014). *Hidráulica de canales abiertos*.
- CICCOP, SPANCOLD. (2005). *Guías Técnicas de Seguridad de Presas. Tomo I al VIII*.
- DINAGUA. (2011). *Manual de diseño y construcción de pequeñas presas*.
- Durán, A. (1996). *Los Suelos del Uruguay*.
- IMFIA (2013). *Generación Hidroeléctrica en pequeña escala*
- IMFIA, DINAGUA, CECOED Durazno, MGAP, PROHIMET (2012). *Proyecto Piloto Prohimet: Alerta Temprana para la Ciudad de Durazno ante las avenidas del río Yí – Informe Final*.
- MIEM-DINAMIGE (1985). *Memoria Explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a Escala 1:500.000*
- MAP-Dirección Suelos (-). *Carta de Reconocimiento de suelos del Uruguay*
- MAPMA España (2001). *Guía Técnica para la elaboración de Planes de Emergencia de Presas*.
- MGAP (2012). *Manual de diseño y construcción de tajamares de aguada*.
- MGAP-RENARE (-). *Descripción de Grupos de Suelos CO.N.E.A.T*
- MGAP-RENARE (2011). *Mapa de Cobertura del Suelo del Uruguay*
- MIEM-DNETN, ONUDI (2010). *Proyecto Observatorio de Energías Renovables. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) en Uruguay*
- Novak, P. (2001). *Estructuras Hidráulicas*.
- OEA, BID, CASCOS BLANCOS, MTOP-DNH (2002). *Plan de Emergencia contra Inundaciones para la Ciudad de Durazno, República Oriental del Uruguay. Volumen 1 – Estudios básicos*
- PHI-LAC. (2014). Documento técnico Nº 34: *Qué son los caudales Ambientales y cuál es la perspectiva de su aplicación en Uruguay*
- PNUMA y Vida Silvestre Uruguay (-). *Fortalecimiento del concepto de Caudales Ambientales como Herramienta para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*.
- ROU–Cámara de Representantes (2015). *Diario de Sesiones. Diario Nº 3988. Sesión Nº36*

- Silveira, L.; Chreties, C.; Crisci, M.; Usera, G.; Alonso, J. (2015). *Sistema de alerta temprana para prevención de avenidas en la ciudad de Durazno*. Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay. Nº 56.
- Teixeira, L. (2015) *Notas del curso de Represas y canales*.
- Tucci, C. E. (2004). *Hidrología, Ciencia e Aplicacao*.
- Vallarino, E. (2006). *Tratado Básico de presas – Tomo I*.

Páginas web

- Infraestructura de Datos Especiales IDE
<http://ide.uy/>
- INIA
<http://www.inia.uy/>
- INUMET
<http://www.meteorologia.com.uy/>
- MIEM – Dirección Nacional de Minería y Geología
<http://www.dinamige.gub.uy>
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente - España
<http://www.mapama.gob.es/es>
- MGAP - Dirección General de Recursos Naturales Renovables
<http://www.cebra.com.uy/renare>
- Poder Legislativo – Cámara de Representantes.
<http://www.diputados.gub.uy>
- Servicio Geográfico Militar (SGM)
<http://www.sgm.gub.uy>
- UTE
<http://portal.ute.com.uy/>

ANEXO 1

Análisis de Calidad de Datos

ANEXO I ANÁLISIS DE CALIDAD DE DATOS

CALIDAD DE REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS

Se utilizan datos de precipitación de series históricas de precipitación diaria para los 20 pluviómetros existentes en el área de influencia de la zona de estudio (tabla 6.1.1).

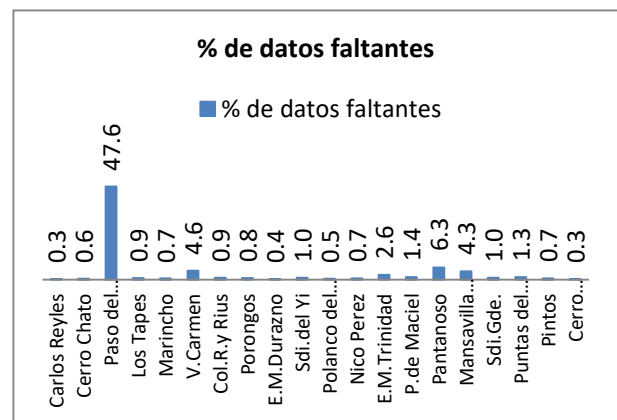
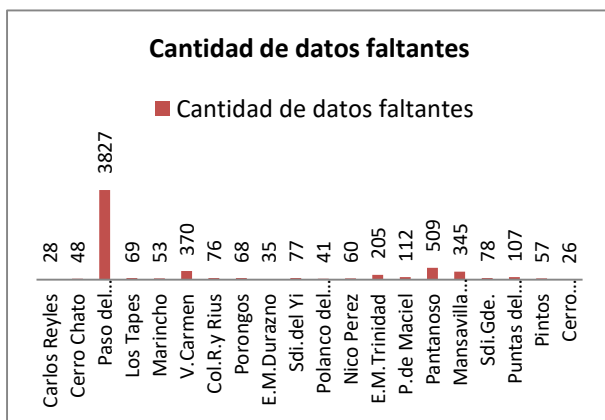
Se cuenta con datos desde el año 1994 hasta la actualidad, esto implica una cantidad importante de datos en cada pluviómetro. Para poder utilizarlos correctamente se realizó un análisis de calidad de datos. Se analizó para cada pluviómetro la cantidad de datos faltantes y la consistencia de los datos en el periodo mencionado.

Datos faltantes

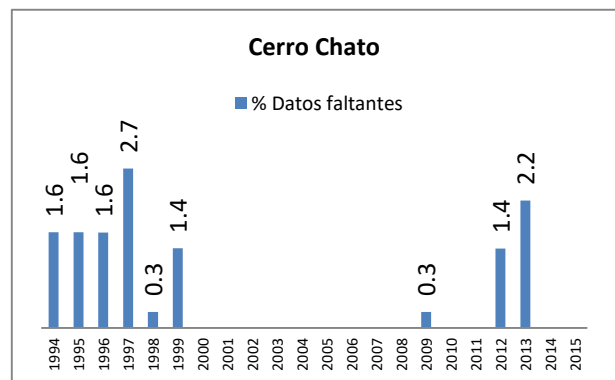
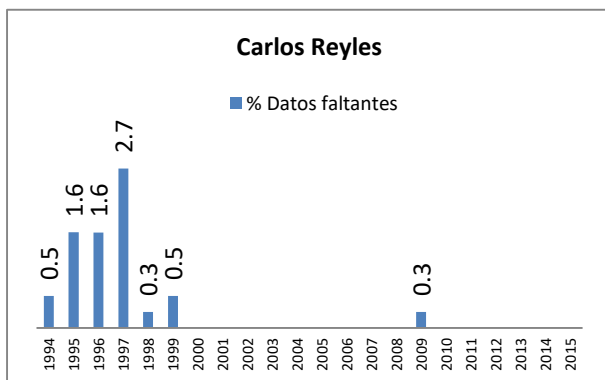
Se estudia la cantidad de días en los que faltan datos para cada pluviómetro, esto puede utilizarse como un primer indicador de la calidad y confiabilidad de la información. Si un pluviómetro tiene gran cantidad de datos faltantes significa que su funcionamiento no es adecuado y deberá descartarse la utilización del mismo.

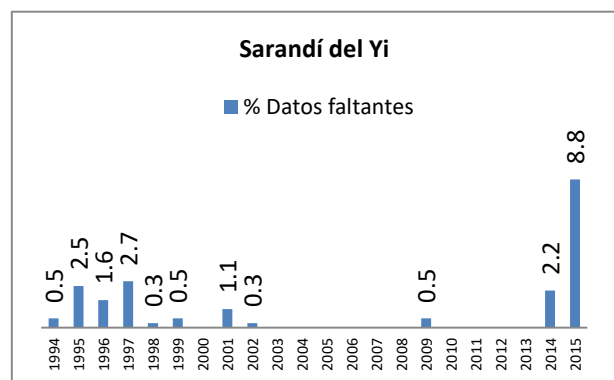
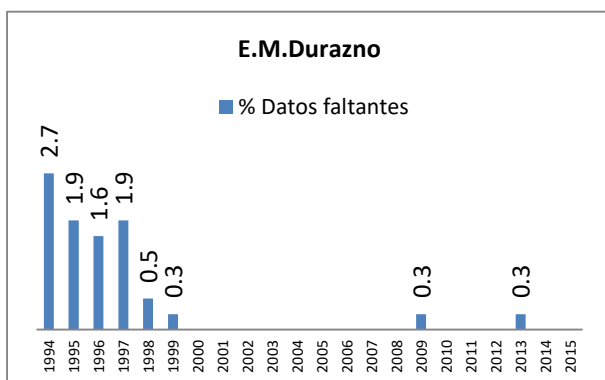
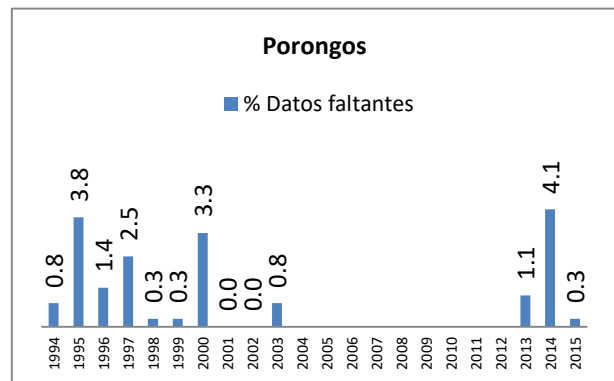
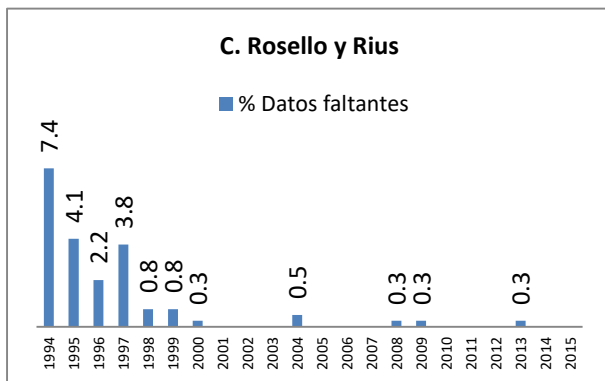
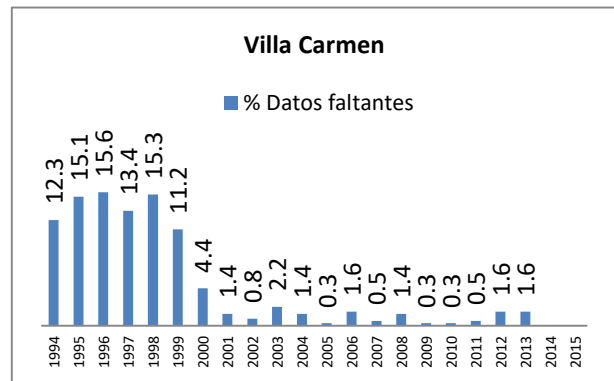
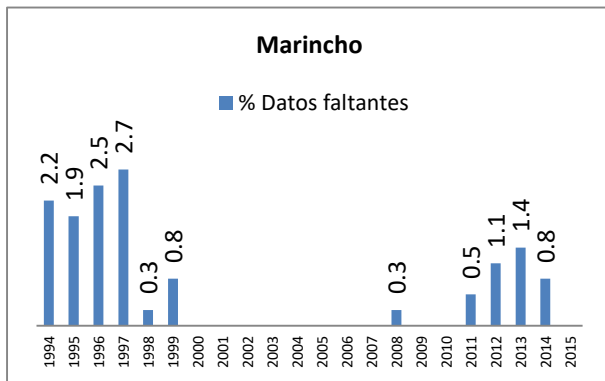
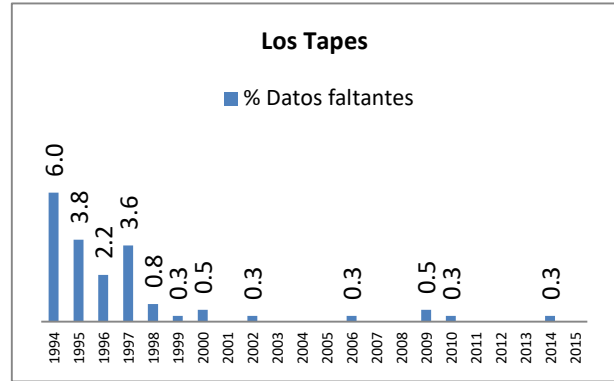
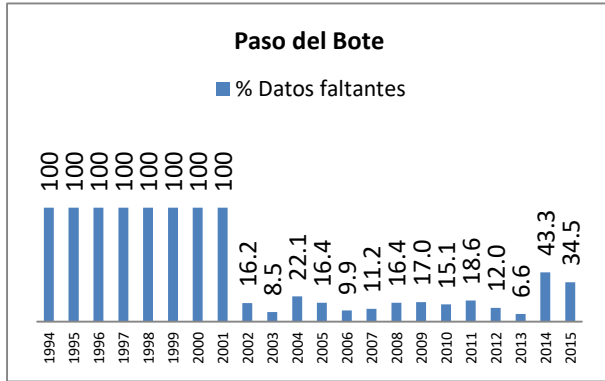
Se calculó el porcentaje de datos faltantes en el total de la serie y el porcentaje de datos faltantes por año para cada pluviómetro.

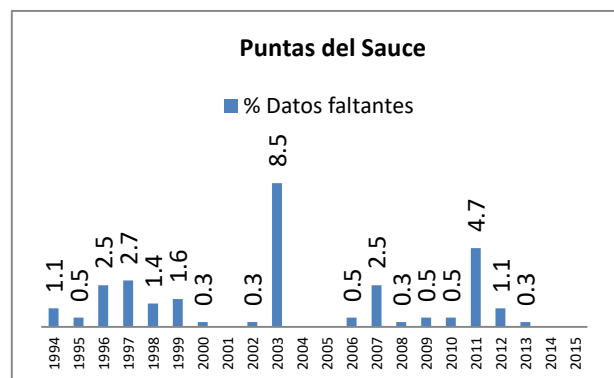
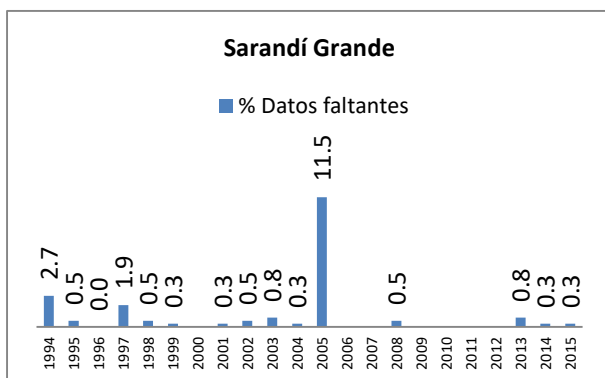
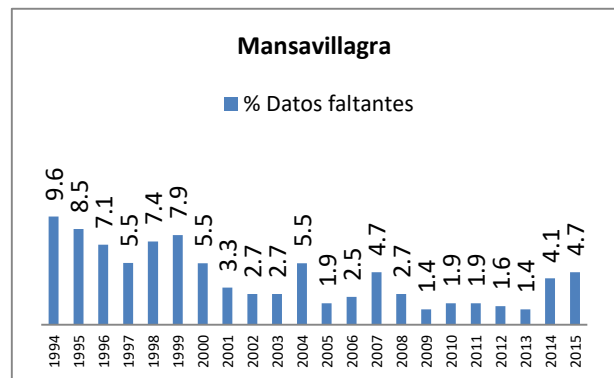
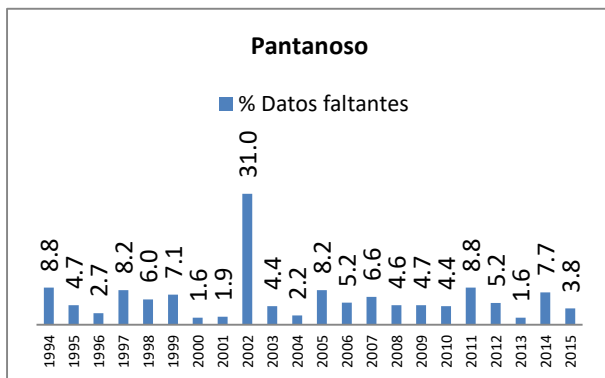
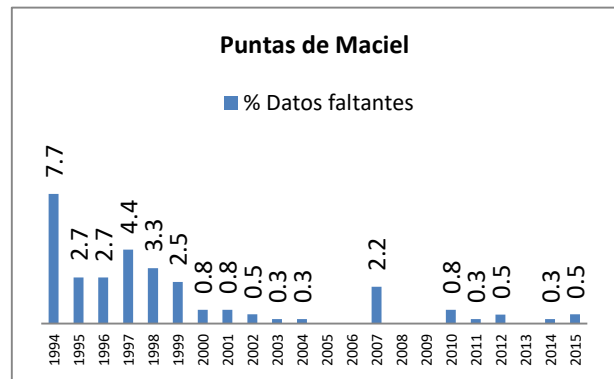
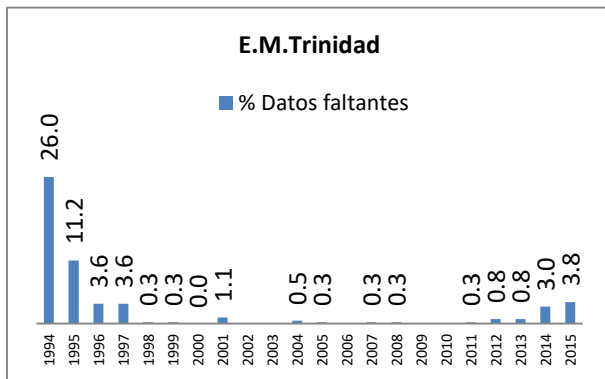
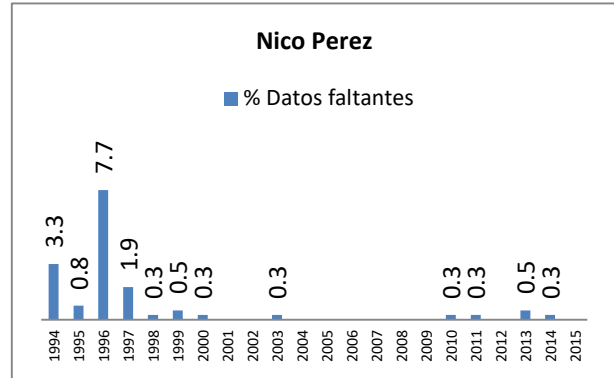
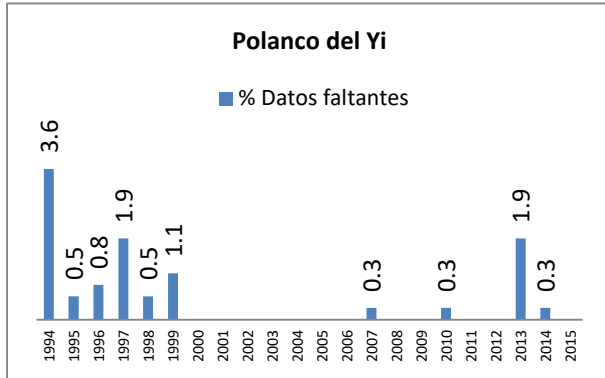
En las siguientes graficas se observan los resultados.

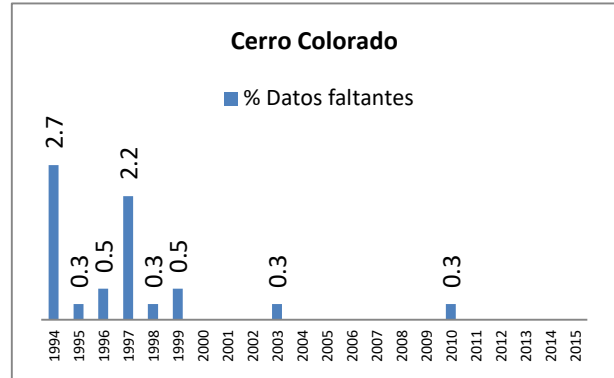
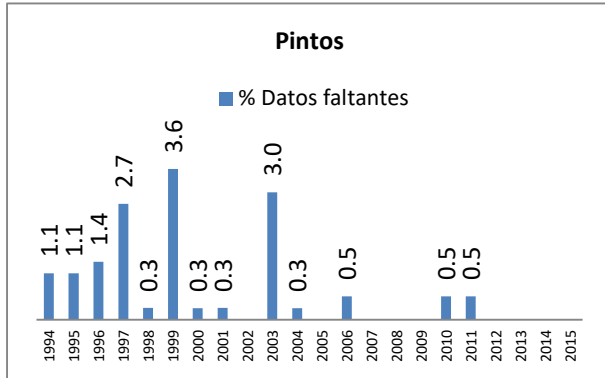


En las siguientes se observan los porcentajes anuales para cada pluviómetro.









De lo anterior se observa claramente que el pluviómetro "Paso del Bote" se deberá descartar ya que tiene casi el 50% de los datos faltantes en el total de la serie y el 100% de los datos en los años desde 1994 hasta 2001.

De este primer análisis no se descarta ningún otro pluviómetro.

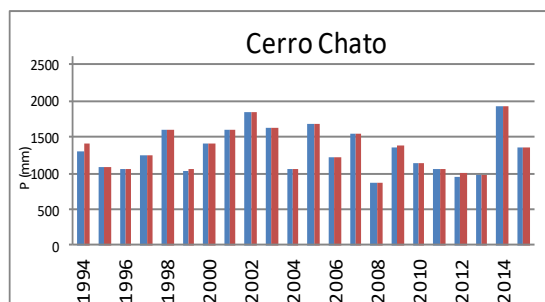
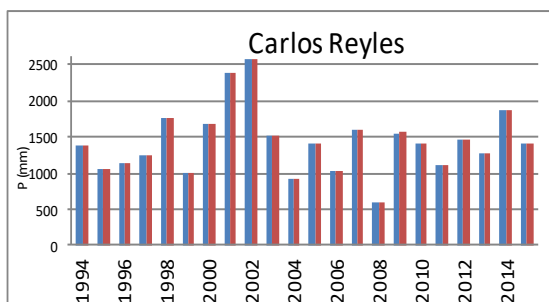
Estimación de datos faltantes

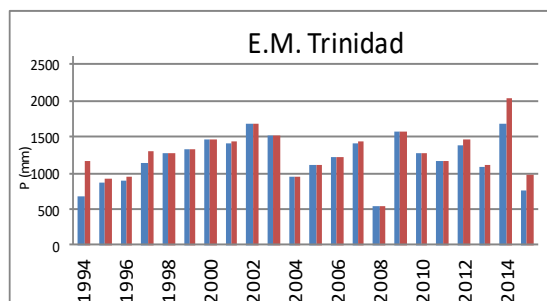
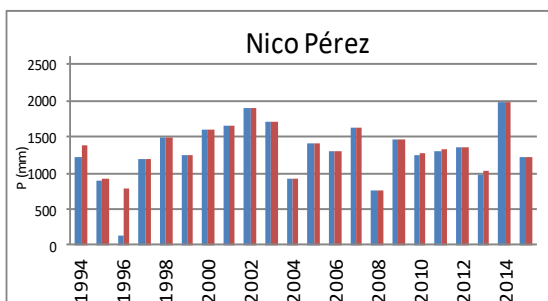
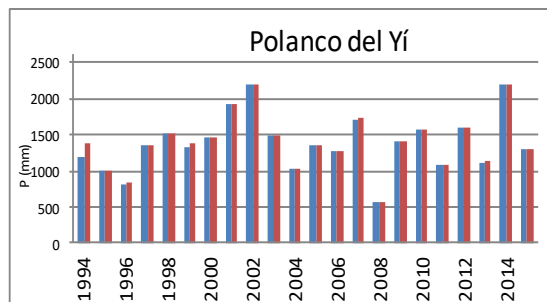
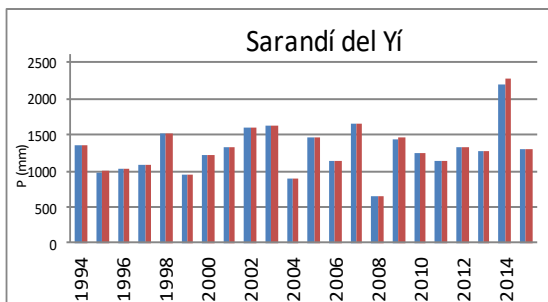
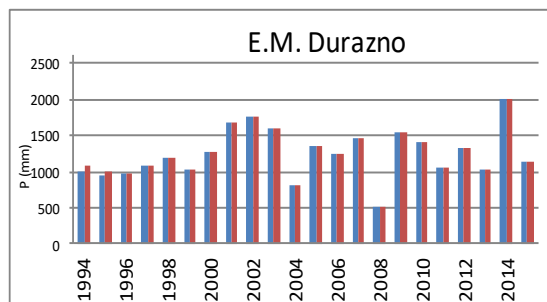
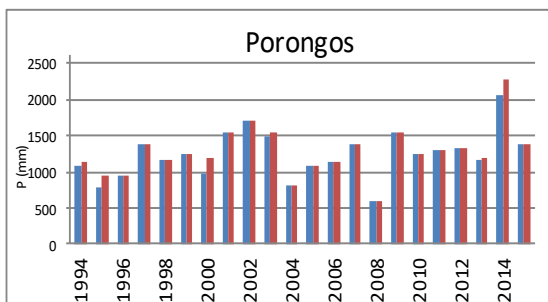
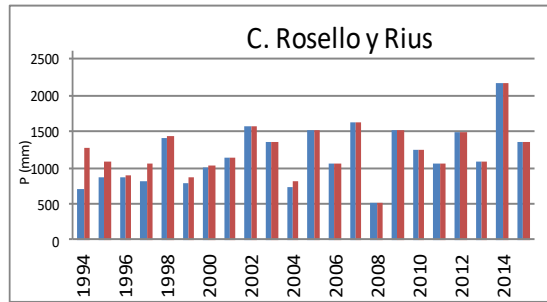
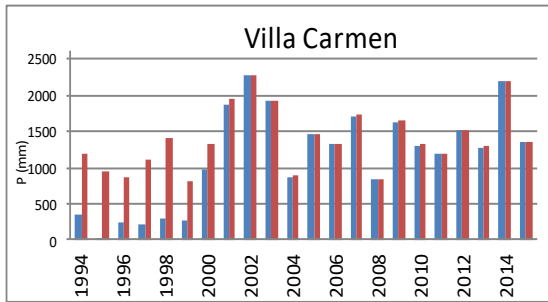
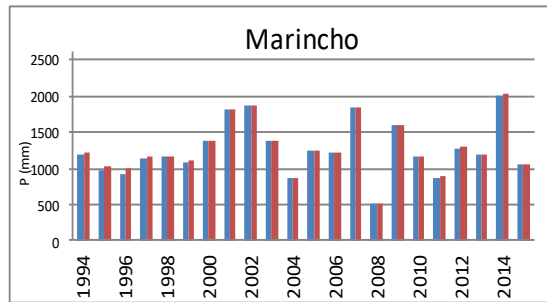
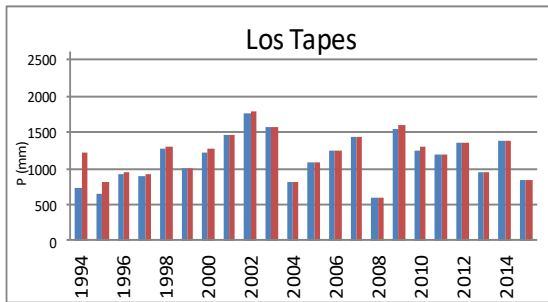
Se analiza ahora si los datos faltantes corresponden a eventos de precipitación o no. Para esto se procede a completar los datos faltantes mediante de dos maneras para luego compararlas entre si y llegar a dicha conclusión.

La primer manera es rellenar los días en los que el pluviómetro no presenta registro con el valor 0, mientras que la otra manera es rellenarlos con el promedio de los 3 pluviómetros más cercanos al pluviómetro en estudio. En caso que ninguno de los cuatro pluviómetros presente registro se pondrá el valor 0.

Luego, para poder realizar la comparación se grafica la precipitación acumulada anual para ambos métodos y se analiza.

Se presenta a continuación los resultados obtenidos.







Para realizar el análisis se toma como criterio que si la diferencia entre ambos valores es mayor al 5% del valor calculado con el promedio de los 3 más cercanos se descartaría a priori ese período, aunque este criterio se toma para analizar cada pluviómetro independientemente y luego se estudiara globalmente.

Se destacan las siguientes conclusiones:

- Los pluviómetros Carlos Reyles, Sarandí de Yí, Sarandí Grande y Cerro Colorado no presentan diferencias en ningún año.
- Los pluviómetros Pantanoso y Mansavillagra presentan diferencias mayores al criterio establecido en la totalidad de los años analizados.

- El pluviómetro Villa Carmen presenta alto porcentaje en todos los años desde 1994 hasta 2000, al igual que el pluviómetro Puntas de Maciel.
- En el año 1994 las diferencias son altas en la mayoría de los pluviómetros, por lo que claramente se descartara este año para el análisis de eventos de precipitación.
- Los años 1995 al 1999 también tienen varios pluviómetros con dificultades.

Como conclusión final se puede decir que el periodo 1994-1999 no sería conveniente utilizar para estudiar los eventos.

Consistencia de datos

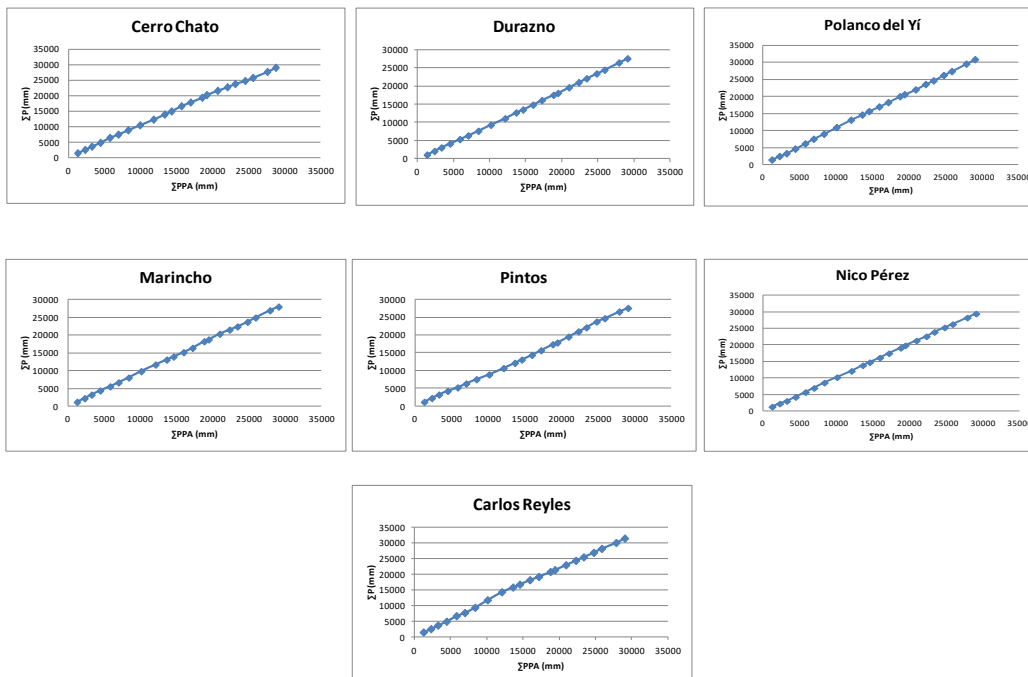
Se realizó un análisis de consistencia de datos para cada pluviómetro para verificar que el pluviómetro tiene un comportamiento uniforme a lo largo de todo el período.

Para esto se utiliza el método de análisis de doble masa. Este método consiste en calcular un Patrón de Precipitaciones Anuales (PPA) como el promedio de las precipitaciones anuales de los pluviómetros que se consideran mejores y más confiables (basado en el análisis anterior). Este PPA se acumula año a año obteniéndose una serie de valores anuales acumulados. Se grafica para cada pluviómetro la serie de valores anuales acumulados contra la serie del patrón anterior. El pluviómetro se considera uniforme si esta grafica se asemeja a una recta. En caso de presentar un cambio de pendiente o quiebre querrá decir que el pluviómetro no ha sido uniformemente observado.

Para decidir que pluviómetros forman parte del patrón el criterio de selección fue tomar los pluviómetros que presentan menor porcentaje de datos faltantes en el total de la serie. Estos porcentajes varían desde 0.32 hasta 6.33 %. En la siguiente tabla se indican los pluviómetros y sus correspondientes porcentajes y se indican los seleccionados para el patrón.

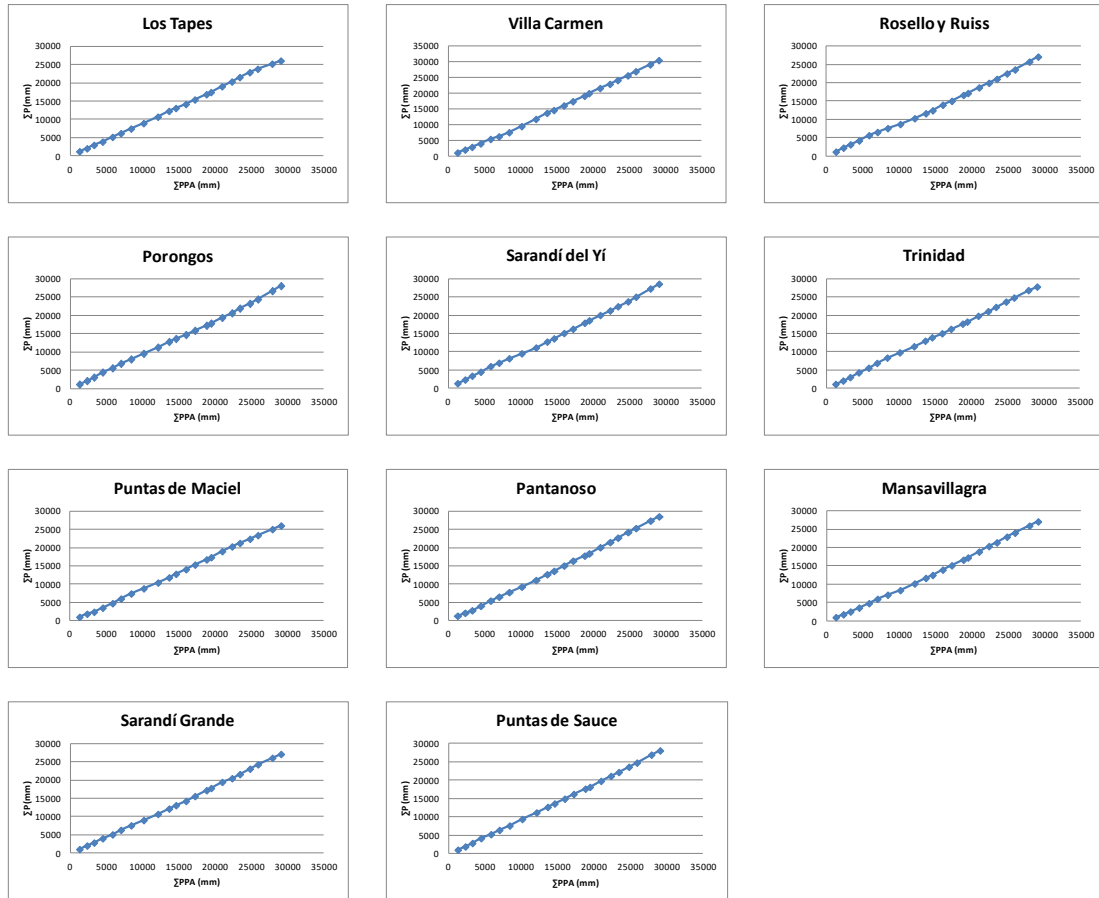
Pluviómetro	%faltantes
Cerro Colorado	0.32
Carlos Reyles	0.35
E.M.Durazno	0.44
Polanco del Yi	0.51
Cerro Chato	0.60
Marincho	0.66
Pintos	0.71
Nico Perez	0.75
Porongos	0.85
Los Tapes	0.86
Col.R.y Rius	0.95
Sdi.del Yi	0.96
Sdi.Gde.	0.97
Puntas del Sauze	1.33
P.de Maciel	1.39
E.M.Trinidad	2.55
Mansavillagra	4.29
V.Carmen	4.60
Pantanosos	6.33

Se analizó primero para los pluviómetros del patrón.



Se observa que el grafico correspondiente a Carlos Reyles presenta un leve cambio de pendiente, por lo que es conveniente sacar este pluviómetro del padrón para realizar el análisis de consistencia de datos. Las restantes graficas se alinean en rectas, por lo que no presentan problema.

A continuación se presentan las graficas para los restantes pluviómetros.



En las gráficas anteriores se observa que ningún pluviómetro presenta irregularidades, por lo tanto de este análisis no se descarta ningún pluviómetro.

CALIDAD DE REGISTROS HIDROMÉTRICOS

Para la serie de datos de niveles del río Yí en el puente de la Ruta Nacional Nº5 “Brigadier General Fructuoso Rivera” se realizó el análisis de datos dudosos o “Outliers” el cual fue elaborado mediante el método del Water Resources Council.

Los datos dudosos (“outliers”) son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas. Los procedimientos para tratar los datos dudosos requieren un criterio que involucre consideraciones matemáticas e hidrológicas.

La siguiente ecuación de frecuencia puede utilizarse para detectar datos dudosos altos:

$$y_H = \bar{y} + K_n s_y$$

donde y_H es el umbral de dato dudoso alto en unidades logarítmicas, y K_n es un valor tabulado que se usa para detectar datos dudosos en el nivel 10% de significancia en información normalmente distribuida. Este valor depende del tamaño de la muestra. Si los logaritmos de los valores en una muestra son mayores que y_H , entonces se

consideran como datos dudosos altos. Picos de creciente considerados como datos dudosos altos deben compararse con la información histórica y de crecientes en sitios cercanos.

Una ecuación similar puede utilizarse para detectar los datos dudosos bajos:

$$y_L = \bar{y} - K_n s_y$$

Donde y_L es el umbral de dato dudoso bajo en unidades logarítmicas. Los picos de creciente considerados como datos dudosos bajos se eliminan del registro y puede aplicarse un ajuste de probabilidad condicional.

Se dispone de la serie de niveles del río Yí para el período 1962-2016 con datos diarios. De esta serie se obtuvieron los máximos anuales para el posterior análisis de datos dudosos.

Año	Nivel (m)	Nivel (msnm)	Año	Nivel (m)	Nivel (msnm)
1962	6.67	67.73	1991	8.25	69.31
1963	8	69.06	1992	8.12	69.18
1964	8	69.06	1993	8.57	69.63
1965	5.59	66.65	1994	9.89	70.95
1966	7.46	68.52	1995	6.22	67.28
1967	8	69.06	1996	9.24	70.3
1968	8.27	69.33	1997	11	72.06
1969	6.3	67.36	1998	11.05	72.11
1970	9	70.06	1999	10.15	71.21
1971	8.21	69.27	2000	9.1	70.16
1972	8.95	70.01	2001	9.1	70.16
1973	8.99	70.05	2002	9.8	70.86
1974	9	70.06	2003	10.36	71.42
1975	8.62	69.68	2004	6.5	67.56
1976	7.9	68.96	2005	10.15	71.21
1977	9.45	70.51	2006	8	69.06
1978	11.1	72.16	2007	12.95	74.01
1979	7.29	68.35	2008	3.88	64.94
1980	9.5	70.56	2009	8.6	69.66
1981	8.4	69.46	2010	11.73	72.79
1982	8.4	69.46	2011	8.8	69.51
1983	8.84	69.9	2012	8.7	69.41
1984	9.3	70.36	2013	8.5	69.21
1985	8.9	69.96	2014	10.68	71.39
1986	9.8	70.86	2015	11.02	71.73
1987	7.5	68.56	2016	12.1	72.81
1988	5.27	66.33			
1989	3.25	64.31			
1990	9.46	70.52			

Se realizó el análisis de datos dudosos a la serie de máximos anuales obteniéndose un nivel mínimo de 64.7 msnm y un nivel máximo de 75.0 m. Estos niveles conforman los límites de los valores que podrán tener los niveles para no ser un "outlier". Se obtuvo entonces que el nivel mínimo existente para el año 1989 de 64.31 msnm corresponde en principio a un dato dudoso y por ende dicho año debe descartarse para la posterior utilización de la serie.

Al retirarse un año de la serie, la muestra pasa a tener un valor menos por lo que el rango de valores de nivel factible variará debiéndose recalcularse. En esta nueva iteración se obtuvo que el rango factible el cual se encuentra entre 65.3 msnm y 74.7 msnm. Se observó que el nivel mínimo existente para el año 2008 de 64.94 msnm corresponde a un dato dudoso, por lo que se descarta dicho año para la posterior utilización de la serie.

Se realizó una tercera iteración en la cual el rango factible de datos es de 65.7 a 74.3 msnm no encontrándose datos dudosos en la serie restante.

Por lo tanto, para la serie de datos de niveles del río Yí en el puente de la Ruta Nacional N°5, el análisis de "Outliers" identifica como datos de dudosa de calidad los valores correspondientes a los años 1989 y 2008. Sin embargo, se tiene conocimiento que dichos años corresponden a períodos de sequía extrema en el país. Bajo estas condiciones se entiende que los valores de niveles registrados en dichos años no son dudosos ni mal medidos, por lo que se decide no descartarlos de la serie de datos.

ANEXO 2

Coeficiente de Escorrentía

ANEXO II COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El exceso de precipitación, o precipitación efectiva, es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca.

La definición más común de un coeficiente de escorrentía es que éste es la relación entre la escorrentía y la precipitación, en un período dado.

Estos coeficientes se aplican comúnmente a precipitación y escorrentía de una tormenta, pero también puede utilizarse para información de precipitación y caudales mensuales o anuales.

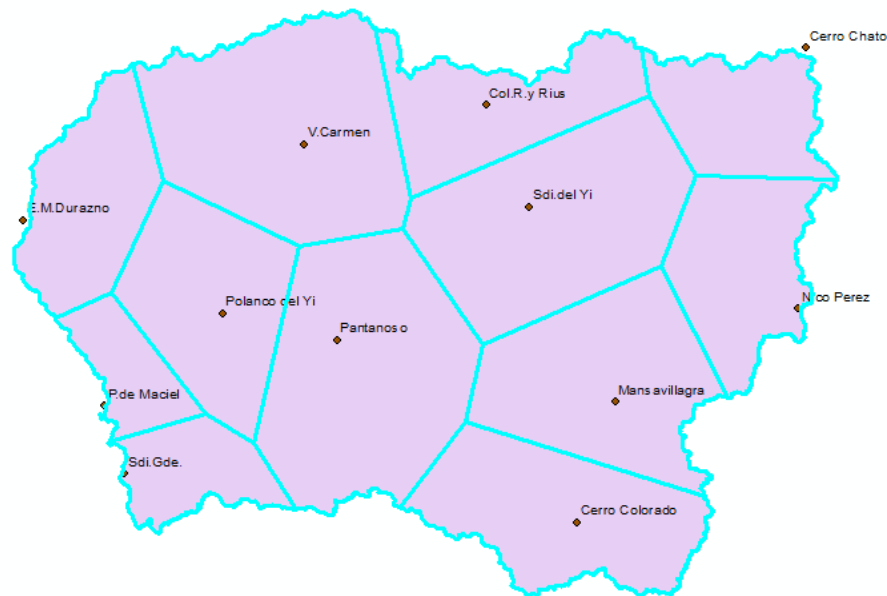
Coeficiente de escorrentía medio anual

Con el fin de analizar la respuesta de la cuenca del río Yí ante eventos de precipitación se calcula el coeficiente de escorrentía medio anual.

Volumen anual de precipitación

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía es necesaria la obtención del volumen anual de precipitación ocurrido en la cuenca del río Yí con su cierre en el puente de la Ruta N° 5.

Para ello, se tienen datos históricos de precipitación diaria en 19 pluviómetros para el período 1994-2015. Se determina mediante el método de Thiessen el área de influencia de cada pluviómetro sobre la cuenca, permitiendo calcular una serie de precipitación media para toda la cuenca con una buena representación espacial.

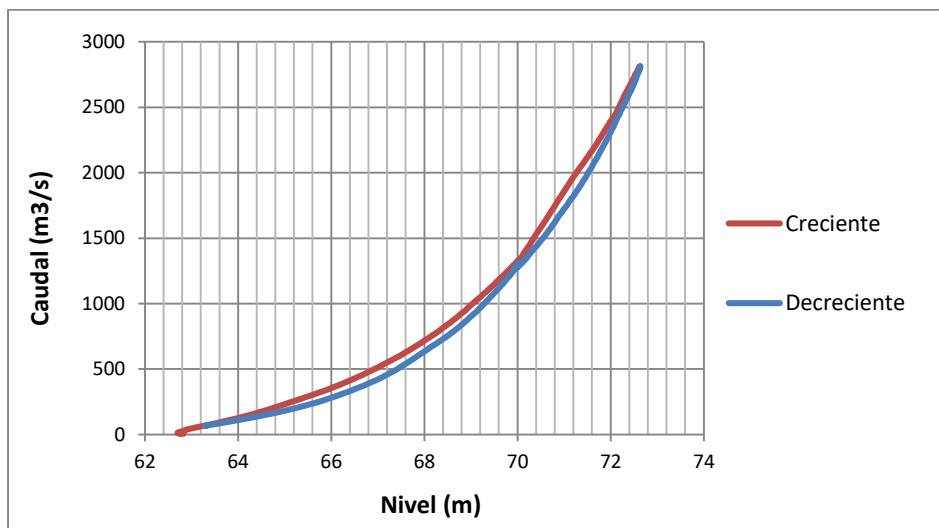


Se obtuvo entonces, el volumen de precipitación multiplicando la precipitación por el área de influencia de cada pluviómetro.

Año	Volumen Precipitación (hm ³)	Año	Volumen Precipitación (hm ³)
1994	11066	2005	12689
1995	8409	2006	11050
1996	7610	2007	13807
1997	10233	2008	5884
1998	12258	2009	13741
1999	9629	2010	11961
2000	11413	2011	9930
2001	13613	2012	12651
2002	16508	2013	10168
2003	14151	2014	18272
2004	8099	2015	10821

Volumen anual de escorrentía

Se conoce la serie histórica, en el período 1994-2015, de niveles diarios medidos en el puente de la Ruta Nacional N°5 sobre el río Yí. Mediante la curva de aforo obtenida del modelo hidrodinámico, dichos valores de niveles son convertidos en valores de caudal.



Se aproximaron ambas ramas de la curva de aforo (ascendente y descendente) mediante polinomios de grado 3, con los siguientes coeficientes.

$$Q = aN^3 + bN^2 + cN + d$$

	a	b	c	d
Ascendente	3.3191	-642.26	41,527	-896,969
Descendente	3.0257	-577.32	36,783	-782,447

Teniendo los caudales diarios para el período 1994-2015, se procedió a calcular los volúmenes de escurrimiento, como el área bajo la curva de caudal en función del tiempo.

Año	Volumen Escurrimiento (hm ³)	Año	Volumen Escurrimiento (hm ³)
1994	3624	2005	3982
1995	1916	2006	1634
1996	1427	2007	6058
1997	1608	2008	536
1998	4742	2009	3294
1999	3048	2010	5778
2000	4509	2011	2179
2001	2701	2012	2752
2002	6394	2013	2043
2003	4851	2014	6631
2004	1002	2015	2263

Coefficiente de escorrentía medio

Luego de contar con volúmenes anuales de precipitación y de escorrentía se realiza la división entre el volumen escurrido sobre el volumen de precipitación para obtener el coeficiente de escorrentía anual.

Año	Coef Esc Anual	Año	Coef Esc Anual
1994	0.33	2005	0.31
1995	0.23	2006	0.15
1996	0.19	2007	0.44
1997	0.16	2008	0.09
1998	0.39	2009	0.24
1999	0.32	2010	0.48
2000	0.40	2011	0.22
2001	0.20	2012	0.22
2002	0.39	2013	0.20
2003	0.34	2014	0.36
2004	0.12	2015	0.21

Como se observa en la tabla anterior el año 2008 presenta un coeficiente de escorrentía notoriamente más bajo que los restantes. Del análisis de outliers (Anexo I) se desprende que en dicho año ocurrió una sequía, por lo que se decidió quitar dicho valor para hallar el coeficiente de escorrentía medio.

Realizando el promedio de coeficiente de escorrentía sin el valor del año 2008 se obtiene el siguiente valor de coeficiente de escorrentía medio:

$$C_{medio} = 0.28$$

Coeficiente de escorrentía extremo

De manera similar, se calcula el coeficiente de escorrentía asociado a los 8 eventos extremos utilizados en la calibración y validación del modelo hidrológico-hidrodinámico.

Para cada uno de los eventos se extrajo del modelo hidrodinámico realizado en HEC-RAS los hidrogramas de caudal sobre el puente de la Ruta N° 5 sobre el río Yí. El área bajo esta curva representa el volumen de escorrentía generado por cada tormenta.

El volumen de precipitación de cada evento se calculó de igual manera que para el cálculo de escorrentía medio, mediante los datos pluviométricos y el modelo de Thiessen para relacionarlos con el área de la cuenca.

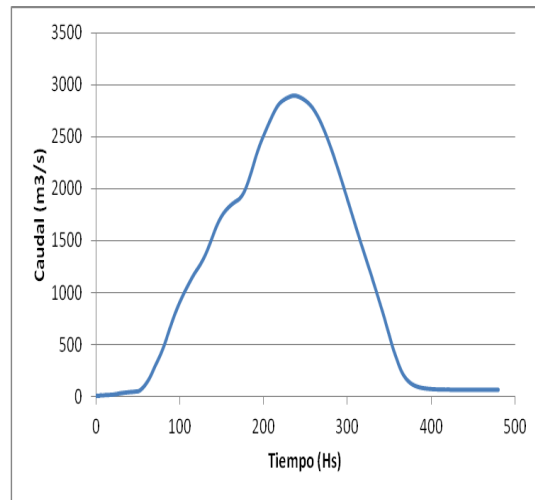
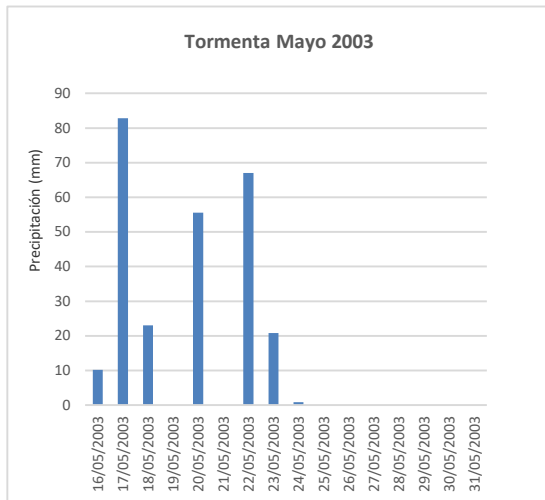
En los apartados que siguen se muestran los valores obtenidos para cada evento y en la tabla a continuación se resumen los coeficientes de escorrentía para cada evento.

Tormenta	C esc
Mayo 2003	0.76
Junio 2005	0.83
Mayo 2007	0.76
Febrero 2010	0.78
Febrero 2014	0.76
Setiembre 2014	0.85
Agosto 2015	0.92
Abril 2016	0.89

El coeficiente de escorrentía extremo queda definido como el promedio de los coeficientes de escorrentía de los diferentes eventos analizados

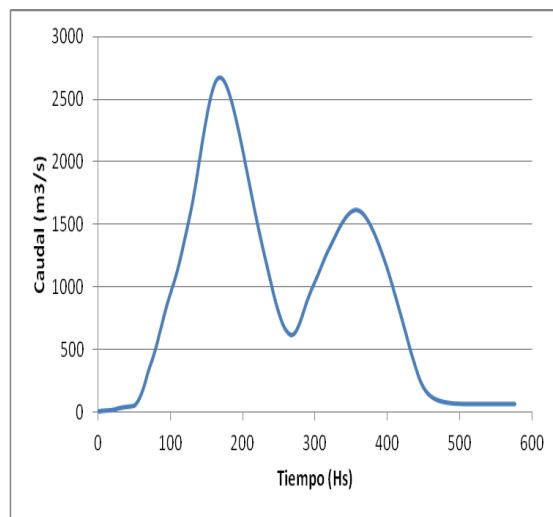
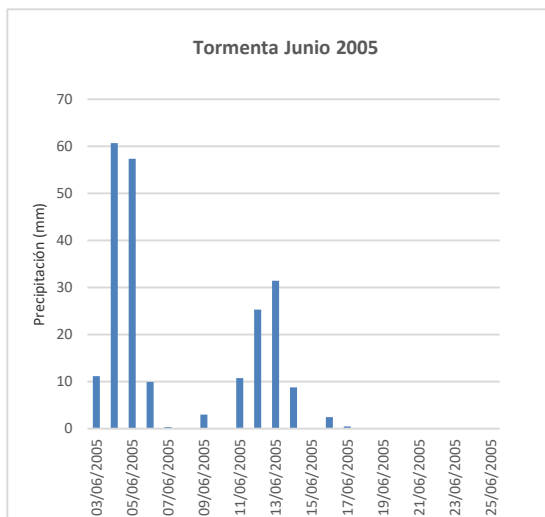
$$C_{extremo} = 0.82$$

Mayo 2003



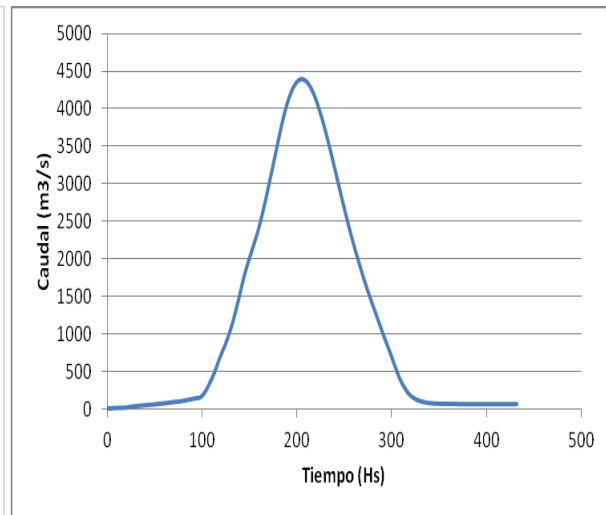
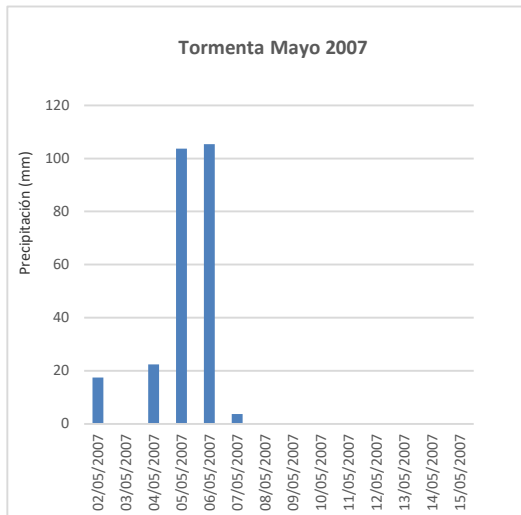
Vol Prec (hm ³)	2495
Vol Esc (hm ³)	1906
Coef Esc	0.76

Junio 2005



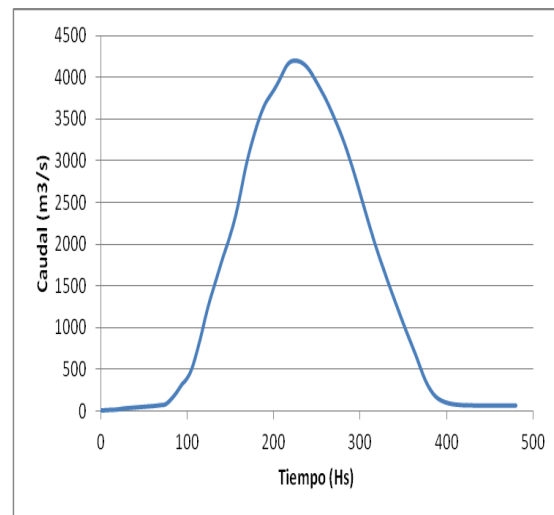
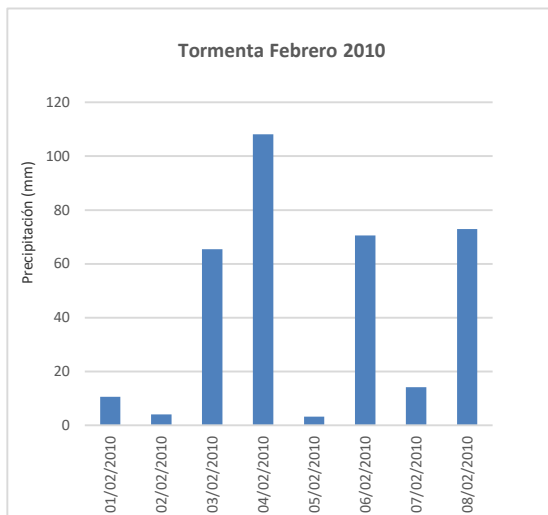
Vol Prec (hm ³)	2238
Vol Esc (hm ³)	1864
Coef Esc	0.83

Mayo 2007



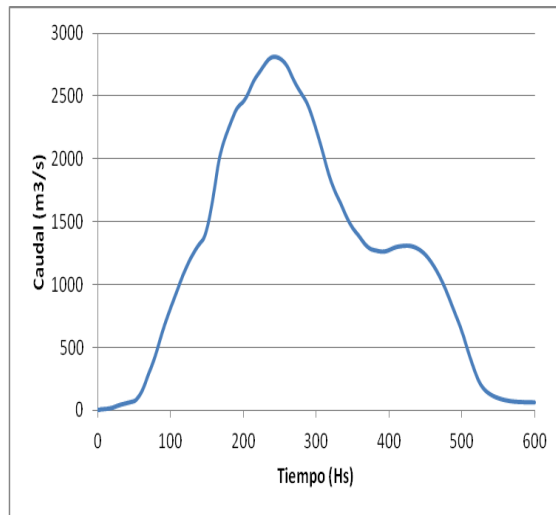
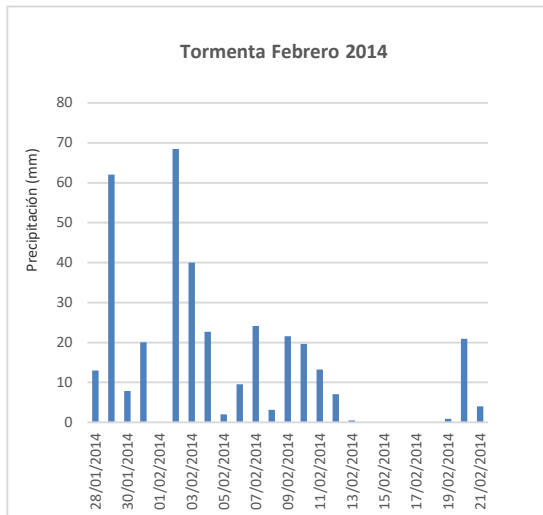
Vol Prec (hm ³)	2378
Vol Esc (hm ³)	1808
Coef Esc	0.76

Febrero 2010



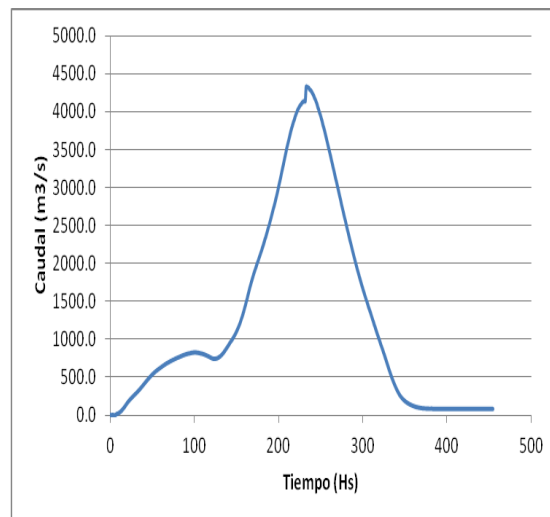
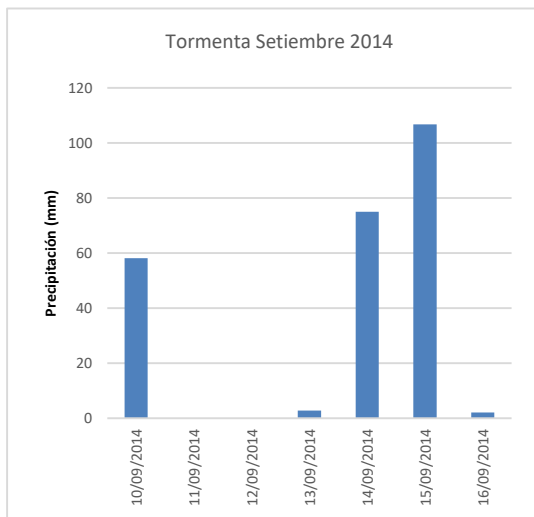
Vol Prec (hm ³)	3286
Vol Esc (hm ³)	2578
Coef Esc	0.78

Febrero 2014



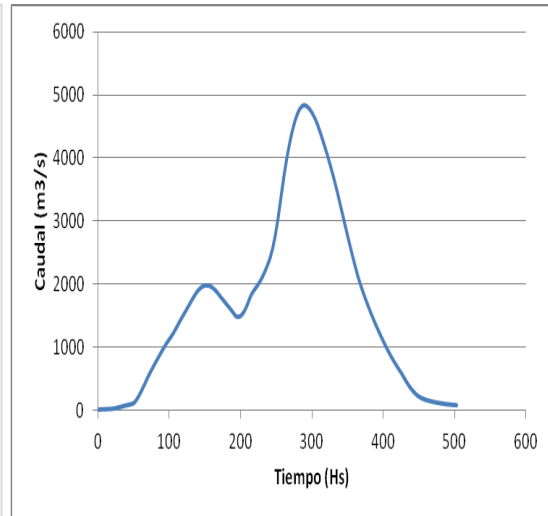
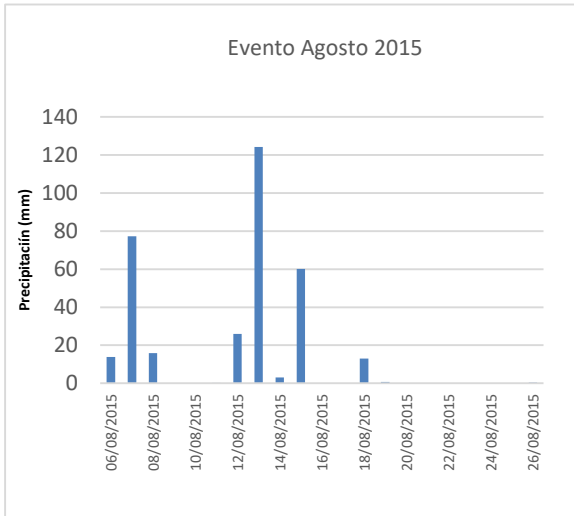
Vol Prec (hm ³)	3480
Vol Esc (hm ³)	2638
Coef Esc	0.76

Setiembre 2014



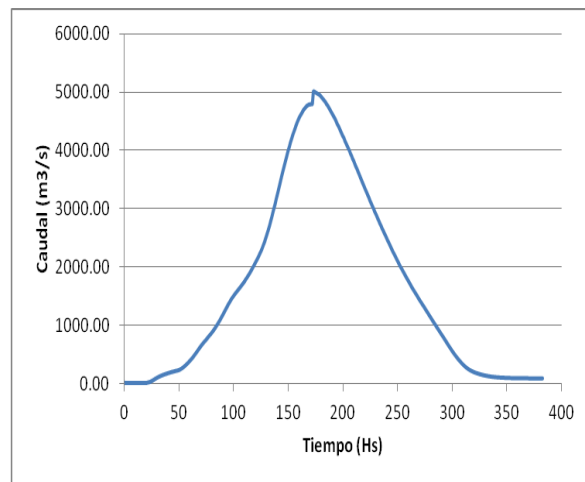
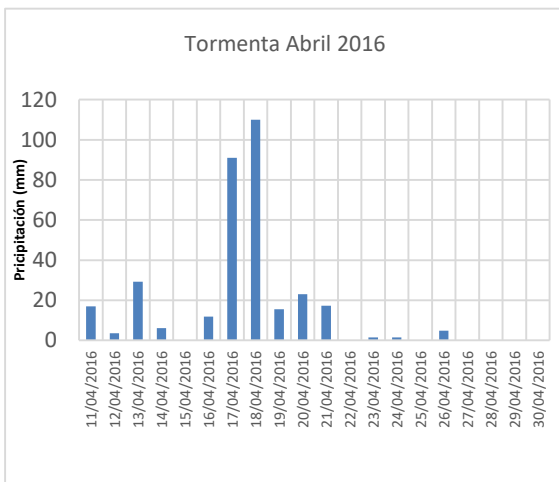
Vol Prec (hm ³)	2451
Vol Esc (hm ³)	2071
Coef Esc	0.85

Agosto 2015



Vol Prec (hm ³)	3260
Vol Esc (hm ³)	3011
Coef Esc	0.92

Abril 2016



Vol Prec (hm ³)	2577
Vol Esc (hm ³)	2284
Coef Esc	0.89

ANEXO 3

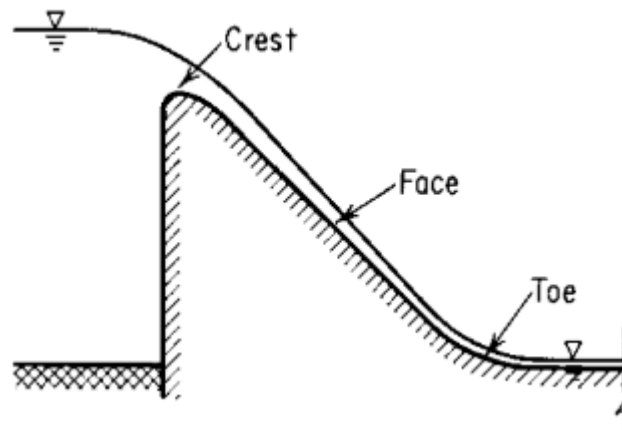
Vertedero Ogee

ANEXO III DISEÑO DEL VERTEDERO OGEE

El vertedero tiene por objetivo evacuar el agua proveniente de las avenidas que el embalse no es capaz de retener. El mismo debe ser apto para transportar y restituir al cauce natural aguas abajo la excedencia de agua, de forma segura y eficaz, evitando principalmente la destrucción de la presa por sobrepasamiento, riesgo especialmente crítico en presas de materiales sueltos.

En este caso se decide proyectar un vertedero frontal de cresta fija tipo Ogge. El mismo consiste en un perfil curvo, denominado perfil Creager, cuya forma se asemeja a la superficie inferior de la lámina de agua que descarga por un vertedero de cresta delgada, y es diseñado de forma tal que no se produzcan depresiones en el umbral de vertido, separaciones de la lámina vertiendo ni fenómenos de cavitación sobre la pared.

En la siguiente imagen se muestra un esquema tipo del vertedero a diseñar.



Este tipo de vertedero tiene la ventaja de ser automático, dado que en principio no se proyecta la instalación de compuertas, el funcionamiento del vertedero no estará sujeto a errores humanos de manipulación.

El diseño del vertedero implica la definición de tres partes: la toma, la conducción y la obra de restitución al cauce.

La toma, cumple la función de derivar el agua del embalse hacia el vertedero. En ella se establece un régimen crítico (al pasar de un régimen supercrítico en el embalse a supercrítico sobre el vertedero), por lo que es una sección de control y de ella depende la capacidad de desagüe del vertedero.

La conducción tiene por finalidad transportar el agua desde la toma hasta la obra de restitución, por tratarse de un vertedero tipo Ogge, será por encima del paramento del vertedero aguas abajo de la presa.

Por último, la obra de restitución al cauce está condicionada por la necesidad de disipar la energía que acumulada en forma de energía potencial en el embalse se transforma en energía cinética en la conducción. Para disipar esa energía y evitar efectos de erosión en el río y riesgo de desestabilizar la cimentación de la presa, se decide generar un resalto al pie de la presa.

Las tres partes, con una función hidráulica específica, se proyectaran de forma simultánea de modo de asegurar el correcto funcionamiento hidráulico de la obra en su totalidad.

Metodología de diseño

La metodología de cálculo para el diseño del vertedero consiste en determinar los parámetros de diseño para cada uno de los elementos importantes que constituyen la obra.

Para dimensionar la toma, basta determinar el ancho de vertedero (B), el cual según la ley de descarga sobre el vertedero, dependerá del caudal de descargado (Q) y el tirante de agua sobre la cresta del vertedero (H), según la siguiente expresión¹:

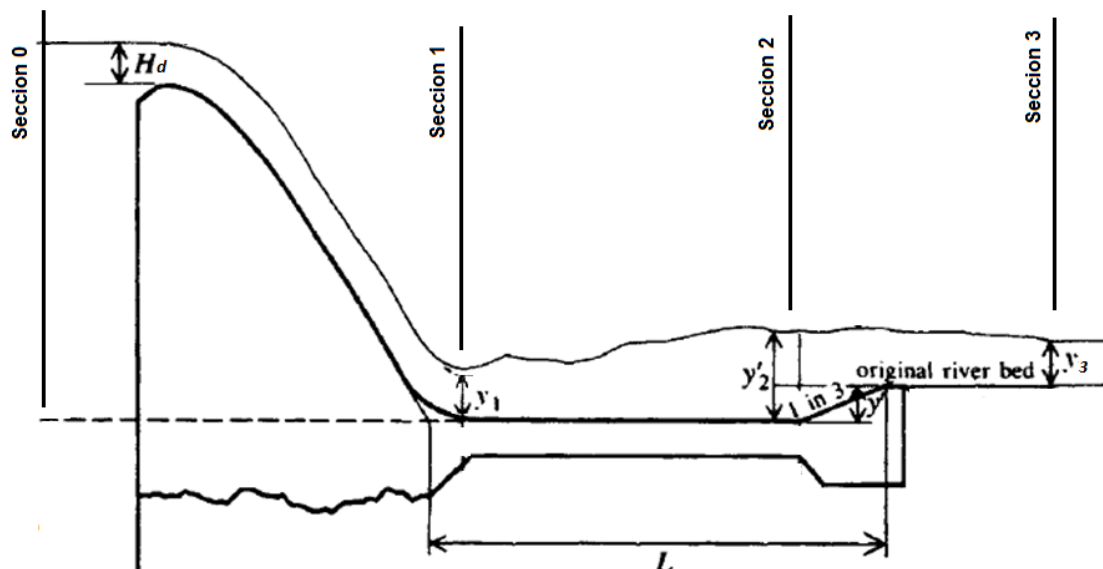
$$Q = 2.18 B H^{1.5}$$

Cabe destacar que el valor 2.18 corresponde al coeficiente de descarga sobre vertedero cuando la altura de agua sobre la cresta del mismo es igual a la altura de diseño H_d . En caso que la altura H difiera de H_d , deberá corregirse dicho coeficiente.

Luego, la forma del perfil Creager es ampliamente conocida para una lámina de vertido igual a 1 m, por la que para obtener el perfil Creager asociado a una lámina de vertido H_d , basta multiplicar las coordenadas del mismo por H_d .

Por último, el diseño del cuenco disipador dependerá de las condiciones del flujo al pie del vertedero.

En la siguiente imagen se muestran las secciones que serán de interés en el diseño de ahora en más.



Para determinar el caudal de diseño y la lámina de agua sobre el vertedero (sección 0), se decide emplear el modelo hidrodinámico implementado en HEC-RAS que resuelve las ecuaciones completas de Saint Venant y aprovechar la potencialidad de cálculo del

¹ Notas Curso de Represas y Canales (año 2015)

software, en vez de realizar un cálculo más simplificado como el método de piscina nivelada para transitar la avenida de proyecto en el embalse.

Como se puede apreciar en las figuras anteriores, el paramento aguas abajo del vertedero presenta pendientes muy abruptas. En estas condiciones se genera, a partir de cierto punto, un gran arrastre de aire y una turbulencia plena que genera una pérdida de energía a lo largo del vertedero, no siendo correcto asumir que se conserva la energía para determinar la velocidad al pie del vertedero (sección 1).

Por esta razón y a los efectos de calcular la velocidad al pie del vertedero, se emplea la gráfica propuesta por Bradley y Peterka, que se presenta en la siguiente figura. La misma establece la relación entre la caída o distancia vertical (en pies) desde el nivel del embalse aguas arriba hasta el nivel del pie del vertedero y la relación entre la velocidad real y teórica al pie del vertedero (en pies/s).

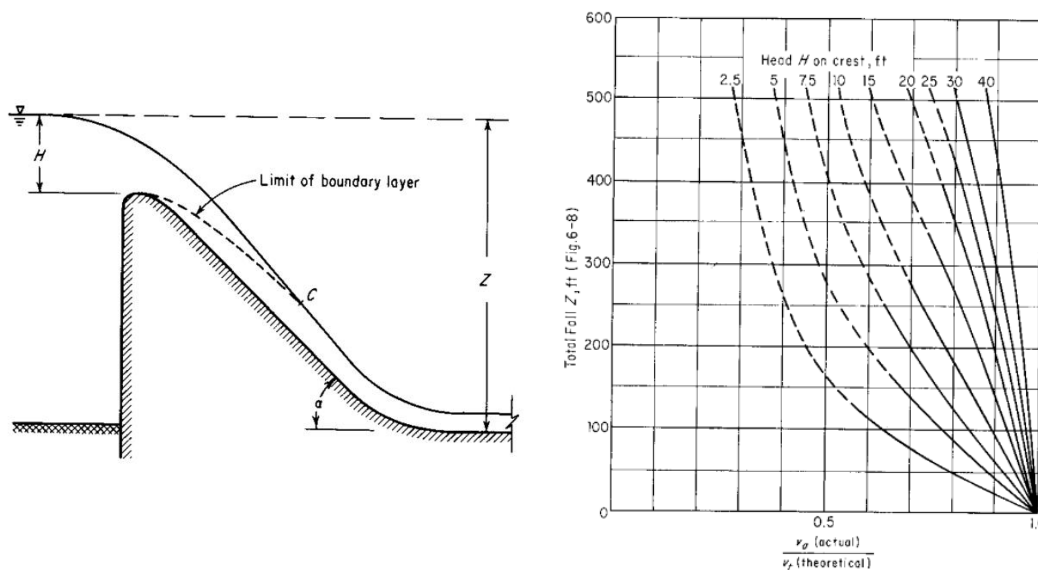
La velocidad teórica a la que hace referencia puede calcularse (en pies/s) mediante la siguiente expresión:

$$v_{teo} = \sqrt{2g(Z - 0.5H)}$$

Siendo, Z: Caída total (pies)

H: Lámina de agua sobre la cresta del vertedero (pies)

Es de esperar que la velocidad real sea menor que la velocidad teórica.



Una vez conocida la velocidad real al pie del vertedero (v_1), es posible determinar las características del flujo en dicha sección, esto es, determinar el tirante y número de Froude. Este último parámetro es fundamental para para determinar el tipo de resalto que se formará.

$$y_1 = \frac{Q}{v_1 B} \quad Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g y_1}}$$

Luego, para que sea posible la conformación de un resalto hidráulico, es necesario imponer aguas abajo del pie del vertedero (sección 3) un tirante subcrítico que permita gobernar el flujo aguas arriba.

En general, los tirantes sobre el lecho del río (sección 3) son menores que el tirante conjugado (y_2) del tirante al pie del vertedero y_1 . Esto generaría que el resalto se mueva hacia aguas abajo provocando la socavación y encarecimiento por revestido del cuenco de amortiguación

Con el fin de evitar la situación anterior y controlar el resalto se decide colocar un cuenco excavado por debajo del lecho natural, de modo tal que el tirante en el cauce y_3 coincida con el tirante conjugado y_2 , mayorado por un coeficiente de 1.1, según recomendaciones de la Guía Técnica de Seguridad de Presas - Aliviaderos y Desagües.

El tirante y_3 corresponde al tirante normal en el cauce generado por la descarga Q del aliviadero.

La longitud del cuenco queda definido por la longitud del resalto, la cual se estima a través de la fórmula de Hager:²

$$L_{resalto} = 220 y_1 \tanh\left(\frac{Fr_1 - 1}{22}\right)$$

Análisis de Alternativas

Se analizan diferentes configuraciones de vertedero, en las que se varía el ancho del vertedero frontal y la colocación o no de un sangrador. Éste se supone de 200 m de ancho, pendiente suave de 0.1%, colocado a una cota de 110 msnm, esto es, 2 m sobre el vertedero central.

Se recuerda que los parámetros de caudal y tirante sobre la cresta del vertedero frontal y sangrador se determinan a partir de la modelación de cada una de las alternativas planteadas en el modelo hidrodinámico generado en HEC-RAS.

Las alternativas analizadas son las siguientes:

	Vertedero Frontal	Sangrador
Escenario 1	150 m	NO
Escenario 2	150 m	SI
Escenario 3	100 m	NO
Escenario 4	100 m	SI
Escenario 5	75 m	NO
Escenario 6	75 m	SI
Escenario 7	50 m	NO
Escenario 8	50 m	SI

² Notas Curso de Represas y Canales (año 2015)

	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7	Esc 8
Cota NAP (msnm)	113.4	112.8	114.5	113.5	115.2	113.9	116.2	114.5
L Ogge (m)	150	150	100	100	75	75	50	50
Hd Ogge (m)	5.37	4.82	6.50	5.53	7.21	5.98	8.19	6.51
Q Ogge (m ³ /s)	4069	3460	3613	2835	3165	2391	2555	1810
L Sangrador (m)	0	200	0	200	0	200	0	200
Hd sangrador (m)	0	2.82	0	3.53	0	3.98	0	4.51
Q sangrador (m)	0	916	0	1314	0	1593	0	1953
Δ Hd (m)	0.55		0.97		1.23		1.68	
Cota de Coron. (msnm)	116.9	116.1	118.1	116.9	119.0	117.4	120.2	118.0

Se puede observar de la tabla anterior que cuanto mayor es el ancho del vertedero frontal, mayor el caudal erogado por el mismo y menor es la lámina de agua sobre el vertedero.

La presencia o no del sangrador para un mismo ancho de vertedero frontal provoca una diferencia de niveles sobre el vertedero Hd entre 0.6 y 1.7 metros, lo cual no es una diferencia tan significativa.

Las variaciones en el nivel de agua sobre el vertedero se traducen en una variación en la cota de coronamiento entre ambos escenarios, siendo mayor en aquellos escenarios sin sangrador.

La elección del escenario óptimo se basa únicamente en los costos de las obras de hormigón para la construcción del vertedero frontal y las obras de movimiento de suelos para la construcción del dique. **No está contemplado el costo de construcción del posible vertedero lateral.**

Se supone:

- Costo de Hormigón en masa para el vertedero US\$ 600 /m³.
El volumen de hormigón a emplear se estima como el área bajo la curva del perfil Creager hasta la cota de la roca, por el ancho del vertedero.
- Costo de Movimiento de suelos para dique US\$ 5/m³.
El volumen de movimiento de suelos se calcula como el relleno entre la cota del terreno y la cota de coronamiento a lo largo de la sección del dique, con un ancho de coronamiento de 10 m.

La siguiente tabla resume los metrajes y costos evaluados para cada una de los escenarios en análisis.

Escenario	Costo Vert Ogee U\$\$	Costo Dique U\$\$	Costo Total U\$\$	Diferencia U\$\$
1	25,650,000	9,297,314	34,947,314	2,176,016
2	24,345,000	8,426,297	32,771,297	
3	18,684,000	10,697,882	29,381,882	2,816,569
4	17,268,000	9,297,314	26,565,314	
5	14,805,000	13,276,033	28,081,033	3,260,199
6	13,500,000	11,320,834	24,820,834	
7	11,490,000	14,855,662	26,345,662	4,836,089
8	9,360,000	12,149,573	21,509,573	

La tabla anterior refleja, por un lado, como los costos de la obra están gobernados por el ancho del vertedero frontal. Cuanto mayor es el ancho de vertedero, mayor son los costos, independientemente de la colocación o no del sangrador.

Por otro lado, se observa que los costos de construcción del dique y del vertedero frontal en los escenarios que contemplan la construcción de un sangrador, resultan entre 2 y 5 millones de dólares más baratos que los escenarios sin sangrador.

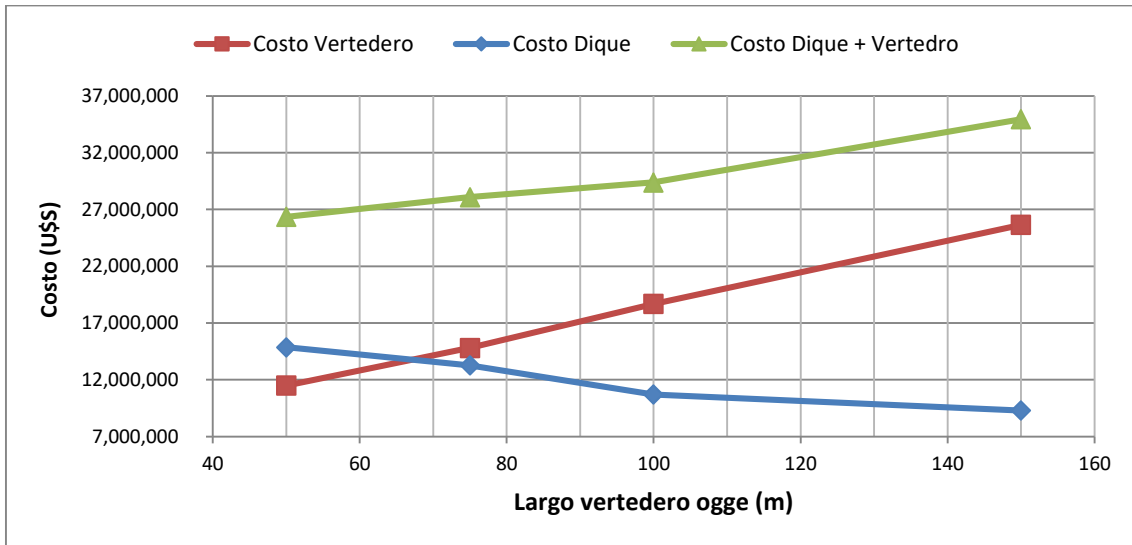
De acuerdo a la topografía del terreno en la zona, la construcción de un vertedero lateral con pendiente suave de 0.1%, implica que la longitud del mismo sea aproximadamente de 20 km.

Dada la magnitud del vertedero canal que sería necesario construir, se entiende que la diferencia de costos entre los escenarios con y sangrador se absorbería en el costo de la construcción del vertedero lateral. Con lo cual, la diferencia entre los escenarios con y sin sangrador no resulta significativa en materia de costos, descartándose la construcción del sangrador.

La decisión final recae entonces en la comparación de costos entre aquellos escenarios que consideran únicamente la construcción del vertedero frontal. También se tiene en cuenta el funcionamiento hidráulico del mismo, analizando la lámina de agua sobre el vertedero.

A continuación, se presenta una tabla resumen en la que se consideran los anteriores aspectos.

Escenario	Costo Vert Ogee (U\$\$)	Costo Dique (U\$\$)	Costo Ogee + Dique (U\$\$)	Hd (m)
1	25,650,000	9,297,314	34,947,314	5.37
3	18,684,000	10,697,882	29,381,882	6.50
5	14,805,000	13,276,033	28,081,033	7.21
7	11,490,000	14,855,662	26,345,662	8.19



Se decide descartar el escenario 1 por tener el mayor costo de construcción y por tener la mayor diferencia de costo con los restantes escenarios.

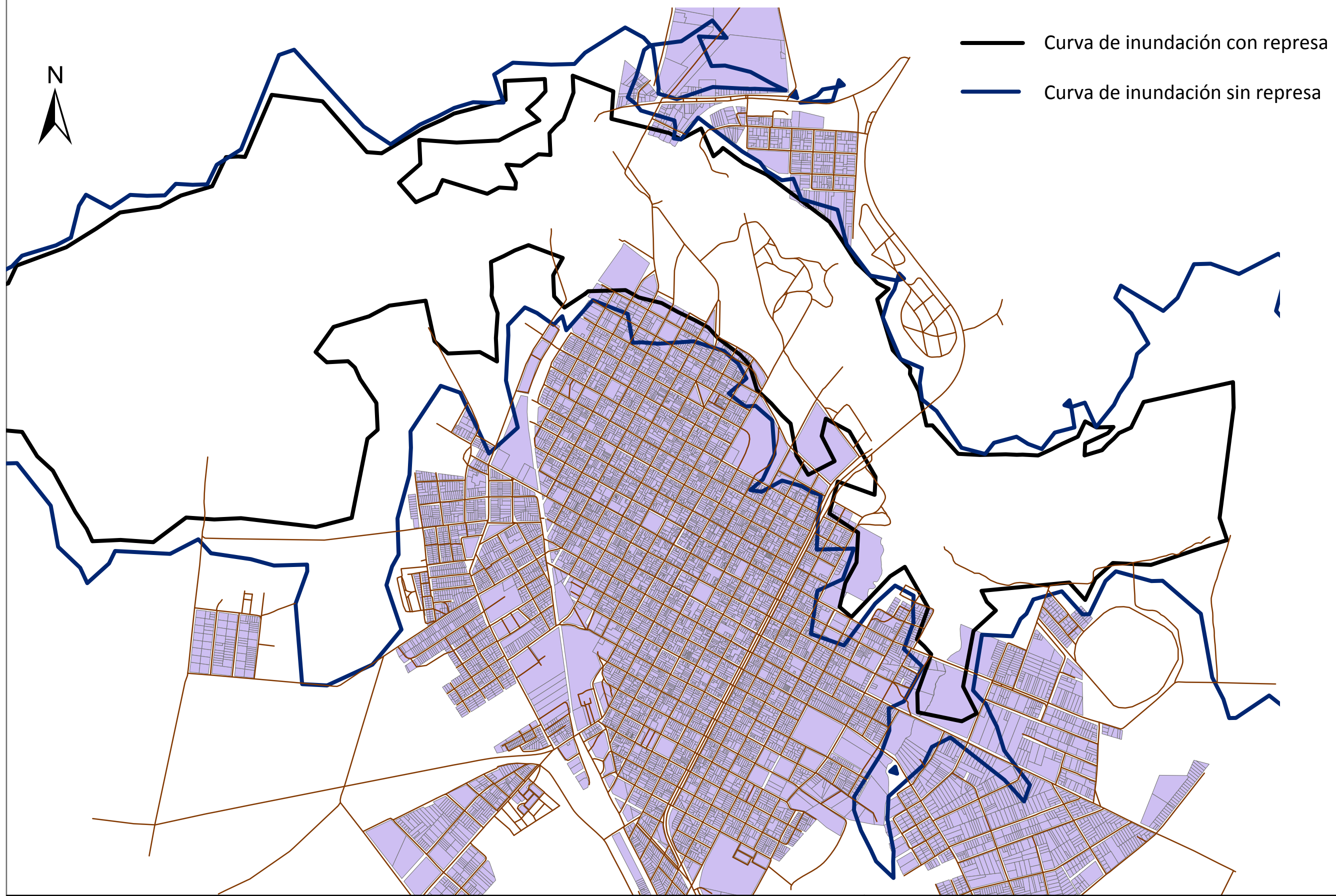
Se observa claramente en la gráfica anterior que, para los escenarios 3, 5 y 7, la diferencia entre los costos totales entre ellos no es considerada significativa, sin embargo si lo es la altura de lámina de agua sobre el vertedero, la cual aumenta casi 2 metros entre el escenario 3 y el escenario 7.

Hidráulicamente se considera más conveniente tener una menor lámina de agua sobre el vertedero, ya que genera menores velocidades sobre y al pie del vertedero, por lo que se decide finalmente por el escenario 3.

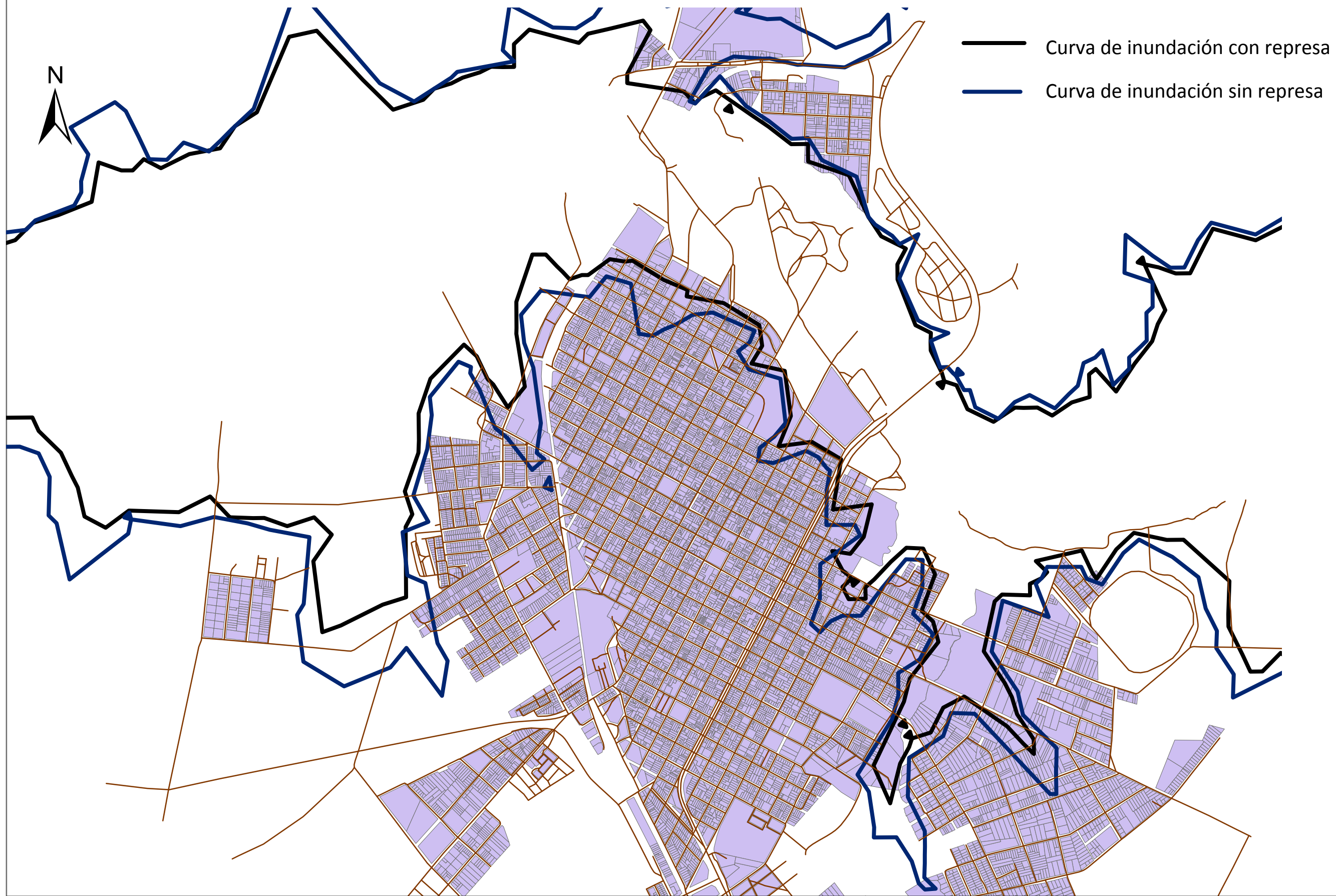
ANEXO 4

Mapas de Inundación

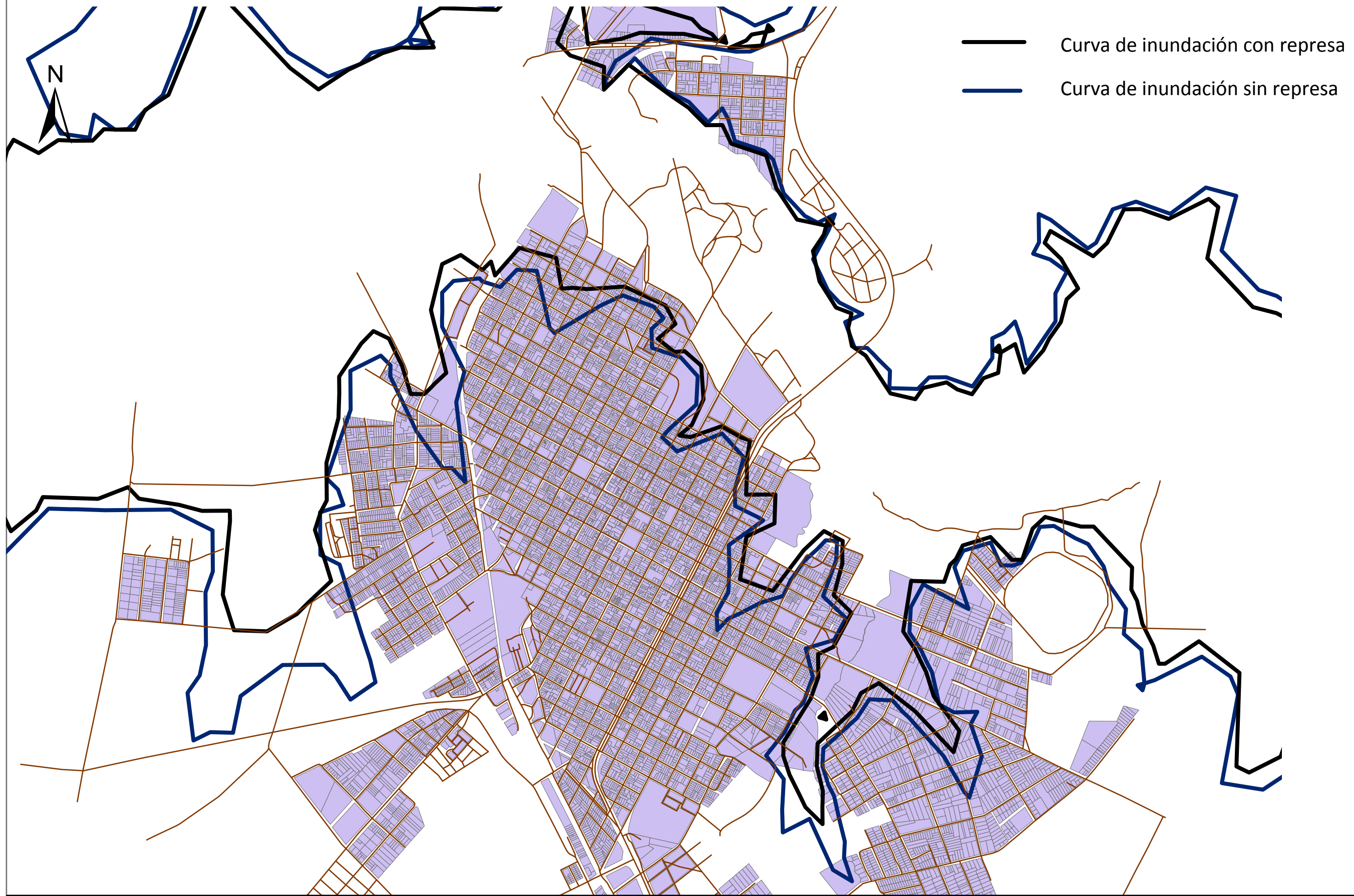
Mapa de inundación en Durazno para Tr = 2 años



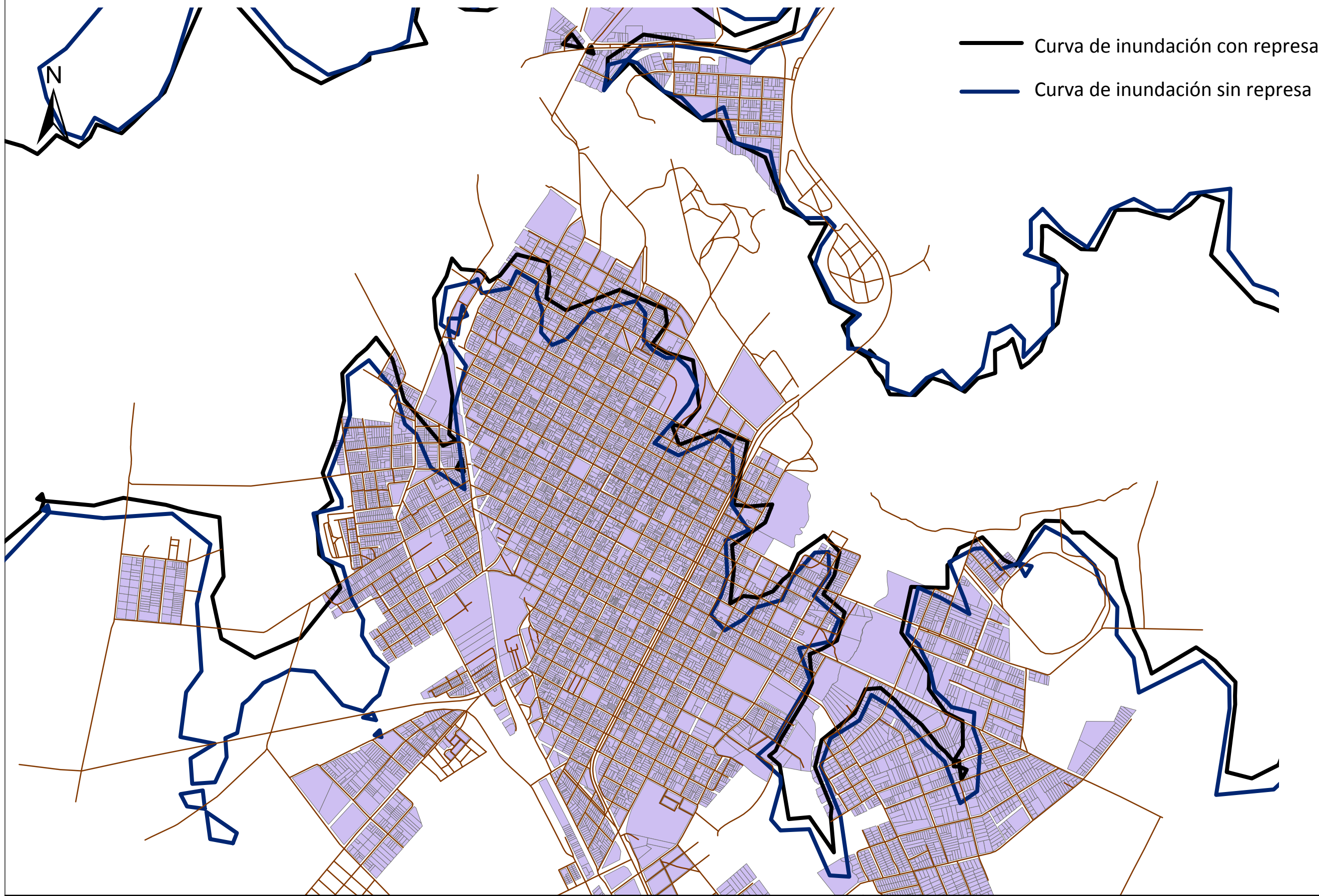
Mapa de inundación en Durazno para Tr = 5 años



Mapa de inundación en Durazno para Tr = 10 años



Mapa de inundación en Durazno para Tr = 20 años



- Curva de inundación con represa
- Curva de inundación sin represa

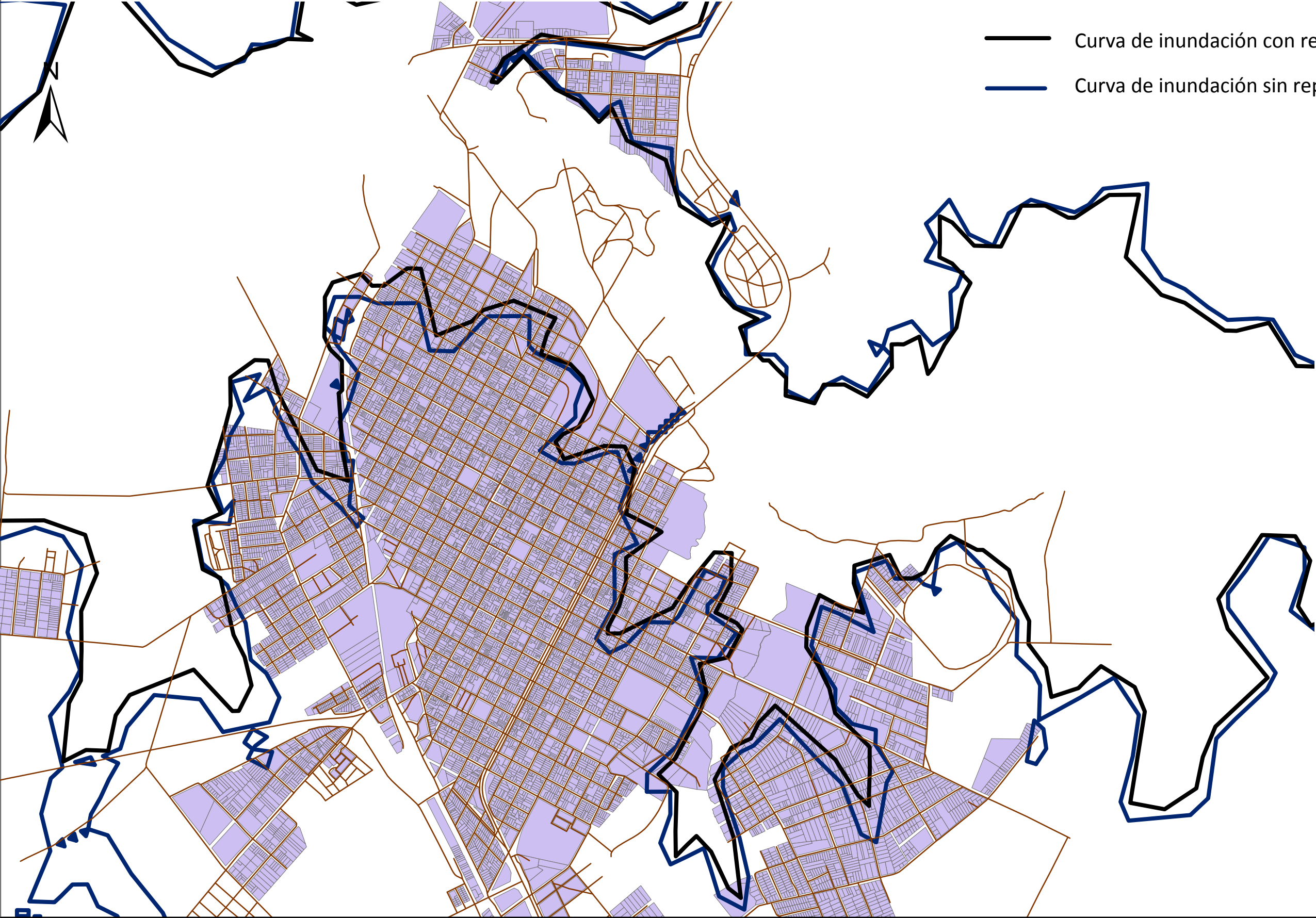


Proyecto Ingeniería Civil H/A
Micaela Miranda- Cecilia Riet Correa- Vittoria Rotondaro

Mapa de inundación 4

Escala:
1:20,000

Mapa de inundación en Durazno para Tr = 50 años



- Curva de inundación con represa
- Curva de inundación sin represa

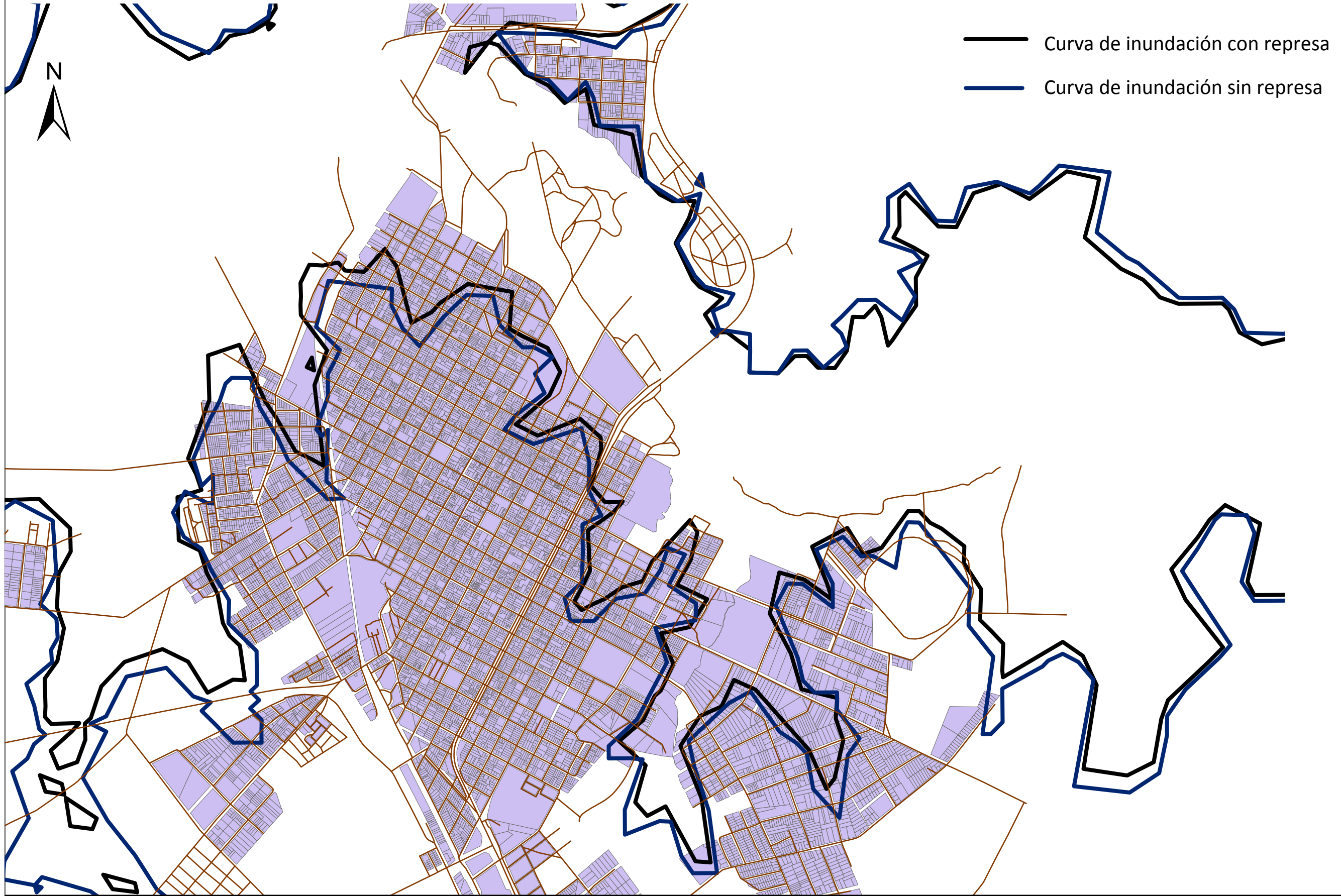


Proyecto Ingeniería Civil H/A
Micaela Miranda- Cecilia Riet Correa- Vittoria Rotondaro

Mapa de inundación 5

Escala:
1:20,000

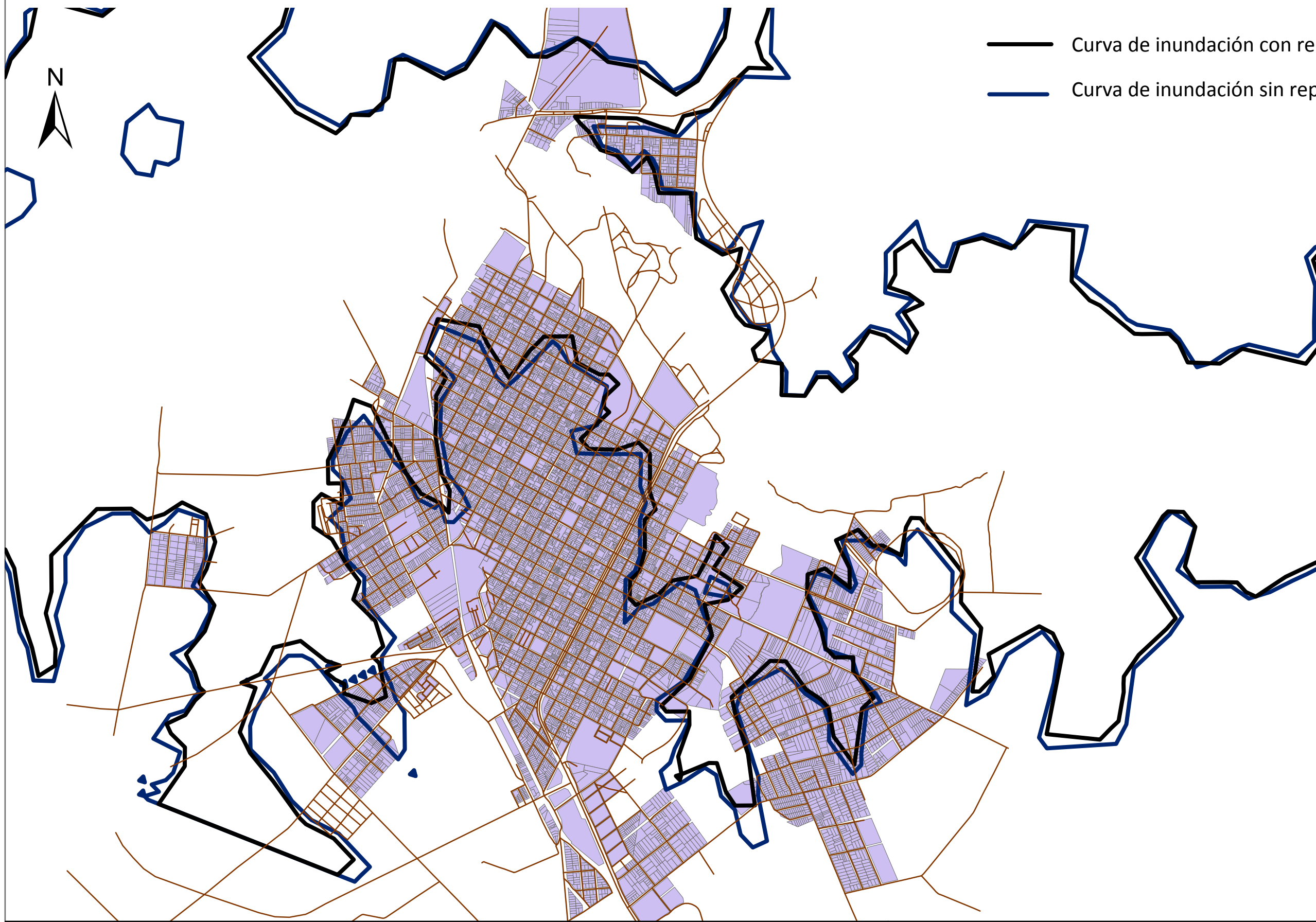
Mapa de inundación en Durazno para Tr = 100 años



Mapa de inundación en Durazno para $T_r = 500$ años



Mapa de inundación en Durazno para Tr = 1000 años



- Curva de inundación con represa
- Curva de inundación sin represa



Proyecto Ingeniería Civil H/A
Micaela Miranda- Cecilia Riet Correa- Vittoria Rotondaro

Mapa de inundación 8

Escala:
1:25,000

ANEXO 5

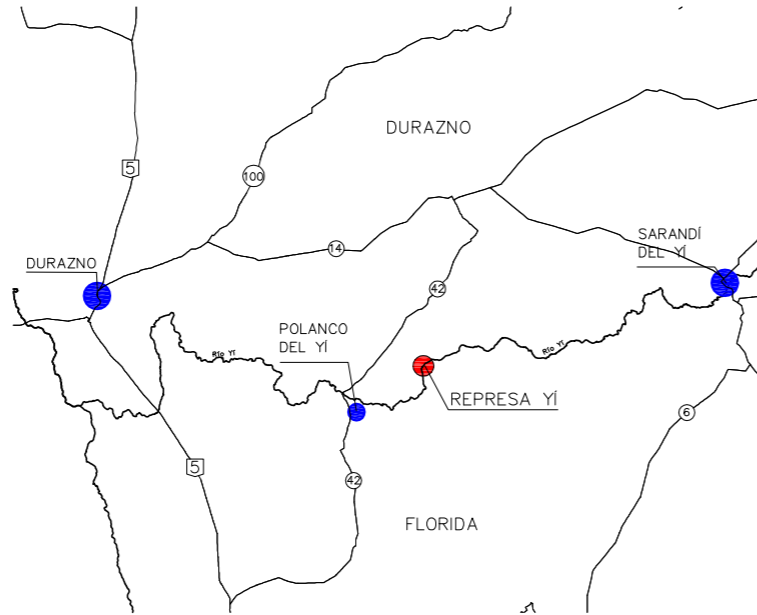
Planos

UBICACIÓN NACIONAL



UBICACIÓN DEPARTAMENTAL

ESCALA 1:1.000.000

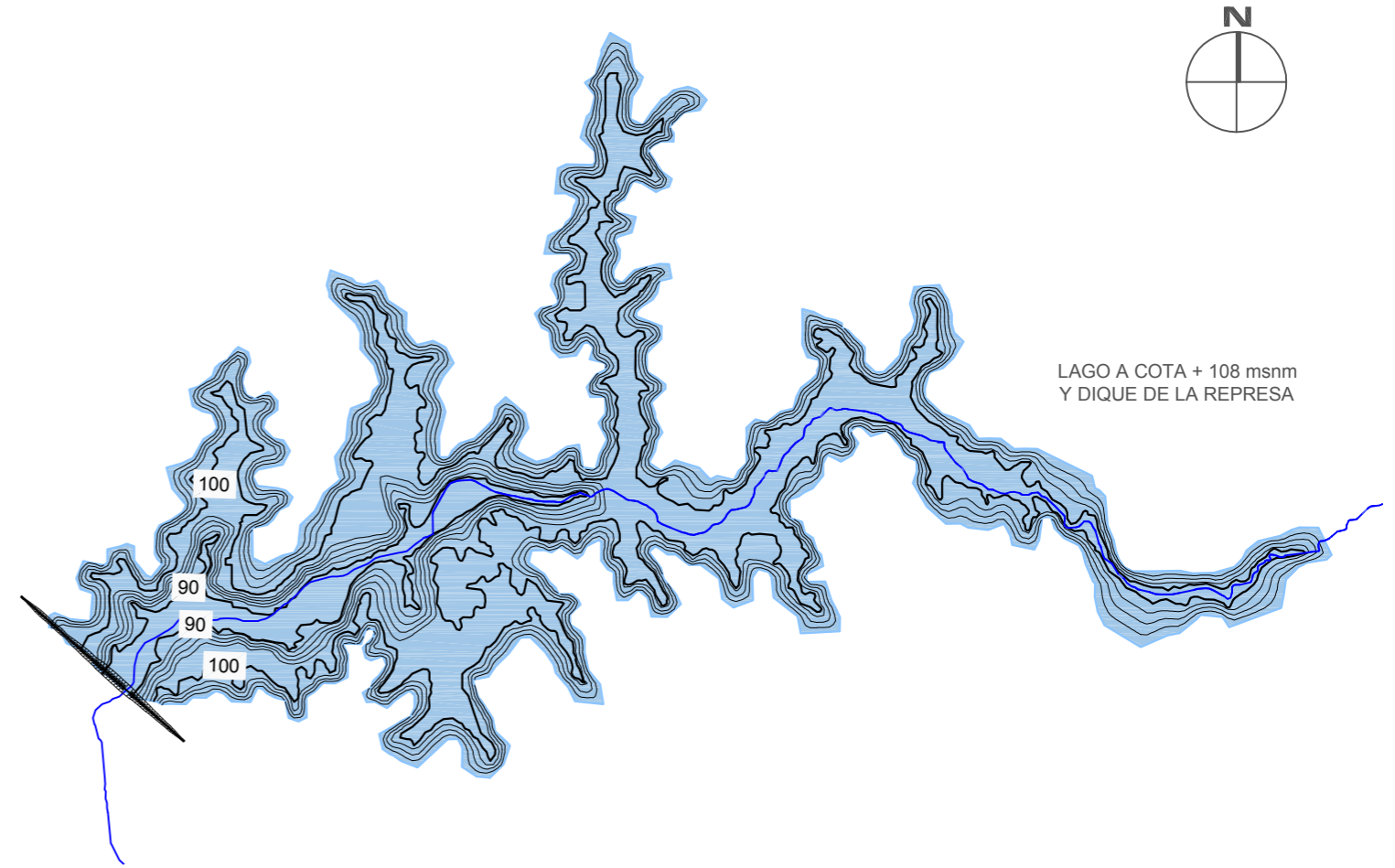


COORDENADAS DEL CIERRE	
X (m)	588454
Y (m)	6299313

SISTEMA DE PROYECCIÓN DE COORDENADAS UTM 21S

PLANTA - CURVAS DEL VASO CADA 2 m

ESCALA 1:100.000



LAGO A COTA + 108 msnm
Y DIQUE DE LA REPRESA

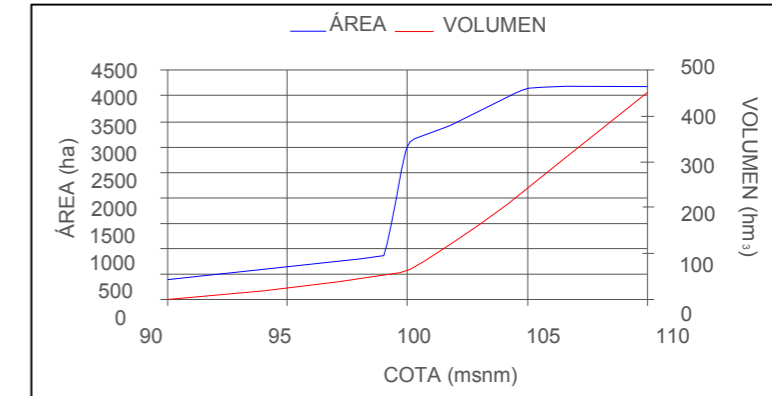
CUENCA HIDROGRÁFICA SOBRE IMÁGEN SATELITAL

ESCALA 1:1.000.000



CARACTERÍSTICAS DEL VASO DE ALMACENAMIENTO

COTA msnm	ÁREA ha	VOLUMEN hm ³
90	367	0
91	415	3.9
92	465	8.3
93	515	13.2
94	568	18.6
95	620	24.6
96	675	31.1
97	731	38.1
98	787	45.7
99	845	53.8
100	3005	62.6
101	3242	93.8
102	3480	127.4
103	3722	163.4
104	3955	201.8
105	4155	242.4
106	4196	284.2
107	4201	326.2
108	4202	368.2
109	4202	410.3
110	4202	452.3



TODAS LAS DIMENSIONES SE DAN EN METROS
LAS COTAS SON REFERIDAS AL CERO OFICIAL

PLANO
UBICACIÓN NACIONAL Y REGIONAL
CUENCA HIDROGRÁFICA Y COORDENADAS DEL CIERRE
LAGO DE LA REPRESA SOBRE CURVAS DE NIVEL
CARACTERÍSTICAS DEL VASO DE ALMACENAMIENTO

PROYECTO INGENIERÍA CIVIL H/A
VITTORIA ROTONDARO - CECILIA RIET CORREA - MICAELA MIRANDA

ESCALA INDICADAS
FECHA 2 DICIEMBRE DE 2016

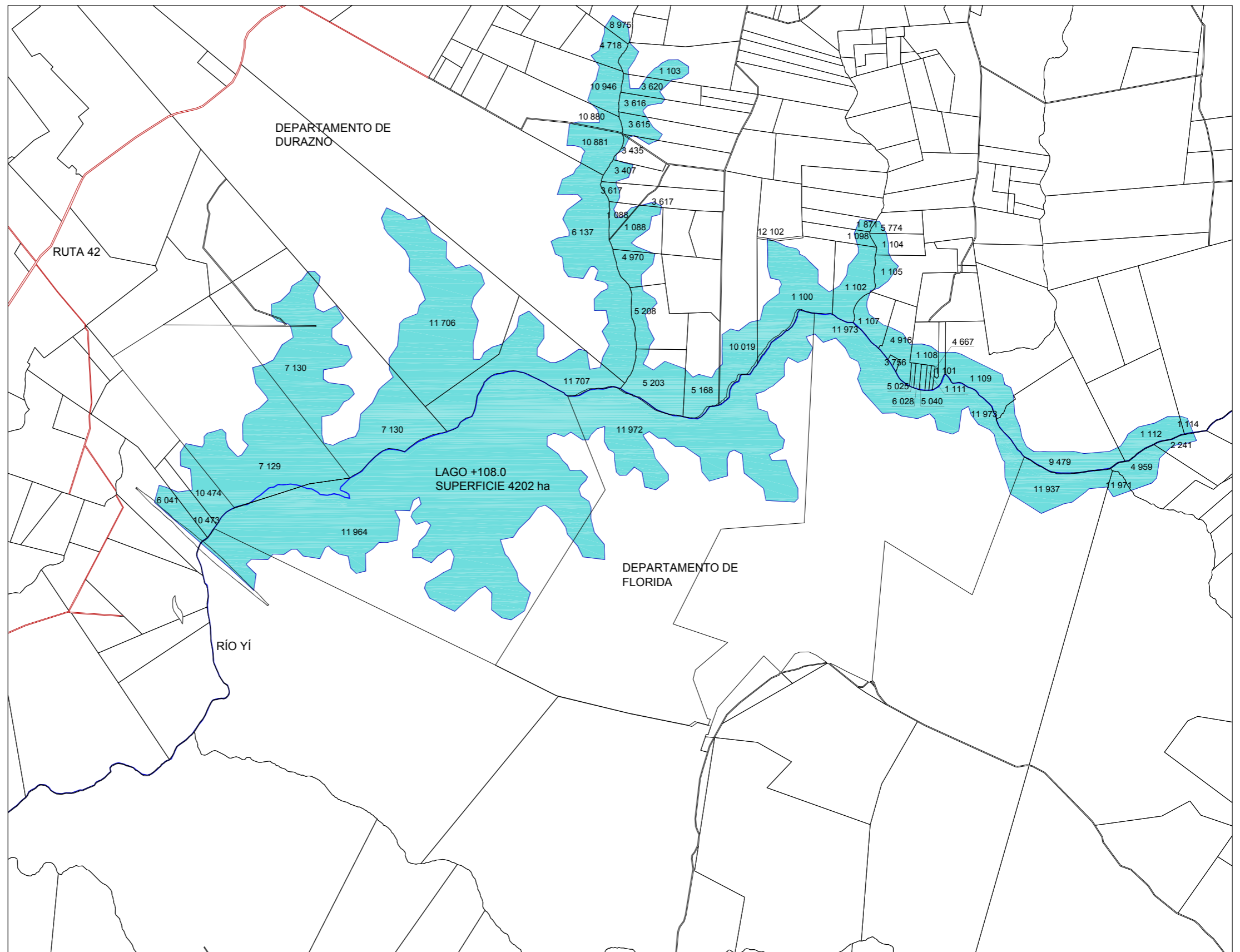
ARCHIVO CAD
20161126 - Diseño.dwg

PLANO N°

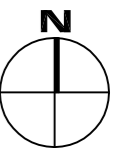
01

VERSIÓN
02

Departamento	Número Padrón	Área total (ha)	Área inundada (ha)	% Área inundada
Durazno	1111	2.8	2.8	100%
Durazno	3756	3.1	3.1	100%
Durazno	5025	3.4	3.4	100%
Durazno	5040	4.7	4.7	100%
Durazno	6028	4.5	4.5	100%
Durazno	4667	3.3	3.3	100%
Durazno	5203	100.8	85.7	85%
Durazno	11707	255.0	216.1	85%
Durazno	1088	17.7	14.2	80%
Durazno	4970	48.2	35.7	74%
Durazno	1088	59.7	43.7	73%
Durazno	1107	47.5	32.0	67%
Durazno	1102	84.1	56.0	67%
Durazno	10474	63.4	42.2	67%
Florida	11964	1817.4	1193.6	66%
Durazno	10473	40.1	26.0	65%
Durazno	1100	213.1	136.3	64%
Durazno	7130	668.7	423.3	63%
Durazno	4916	56.2	34.7	62%
Durazno	1101	14.3	8.0	56%
Durazno	3620	48.2	25.6	53%
Durazno	1108	37.4	19.3	52%
Durazno	10881	94.3	46.0	49%
Durazno	3407	34.8	16.6	48%
Durazno	7129	714.9	330.2	46%
Durazno	5208	92.6	42.2	46%
Florida	4959	100.4	45.7	46%
Durazno	3617	27.4	12.3	45%
Durazno	5168	105.6	46.0	44%
Durazno	1104	34.6	13.2	38%
Durazno	1109	199.3	70.4	35%
Durazno	3615	76.6	26.9	35%
Durazno	1103	135.3	39.7	29%
Durazno	4718	64.3	18.5	29%
Durazno	3435	26.6	7.3	28%
Durazno	11706	1397.2	380.5	27%
Durazno	9479	278.4	75.7	27%
Durazno	3616	85.5	22.8	27%
Florida	11972	1976.1	501.6	25%
Durazno	10019	239.2	60.2	25%
Durazno	10946	120.9	29.3	24%
Durazno	1105	95.0	22.3	24%



PADRONES INUNDADOS POR EL LAGO
ESCALA 1:75.000



TODAS LAS DIMENSIONES SE DAN EN METROS
LAS COTAS SON REFERIDAS AL CERO OFICIAL

PLANO
LAGO COTA +108.00 SOBRE PARCELARIO

PROYECTO INGENIERÍA CIVIL H/A
VITTORIA ROTONDARO - CECILIA RIET CORREA - MICAELA MIRANDA

ESCALA
INDICADAS

FECHA
2 DICIEMBRE DE 2016

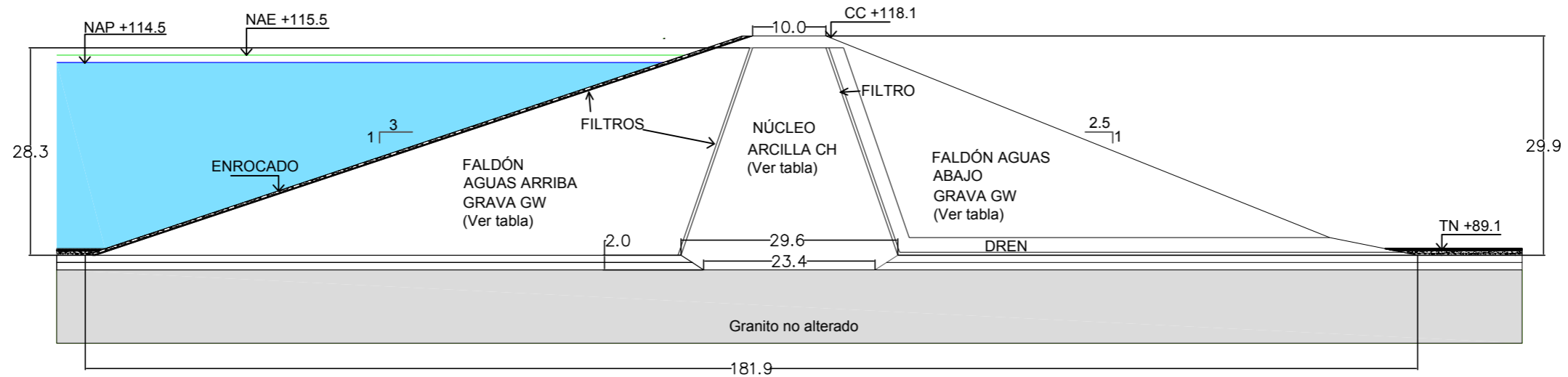
ARCHIVO CAD
20161119 - Diseño.dwg

PLANO Nº

03

VERSIÓN

02

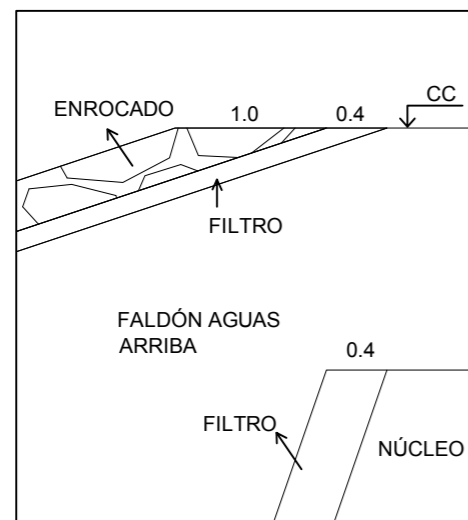


SECCIÓN TIPO DE PRESA DE TIERRA
ALTURA MÁXIMA
ESCALA 1:750

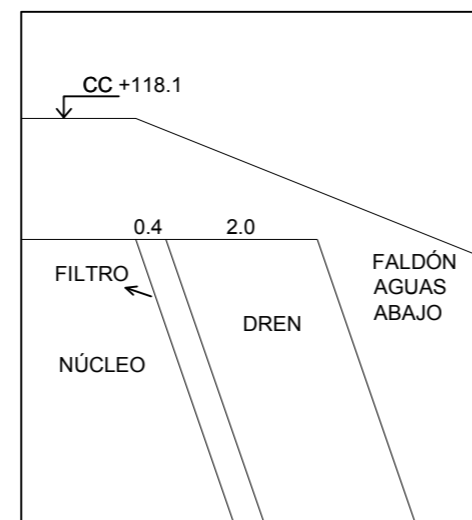
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Condición	CH Núcleo impermeable				GW Espaldones			
	K (m/s)	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	K (m/s)	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
CD	4.8E-10	15	105	20	2.6E-07	19	5	38
CU			11	20			5	38
UU			11	5			6	38

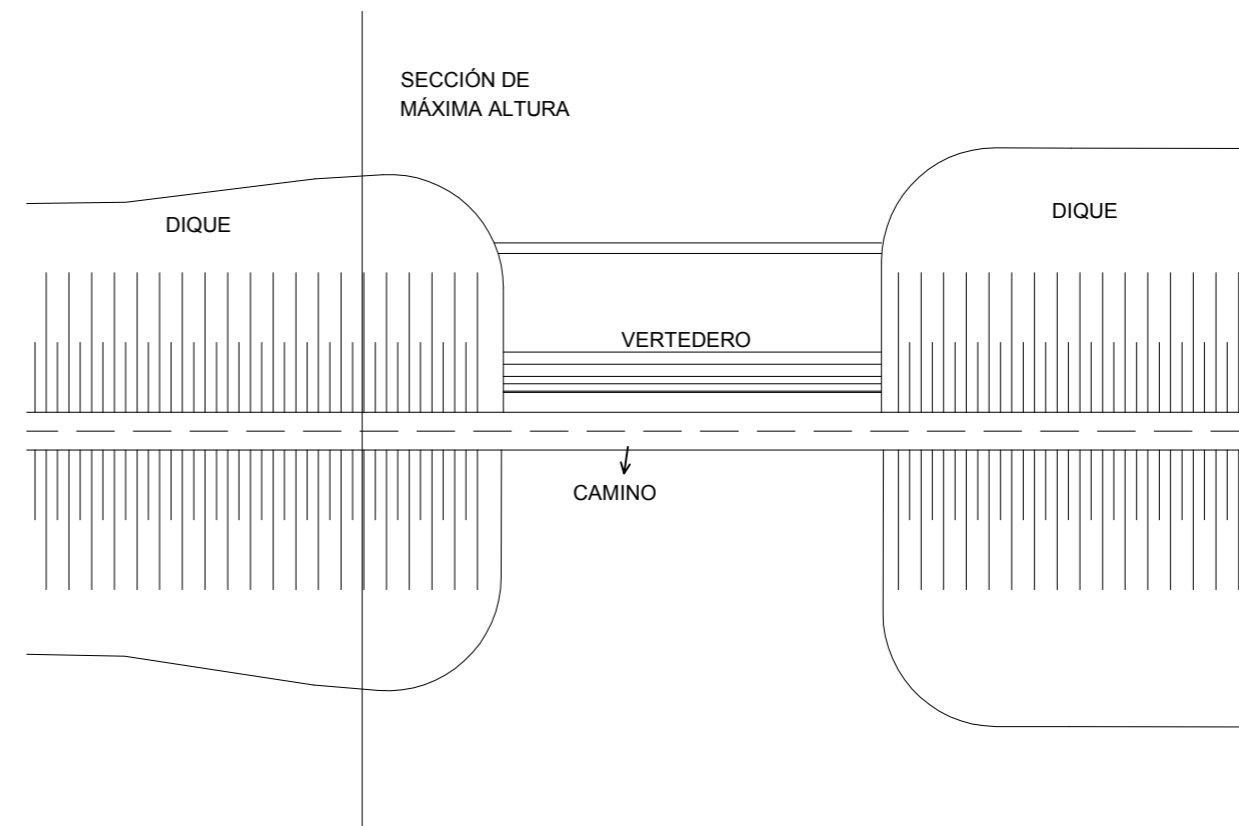
	Dens máx γ (kN/m ³)	K (m/s)	tg ϕ
Drenes	17.04	1.0E-05	0.57
Filtros	16.04	1.0E-06	0.46



DETALLE FILTROS - ENROCADO
AGUAS ARRIBA
ESCALA 1:50



DETALLE FILTRO - DREN
AGUAS ABAJO
ESCALA 1:100



PLANTA
ESCALA 1:2000

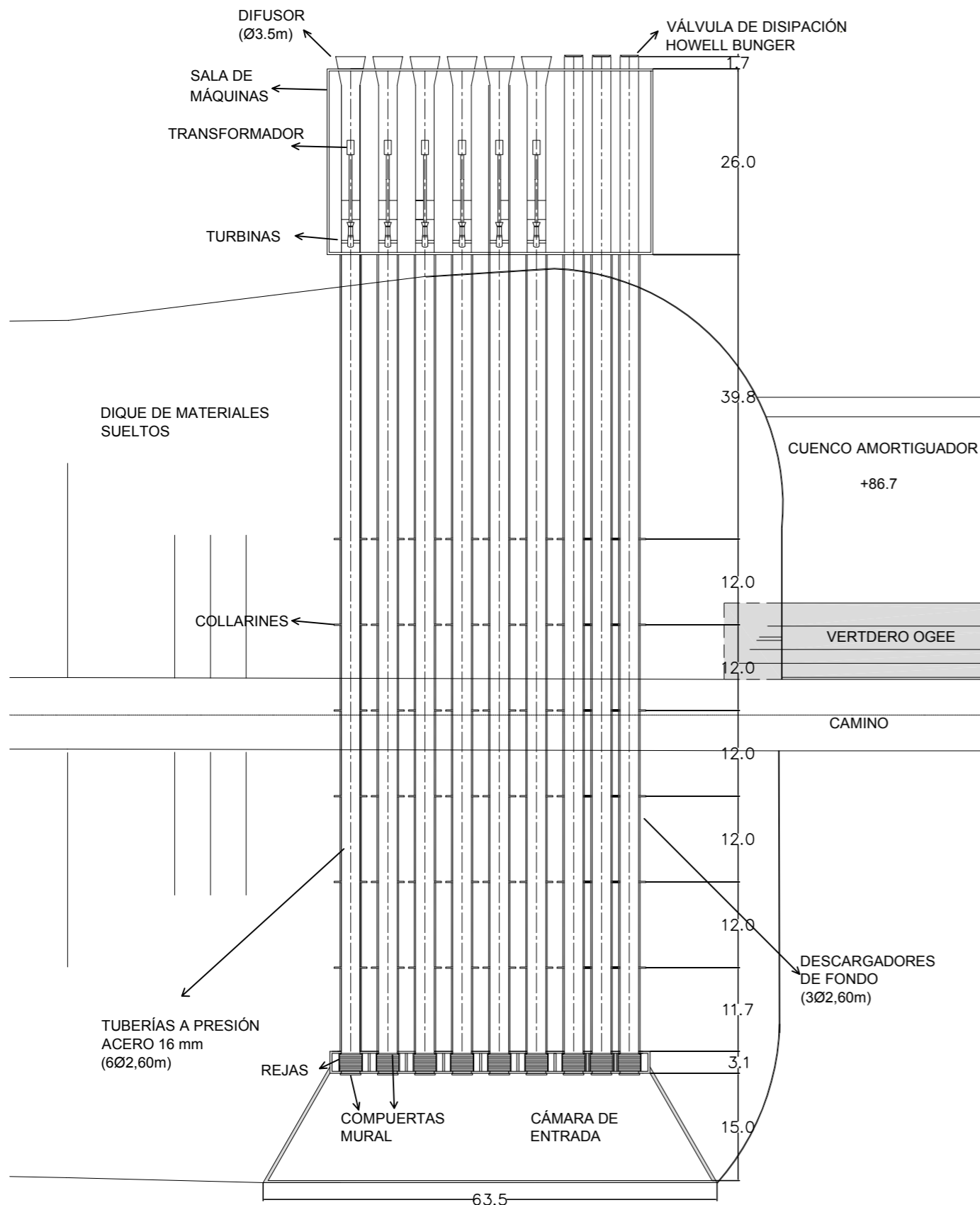


TODAS LAS DIMENSIONES SE DAN EN METROS
LAS COTAS SON REFERIDAS AL CERO OFICIAL

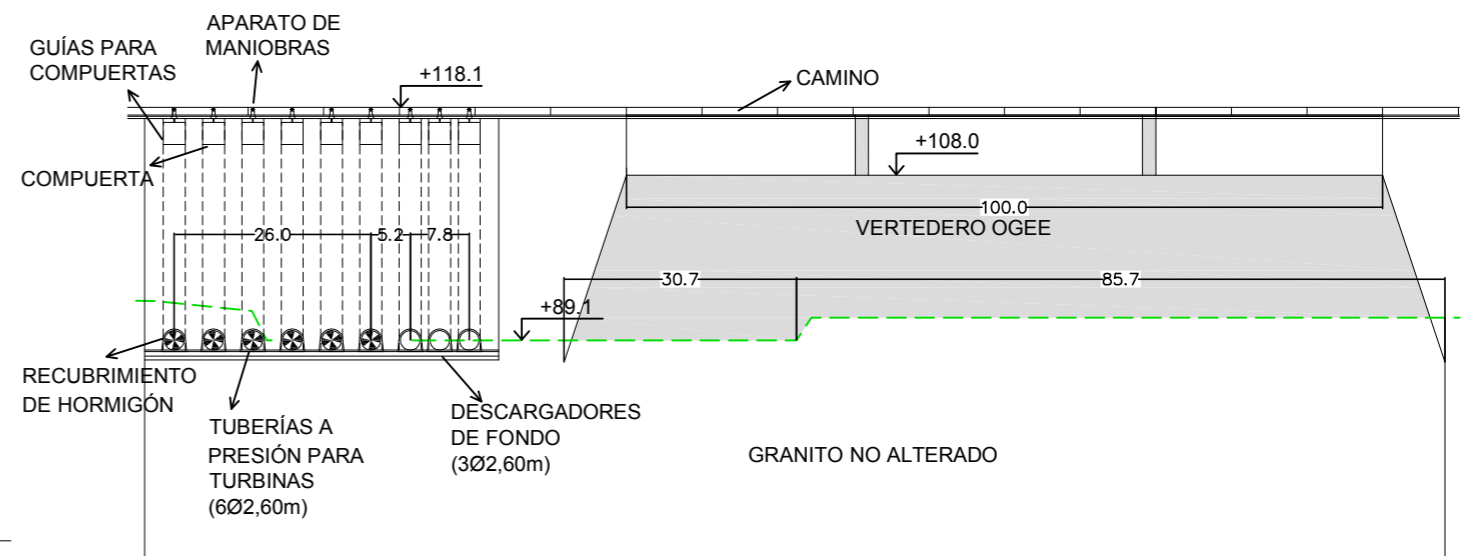
PLANO
SECCIÓN TIPO DE LA PRESA DE TIERRA
MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA
PLANTA DE UBICACIÓN DE LA SECCIÓN
DETALLES DRENES - FILTROS Y ENROCADO

PROYECTO INGENIERÍA CIVIL H/A
VITTORIA ROTONDARO - CECILIA RIET CORREA - MICAELA MIRANDA
ESCALA INDICADAS
FECHA 2 DICIEMBRE DE 2016
ARCHIVO CAD 20161126 - Diseño.dwg

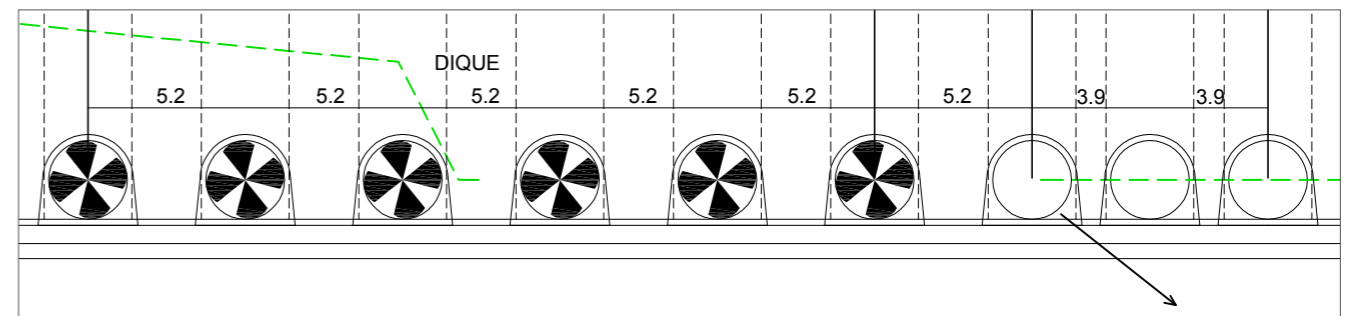
PLANO N°
04
VERSIÓN
02



PLANTA TUBERÍAS
ESCALA 1:750



CORTE ENTRADA TUBERÍAS AL
DIQUE
ESCALA 1:1000



DETALLE ENTRADA TUBERÍAS
AL DIQUE
ESCALA 1:250

RECUBRIMIENTO
DE HORMIGÓN



TODAS LAS DIMENSIONES SE DAN EN METROS
LAS COTAS SON REFERIDAS AL CERO OFICIAL

PLANO
PLANTA TUBERÍAS PARA TURBINADO - DESCARGADOR DE FONDO - DESCARGADOR
AMBIENTAL
CORTE ENTRADA DE TUBERÍAS AL DIQUE
DETALLE ENTRADA DE TUBERÍAS AL DIQUE

PROYECTO INGENIERÍA CIVIL H/A
VITTORIA ROTONDARO - CECILIA RIET CORREA - MICAELA MIRANDA

ESCALA
INDICADAS

FECHA
2 DICIEMBRE DE 2016

ARCHIVO CAD
20160721 - Diseño Turbinas.dwg

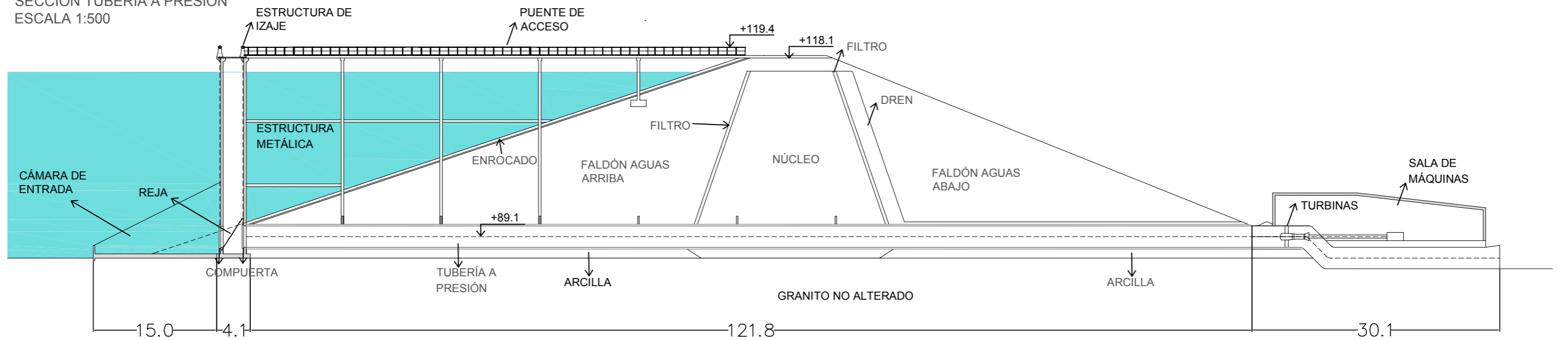
PLANO Nº

05

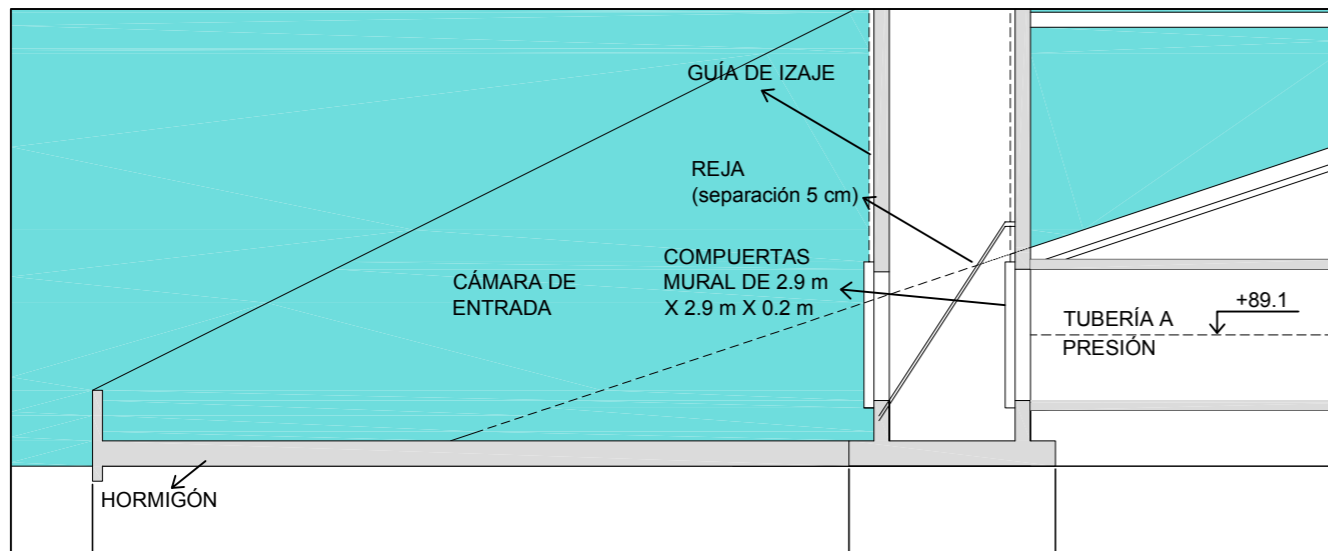
VERSIÓN

02

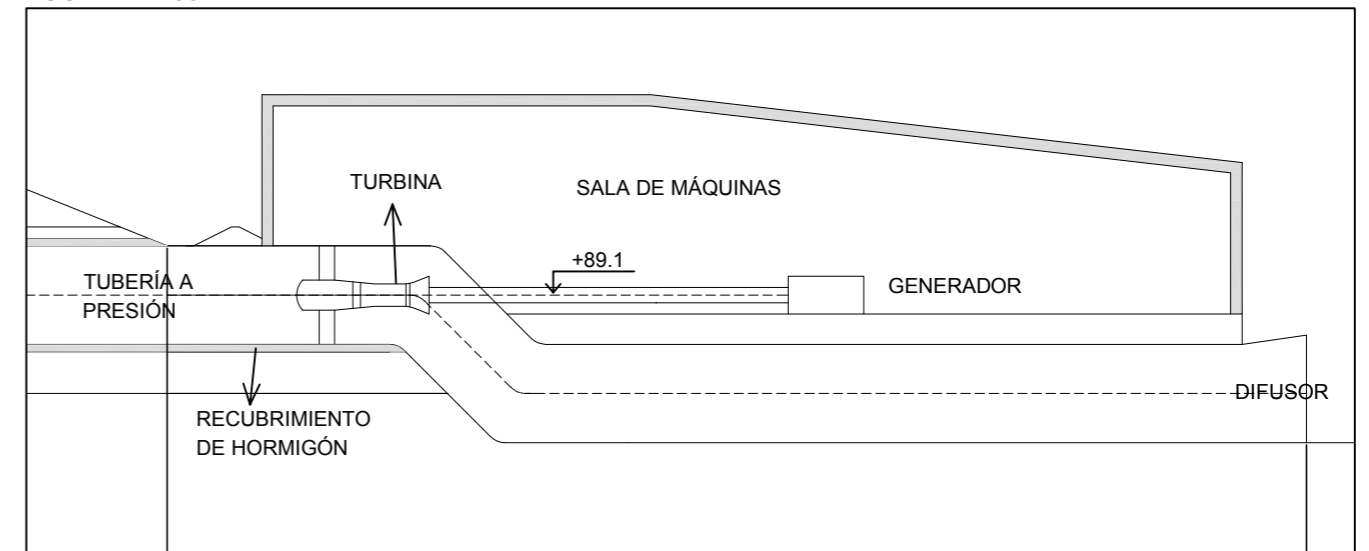
SECCIÓN TUBERÍA A PRESIÓN
ESCALA 1:500



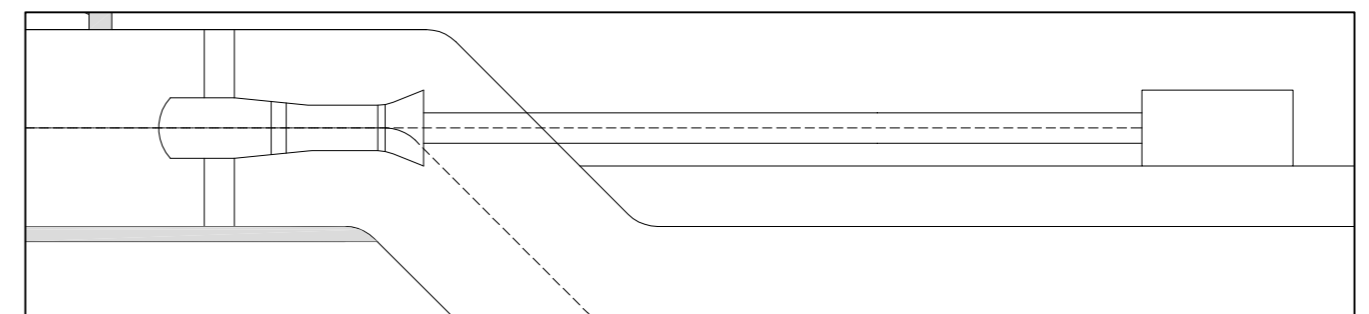
DETALLE ENTRADA DE TUBERÍA
ESCALA 1:150



DETALLE SALIDA DE TUBERÍA
ESCALA 1:200



DETALLE TURBINA Y GENERADOR
ESCALA 1:100



CARACTERÍSTICAS FUNCIONAMIENTO DE TURBINAS

5 TURBINAS AXIALES
CAUDAL: 24 m³/s
SALTO NETO: 15 m

1 TURBINA AXIAL (Caudal Ambiental)
CAUDAL: 12.5 m³/s
SALTO NETO: 15 m

EN AMBOS CASOS LAS TUBERÍAS A PRESIÓN TIENE DIÁMETRO 2.6 m

TODAS LAS DIMENSIONES SE DAN EN METROS
LAS COTAS SON REFERIDAS AL CERO OFICIAL

PLANO
CORTE TRANSVERSAL SECCIÓN CON TUBERÍA DE ASPIRACIÓN PARA TURBINAS
DETALLE ENTRADA Y SALIDA DE TUBERÍA

PROYECTO INGENIERÍA CIVIL H/A
VITTORIA ROTONDARO - CECILIA RIET CORREA - MICAELA MIRANDA

ESCALA
INDICADAS

FECHA
2 DICIEMBRE DE 2016

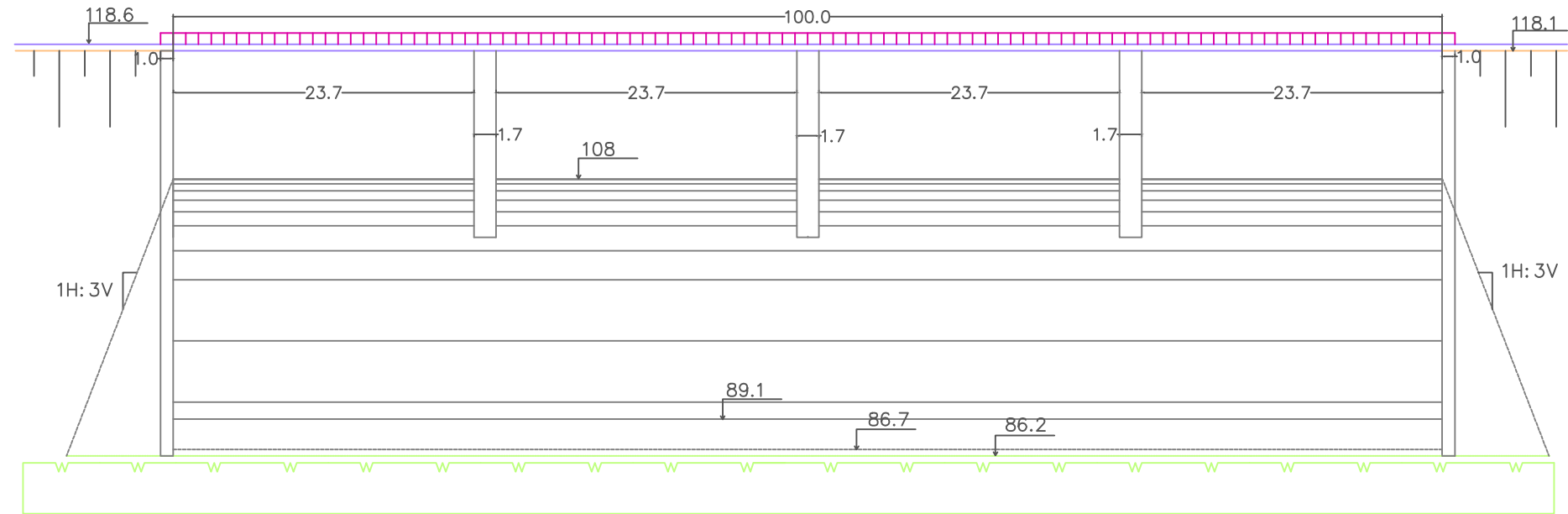
ARCHIVO CAD
20161121 - Diseño Turbinas.dwg

PLANO N°
06

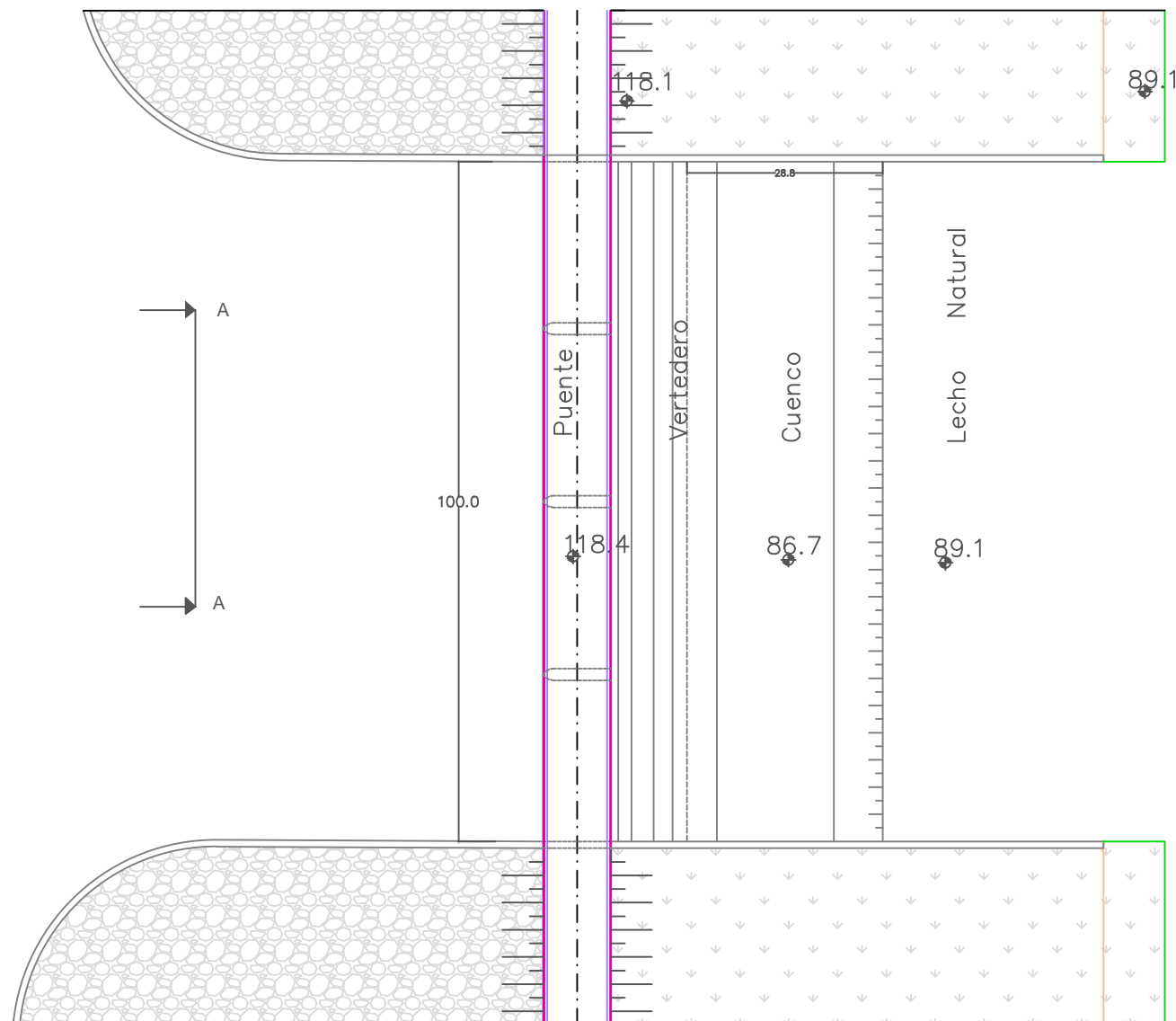
VERSIÓN
02



VISTA AA VERTEDERO
ESCALA 1:500



PLANTA VERTEDERO
OGEE Y CUENCO
AMORTIGUADOR
ESCALA 1:1000



TODAS LAS DIMENSIONES SE DAN EN METROS
LAS COTAS SON REFERIDAS AL CERO OFICIAL

PLANO

PLANTA VERTEDERO OGEE Y CUENCO AMORTIGUADOR
VISTA TRANSVERSAL VERTEDERO

PROYECTO INGENIERÍA CIVIL H/A
VITTORIA ROTONDARO - CECILIA RIET CORREA - MICAELA MIRANDA

ESCALA
INDICADAS

FECHA
02 DICIEMBRE DE 2016

ARCHIVO CAD
20160716 - Vertedero.dwg

PLANO N°
07
VERSIÓN
01



AUTORES:

MICAELA MIRANDA

CECILIA RIET CORREA

VITTORIA ROTONDARO

**REPRESA PARA CONTROL DE AVENIDAS
EN LA CIUDAD DE DURAZNO
Y GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

02 de diciembre de 2016

TUTORES:

CHRISTIAN CHRETIES

LUIS SILVEIRA

DANIEL SCHENZER

Índice

1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	MARCO LEGAL	6
2.1.	<i>Normas ambientales generales</i>	6
2.2.	<i>Normas de Evaluación de Impacto Ambiental</i>	7
2.3.	<i>Normas referidas a cuerpos de agua</i>	7
2.4.	<i>Normas referidas a uso y conservación de suelos</i>	8
2.5.	<i>Residuos sólidos</i>	8
2.6.	<i>Emisiones sonoras</i>	8
2.7.	<i>Emisiones gaseosas</i>	9
2.8.	<i>Ordenamiento Territorial</i>	9
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	10
3.1.	<i>Introducción</i>	10
3.1.1.	Objetivo del emprendimiento	10
3.1.2.	Objeto del emprendimiento	10
3.1.3.	Justificación del emprendimiento	11
3.2.	<i>Localización y accesos</i>	12
3.2.1.	Ubicación geográfica	12
3.2.2.	Accesos	13
3.3.	<i>Generalidades</i>	13
3.3.1.	Cuencas	13
3.3.2.	Caracterización del vaso	14
3.3.3.	Dimensiones del dique	15
3.3.4.	Padrones afectados	16
4.	ANÁLISIS AMBIENTAL DEL EMPRENDIMIENTO	18
4.1.	<i>Componentes</i>	18
4.1.1.	Componentes civiles	18
4.2.	<i>Fases y Actividades del Emprendimiento</i>	19
4.2.1.	Fase de construcción	19
4.2.2.	Fase de operación	20
4.2.3.	Fase de clausura	20
4.3.	<i>Aspectos ambientales derivados</i>	21
4.3.1.	Construcción	21
4.3.2.	Operación	21
4.3.3.	Clausura	22
5.	ÁREA DE INFLUENCIA	23
6.	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO RECEPTOR	24
6.1.	<i>Medio físico</i>	24
6.1.1.	Clima	24
6.1.2.	Geología	27
6.1.3.	Geomorfología	29

6.1.4.	Suelos	30
6.1.5.	Hidrografía	34
6.2.	<i>Medio biótico</i>	36
6.2.1.	Ecología paisajística	36
6.2.2.	Unidades ambientales	37
6.2.3.	Relevancia ecológica	43
6.2.4.	Áreas de importancia para la conservación	47
6.3.	<i>Medio antrópico</i>	50
6.3.1.	Población	50
6.3.2.	Actividades y usos del suelo	51
6.3.3.	Infraestructura vial	52
6.3.4.	Servicios e infraestructura	52
6.4.	<i>Medio simbólico</i>	52
6.4.1.	Paisaje	52
6.4.2.	Sitios de valor histórico o cultural	53
6.4.3.	Sitios de valor arqueológico o paleontológico	53
7.	IDENTIFICACION Y SELECCIÓN DE IMPACTOS	54
7.1.	<i>Identificación de impactos</i>	54
7.1.1.	Fase de construcción	55
7.1.2.	Fase de operación	56
7.1.3.	Fase de clausura	57
7.2.	<i>Valoración cualitativa de impactos</i>	58
7.2.1.	Metodología	58
7.2.2.	Matriz de valoración	60
7.3.	<i>Descripción de impactos</i>	74
7.3.1.	Fase de construcción	74
7.3.2.	Fase de operación	86
7.3.3.	Fase de clausura	97
8.	EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE ALTA SIGNIFICANCIA	103
8.1.	<i>Eliminación del ecosistema de bosque galería y la posterior creación de un ecosistema de lago</i>	103
8.2.	<i>Cambio total del paisaje por la presencia de la represa</i>	104
8.3.	<i>Alteración del escurrimiento superficial de la cuenca</i>	113
8.4.	<i>Daños materiales y no materiales producidos por la rotura de la represa</i>	123
8.5.	<i>Falsa sensación de seguridad</i>	140
9.	LINEAMIENTOS DEL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL (PGA)	143
9.1.	<i>Fase de construcción</i>	143
9.1.1.	Remoción de la cobertura vegetal	143
9.1.2.	Desvío del río	143
9.1.3.	Residuos sólidos de obra	143
9.1.4.	Efluentes de obra	144
9.1.5.	Emisiones a la atmósfera	144
9.1.6.	Nivel sonoro	144
9.1.7.	Tránsito inducido	145
9.1.8.	Contingencia – Derrame de sustancias peligrosas	145
9.1.9.	Contingencia – Creciente del río durante la construcción	146
9.1.10.	Explotación de canteras para la obtención de materiales para la construcción	146

9.2.	<i>Fase de operación</i>	147
9.2.1.	Inundación de la superficie anegada por el lago	147
9.2.2.	Eutroficación del agua embalsada	147
9.2.3.	Modificación del nivel freático en suelos adyacentes	147
9.2.4.	Manejo de caudales en la operación de la represa	148
9.2.5.	Efecto barrera	148
9.2.6.	Efluentes en la operación y generación de residuos sólidos	148
9.2.7.	Nivel sonoro	149
9.2.8.	Percepción social	149
9.2.9.	Implantación de las líneas eléctricas	149
9.3.	<i>Fase de clausura</i>	150
9.3.1.	Escurrimiento de lixiviados	150
9.3.2.	Efluentes y residuos sólidos	150
9.3.3.	Emisiones a la atmósfera	150
9.3.4.	Nivel sonoro	151
9.3.5.	Tránsito inducido	151
10.	Lineamientos para el plan de contingencia de rotura de la represa	152
10.1.	<i>Contenido del Plan de Contingencia</i>	152
10.1.1.	Análisis de seguridad de la presa	152
10.1.2.	Zonificación territorial	156
10.1.3.	Normas de actuación	158
10.1.4.	Organización	158
10.1.5.	Medios y recursos.	159
11.	BIBLIOGRAFÍA	160

Índice de Ilustraciones

Ilustración 3.2-1 - Ubicación nacional del emprendimiento	12
Ilustración 3.2-2 - Ubicación regional.....	12
Ilustración 3.3-1 – Ubicación nacional y local de la cuenca de aporte a la represa.	13
Ilustración 3.3-2 - Curva Altura-Superficie	15
Ilustración 3.3-3 - Curva Altura-Volumen.....	15
Ilustración 4.3-1 - Áreas de influencia del emprendimiento	23
Ilustración 6.1-1 - Clasificación climática de Koppen sobre Sudamérica	24
Ilustración 6.1-2 - Isotermas de temperaturas medias	26
Ilustración 6.1-3 – Humedad relativa media anual	26
Ilustración 6.1-4 – Precipitaciones medias anuales.....	26
Ilustración 6.1-5 – Intensidad de viento media anual	26
Ilustración 6.1-6 – Insolación media.....	26
Ilustración 6.1-7 – Presión atmosférica media	26
Ilustración 6.1-8 - Ubicación del emprendimiento sobre mapa geológico del Uruguay	28
Ilustración 6.1-9 - Localización del dique y lago sobre el mapa geológico del Uruguay	29
Ilustración 6.1-10 – Ubicación del emprendimiento en Mapa de Sectores Geomorfológicos del Uruguay	30
Ilustración 6.1-11 – Ubicación del emprendimiento sobre Mapa de grupos de suelos CONEAT	31
Ilustración 6.1-12 – Ubicación del lago sobre Mapa de Actitud General de Uso de la Tierra	33
Ilustración 6.1-13 - Ubicación del emprendimiento en el mapa de cuencas hidrográficas generales del Uruguay.....	34
Ilustración 6.1-14 - Ubicación del emprendimiento en el mapa de agua subterránea nacional	35
Ilustración 6.2-1 – Ubicación del emprendimiento sobre Mapa de Unidades Paisajísticas del Uruguay ..	36
Ilustración 6.2-2 – Ubicación del emprendimiento sobre Mapa de Cobertura del suelo	37
Ilustración 6.2-3 - Ubicación del emprendimiento sobre Mapa de Praderas (visualizador DINAMA)	38
Ilustración 6.2-4 – Pradera Natural sobre Ruta Nº 42 y camino vecinal de acceso al sitio del emprendimiento (Foto extraída de Google Earth – 10/2016)	38
Ilustración 6.2-5 – Bosque ribereño a orillas del río Yí y Ruta Nº 42 (Foto extraída de Google Earth – 10/2016)	40
Ilustración 6.2-6 – Especies arbóreas predominantes en Bosque Ribereño del río Yí	40
Ilustración 6.2-7 - Cultivos de invierno sobre Ruta Nº42 (Foto extraída de Google Earth - 10/2016)	41
Ilustración 6.2-8 – Preparación para cultivo de verano sobre Ruta Nº 42 (Foto extraída de Google Earth – 10/2016)	42
Ilustración 6.2-9 - Plantación de Eucaliptus sobre Ruta Nº 42. (Foto extraída de Google Earth)	43
Ilustración 6.2-10 Ubicación del proyecto en la Grilla Plano Cartográfico R.O.U del SGM	44
Ilustración 6.2-11 - Ubicación del emprendimiento en la Eco-Región Escudo Cristalino	45
Ilustración 6.2-12 – Especies de peces prioritarias y amenazada presente en el río Yí.	46
Ilustración 6.2-13 - Sitios con prioridad de conservación en la eco-región Escudo Cristalino	47
Ilustración 6.2-14 - Ubicación del emprendimiento en el Mapa de Áreas Protegidas del Territorio Nacional	48
Ilustración 6.2-15 - Ubicación del emprendimiento en el mapa de las áreas de importancia para la conservación de aves en la R.O.U	49
Ilustración 6.3-1 - Ubicación de viviendas próximas al emprendimiento	51
Ilustración 8.1-1 – Monte nativo afectado por el Lago	104
Ilustración 8.2-1 - Puntos particulares de la represa y el lago.....	105
Ilustración 8.2-2 - Cuenca visual punto 1	106
Ilustración 8.2-3 - Cuenca visual punto 2	106
Ilustración 8.2-4 - Cuenca visual punto 3	107
Ilustración 8.2-5 - Cuenca visual punto 4	108
Ilustración 8.2-6 - Cuenca visual punto 5	108
Ilustración 8.2-7 - Cuenca visual punto 6	109
Ilustración 8.2-8 - Cuenca visual punto 7	110
Ilustración 8.2-9 - Cuenca visual punto 8	111
Ilustración 8.2-10 - Cuenca visual punto 9	111

Ilustración 8.2-11 - Tramos de rutas y caminos desde los que se ve la represa.....	112
Ilustración 8.3-1 - Recomendación del CIS-WDF para los EQR.....	114
Ilustración 8.3-2 - Criterio de categorías cualitativas de los IAH.....	114
Ilustración 8.3-3 - Criterio de categorías cualitativas de los IAG.....	115
Ilustración 8.4-1 - Mapa de calado de agua sobre la ciudad de Durazno.....	130
Ilustración 8.4-2 - Zonificación Territorial de la superficie inundada en la ciudad de Durazno.....	135
Ilustración 8.4-3 - Planta de tratamiento de efluentes y agua potable inundadas luego de la rotura.....	136
Ilustración 8.4-4 - Curva calado – daños para diferentes usos del suelo en Alemania.....	138
Ilustración 8.5-1 - Figura Zonificación Territorial para la ciudad de Durazno.....	141
Ilustración 10.1-1 - Zonificación territorial en función del tiempo de llegada de la inundación luego de iniciada la rotura para la ciudad de Durazno.....	156
Ilustración 10.1-2 - Zonificación territorial en función del tiempo de llegada de la inundación luego de iniciada la rotura para la localidad de Polanco del Yí.....	157

Índice de tablas

Tabla 3.3-1 - Características de la cuenca de la represa.....	13
Tabla 3.3-2 - Datos altura, superficie y volumen del vaso.....	14
Tabla 3.3-3 - Parámetros de diseño del dique.....	16
Tabla 3.3-4 - Padrones afectados por el lago.....	16
Tabla 6.1-1 – Estadísticas climáticas Estación Paso de los Toros (1961-1990).....	27
Tabla 6.1-2 Grupos de suelos CONEAT.....	31
Tabla 6.1-3 - Aptitud general de uso de las tierras.....	33
Tabla 6.1-4 – Parámetros de la cuenca.....	35
Tabla 6.2-1 – Riqueza de especies (S_total) y de especies representativas (S_CEnd: casi endémicas, S_End: endémicas e S_Ind: indicadoras) de la eco-región Escudo Cristalino.....	44
Tabla 8.3-1 Variabilidad interanual en régimen natural.....	116
Tabla 8.3-2 Variabilidad interanual en régimen alterado.....	116
Tabla 8.3-3 Parámetros para régimen natural.....	118
Tabla 8.3-4 Parámetros para régimen alterado.....	119
Tabla 8.3-5 Número de días al mes - Régimen natural.....	120
Tabla 8.3-6 Número de días al mes - Régimen alterado.....	120
Tabla 8.3-7 Índices de alteración hidrológica.....	120
Tabla 8.3-8 Índices de alteración global.....	121
Tabla 8.3-9 Índices de alteración hidrológica.....	121
Tabla 8.3-10 Índices de alteración global.....	121
Tabla 8.4-1 - Tasas para estimar la pérdida de vidas resultante de una inundación.....	128
Tabla 8.4-2 - Estimación del tiempo de inicio de los avisos ante el fallo en presas de materiales sueltos.....	132
Tabla 8.4-3 - Tiempos de aviso.....	132
Tabla 8.4-4 - Variables del modelo de Graham.....	133
Tabla 8.4-5 - Superficies inundadas por atributo en la ciudad de Durazno.....	135

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Estudio de Impacto Ambiental de una represa de materiales sueltos compactados destinada al almacenamiento de agua para generación hidroeléctrica y control de inundaciones, a desarrollarse sobre el río Yí en los departamentos de Durazno y Florida.

El curso a embalsar es río Yí, perteneciente a la cuenca del Río Negro. A cota máxima de lago, +108.00 msnm, se almacena un volumen de agua de 368.2 hm³ inundando 4202 ha.

La altura máxima del dique es de 29 m respecto al terreno natural en el cruce del río, con una altura máxima de agua 19 m y una longitud de terraplén de 3200 m.

En el presente estudio de impacto ambiental se analizarán con profundidad los siguientes aspectos.

- Afectación del escurrimiento superficial y la calidad de los cursos hídricos durante la ejecución de la obra y la operación.
- Cambio en el uso del suelo
- Aspectos ambientales del campamento y obrador durante la construcción
- Rotura de la represa

2. MARCO LEGAL

Se presenta a continuación el marco legal y reglamentario que rigen en Uruguay los proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas y de represas reguladoras de inundaciones.

2.1. Normas ambientales generales

Norma	Descripción	Carácter	Aplicación
Art. 47 Constitución de la República Oriental del Uruguay	Constitución de la República Oriental del Uruguay	Nacional	Aplicación de carácter general
Ley Nº 17.234/2000	Ley de Creación de Áreas Naturales Protegidas	Nacional	Aplicación en caso de que el proyecto se localice cerca de Áreas Naturales Protegidas
Decreto 52/2005	Reglamento del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas	Nacional	Aplicación en caso de que el proyecto se localice cerca de Áreas Naturales Protegidas
Ley Nº 17.283/2000	Ley General de Protección del Ambiente	Nacional	Aplicación de carácter general

2.2. Normas de Evaluación de Impacto Ambiental

Norma	Descripción	Carácter	Aplicación
Ley N° 16.466/1994	Ley de Evaluación de Impacto Ambiental	Nacional	Aplicación de carácter general
Dec. N° 349/2005	Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental y Autorizaciones Ambientales	Nacional	Aplicación de carácter general
Dec. N° 178/2009	Modificación al Dec. N°349/2005 respecto a las usinas de generación de electricidad	Nacional	Aplicación de carácter general

2.3. Normas referidas a cuerpos de agua

Norma	Descripción	Carácter	Aplicación
Ley N° 14.859/1978	Código de Aguas	Nacional	Aplicación de carácter general
Ley N° 17.142/1999	Dominio de las Aguas	Nacional	Aplicación de carácter general
Decreto N° 253/1979 y modificatorios posteriores (N°432/1980, 429/1984, 232/1988, 579/1989, 698/1989 y 195/1991, 966/2013).	Decreto reglamentario del Dec. Ley N° 14.859 que establece en su artículo N° 11 las condiciones de descarga	Nacional	Aplicación de carácter general

2.4. Normas referidas a uso y conservación de suelos

Norma	Descripción	Carácter	Aplicación
Ley N° 15.239/1982	Ley de uso y conservación de los suelos y de las aguas	Nacional	Aplicación de carácter general
Ley N° 15.939/1987	Ley Forestal	Nacional	Aplicación de carácter general
Ley N° 18.564/2009	Ley de Conservación uso y manejo adecuado de los suelos y aguas	Nacional	Aplicación de carácter general
Decreto Reglamentario N° 333/2004	Criterios técnicos básicos a aplicar en el manejo y conservación de suelos y aguas	Nacional	Aplicación de carácter general
Decreto 452/1998	Clasificación de bosques	Nacional	Aplicación de carácter general
Decreto 22/1993	Monte Indígena	Nacional	Aplicación en caso de que el proyecto se localice cerca de Áreas con Monte Indígena
Decreto 330/1993	Reglamentación de la tala de bosques indígenas	Nacional	Aplicación en caso de que el proyecto se localice cerca de Áreas con Monte Indígena

2.5. Residuos sólidos

Norma	Descripción	Carácter	Aplicación
Ley N° 17.849/2004.	Ley de Envases y de Residuos de Envases	Nacional	Aplicación de carácter general
Decreto PE N° 373/2003	Regula la gestión de baterías de plomo y ácido usadas y/o desechadas.	Nacional	
Decreto PE N° 182/2013	Reglamento de gestión de residuos sólidos industriales y asimilados.	Nacional	Aplicación de carácter general

2.6. Emisiones sonoras

Norma	Descripción	Carácter	Aplicación
Ley N° 17.852/2004	Ley de Protección Acústica	Nacional	Aplicación de carácter general
Ley N° 17.852/2005	Reglamentación Ley de Contaminación Acústica 17.852	Nacional	Aplicación de carácter general

2.7. Emisiones gaseosas

Norma	Descripción	Carácter	Aplicación
Ley N° 17.283 Cap. III - Art. 17°. (Calidad del aire)/2000	Ley establece la prohibición de liberar o emitir a la atmósfera, directa o indirectamente, sustancias, materiales o energía, por encima de los límites máximos o en contravención de las condiciones que establezca el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.	Nacional	Aplicación de carácter general

2.8. Ordenamiento Territorial

Norma	Descripción	Carácter	Aplicación
Ley N° 18.308/2008	Ley de Ordenamiento Territorial (LOT)	Nacional	Aplicación de carácter general
Anteproyecto de Ley de Directrices Nacionales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible, versión CONAOT 22 de mayo 2012	Anteproyecto de Ley de Directrices Nacionales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible presentado por el Poder Ejecutivo con la firma de todos los Ministros.	Nacional	Aplicación de carácter general
Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible de Florida/2012	Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible.	Departamental	Establece los lineamientos para el OT en el departamento en cumplimiento de la Ley N° 18.308
Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible para el Departamento de Durazno/2011	Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible.	Departamental	Establece los lineamientos para el OT en el departamento en cumplimiento de la Ley N° 18.308
Plan Local de la Ciudad de Durazno/ 2014	Instrumento de Ordenamiento Territorial.	Local	Establece los lineamientos para el OT en la Ciudad de Durazno en cumplimiento de la Ley N° 18.308

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1. Introducción

3.1.1. Objetivo del emprendimiento

El proyecto “Represa para el control de avenidas en la Ciudad de Durazno causadas por el desborde del río Yí y Generación Hidroeléctrica”, tal como su nombre lo dice, tiene por objetivos principales el control de inundaciones en la ciudad de Durazno y la generación hidroeléctrica que aporte a la red nacional de energía.

El diseño de la represa fue concebido de modo de compatibilizar ambos usos, permitiendo amortiguar las avenidas extremas ocurridas año tras año y que dejan a la ciudad de Durazno con miles de evacuados y por otro lado generando energía hidroeléctrica en los momentos en que no se requiere tal amortiguación.

Esta energía eléctrica es obtenida al transformar la energía disponible en el agua, que se encuentra en forma de energía potencial, en electricidad. La energía primero se transforma en energía mecánica en la turbina, ésta activa el generador, que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, cuyo destino en este caso será la incorporación a la red eléctrica nacional.

3.1.2. Objeto del emprendimiento

El objeto del emprendimiento es entonces una represa sobre el río Yí que deberá, para cumplir con sus objetivos, contar con el equipamiento necesario para la generación y transmisión hidroeléctrica y con el sistema de descarga (descargadores de fondo) necesario para bajar el nivel del embalse permitiendo la amortiguación de un evento extraordinario cuando éste ocurra.

La represa fue proyectada como una represa de materiales sueltos, de sección heterogénea con núcleo central impermeable de arcilla, confinado por faldones de material de granulometría mayor. La misma se complementa con un vertedero frontal tipo Ogee sin compuertas.

Las turbinas y descargadores de fondo se ubican al pie de la presa, a un lado del dissipador de energía que sigue al vertedero, la zona de restitución del agua turbinada se ubica aguas abajo del mencionado dissipador.

La represa fue clasificada como categoría A según la bibliografía española¹ por considerarse una represa cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, así como producir daños materiales o medioambientales muy importantes.

¹ CICCOP, SPANCOLD. (2005). *Guías Técnicas de seguridad de presas*.

3.1.3. Justificación del emprendimiento

El presente proyecto pretende abordar dos temas de especial interés tanto a nivel nacional como regional. Por un lado, la promoción de fuentes energéticas autóctonas y renovables que permitan reducir la alta dependencia que el sector energético uruguayo tiene con las fuentes de energía primarias (petróleo, gas natural, etc.) y por otro lado, la creciente preocupación por las frecuentes inundaciones en la ciudad de Durazno, las cuales causan cada año innumerables daños económicos y sociales.

En 2013 el Ministerio de Industria, Energía y Minería en conjunto con otros organismos realiza, en la búsqueda de fuentes energéticas adicionales para Uruguay, un proyecto que permite explorar la posibilidad de realizar emprendimientos hidroenergéticos en pequeña escala. En este trabajo se relevaron los lugares del Uruguay en que puede existir la potencialidad de generar energía hidroeléctrica, en potencias entre 1 y 50 MW y se consideran con especial énfasis aquellos aprovechamientos que menos impactos negativos presentarán desde el punto de vista ambiental y económico.

De los potenciales lugares definidos se realizaron 5 anteproyectos preliminares en lugares representativos seleccionados como los más promisorios. Uno de los 5 anteproyectos realizados corresponde a un emprendimiento del pequeña central hidroeléctrica sobre el río Yí.

Si bien el MIEM y otros actores se encuentran con interés de llevar a cabo alguno de estos anteproyectos realizados se cree conveniente que para su factibilidad el emprendimiento seleccionado permita contemplar algún otro uso complementario.

Es en este punto donde el presente proyecto se involucra con los estudios realizados anteriormente, buscando compatibilizar además de la generación hidroeléctrica, algún otro uso complementario.

Siguiendo los pasos de los 5 anteproyectos realizados, y al observarse que uno de ellos se situaba sobre el río Yí, surge la posibilidad de proyectar un aprovechamiento de energía hidroeléctrica que compatibilizara además el control de las avenidas en la ciudad de Durazno.

Se cree que este uso complementario puede generar directa o indirectamente beneficios tanto a la población afectada como a las autoridades departamentales y nacionales.

3.2. Localización y accesos

3.2.1. Ubicación geográfica

El emprendimiento está situado sobre la zona sur del departamento de Durazno, a unos 11 km de Polanco del Yí y a 45 km de la ciudad de Durazno, tal como se observa en las ilustraciones siguientes.



Ilustración 3.2-1 - Ubicación nacional del emprendimiento



Ilustración 3.2-2 - Ubicación regional

El dique se localizará en el padrón 10.473 de la 10ª Sección Catastral del departamento de Durazno y en el padrón 11.935 de la 7ª Sección Catastral del departamento de Florida. Esta situación se da por ser el río Yí el límite político entre los departamentos de Durazno y Florida.

El lago ocupará 8 padrones del departamento de Florida y 52 padrones del departamento de Durazno que se detallarán más adelante.

3.2.2. Accesos

Se accede desde el km 63 de la Ruta Nacional N°42 ubicado en el tramo entre Polanco del Yí y Villa del Carmen en el departamento de Durazno. Tomando camino vecinal al sureste de la ruta, será necesario recorrer 5.5 km hasta llegar al cierre de la represa.

3.3. Generalidades

La obra consiste en la construcción de una represa destinada al almacenamiento de aguas superficiales para generación hidroeléctrica y control de inundaciones en el río Yí, tributario del Río Negro y perteneciente a la cuenca del mismo río.

La represa proyectada sobre el río Yí, a cota de vertido +108.0 msnm almacena un volumen de 368 hm³ inundando 4202 ha.

A continuación se describen resumidamente las principales características de la obra.

3.3.1. Cuencas

Conforme se indicó anteriormente, el cauce que se proyecta represar corresponde al río Yí, tributario del Río Negro, perteneciente a la cuenca del mismo río.

El punto de cierre de coordenadas -33.4419 latitud y -56.0485 longitud genera la cuenca presentada en la siguiente ilustración cuyas características se indican en la tabla.

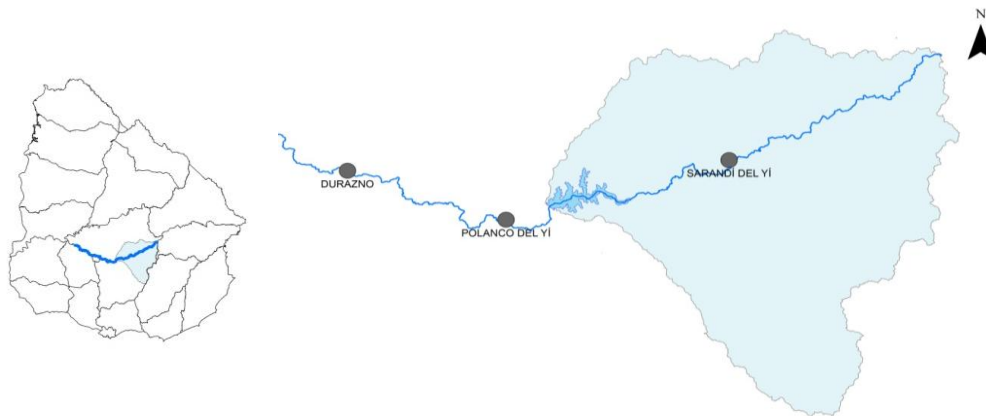


Ilustración 3.3-1 – Ubicación nacional y local de la cuenca de aporte a la represa.

Tabla 3.3-1 - Características de la cuenca de la represa

Área (km ²)	4821
Longitud del cauce principal (km)	127
Pendiente del cauce principal (%)	0.13
Tc (hs)	37
Pendiente media de la cuenca (%)	2.67

3.3.2. Caracterización del vaso

Empleando la información topográfica disponible se obtuvieron las curvas características de superficie y volumen en función de la altura del vaso de almacenamiento del embalse.

En la tabla se muestran los valores de altura, superficie y volumen embalsado y en la ilustración se muestran las curvas altura-superficie y altura-volumen.

En el punto de cierre seleccionado el cauce tiene una cota de fondo 89 msnm. La altura de vertido será de 19 m sobre el fondo, por lo que la cota de vertido será 108 msnm.

Tabla 3.3-2 - Datos altura, superficie y volumen del vaso

Cota (msnm)	Altura (m)	Área (ha)	Volumen (hm³)
89	0	367	0
90	1	415	3.9
91	2	465	8.3
92	3	515	13.2
93	4	568	18.6
94	5	620	24.6
95	6	675	31.1
96	7	731	38.1
97	8	787	45.7
98	9	845	53.8
99	10	3005	62.6
100	11	3242	93.8
101	12	3480	127.4
102	13	3722	163.4
103	14	3955	201.8
104	15	4155	242.4
105	16	4196	284.2
106	17	4201	326.2
107	18	4202	352.1
108	19	4202	368.2

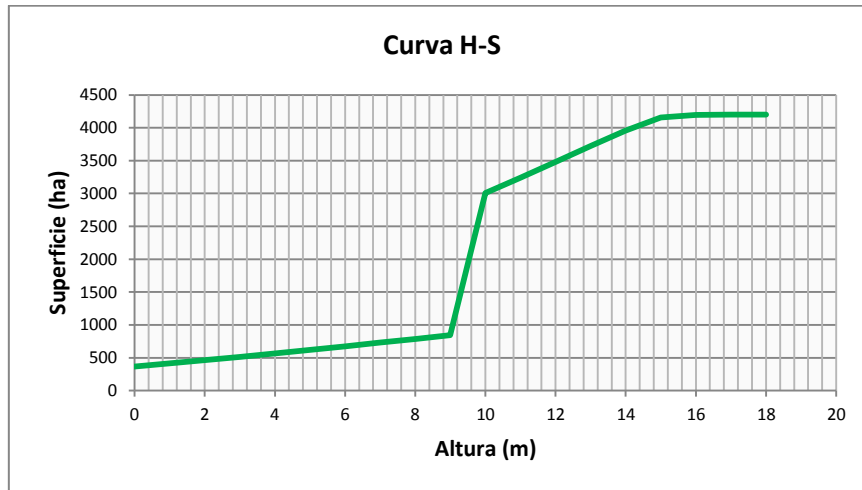


Ilustración 3.3-2 - Curva Altura-Superficie

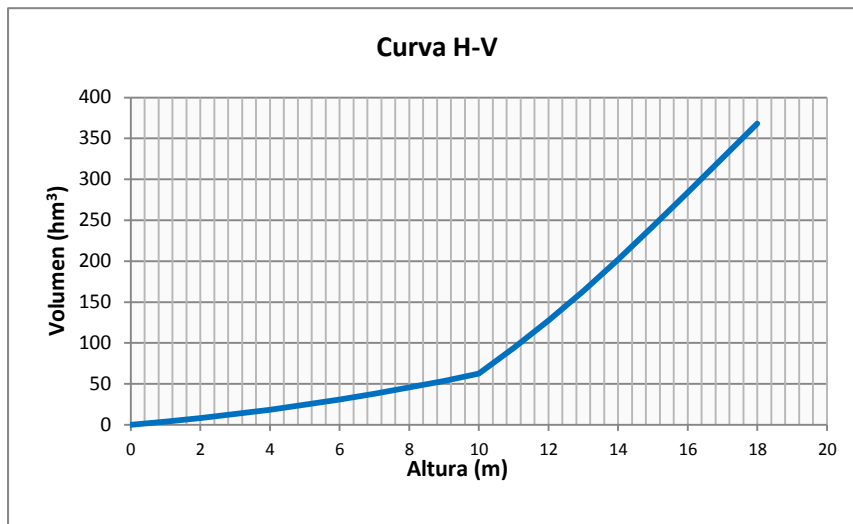


Ilustración 3.3-3 - Curva Altura-Volumen

3.3.3. Dimensiones del dique

Se trata de un dique de suelos sueltos compactados con un cuerpo heterogéneo fundado sobre roca y cota de coronamiento +118.1 msnm. El ancho de coronamiento es de 10 m y taludes con pendiente 3H:1V aguas arriba y 2.5H:1V aguas abajo, con una revancha de 10.1 m.

En lo que respecta a la fundación del dique, el mismo dispondrá de un dentellón de material arcilloso seleccionado.

Se prevén además drenes internos en el faldón de aguas abajo, y un enrocado en el talud aguas arriba de forma de proteger al mismo ante la acción de la ola.

En la siguiente tabla se resumen las características geométricas del dique.

Tabla 3.3-3 - Parámetros de diseño del dique

Parámetro	Unidad	Valor
Altura máxima de agua	m	19
Altura máxima del dique	m	29
Ancho de coronamiento	m	10
Talud aguas arriba	nH:1V	3
Talud aguas abajo	nH:1V	2.5
Longitud del dique	m	3200

3.3.4. Padrones afectados

Según la topografía disponible, la superficie inundada total al nivel de vertedero, +97.50 msnm es de 4202 ha. En la tabla a continuación se muestran los padrones afectados por el lago, indicando el departamento al cual pertenecen, el nº de padrón, la superficie total e inundada, y el porcentaje inundado del padrón.

Tabla 3.3-4 - Padrones afectados por el lago

Departamento	Número Padrón	Área total (ha)	Área inundada (ha)	% Área inundada
Durazno	1088	17.7	14.2	80%
Durazno	1088	59.7	43.7	73%
Durazno	1098	32.3	5.2	16%
Durazno	1100	213.1	136.3	64%
Durazno	1101	14.3	8.0	56%
Durazno	1102	84.1	56.0	67%
Durazno	1103	135.3	39.7	29%
Durazno	1104	34.6	13.2	38%
Durazno	1105	95.0	22.3	24%
Durazno	1107	47.5	32.0	67%
Durazno	1108	37.4	19.3	52%
Durazno	1109	199.3	70.4	35%
Durazno	1111	2.8	2.8	100%
Durazno	1112	201.2	36.1	18%
Durazno	1114	477.1	4.4	1%
Durazno	1871	30.7	4.1	13%
Florida	2241	87.3	14.3	16%
Durazno	3407	34.8	16.6	48%
Durazno	3435	26.6	7.3	28%
Durazno	3435	52.3	0.7	1%
Durazno	3588	44.7	0.4	1%
Durazno	3615	76.6	26.9	35%
Durazno	3616	85.5	22.8	27%

Departamento	Número Padrón	Área total (ha)	Área inundada (ha)	% Área inundada
Durazno	3617	27.4	12.3	45%
Durazno	3617	49.9	4.7	9%
Durazno	3620	48.2	25.6	53%
Durazno	3756	3.1	3.1	100%
Durazno	4667	3.3	3.3	100%
Durazno	4718	64.3	18.5	29%
Durazno	4916	56.2	34.7	62%
Florida	4959	100.4	45.7	46%
Durazno	4970	48.2	35.7	74%
Durazno	5025	3.4	3.4	100%
Durazno	5040	4.7	4.7	100%
Durazno	5168	105.6	46.0	44%
Durazno	5203	100.8	85.7	85%
Durazno	5208	92.6	42.2	46%
Durazno	5774	33.8	6.8	20%
Durazno	6028	4.5	4.5	100%
Durazno	6041	150.6	4.5	3%
Durazno	6137	1677.2	216.5	13%
Durazno	7129	714.9	330.2	46%
Durazno	7130	668.7	423.3	63%
Durazno	8975	87.3	14.2	16%
Durazno	9479	278.4	75.7	27%
Durazno	10019	239.2	60.2	25%
Durazno	10473	40.1	26.0	65%
Durazno	10474	63.4	42.2	67%
Durazno	10880	136.8	16.0	12%
Durazno	10881	94.3	46.0	49%
Durazno	10946	120.9	29.3	24%
Durazno	10947	29.5	3.8	13%
Durazno	11706	1397.2	380.5	27%
Durazno	11707	255.0	216.1	85%
Florida	11937	1293.6	97.1	8%
Florida	11964	1817.4	1193.6	66%
Florida	11971	1544.6	13.0	1%
Florida	11972	1976.1	501.6	25%
Florida	11973	1972.3	217.9	11%

4. ANÁLISIS AMBIENTAL DEL EMPRENDIMIENTO

4.1. Componentes

El presente proyecto se encuentra en etapa de anteproyecto y es en estas condiciones que el mismo se somete al proceso de evaluación ambiental. En lo que sigue se describen los principales componentes del emprendimiento distinguiendo entre componentes civiles y componentes electromecánicos.

4.1.1. Componentes civiles

La componente civil comprende las infraestructuras e instalaciones necesarias para almacenar, derivar, conducir y restituir el agua turbinada o no, y permite albergar los equipos electromecánicos y el sistema eléctrico general y de control.

A continuación se describen los principales componentes de la obra civil.

- **Represa:** estructura que permite la retención y almacenamiento de agua, de manera de generar un desnivel, aguas arriba y aguas abajo de la misma, a partir de cual se produce energía. Permite además generar un embalse de almacenamiento. La misma se conforma con un dique de materiales sueltos heterogéneo de aproximadamente 3200 m de largo y altura máxima de 19 m.
- **Obra de toma:** es la estructura que permite captar parte del agua del cauce del río y facilita su entrada desde el embalse para conducirla hasta las turbinas a través del conducto de presión.
- **Conducto de presión:** es la tubería que conduce el agua a presión desde el embalse hasta la entrada de la turbina. Se definieron 5 tuberías a presión de diámetro 2.6 m cada una.
- **Aliviadero:** tiene como finalidad la evacuación del agua proveniente de las avenidas que el embalse no puede retener. Debe poder derivar y transportar el agua excedente, sin necesidad de que pase por la central, restituyéndola al cauce natural aguas abajo de la represa. En este caso en particular, el tamaño de la cuenca de aporte y en consecuencia el caudal de diseño resultante, dan lugar a la proyección de un aliviadero central tipo Ogge que vierta de forma libre, es decir, sin compuertas. El mismo tendrá una longitud de 100 m y será de hormigón.
- **Disipadores de energía:** previo a la restitución del agua es necesario disipar la energía potencial acumulada en el embalse que luego es transformada en energía cinética en el aliviadero o en la conducción de restitución al curso de agua. Esa energía debe ser disipada de manera que no provoque efectos erosivos en el cauce, capaces de desestabilizar la cimentación de la presa. Para la restitución al cauce del agua descargada por el vertedero se propone la colocación de un disipador del tipo cuenco de amortiguación de hormigón cuyas dimensiones se presentan en el informe central.
- **Sala de máquinas:** está constituida por el espacio y las estructuras en donde se aloja el equipamiento electromecánico y los elementos de regulación y comando.

4.2. Fases y Actividades del Emprendimiento

En un emprendimiento se distinguen generalmente fases tales como proyecto, construcción, puesta en marcha, clausura de construcciones anteriores, operación, mantenimiento y clausura definitiva. Por lo tanto, en todo emprendimiento existe un proyecto que determina lo que se va a hacer, un conjunto de elementos construidos o incorporados que componen la manifestación física del emprendimiento, una serie de actividades humanas que se realizan y un conjunto de impactos sobre otros emprendimientos o factores ambientales.

En este caso se tendrá especial interés evaluar las fases de construcción, operación y clausura. Es importante resaltar que la fase de mantenimiento será tenida en cuenta en la fase de operación.

4.2.1. Fase de construcción

Se denomina fase de construcción al conjunto de las actividades que llevan a la realización de la manifestación física del emprendimiento.

En este caso el aprovechamiento se desarrolla con la realización de una central con embalse en un curso de agua.

A continuación se describen las principales actividades que surgen de la fase de construcción.

- Desplazamiento de la población en áreas afectadas
- Montaje de instalaciones provisionales (obrador, servicios)
- Movimiento de tierras, tala de árboles y vegetación en área a ser inundada
- Manejo de residuos de retiro de vegetación
- Obras para la derivación del agua en la zona de construcción de la represa
- Montaje de planta de hormigón
- Movimiento, explotación y abandono de materiales de préstamo en canteras
- Acopio transitorio del material removido para su posterior uso
- Manejo y traslado de materiales desde y hacia el sitio de construcción
- Manejo y traslado de materiales en la obra y sus inmediaciones
- Construcción de caminería con sus correspondientes desagües pluviales
- Acondicionamiento de un área para el mantenimiento de la maquinaria vial
- Ejecución de la obra civil (represa, puente, sala de máquinas, etc.)
- Montaje de equipamiento electromecánico
- Montaje de las torres o columnas de transmisión de energía eléctrica
- Retiro de instalaciones provisionales

4.2.2. Fase de operación

La fase de operación incluye todas aquellas actividades vinculadas con el funcionamiento y mantenimiento del emprendimiento.

A continuación, se presenta un listado de las principales actividades incluidas en esta fase.

- Llenado del vaso de almacenamiento
- Operación de las turbinas
- Manejo y descarga de caudales de generación y de evacuación
- Descarga de caudales excedentes por el vertedero
- Mantenimiento de los faldones de la presa como por ejemplo desplazamiento del enrocado o empastado
- Mantenimiento periódico de los componentes electromecánicos
- Mantenimiento de la línea de transmisión

4.2.3. Fase de clausura

Esta fase consiste en el conjunto de las actividades que se realizan una vez finalizada la vida útil del emprendimiento o ante la ocurrencia de alguna otra situación que lo amerite. El principal objetivo de esta fase es la recuperación de la calidad ambiental, de forma que una vez finalizada la misma, el ambiente se encuentre lo más próximo posible al estado en que se encontraría antes de la implantación del emprendimiento.

Las actividades realizadas en esta fase dependen de la posibilidad de valorización de alguno de los componentes del emprendimiento. A continuación se describen algunas de las actividades que pueden ser implementadas en la fase de clausura.

- Desmantelamiento de equipos e interconexión eléctrica
- Transporte de los materiales y equipos a los sitios de destino
- Demolición de la estructura de la represa
- Retiro y transporte de residuos sólidos hasta el sitio de disposición final previamente definido
- Recuperación del medio

4.3. Aspectos ambientales derivados

Cualquier elemento de una actividad de un emprendimiento que es susceptible de interactuar con el medio ambiente debe ser considerado como un aspecto ambiental del emprendimiento.

En lo que sigue se identifican los principales aspectos ambientales del emprendimiento en cada una de las fases previamente descritas.

4.3.1. Construcción

- Desplazamiento de la población en áreas afectadas
- Remoción de cobertura vegetal y arbórea, y movimiento de tierra
- Desvío del río
- Explotación del recurso suelo (canteras)
- Generación de residuos de obra
- Generación de emisiones líquidas
 - Efluentes generados por acopio de materiales
 - Efluentes generados por personal de la obra
- Demanda de mano de obra
- Demanda de servicios (electricidad, agua)
- Transporte de materiales y trabajadores (tránsito inducido)
- Deterioro de infraestructura vial
- Emisiones de polvo
- Emisiones sonoras
- Contingencias
 - Derrame de sustancias peligrosas (combustibles, aceites, etc.)
 - Creciente del río durante la construcción

4.3.2. Operación

- Presencia física del emprendimiento
- Presencia física de la caminería de acceso
- Presencia física de las líneas de energía eléctrica
- Cambio de uso del suelo
- Generación de un ambiente lenticó
- Manejo de caudales en la operación de la represa
- Generación de energía eléctrica
- Generación de residuos industriales
- Generación de sedimentos
- Generación de efluentes
- Emisiones sonoras

4.3.3. Clausura

- Cese de la generación de energía eléctrica
- Demolición de la central
- Generación de residuos y efluentes
- Modificación de la demanda de empleo
- Transporte de materiales y trabajadores
- Emisiones de polvo
- Emisiones sonoras

5. ÁREA DE INFLUENCIA

Con el fin de caracterizar y evaluar la influencia del proyecto sobre el ambiente se definen dos zonas, una zona de influencia directa y otra indirecta.

La zona de influencia directa corresponde al predio donde se instala el emprendimiento, el cual incluye la represa y el lago generado. Se considera además dentro del área de influencia directa a todos aquellos elementos comprendidos dentro un buffer de 1000 m generado desde el borde del lago a cota de vertido, es decir, a nivel máximo normal (NMN).

La zona de influencia indirecta corresponde a la extensión donde pueda existir algún tipo efecto y puede alcanzar algún tipo de contingencia. Por lo tanto, se consideran como zona de influencia indirecta a la localidad de Polanco del Yí, por su cercanía al emprendimiento, y la ciudad de Durazno ya que uno de los principales objetivos del emprendimiento es el control de inundaciones en dicha ciudad.



Ilustración 4.3-1 - Áreas de influencia del emprendimiento

6. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO RECEPTOR

6.1. Medio físico

6.1.1. Clima

6.1.1.1. Principales Factores Climáticos del Uruguay^{2,3}

En general el clima del territorio nacional corresponde a un único tipo, aunque entre los distintos puntos del país es posible observar algunas diferencias entre las variables climáticas de escasa magnitud.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, Uruguay está comprendido dentro de las siguientes características:

- Clima templado, moderado, lluvioso (temp. del mes más frío entre -3°C y 18°C): Tipo C
- Clima de temperie húmeda (lluvia irregular): Tipo f
- Temperatura del mes más cálido superior a 22°C : Tipo a

Por lo tanto, a Uruguay le corresponde la clasificación climática Köppen "Caf"

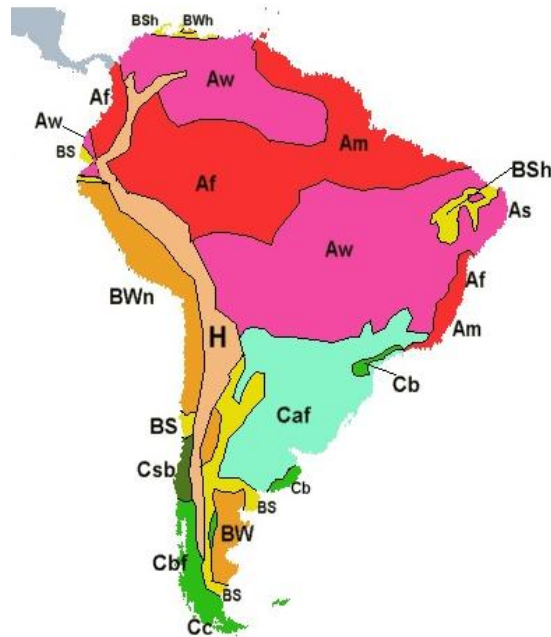


Ilustración 6.1-1 - Clasificación climática de Köppen sobre Sudamérica

La ausencia de sistemas orográficos importantes contribuye a que las variaciones horizontales de temperatura, precipitación y otras variables climáticas sean pequeñas. Dentro de los factores oceanográficos, la presencia de la corriente cálida del Brasil produce una inestabilidad de las capas bajas de la atmósfera con un aporte importante de temperatura y humedad en las zonas costeras. La corriente fría de las Malvinas genera una estabilización y un enfriamiento de las masas de aire que circulan sobre ella.

² INUMET – www.meteorologia.com.uy

³ Red Académica Uruguay – www.rau.edu.uy

El anticiclón semipermanente del Atlántico influye sobre el desarrollo del tiempo en el Uruguay. La circulación horizontal que origina, establece que la dirección predominante del viento sea del NE al E, aportando masas de aire de origen tropical. El anticiclón del Pacífico provoca los empujes de aire de origen polar con dirección predominante del SW. La interacción de ambas influencias provoca la ocurrencia de precipitaciones de carácter frontal.

Temperatura del aire

El campo de temperaturas medias anuales sobre el País tiene una orientación general de suroeste a noreste, donde las temperaturas medias para todo el Uruguay son de 17.5°C, con una isoterma (línea de igual temperatura) media máxima de 19.0°C sobre Artigas y una media mínima de 16.0°C sobre la costa atlántica en Rocha.

Humedad Relativa

La humedad relativa indica el contenido actual de vapor de agua en la atmósfera en función de la temperatura considerando la atmósfera saturada. La humedad relativa media diaria es obtenida a través del promedio de las 24 observaciones horarias. Se observa un crecimiento de las líneas de igual humedad relativa de NW a SE. La humedad relativa media para todo el Uruguay es 75%, con una isolínea máxima de 81% en Rocha y una mínima entre 71% y 73% en los departamentos de Artigas, Salto y el oeste de Paysandú.

Vientos

Los vientos son predominantemente del NE al E, con velocidades del orden de 4.0 m/s, con un máximo medio sobre la costa suroeste de 7 m/s. Son relativamente frecuentes los vientos superiores a 30 m/s.

Insolación

La insolación representa las horas de sol efectivas y se mide la insolación diaria, calculándose la insolación acumulada mensual y anual. La región sur tiene la máxima insolación, entre 2,400 y 2,500 horas anuales.

Precipitación

Las precipitaciones son generalmente líquidas y excepcionalmente sólidas (granizo o nieve). Las precipitaciones son medidas en 300 estaciones pluviométricas de la Red Pluviométrica Nacional y son acumuladas en forma diaria. Se observa un decrecimiento de las isoyetas (líneas de igual precipitación) de NE a SW.

Las precipitaciones acumuladas anuales medias para todo el Uruguay son del orden de los 1,300 mm, con una isoyeta máxima de 1,600 mm en Rivera y una mínima de 1,100 mm sobre la costa del Río de la Plata. Uruguay tiene un clima lluvioso, sin estación seca, pero con alta variabilidad interanual.

Presión atmosférica

La presión atmosférica tiene pequeñas variaciones en el país, con una media de 1,015.5 hPa. Las isóbaras crecen de W a E, ubicándose las mayores presiones medias sobre el S del país, con valores del entorno de 1,015.2 hPa.

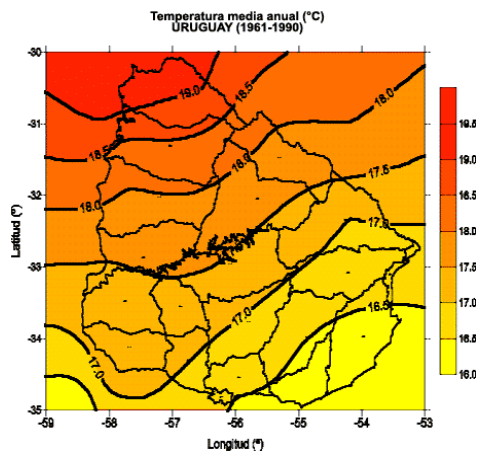


Ilustración 6.1-2 - Isotermas de temperaturas medias

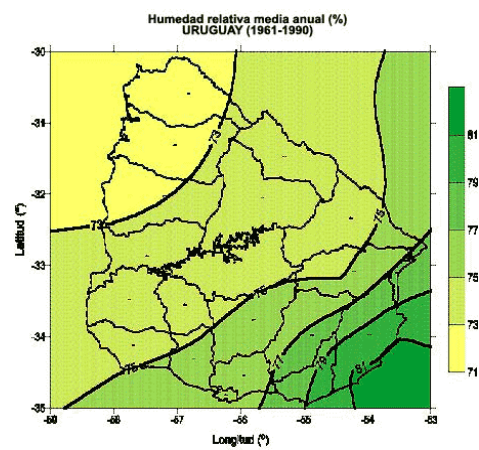


Ilustración 6.1-3 – Humedad relativa media anual

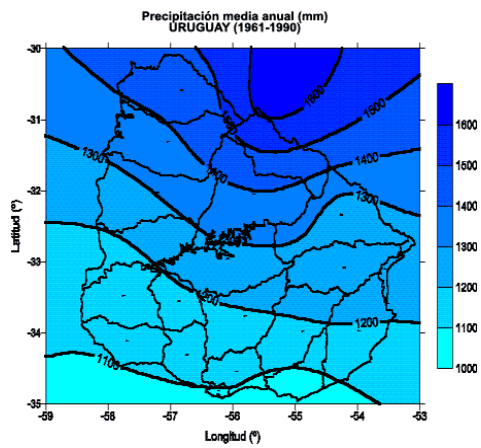


Ilustración 6.1-4 – Precipitaciones medias anuales

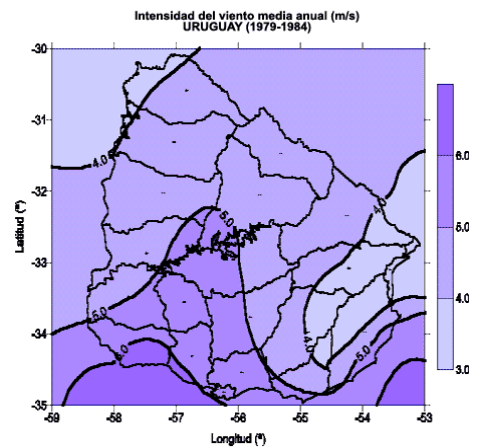


Ilustración 6.1-5 – Intensidad de viento media anual

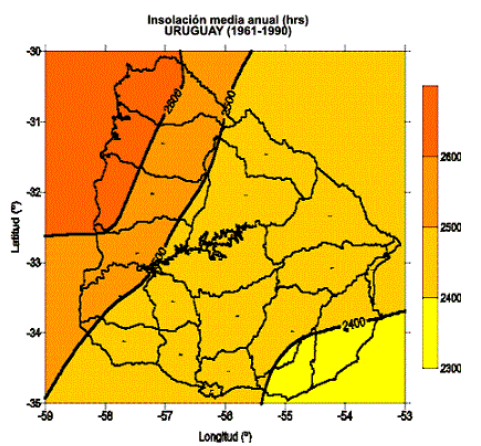


Ilustración 6.1-6 – Insolación media

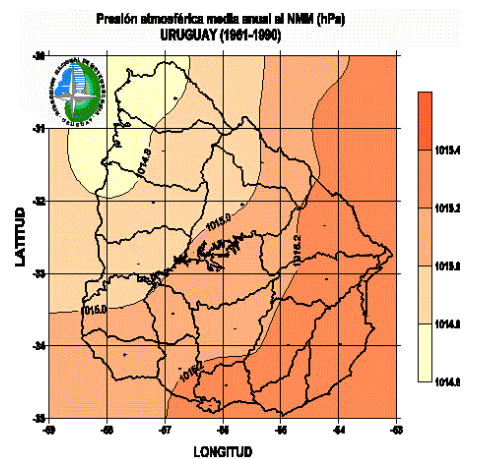


Ilustración 6.1-7 – Presión atmosférica media

6.1.1.2. Factores climáticos de la zona⁴

De acuerdo a los datos de la estación meteorológica de Paso de los Toros, estación meteorológica más cercana a la zona de estudio, la temperatura media anual es de 17.7 °C; durante los meses más cálidos la temperatura máxima media es de 30.9 °C en enero y en los meses más fríos la temperatura mínima media es de 7.0 °C en junio.

La precipitación acumulada media anual es de 1,287 mm. No existe una estación lluviosa típica aunque en primavera y verano se registran volúmenes algo mayores que en el resto del año. Si bien el promedio de días con precipitación al año es de 7, existen importantes variaciones interanuales:

Las velocidades medias anuales de los vientos dominantes en la zona de estudio, son del orden de 3 m/s.

Se presenta en la siguiente tabla las estadísticas de diferentes variables climáticas en el período 1961 – 1990, según información de la Estación Meteorológica de Paso de los Toros de la Dirección Nacional de Meteorología.

Tabla 6.1-1 – Estadísticas climáticas Estación Paso de los Toros (1961-1990)

	Período	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TMED	61-90	24,6	23,7	21,6	17,7	14,6	11,5	11,4	12,5	14,3	17,3	20	23	17,7
TX	61-90	41,2	40,2	37,6	34,4	32	29,1	30,3	32,2	32,2	34,2	37	40,2	41,2
TN	61-90	7,6	7,2	4,6	0,6	-2,3	-3,5	-3,2	-2	-1,2	1,7	3,1	8,1	-3,5
TXM	61-90	30,9	29,4	27,2	23,3	19,8	16,4	16,2	17,7	19,8	22,8	25,8	29,1	23,2
TNM	61-90	18,8	18,4	16,5	12,7	9,9	7	7,2	7,8	9,3	12,1	14,5	17,2	12,6
HR	61-90	65	70	73	77	80	82	82	78	76	73	70	65	74
P	61-90	1010,5	1011,3	1013,3	1015	1016,2	1016,8	1017,8	1017	1016,5	1014,5	1012,3	1011,1	1014,4
HS	81-90	288	213,8	227,6	187,5	166,1	127,4	144	169	181,3	224,5	239,8	287,2	2456,2
PV	61-90	20,1	20,4	18,8	15,6	13,3	11,1	11,1	11,3	12,4	14,4	16,3	18,3	15,3
VEL	61-90	3,6	3,4	3,1	2,8	2,8	2,8	3,4	3,4	3,8	3,8	3,9	3,8	3,4
RR	61-90	121	124	125	102	103	98	112	90	97	110	108	97	1287
FRR	61-90	6	7	6	6	6	6	7	6	6	7	6	6	75

6.1.2. Geología^{5,6}

La región donde se localiza el emprendimiento forma parte del Basamento Cristalino, que comprende unidades litológicas con un amplio rango geocronológico en el cual se reconocen una gran diversidad de rocas ígneas y metamórficas con diferentes grados de evolución y deformación.

De acuerdo con las diferentes historias evolutivas, este basamento ha sido sub-dividido en tres terrenos o provincias lito-estructurales: el terreno Cuchilla Dionisio, el terreno

⁴ INUMET – Tablas Estadísticas - www.meteorologia.com.uy/ServCli/tablasEstadisticas

⁵ Bosi, J., Fernando, L., Montaña Campal, N., Morales, H., Gancio, F., Schipilov, A., Sprechmann, P., Gaucher, C., & Piñeiro, D. (1998). Carta Geológica del Uruguay a escala 1/500.000. Versión CD Rom. Geoeditores SRL. Montevideo.

⁶ Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W., & Rossi, P. (1985). Memoria explicativa de la carta geológica del Uruguay a escala 1: 500.000. DI. NA. MI. GE.

Nico Pérez y el terreno Piedra Alta. A este último pertenece la zona donde se sitúa del emprendimiento.

El terreno Piedra Alta es de edad paleoproterozoica y está localizado en la porción occidental del basamento al oeste de la megafalla Sarandí del Yí-Arroyo Solís Grande. Está representado por cinturones metamórficos de grado bajo y medio con estructura regional este-oeste, separadas entre sí por extensas áreas granito-gnéissicas. Este conjunto fue intruido además por magmatismo granítico sin-tardi- y pós-orogénico.

En la zona de estudio, se distingue el Complejo Basal y Granitos Indiferenciados, ambas unidades del precámbrico medio (2550 m.a) que se caracterizan en términos generales por un conjunto litológico que suele manifestarse en relaciones complejas.

El Complejo Basal está representado principalmente por rocas de origen ígneo metamórfico, como ser neisses muscovíticos y/o biotíticos, neisses anfibólicos y anfibolitas. Ortoneises ácidos y básicos, cuercitas, leptinitas y esquistos. Migmatitas de textura variadas. Es frecuente la intercalación de rocas graníticas

Los Granitos Indiferenciados se componen de rocas de origen plutónico o intrusivo, producto del enfriamiento lento de grandes masas de magma. Se distinguen los granitos calco alcalino de grano medio a porfiroide, generalmente hornblendo-biotíticos; leucogranitos de grano medio a grueso; granodioritas hornoblendo-bióticas; metagranitos y granitos orientados.

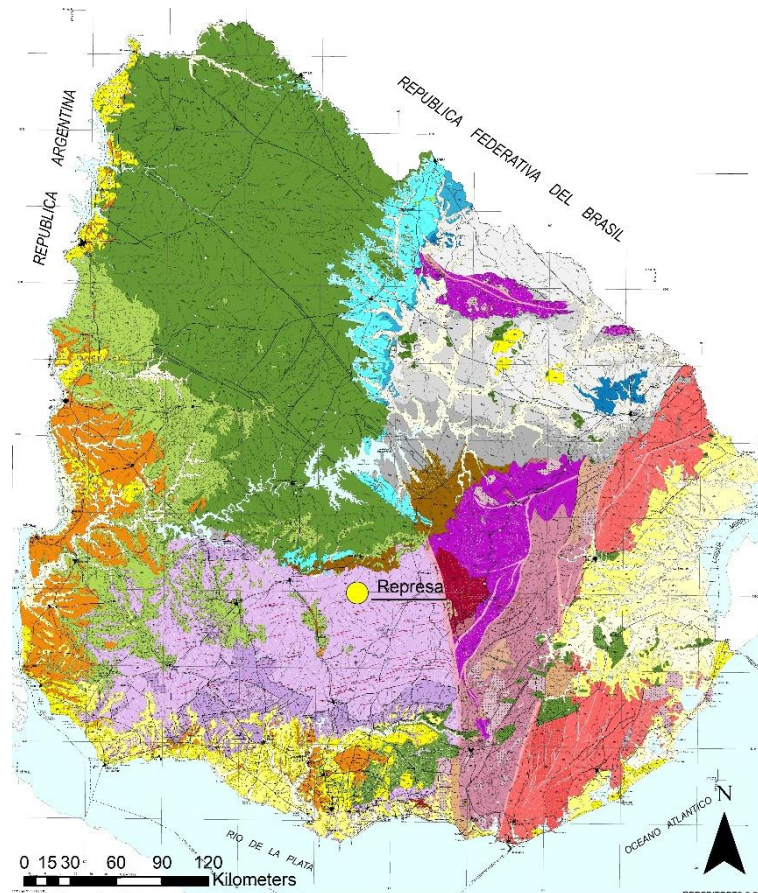


Ilustración 6.1-8 - Ubicación del emprendimiento sobre mapa geológico del Uruguay

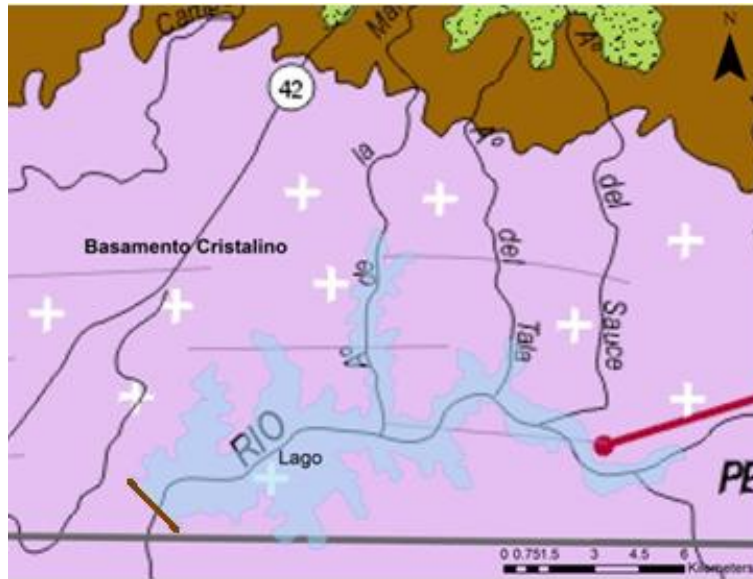


Ilustración 6.1-9 - Localización del dique y lago sobre el mapa geológico del Uruguay

6.1.3. Geomorfología

La zona de estudio pertenece al sector geomorfológico denominado Región Cristalina Centro-Sur, una de las regiones más grandes del país (2.5 millones de hectáreas).

Esta región se ha mantenido prácticamente estable desde el período Cretácico. Durante el Cuaternario, este sector recibió el recubrimiento de rocas alteradas por procesos erosivos provenientes del área de serranías que se encuentran depositadas en los interfluvios principales⁷.

Se caracteriza por presentar un relieve ondulado con predominancia de lomas irregulares de forma redondeada, y por comprender suelos superficiales y profundos y fértiles sobre el basamento cristalino y sedimentos cuaternarios⁸.

En las áreas de disección, los suelos son superficiales y moderadamente profundos, el relieve es más enérgico con colinas y lomadas fuertes, los recubrimientos son delgados o inexistentes, con afloramientos rocosos a lo largo de las vías de drenaje.⁹

En los interfluvios es frecuente la presencia de relieves asimétricos en los que la ladera orientada al sur es abrupta, algo rocosa, en tanto la que se orienta al norte es suave, larga y con suelos profundos.

⁷ Álvarez W., De Souza Rocha R., (2010). Relieve del territorio uruguayo.

⁸ Gallego F., (2010). *Cartografía de comunidades de pastizal de la Región Centro-Sur (Cristalino)*. Tesina para optar por el grado de Lic. Ciencias Biológicas.

⁹ Evia, Gerardo; Gudyanas, Eduardo; y col. *Ecología del Paisaje. Aportes para la conservación de la Diversidad Biológica*. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente MVOTMA, Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI). 173pp, ISBN 84-89650-74-8

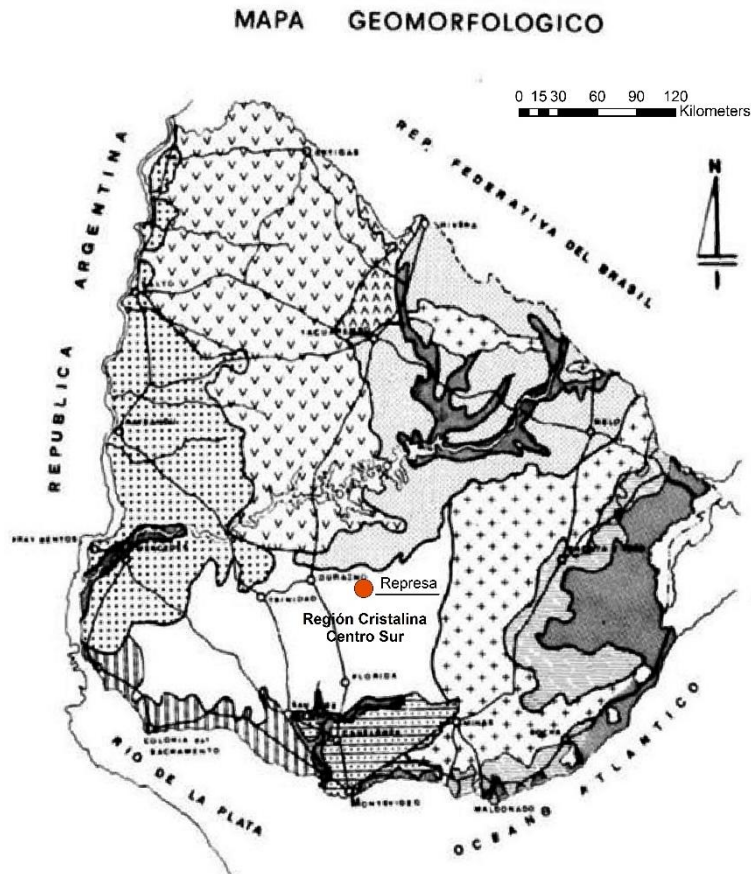


Ilustración 6.1-10 – Ubicación del emprendimiento en Mapa de Sectores Geomorfológicos del Uruguay

6.1.4. Suelos

Los suelos más relevantes a analizar dentro del área de influencia del proyecto son aquellos que quedan inundados por la creación del embalse.

6.1.4.1. Grupos CONEAT

Los grupos CONEAT constituyen áreas homogéneas, definidas por su capacidad productiva en términos de carne bovina, ovina y lana en pie. Esta capacidad se expresa por un índice relativo a la capacidad productiva media del país, a la que corresponde el índice 100.

De acuerdo a la clasificación y descripción de grupos de suelos CONEAT¹⁰ y según se muestra en la Ilustración 6.1-11, el área que abarca el lago comprende los siguientes grupos:

¹⁰ MGAP (1976). Descripción de Grupos de Suelos CONEAT.
www.cebra.com.uy/renare/suelos-y-aguas/coneat/grupos-coneat/

Tabla 6.1-2 Grupos de suelos CONEAT

Grupo Coneat	Área (ha)	Porcentaje	Índice Coneat
3.2	1085.3	22%	39
5.02b	1013.4	21%	88
5.02a	1005.5	20%	74
5.4	655.9	13%	114
07.1	302.1	6%	31
03.3	266.2	5%	18
5.01b	175.6	4%	61
09.2	152.9	3%	74
10.3	124.5	3%	140
03.40	113	2%	66
10.13	27.1	1%	109

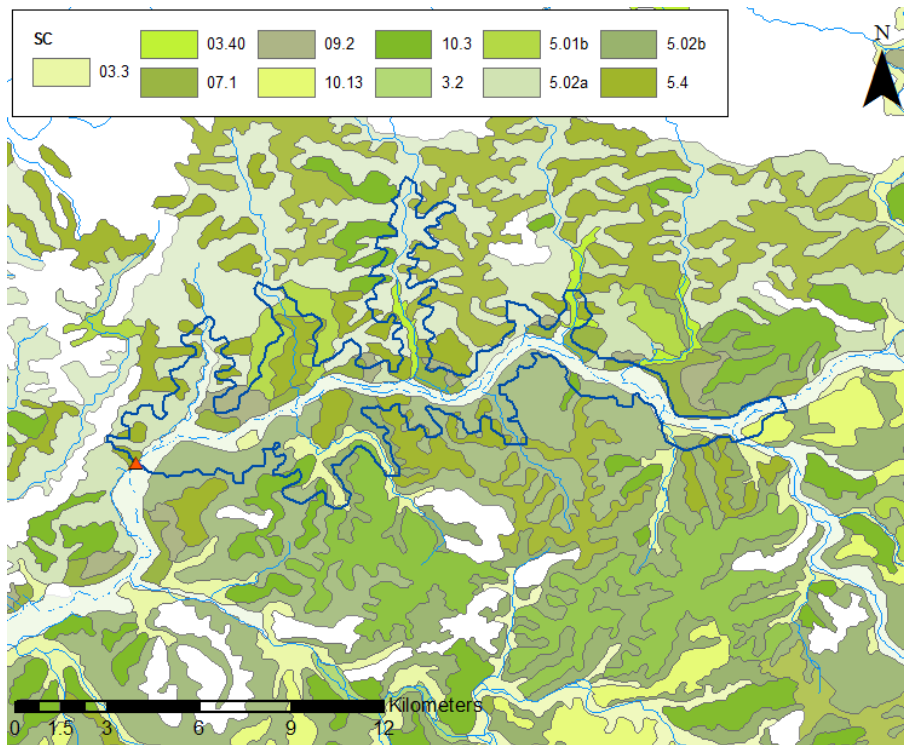


Ilustración 6.1-11 – Ubicación del emprendimiento sobre Mapa de grupos de suelos CONEAT

Los grupos CONEAT que se destacan por su mayor presencia son los siguientes:

3.2

Comprende las llanuras bajas inundables (varios meses del año), con mesorrelieve fuerte que bordean las principales vías de drenaje.

Los suelos son de origen aluvial, y se clasifican como Fluvisoles Heterotexturales Melánicos, de texturas arenosas y francas (Suelos Aluviales). Asociados a estos se encuentran Gleysols Lúvicos Melánicos/Ócricos de textura limo arcillosa (Gley húmicos diferenciados).

El material geológico está constituido por sedimentos modernos de texturas variables, predominantemente arenosas. La vegetación natural es de selva fluvial típica. Este grupo corresponde a la unidad Cebollatí de la carta a escala 1:1.00.000 (D.S.F.).

5.02b

El relieve es ondulado y ondulado fuerte, con pendientes modales de 5 a 7%. El material geológico corresponde a litologías variables de rocas predevonianas, como granitos, migmatitas, rocas metamórficas esquistosas (alrededores de Rosario), etc.

Los suelos son Brunosoles Subéutricos Háplicos moderadamente profundos y superficiales (Praderas Pardas moderadamente profundas y Regosoles), a los que se asocian Inceptisoles (Litosoles) a veces muy superficiales.

El horizonte superior es de color pardo y pardo rojizo, a veces pardo amarillento, de textura franca, franco gravilosa o arenoso franca con gravillas abundantes, la fertilidad es media, a veces baja.

La rocosidad es moderada y varía entre un 2 al 10% del área con afloramientos. En toda el área pueden existir bajos angostos, asociados a vías de drenaje de poca importancia, que contienen Gleysoles Lúvicos (Gley húmicos) y Brunosoles Éutricos Típicos o Lúvicos (Praderas Negras y Praderas Pardas máximas), hidromórficas, que contienen muy buenas pasturas estivales. El uso es pastoril.

Este grupo corresponde a la unidad San Gabriel-Guaycurú en la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.).

5.02a

Este grupo corresponde a las lomas y colinas existentes en las proximidades del Río Yí, ocurriendo en una franja al sur del Dpto. de Durazno, al oeste del Arroyo Tala y en la región norte del Dpto. de Flores y noreste del Dpto. de Soriano.

El relieve es ondulado fuerte a muy fuerte, con predominio de pendientes de 5 a 15%. Los suelos son Inceptisoles Ócricos y Brunosoles Dístricos y Subéutricos Típicos y Lúvicos, de profundidad variable, aunque con predominio de superficiales. El horizonte superior es de color pardo a pardo rojizo, textura arenoso franca a gravilosa y fertilidad baja, a veces media (Litosoles, Regosoles y Praderas Pardas).

Existe rocosidad asociada en baja cantidad: 2 a 10% del área con afloramientos. El uso es pastoril. Este grupo corresponde a las unidades Yí y Andresito en la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.).

6.1.4.2. Aptitud de suelo¹¹

La aptitud general del uso de la tierra es un complemento a la información aportada por el índice de CONEAT que permite proyectar un uso productivo y sostenible de las tierras.

Según se aprecia en la Tabla 6.1-3, las aptitudes de suelo predominantes son:

- Tierras no cultivables, sin aptitud agropecuaria ni forestal. Tierras de reserva natural de la flora y la fauna (R)

¹¹ MGAP (). Proyecto 1.6: Aptitud general de uso de la tierra.

- Tierras no cultivables, aptas para la producción de pasturas y muy limitada para forestales (P)
- Tierras cultivables en condiciones especiales, aptas para una gran gama de producción de pasturas y forestales (PF)
- Tierras cultivables en condiciones especiales, aptas para producción de pasturas pero con muy severas limitaciones para otros cultivos, Pueden o no ser aptas para cultivos forestales (AP)

Tabla 6.1-3 - Aptitud general de uso de las tierras

Grupo Coneat	Área (ha)	Porcentaje	Clase
3.2	1085.3	22%	R
5.02b	1013.4	21%	P
5.02a	1005.5	20%	PF
5.4	655.9	13%	AP
07.1	302.1	6%	F
03.3	266.2	5%	R
5.01b	175.6	4%	PF
09.2	152.9	3%	PF
10.3	124.5	3%	A3
03.40	113	2%	P
10.13	27.1	1%	AP

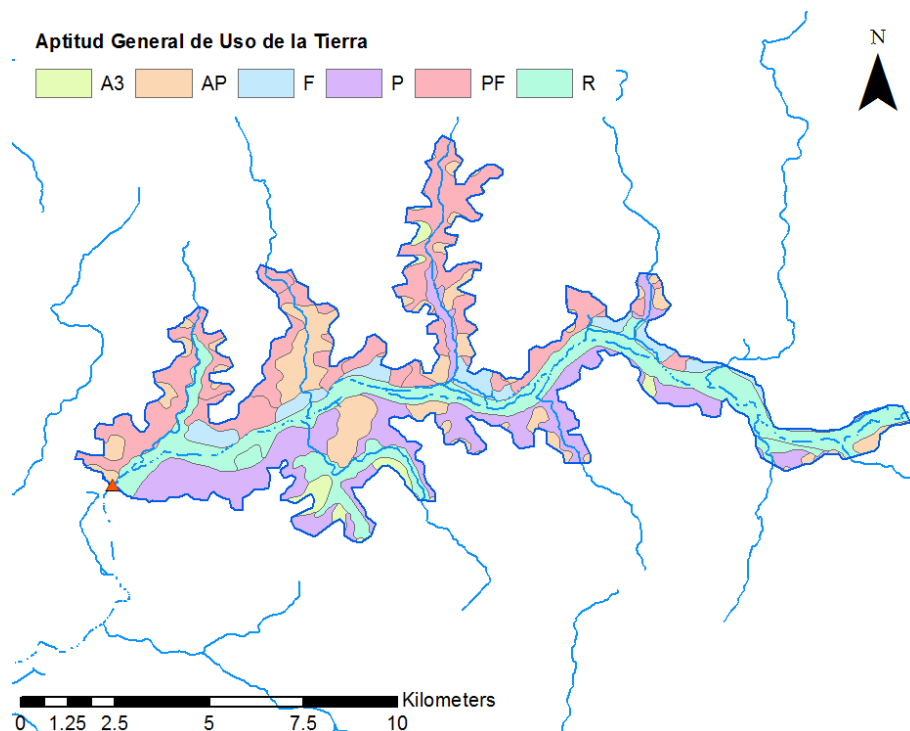


Ilustración 6.1-12 – Ubicación del lago sobre Mapa de Actitud General de Uso de la Tierra

6.1.5. Hidrografía

6.1.5.1. Agua superficial

Según el mapa de cuencas hidrográficas generales del Uruguay (MGAP), el sitio en estudio pertenece a la cuenca baja del Río Negro vertiente Sur.

En particular, la zona de estudio se localiza sobre el río Yí. Éste nace en el límite entre los departamentos Treinta y Tres, Durazno y Florida, y oficia de límite departamental entre el Departamento de Durazno (al Norte) y Florida (al Sur). Su presencia es uno de los elementos constitutivos principales de la identidad local. Es fuente de recursos materiales minerales, flora y fauna, agua, recurso recreativo y turístico.

El río Yí presenta un curso de agua meándrico, que se desplaza en una planicie de inundación que oscila entre 500 y 1000 metros de ancho total, en especial desde Sarandí del Yí hasta su desembocadura en el Río Negro. La presencia de numerosos meandros abandonados en la planicie de inundación (actuales pequeñas lagunas naturales) confirma la actualidad del proceso de modificación continua del cauce.

Dentro del comportamiento hidrológico del río Yí se destacan las frecuentes crecidas que afectan a los dos principales centros poblados del departamento (Durazno y Sarandí del Yí).¹²



Ilustración 6.1-13 - Ubicación del emprendimiento en el mapa de cuencas hidrográficas generales del Uruguay

¹² Intendencia de Durazno – MVOTMA – DINOT, (2011). Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible para el Departamento de Durazno.

Se presentan a continuación los parámetros de la cuenca del río Yí con punto de cierre en el emprendimiento.

Tabla 6.1-4 – Parámetros de la cuenca

Curso	Río Yí
Área total (km ²)	4,821
Long máx. del cauce (km)	127
Desnivel máx. del cauce (m)	165
Pendiente media del cauce principal (%)	0.13
Pendiente media de la cuenca (%)	2.67
Tiempo de Concentración – Kirpich (hs)	37

6.1.5.2. Agua subterránea¹³

Los recursos subterráneos son pobres y sólo posibilitan agua para uso doméstico, abrevadero de ganado y pequeñas huertas, en el mejor de los casos. La calidad de esta agua debe ser siempre controlada, para determinar sus riesgos al regar, tanto para el suelo como para los equipos.

La Carta Hidrogeológica de Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE - 2003), indica que la zona del emprendimiento se encuentra sobre acuíferos en rocas con porosidad por fracturas y/o niveles de alteración o disolución cárstica, con alta media posibilidad para agua subterránea. En particular se distingue la Unidad Hidrogeológica Paleoproterozoico (PP).

Los análisis realizados en la zona indican la presencia de pozos no surgentes y la productividad del acuífero resulta ser Baja, esto es, con caudales entre 2 y 0.5 m³/h/m

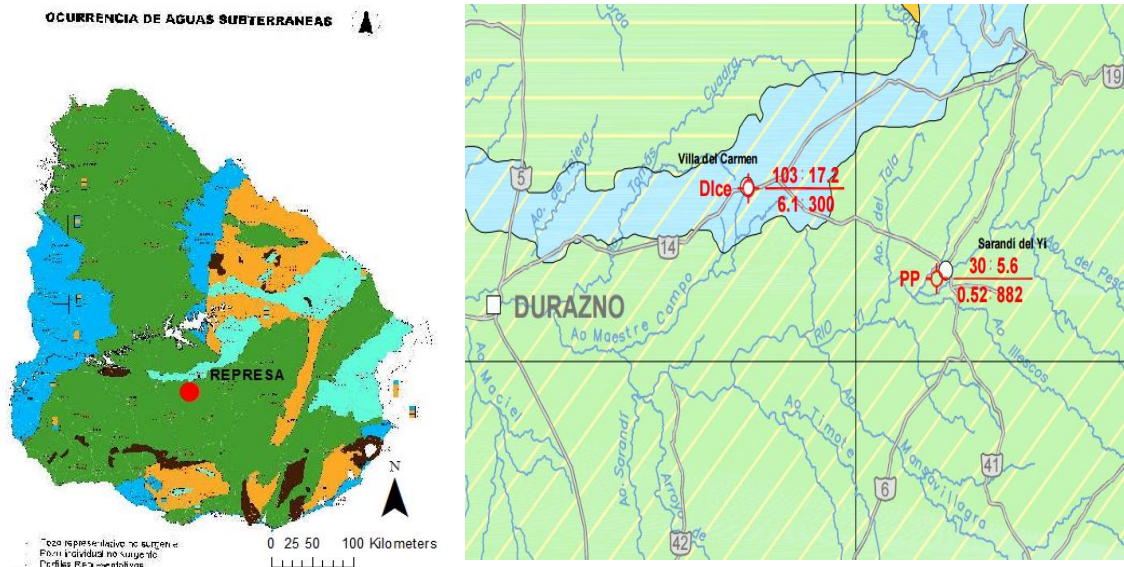


Ilustración 6.1-14 - Ubicación del emprendimiento en el mapa de agua subterránea nacional

¹³ DINAMIGE-División Geología-Área Hidrogeología (2003), Carta Hidrogeológica del Uruguay, escala 1/1.000.000. www.dinamige.gub.uy/documents/10180/0/Carta_hidrogeol%C3%B3gica_Uruguay.pdf

6.2. Medio biótico

6.2.1. Ecología paisajística¹⁴

Dentro de las regiones paisajísticas del Uruguay el emprendimiento y su zona de influencia se encuentra comprendido en la región “Praderas del Centro-Sur”.

El paisaje de esta sub-región es más heterogéneo que el observado en las otras sub-regiones de praderas, ya que en su matriz de campos naturales hay grandes manchas de zonas modificadas. Estas manchas se disponen a lo largo de una ancha faja que atraviesa la sub-región de este a oeste, en sitios con suelos más fértiles y profundos.

La fuerte presencia de componentes antrópicos, como la figura de rutas nacionales y la instalación de predios agrícolas cerca de las vías de comunicación, contribuyeron a la diferenciación intraregional del paisaje. Un claro ejemplo son las grandes machas de matriz cultivada a lo largo del eje de la Ruta Nº 5 entre Florida y Durazno.

Los principales corredores identificables están constituidos por los ríos, arroyos, bosques ribereños y pequeños bañados remanentes asociados. Los más importantes corresponden al arroyo Maciel, Grande, Masavillagra, Timote y los ríos Yí y San José.

Es posible identificar manchas de montes artificiales de abrigo y las áreas de cultivos industriales o forrajeros dispersos en la matriz de campos naturales. Otras manchas identificables son los agrupamientos de arbustos y árboles asociados a afloramientos rocosos típicos de la unidad de suelos San Gabriel-Guaycurú.

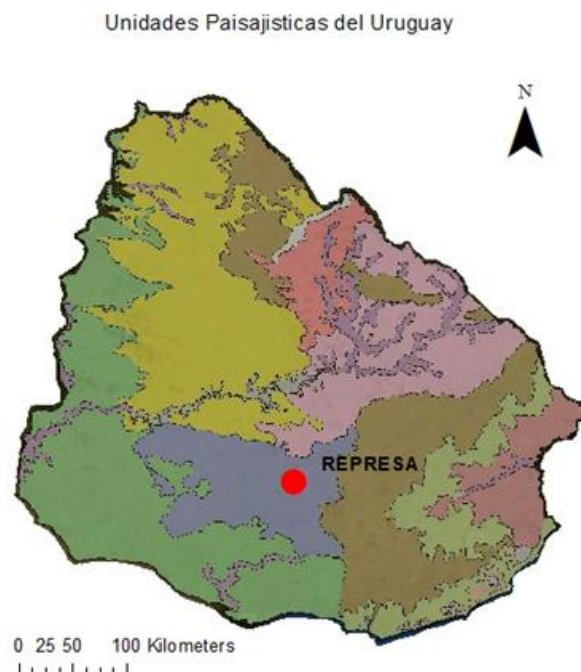


Ilustración 6.2-1 – Ubicación del emprendimiento sobre Mapa de Unidades Paisajísticas del Uruguay

¹⁴ Evia, Gerardo; Gudynas, Eduardo; y col. *Ecología del Paisaje. Aportes para la conservación de la Diversidad Biológica*. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente MVOTMA, Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI). 173pp, ISBN 84-89650-74-8

6.2.2. Unidades ambientales

En un análisis a escala de terreno, efectuado en base a imágenes satelitales y a revisiones bibliográficas, a fin de mapear los ambientes de la zona de estudio, se han identificado 4 ambientes o micro hábitats a partir de sus características ecológicas y de uso del suelo. Los ambientes identificados son:

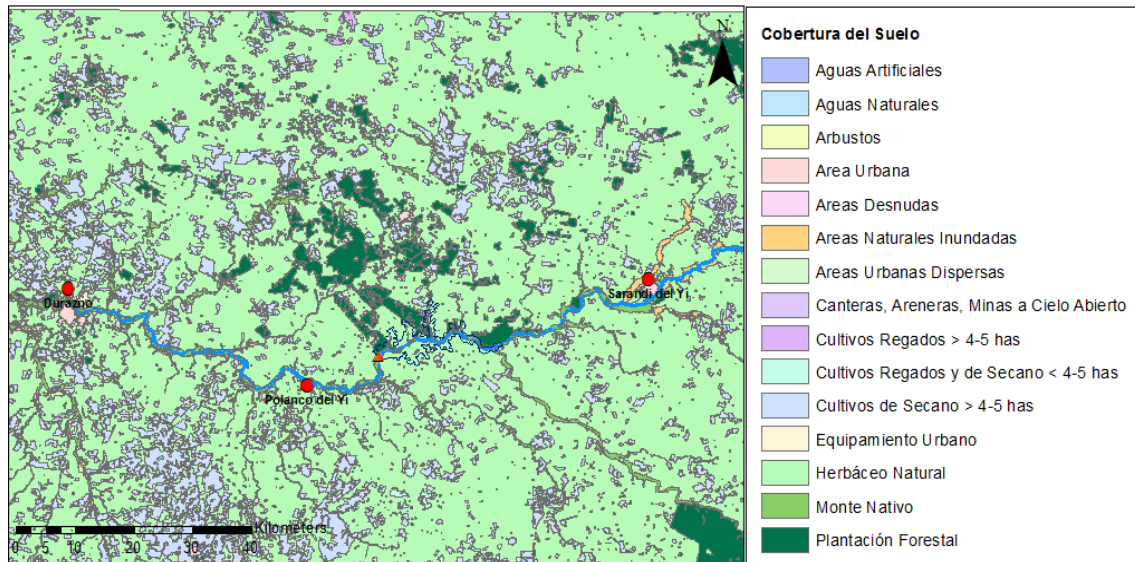


Ilustración 6.2-2 – Ubicación del emprendimiento sobre Mapa de Cobertura del suelo

Pradera

Es un ecosistema natural dominado por gramíneas nativas, leguminosas y especies tanto herbáceas como leñosas. Las características de la vegetación están determinadas por el clima, el suelo, el pastoreo y el fuego. Es utilizado fundamentalmente para el pastoreo de ganado y animales silvestres.

En el sitio de estudio, la pradera presente es del tipo invernal – estival con parque¹⁵.

¹⁵ Sganga J.C. (1994) *Caracterización de la vegetación de la R.O.U.* En: MGAP, Contribución de los estudios edafológicos al conocimiento de la vegetación en la República Oriental del Uruguay. Boletín técnico 13: 3-12.

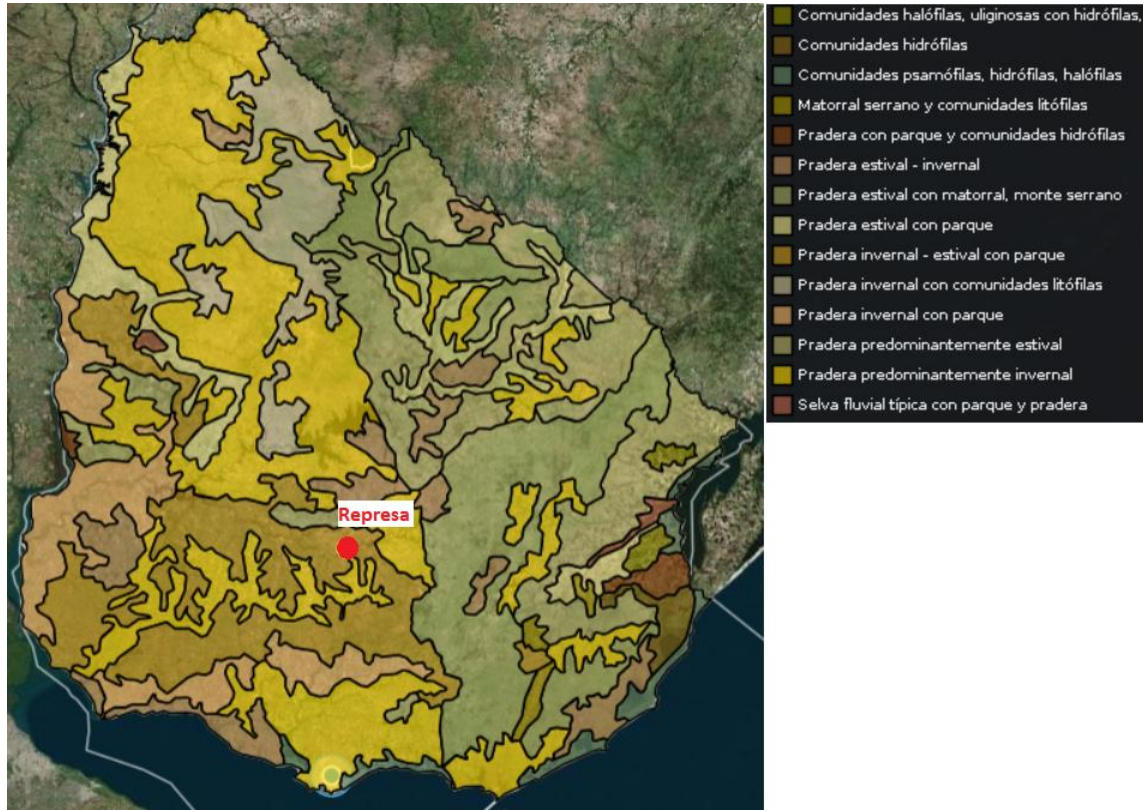


Ilustración 6.2-3 - Ubicación del emprendimiento sobre Mapa de Praderas (visualizador DINAMA)



Ilustración 6.2-4 – Pradera Natural sobre Ruta Nº 42 y camino vecinal de acceso al sitio del emprendimiento (Foto extraída de Google Earth – 10/2016)

Bosque ribereño

Los ecosistemas ribereños son un conjunto de complejas características, que involucra al ambiente localizado tanto al lado como cerca de los cursos de agua, así como a los organismos que allí habitan¹⁶.

Las riberas de los ríos son las zonas más próximas a los cauces: representan espacios abiertos que bordean a los ríos, estableciendo de esta forma, su límite. Constituyen una zona de transición entre el medio acuático del cauce, y el sistema terrestre de la ladera, recibiendo la influencia hidrológica de ambos, al integrar un espacio compartido en el ciclo del agua, de los sedimentos y de los nutrientes¹⁷.

Estas zonas de transición representan mucho más que el promedio de las características aportadas por cada uno de los sistemas que conectan: son únicas, con propiedades singulares.¹⁸

La flora en dichas zonas de transición es única y diversa, siendo más alta, densa y compleja estructuralmente que la vegetación circundante¹⁹. Otro factor que establece el contraste entre las especies de las zonas de transición y las que crecen en suelos zonales no relacionados hidrológicamente con los ríos, es que los árboles de ribera típicamente están adaptados a suelos fértiles y son capaces de resistir la inundación, mientras que otras muchas especies no pueden tolerar vivir en estas condiciones²⁰

El bosque instalado sobre las márgenes del río Yí se caracteriza por ser de edad adulta y de régimen tallar, aunque también existen zonas de régimen de bajo fustal. Está compuesto en un 69% por bosques ralos (50-200 árboles/ha), 4% de bosques de densidad media (200-1000 árboles/ha) y 27% de bosques densos (1000-2000 árboles/ha) y muy densos (más de 2000 árboles/ha).²¹

¹⁶ Lowrance, R., Leonard, R., & Sheridan, J. (1985). Managing riparian ecosystems to control nonpoint pollution. *Journal of soil and water conservation*, 40(1), 87-91.

¹⁷ del Tánago, M. G. (1999). Las riberas elementos clave del paisaje y en la gestión del agua. In *El agua a debate desde la Universidad: hacia una nueva cultura del agua: 1er Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas* (pp. 499-512). Institución Fernando el Católico.

¹⁸ Naiman, R. J., Decamps, H., Pastor, J., & Johnston, C. A. (1988). The potential importance of boundaries of fluvial ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 289-306.

¹⁹ Boutin, C., Jobin, B., & Bélanger, L. (2003). Importance of riparian habitats to flora conservation in farming landscapes of southern Québec, Canada. *Agriculture, ecosystems & environment*, 94(1), 73-87.

²⁰ Elosegui, A. (Ed.). (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA.

²¹ Carrere R., Grupo Guayubirá – El bosque natural uruguayo: caracterización general y estudio de caso. Caso N°9.



Ilustración 6.2-5 – Bosque ribereño a orillas del río Yí y Ruta Nº 42 (Foto extraída de Google Earth – 10/2016)

En cuanto a las especies que componen el bosque relevado, de acuerdo a un muestreo en ambas márgenes del río en franjas de 200-300 metros de ancho perpendiculares al curso de agua y abarcando desde la vegetación marginal hasta la orilla del río, surge la presencia de 27 especies. La especie más abundante es el blanquillo, seguido en orden decreciente por viraró, murta, arrayán y mataojo.

Dentro de la clasificación de maderas por el color de su duramen, existe un predominio del "monte blanco" (blanquillo, arrayán, murta, viraró, guayabo blanco, tala, etc.) sobre el "monte negro" (coronilla, espinillo, socará, guayabo colorado, molle, etc.).



Ilustración 6.2-6 – Especies arbóreas predominantes en Bosque Ribereño del río Yí

Cultivos agrícolas

Los campos agrícolas son ambientes altamente modificados por el hombre. Estas modificaciones vienen dadas por el laboreo del suelo, en la agricultura tradicional, o por la aplicación de fuertes herbicidas, en la siembra directa, sustituyendo casi en su

totalidad a las formaciones vegetales preexistentes en el sitio por las especies cultivadas, y modificando las características físicoquímicas del suelo.

En el área de interés se destaca la presencia de cultivos de secano.

Esto es, cultivo herbáceo de gramíneas o leguminosas en parcelas grandes de tamaño mayor a 2 ha. Son cultivos cerealeros u oleaginosos anuales de ciclo invernal: trigo, cebada y avena; o ciclo estival: soja, maíz, girasol o sorgo (DIEA, 2010). También puede encontrarse en esta clase pasturas sembradas plurianuales de gramíneas y leguminosas en su primer o segundo año así como cultivos forrajeros anuales para alimentación del ganado.²²



Ilustración 6.2-7 - Cultivos de invierno sobre Ruta N°42 (Foto extraída de Google Earth - 10/2016)

²²MGAP (2011). *Memoria de Mapa de Cobertura del Suelo del Uruguay*



Ilustración 6.2-8 – Preparación para cultivo de verano sobre Ruta Nº 42 (Foto extraída de Google Earth – 10/2016)

Forestación²³

La plantación forestal en la zona de estudio comprende la plantación de árboles, con una cobertura de copa mayor a 30%, una altura mínima de los árboles al momento de su madurez de al menos 3 m, que abarcan en superficies continuas mayores a 5 ha.

Los géneros y especies que generalmente predominan son Eucaliptus, Pino o Salicáceas. Esta clase también incluye las plantaciones nuevas con menor cobertura de copa y menor altura de árbol.

En general son bosques de rendimiento que tienen como fin la explotación de madera u otros productos forestales. Incluye no solo la superficie ocupada por los árboles sino también otras superficies como ser los cortafuegos, caminos de saca, zonas sensibles entre otras.

²³ MGAP (2011). *Memoria de Mapa de Cobertura de Suelos del Uruguay*.



Ilustración 6.2-9 - Plantación de Eucaliptus sobre Ruta Nº 42. (Foto extraída de Google Earth)

6.2.3. Relevancia ecológica

El sitio de estudio se encuentra localizado en la Hoja J-21 de la grilla Plano Cartográfico Nacional del SGM, escala 1:50,000, como se puede observar en la Ilustración 6.2-10. De allí se concluye que el proyecto se ubica en la eco-región Escudo Cristalino²⁴ (Ilustración 6.2-13).

Según se aprecia en la Tabla 6.2-1, el escudo cristalino presenta un nivel de riqueza intermedio (727 especies), con valores considerables de peces, anfibios, aves y mamíferos. Destacándose particularmente la gran diversidad de aves, peces y leñosas.

Esta eco-región no presenta especies endémicas ni casi endémicas, pero si un considerable número de especies indicadoras, esto es, especies cuyo valor de indicador es significativamente ($p < 0.05$) mayor al esperado por azar¹².

²⁴Brazeiro A., Panario D., Soutullo A., Gutierrez o., Segura A. y Mai P. (2012) - *Clasificación y delimitación de las eco-regiones de Uruguay. Informe Técnico*. Convenio MGAP/PPR–Facultad de Ciencias/Vida Silvestre/ Sociedad Zoológica del Uruguay/CIEDUR 40p .

Tabla 6.2-1 – Riqueza de especies (S_{total}) y de especies representativas (S_{CEnd}: casi endémicas, S_{End}: endémicas e S_{Ind}: indicadoras) de la eco-región Escudo Cristalino.

Grupo	S _{Total}	S _{CEnd}	S _{End}	S _{Ind}
<i>Peces</i>	150	0	0	20
<i>Anfibios</i>	34	0	0	0
<i>Reptiles</i>	49	0	0	0
<i>Aves</i>	295	0	0	4
<i>Mamíferos</i>	52	0	0	1
<i>Leñosas</i>	147	0	0	3
TOTAL	727	0	0	28

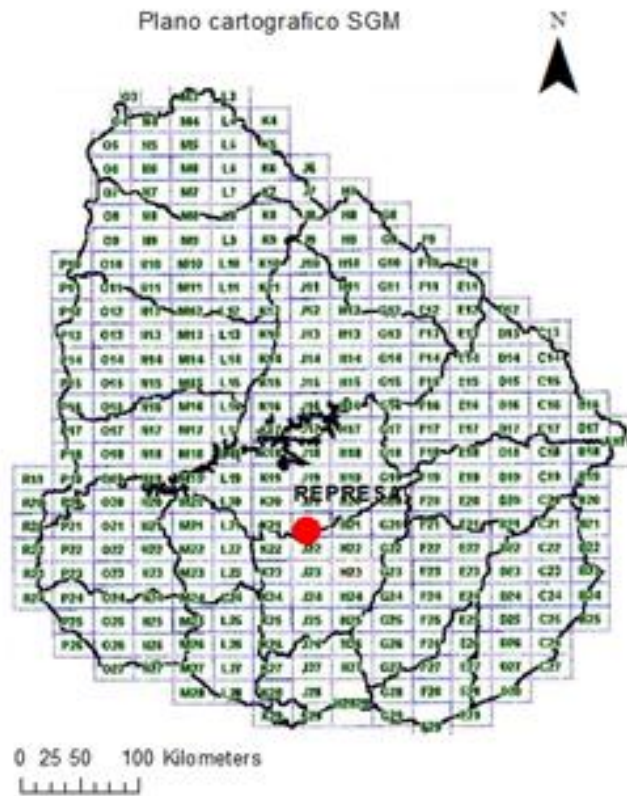


Ilustración 6.2-10 Ubicación del proyecto en la Grilla Plano Cartográfico R.O.U del SGM

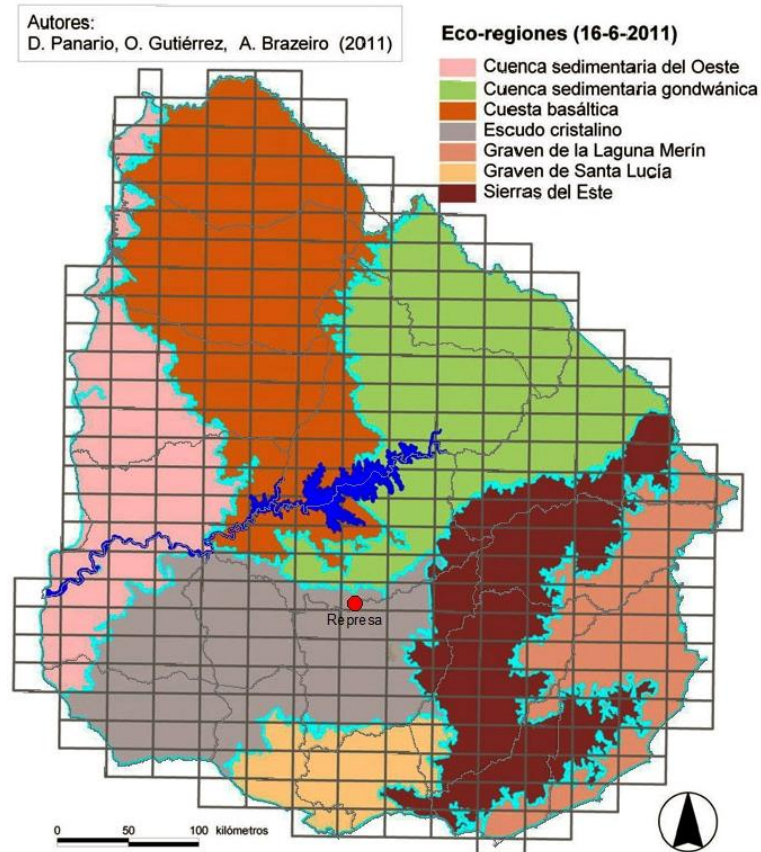


Ilustración 6.2-11 - Ubicación del emprendimiento en la Eco-Región Escudo Cristalino

6.2.3.1. Especies prioritarias para la conservación

Según información obtenida de la base de datos de especies del SNAP, dentro de la Hoja J-21 de la grilla Plano Cartográfico Nacional del SGM en donde se encuentra el sitio a emplazar el proyecto, se destacan las siguientes especies prioritarias para la conservación.

Peces

De un total de 78 especies identificadas, todas nativas, 36 especies se categorizan como prioritarias y a su vez, 15 de éstas se las considera especies amenazadas.

Dentro de esta última clase, las especies que pueden encontrarse en el río Yí son: Vieja de agua, Tararira, Overito y Cabeza amarga.²⁵

Ninguna de las 36 especies prioritarias para la conservación es del tipo migratoria.

²⁵ Serra, Sebastián; Bessonart, José; Teixeira de Mello, Franco; Duarte, Alejandro; Malabarba, Luiz y Loureiro, Marcelo. (2014). *Peces del Río Negro*. Montevideo, MGAP-DINARA, 208 p.

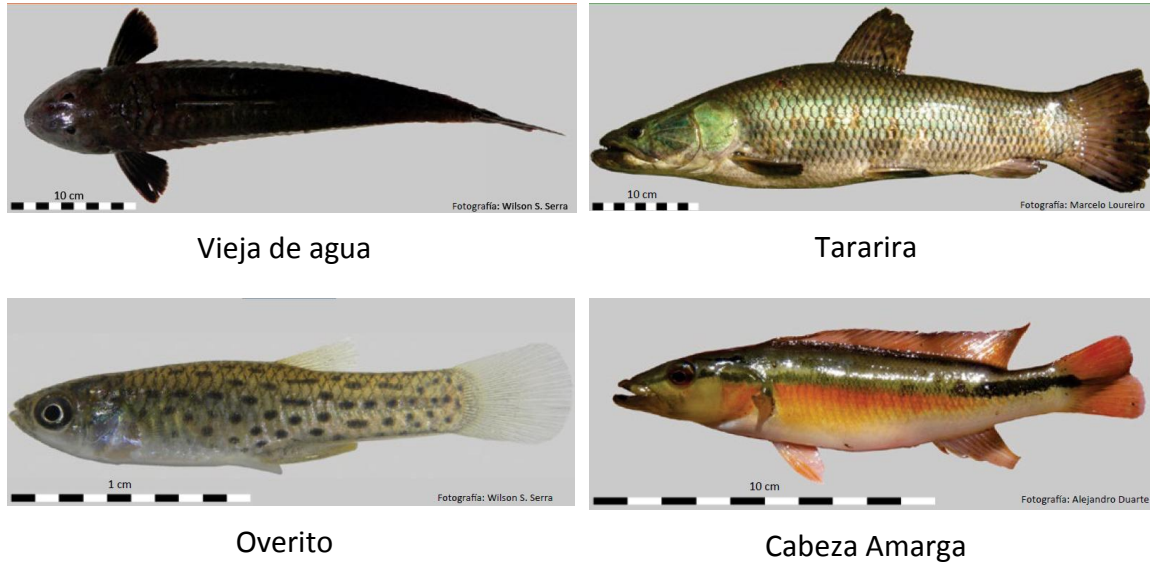


Ilustración 6.2-12 – Especies de peces prioritarias y amenazada presente en el río Yí.

Anfibios

Se identifican en la zona un total de 29 especies de anfibios, dentro de las cuales únicamente 6 especies se identifican como prioritarias y 4 de éstas se clasifican a su vez como especies amenazadas: Sapito de devicenzi, Sapito de san Martín, Ranita de las tormentas y Ranita de bibron.

Reptiles

Los reptiles presentes en la zona de estudio (Hoja J-21) totalizan unas 32 especies, todas de ellas nativas. Respecto al estado de conservación de las mismas se identifican un total de 5 especies prioritarias, de las cuales 3 se clasifican a su vez como especies amenazadas: Coral, Musurana y Lagartija arborícola.

Aves

Se identifican un total de 241 especies de aves en la zona de estudio. Un total de 40 especies son consideradas como prioritarias, de las cuales 16 se clasifican como especies amenazadas.

Mamíferos

La zona de estudio alberga un total de 38 especies de mamíferos. De acuerdo al estado de conservación, 16 especies son consideradas como prioritarias y en particular unas 6 especies se consideran como amenazadas. Dentro de esta última clasificación se encuentran: Mulita, Tatú, Marmosa, Rata de hocico ferrugineo y Ratón colilargo chico.

6.2.4. Áreas de importancia para la conservación²⁶

La eco-región Escudo Cristalino presenta un 10.5% de su superficie (300,638 ha) identificada como de máxima (azul) y alta prioridad de conservación (verde). A dichas zonas pertenece el bosque fluvial del Río Yí y afluentes, y ecosistemas asociados, donde se encuentra localizado el proyecto en estudio (ver Ilustración 6.2-13).

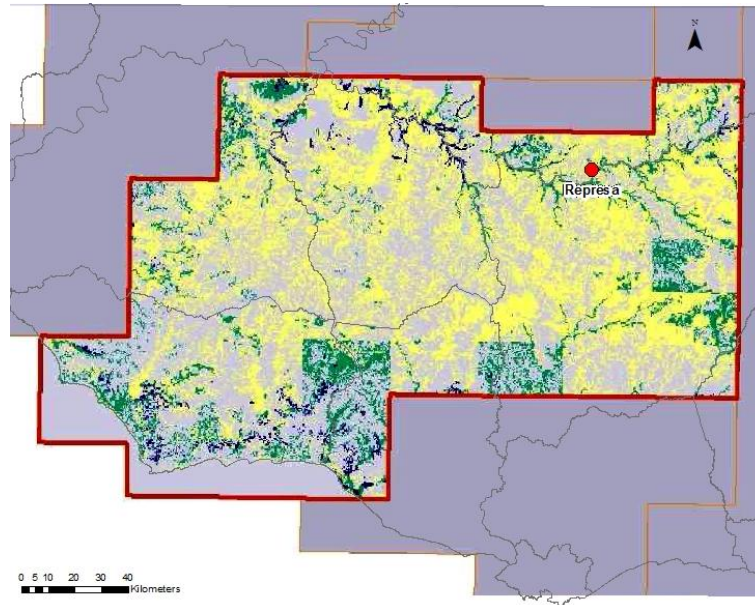


Ilustración 6.2-13 - Sitios con prioridad de conservación en la eco-región Escudo Cristalino

Del análisis de la ubicación del proyecto respecto a las áreas de conservación, se concluye que éste no se encuentra dentro de ninguna de las áreas protegidas e ingresadas al SNAP. La zona protegida más cercana corresponde a la Localidad Rupestre de Chamangá, localizada a aproximadamente 44 km en dirección oeste del emprendimiento (ver Ilustración 6.2-14).

²⁶ Brazeiro A, Soutullo A y Bartesaghi L (2012): Prioridades de conservación dentro de las eco-regiones de Uruguay. Informe Técnico. Convenio MGAP/PPR – Facultad de Ciencias/Vida Silvestre Uruguay/ Sociedad Zoológica del Uruguay/CIEDUR. 20p..



Ilustración 6.2-14 - Ubicación del emprendimiento en el Mapa de Áreas Protegidas del Territorio Nacional

Por otro lado, la localización del proyecto tampoco se encuentra dentro de ninguna de las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (IBA's, por su sigla en inglés) que presenta el territorio nacional, tal como puede observarse en la Ilustración 6.2-15.

El área Serranías del Este (UY015) es la más cercana, a aproximadamente 85 km en dirección sureste del emprendimiento.²⁷

²⁷ Aldabe J., Rocca P., Claramunt S. (2009), URUGUAY. Pag 383-392 en C.Devenish, D.F. Díaz Fernandez, R.P. Clay, I. Davison & I. Yépez Zabala Eds. *Important Bird Areas America – Priority sites for biodiversity conservation*.

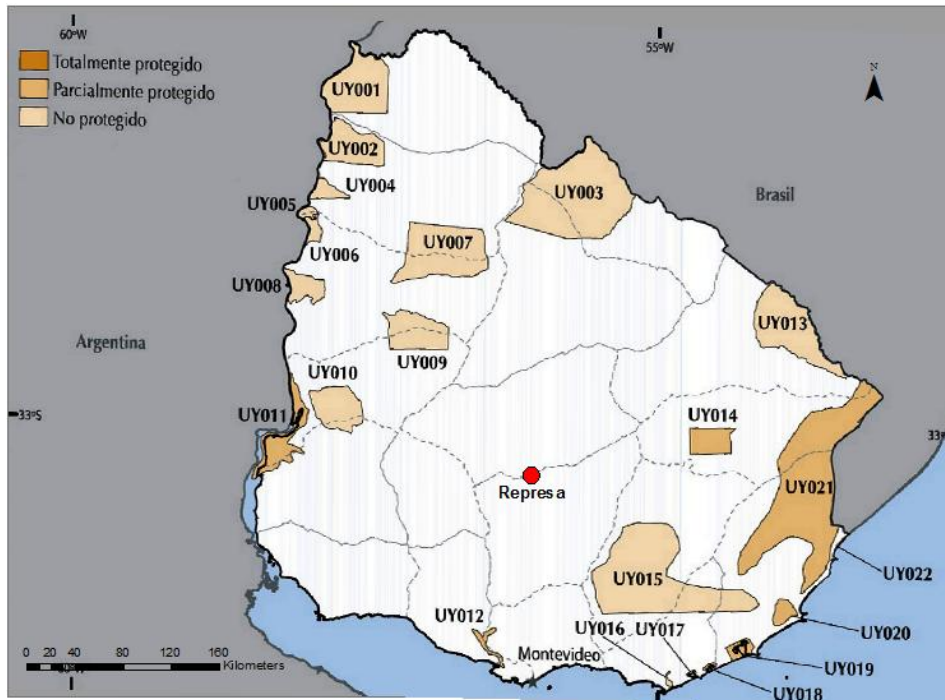


Ilustración 6.2-15 - Ubicación del emprendimiento en el mapa de las áreas de importancia para la conservación de aves en la R.O.U

6.3. Medio antrópico

6.3.1. Población²⁸

El emprendimiento se encuentra situado sobre el río Yí y por tanto sobre el límite departamental entre el Departamento de Durazno y Florida. La cuenca con punto de cierre en el emprendimiento abarca un 34 % del departamento de Durazno y un 66 % del departamento de Florida.

Según los datos recabados en el último censo poblacional correspondiente al año 2011, el departamento de Durazno cuenta con una población de 57,088 habitantes, estando el 91 % de los habitantes está concentrado en áreas urbanas, restringiéndose la población rural al 9 %. Por otro lado, el departamento de Florida presenta unos 67,048 habitantes, de los cuales el 86 % se concentra en las áreas urbanas, mientras el restante 14 % se corresponde a población rural.

Las zonas urbanas sobre las cuales el emprendimiento tiene mayor influencia son Planco del Yí, por su cercanía al sitio del emprendimiento y la ciudad de Durazno, por ser el control de inundaciones en dicha ciudad uno de los objetivos del emprendimiento.

La localidad de Polanco del Yí, ubicada en el departamento de Florida, se encuentra de a unos 11 Km aguas debajo de la represa proyectada. Posee una población de 38 habitantes, dividiéndose de igual forma la cantidad de hombres y mujeres. La localidad cuenta con un total de 44 viviendas, de las cuales 16 se encuentran ocupadas y las restantes 28 desocupadas.

La ciudad de Durazno, capital departamental del departamento homónimo, se ubica a unos 45 km aguas abajo del emprendimiento. Presenta una población de 34,372 habitantes, de los cuales 16,608 son hombres y 17,764 son mujeres. La ciudad cuenta con unas 12.525 viviendas, de las cuales un 12% se encuentran desocupadas.

La zona de influencia directa del emprendimiento presenta características rurales con muy baja densidad de población. Se identifican, mediante imágenes satelitales un total de 4 viviendas cercanas y directamente afectadas por el emprendimiento.

²⁸ INE. Censo 2011. <http://www5.ine.gub.uy/censos2011/resultadosfinales/durazno.html>

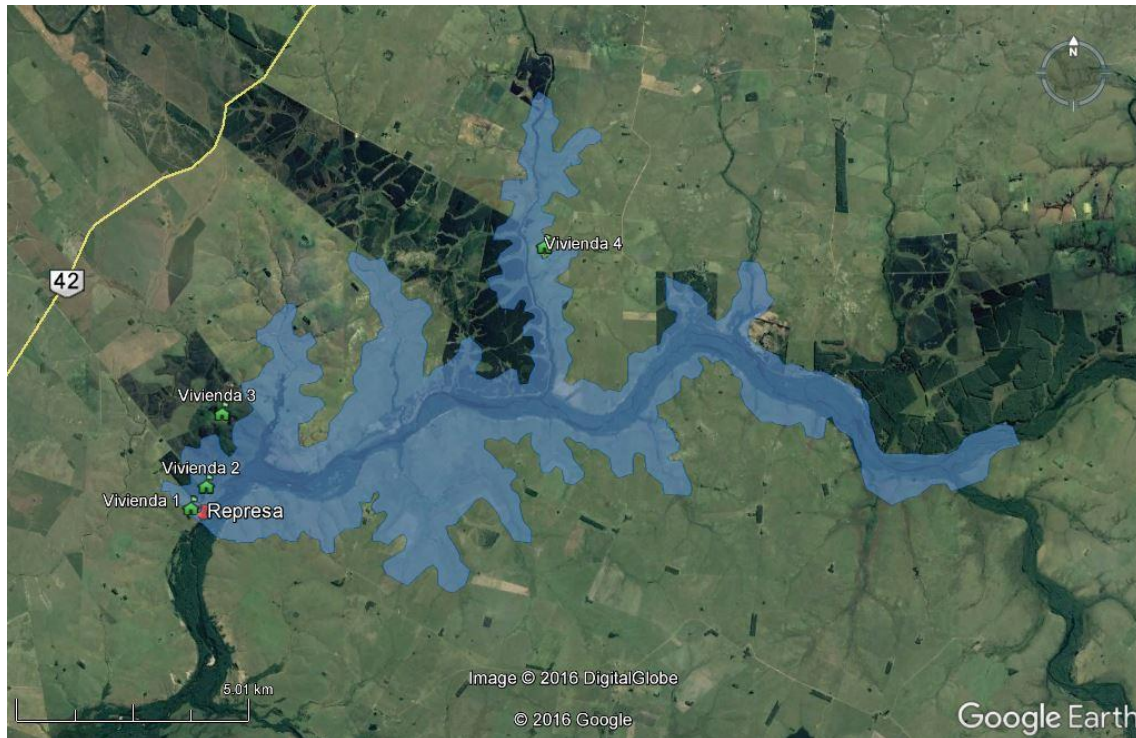


Ilustración 6.3-1 - Ubicación de viviendas próximas al emprendimiento

6.3.2. Actividades y usos del suelo

El departamento de Durazno concentra sus actividades económicas principales en el sector primario y el sector secundario. Se destacan los complejos cárnicos, lanar, vitivinícola, forestal y más recientemente el complejo sojero están presentes en el departamento. Se destaca también rubros tales como acuicultura, apicultura, cítrica y pesca.

Para el año 2014, la actividad que presenta mayor peso en la generación de empleo en durazno es el agro, empleado un 21.8% de los ocupados en el departamento (5,900 personas). La segunda actividad en términos de generación de empleo es el comercio, ocupando prácticamente al 17% de los trabajadores (4,600 personas), seguido por la construcción en un 10.2%. Posteriormente la industria manufacturera con un 7.5%, empleando a aproximadamente unos 2,000 trabajadores.²⁹

El uso del suelo rural está marcado por un alto porcentaje de suelo dedicado al pastoreo y la distribución del área total de tierras productivas de Durazno, señala como actividad predominante la ganadera. Del total de la tierra productiva del departamento (1.072.366 ha), el 90% está dedicado a pastoreo mientras que el 3% son tierras forestadas y el resto corresponde a tierras para agricultura.³⁰

²⁹ MTSS (2015). *Serie Informes Departamentales: Principales indicadores del mercado laboral-DURAZNO*

³⁰ Convenio Intendencia de Durazno – MVOTMA/DINOT (2011). *Directrices departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible para el departamento de Durazno*. Ley N° 18.308.

6.3.3. Infraestructura vial

La vía de tránsito más cercana al proyecto es la Ruta nacional N° 42, encontrándose a aproximadamente 7 Km en dirección oeste del emprendimiento.

La misma parte desde la Ruta N° 5, en la zona sub urbana de la ciudad de Sarandí Grande y se extiende por los departamentos de Florida y Durazno. Corre de oeste a este hasta el paraje Paso Real de Castro, donde se ubica un puente sobre el arroyo Castro, luego corre en dirección norte hasta la localidad de Villa del Carmen, donde finaliza el primer tramo.

Se trata de una red carretera terciara construida de tosca. El estado de conservación de la ruta hasta el Arroyo Castro es bueno, luego el tramo hasta Villa del Carmen es regular.³¹

6.3.4. Servicios e infraestructura

6.3.4.1. Centros de estudio

El centro de estudio más cercano al proyecto es la Escuela rural N°58, ubicado en el paraje Tala de Mariscal, a aproximadamente 4 km en dirección noreste, del embalse generado por la represa.

Dicho centro educativo ofrece educación desde nivel inicial (4 años) hasta nivel primario (6to año). Cuenta una única aula y con un comedor, pero no ofrece los servicios de desayuno y/o merienda. Al año 2015, un total de 3 alumnos concurrían a dicho centro educativo, 1 a educación inicial y 2 a educación primaria.³²

6.3.4.2. Centro de salud

El centro de salud más cercano se encuentra en el departamento de Florida, localidad de Capilla del Sauce, a unos 38 km en dirección este del emprendimiento.

El mismo es un servicio de salud privado perteneciente a la Cooperativa Médica de Florida (COMEF). La policlínica cuenta con un médico residente, enfermería y farmacia.

6.4. Medio simbólico

6.4.1. Paisaje

Para la descripción del paisaje se estudian dos aspectos que son relevantes al momento de la evaluación de los cambios generados por el emprendimiento: su calidad y susceptibilidad.

Para el primero, se consideraron las características naturales del paisaje. Tal como se menciona en la sección 4.3.2, el relieve en la zona de estudio se caracteriza por ser una matriz de campos naturales con grandes manchas de zonas modificadas. Un claro ejemplo son las grandes machas de matriz cultivada a lo largo del eje de la Ruta N° 5

³¹ Página web del MTOP, Dirección Nacional de Vialidad Red Vial Nacional. <http://web.archive.org/web/20131213190427/http://www.mtop.gub.uy/gxpsites/hgxpp001?1,5,68,O,S,0,MNU;E;2;7;6;2;33;1;MNU>; (Consultada 10/2016)

³² Página web ANEP, <http://sig.anep.edu.uy/siganep> (consultada 10/2016).

entre Florida y Durazno. También es posible identificar manchas de montes artificiales de abrigo y las áreas de cultivos industriales o forrajeros dispersos en la matriz de campos naturales.

Para el segundo aspecto, se consideran las posibilidades de percibir el paisaje y la frecuencia con la que el mismo es percibido. Considerando la baja densidad de viviendas en las zonas aledañas y el la baja circulación vehicular por la ruta N°42, por tratarse de una red terciaria conformada por material de tosca y en regular estado de conservación, se entiende que actualmente el área de estudio es percibida con una baja frecuencia.

6.4.2. Sitios de valor histórico o cultural

No se identifican sitios de valor histórico o cultural en la zona de influencia directa del emprendimiento, así como tampoco en la zona de influencia indirecta, es decir, sobre la localidad de Polanco del Yí y la ciudad de Durazno³³.

Se recuerda que es considerada como zona de influencia del proyecto en la ciudad de Durazno el río Yí y el área urbana afectada por las máximas crecidas históricas registradas.

6.4.3. Sitios de valor arqueológico o paleontológico

En la zona de influencia directa del emprendimiento, esto es en las inmediaciones de la represa proyectada, se identifican dos sitios con valor patrimonial:³³

Por un lado, se identifica la presencia de arte rupestre, pinturas y grabados sobre rocas producidas por sociedades prehistóricas. Las mismas se localizan en los padrones N° 901, N° 903 y N° 3749, ubicados sobre las márgenes del arroyo Maestre Campo, 4ª Sección Judicial, a aproximadamente 9 km en dirección noroeste del proyecto. Dichas pinturas fueron declaradas monumento histórico nacional en el año 1995, por considerarse una de las formas de abordar el pasado a través de diferentes testimonios que el hombre ha dejado.³⁴

Por otro lado, la resolución N° 1015 del año 2008³⁵, establece la protección de los monumentos históricos presentes en los padrones N° 11006 y N°3560, ubicados a aproximadamente 9 km del proyecto. Estos también corresponden a manifestaciones rupestres (Pintura YIMC7, YMIC8 YMIC9 y YIMC10).

³³ Sitio web Patrimonio Uruguay, <http://www.patrimoniouruguay.gub.uy/> (consultado 10/2016)

³⁴ Resolución N° 842/995, <http://www.impo.com.uy/bases/resoluciones/842-1995/1>

³⁵ Resolución N° 1015/008, <http://www.impo.com.uy/bases/resoluciones/1015-2008/2>

7. IDENTIFICACION Y SELECCIÓN DE IMPACTOS

En esta etapa se busca determinar en forma cualitativa aquellos impactos significativos, que son los que luego serán evaluados. Entendiendo por impacto ambiental a un cambio humanamente medible en un factor ambiental en un período específico y en un área definida, como resultado de la actuación directa o indirecta de un aspecto particular, generado por una actividad humana determinada, en comparación con la situación que habría resultado si esta actividad no se produjera.

7.1. Identificación de impactos

Los impactos fueron identificados para diferentes factores ambientales agrupados por medios, a continuación se explicitan las abreviaturas de cada uno de ellos en las matrices de identificación. A su vez, los impactos se subdividieron por fase.

Medio Físico

- ✓ ASup - Agua Superficial
- ✓ ASub - Agua Subterránea
- ✓ S – Suelos
- ✓ A – Aire
- ✓ NS – Nivel Sonoro

Medio Biótico

- ✓ FI – Flora
- ✓ Fa – Fauna
- ✓ Av – Avifauna
- ✓ Eco – Ecosistemas

Medio Antrópico

- ✓ PL – Población Local
- ✓ EL – Economía Local
- ✓ IV – Infraestructura Vial
- ✓ S – Servicios

Medio Simbólico

- ✓ P – Paisaje
- ✓ PS – Percepción Social

7.1.1. Fase de construcción

FASE	ASPECTO	MEDIO FISICO					MEDIO BIOTICO				MEDIO ANTROPICO				MEDIO SIMBOLICO	
		ASup	ASub	S	A	NS	FI	Fa	Av	Eco	PL	EL	IV	S	P	PS
Construcción	Inundación de viviendas aisladas										x					x
	Remoción de cobertura vegetal y arbórea	x		x			x	x	x	x		x			x	
	Desvío del río	x		x				x								
	Generación de residuos sólidos de obra	x	x													
	Explotación recurso suelo (canteras)			x	x	x	x	x				x	x		x	
	Efluentes generados por acopio de materiales	x	x													
	Efluentes generados por personal de la obra	x	x					x						x		
	Demanda de mano de obra										x	x				x
	Transporte de materiales y trabajadores (tránsito inducido)				x	x					x		x			
	Emisiones a la atmosfera				x		x				x					
	Emisiones sonoras					x					x					
	Contingencia - Derrame sustancias peligrosas	x	x	x												
	Contingencia - Creciente del río durante construcción	x														

7.1.2. Fase de operación

FASE	ASPECTO	MEDIO FISICO					MEDIO BIOTICO				MEDIO ANTROPICO				MEDIO SIMBOLICO	
		ASup	ASub	S	A	NS	Fl	Fa	Av	Eco	PL	EL	IV	S	P	PS
Operación	Presencia física del emprendimiento	x		x				x		x					x	x
	Presencia física de la caminería de acceso	x									x		x		x	x
	Presencia física de las líneas de energía eléctrica										x				x	
	Cambio de uso del suelo								x		x					
	Manejo de caudales en la operación de la represa	x		x				x								
	Control de inundaciones										x	x	x			x
	Generación de energía eléctrica													x		x
	Generación de residuos industriales (mantenimiento equipos)	x						x								
	Generación de sedimentos	x									x					
	Generación de efluentes (domésticos, mantenimiento)	x	x													
	Emisiones sonoras					x		x			x					
Contingencia - Rotura de presa	x									x	x	x	x		x	

7.1.3. Fase de clausura

FASE	ASPECTO	MEDIO FISICO					MEDIO BIOTICO				MEDIO ANTROPICO				MEDIO SIMBOLICO	
		ASup	ASub	S	A	NS	FI	Fa	Av	Eco	PL	EL	IV	S	P	PS
Clausura	Cese de la generación de energía eléctrica													x		
	Demolición de la central	x			x	x		x		x	x				x	x
	Generación de residuos y efluentes	x	x											x		
	Modificación de la demanda de empleo										x					
	Transporte de materiales y trabajadores (tránsito inducido)				x	x					x		x			
	Emisiones a la atmosfera				x		x				x					
	Emisiones sonoras					x		x			x					

7.2. Valoración cualitativa de impactos

7.2.1. Metodología

Para la valoración cualitativa de los impactos, es decir, para definir la significancia de cada impacto, se definen ciertas variables comunes.

A continuación se detallan cada una de las variables y los valores que las mismas pueden tomar.

- Tipo

La variable denominada Tipo hace referencia, valga la redundancia, al tipo de afectación que el impacto provoca sobre el factor. El Tipo de afectación podrá entonces ser **Positiva (+)** o **Negativa (-)**.

- Magnitud (M)

La variable magnitud pretende cuantificar mediante cuatro valores el efecto del impacto sobre el factor impactado. El valor 1, también denominado como magnitud **Baja**, corresponde al caso en que el efecto sobre el factor es mínimo. El valor 2 o de **Media** magnitud indica que el efecto sobre el factor es medio. El valor 4, indicando una **Alta** magnitud, hace referencia a que el efecto sobre el factor es alto. Por último, y representando una destrucción casi total del factor, se puede valorar la magnitud con 8 denominada magnitud **Total**.

- Importancia (Im)

La importancia se define como la relevancia del factor impactado. La misma podrá considerarse **Baja**, otorgándole el valor 2; **Media**, representada con el valor 4 y **Alta** con el valor 8 en el caso de que el factor impactado es muy relevante o sensible.

- Probabilidad (Pb)

La probabilidad, entendida como la probabilidad de ocurrencia del impacto, puede indicarse mediante 3 diferentes valores. La probabilidad corresponderá al valor 1 cuando la ocurrencia del impacto sea baja y se denomina como **Poco Probable**. Podrá tomar el valor 2 cuando no puede tenerse como certera su ocurrencia pero tiene una alta probabilidad de que ocurra. Por último, si la probabilidad de ocurrencia del impacto es 1, la variable se valora como 3 y se dice que el impacto es **Certero**.

- Duración (D)

La duración podrá tomar tres valores, 1, 2 y 3 dependiendo de cómo se presenta temporalmente la afectación del impacto sobre el factor. Se le asigna el valor 1 en caso de que el impacto sea **Intermitente**, o lo que es lo mismo cuando la afectación en lapsos espaciados y por un corto tiempo. La afectación se dice **Temporal** cuando es una afectación no permanente en el tiempo y tiene un plazo que puede determinarse. En este caso se le asigna el valor 2. Y por último, la duración podrá tomar el valor 3 si se considera que la afectación es **Permanente**, es decir, cuando la afectación se sostiene en el tiempo a partir del momento de su manifestación.

- **Conocimiento (Con)**

El conocimiento, tal y como su nombre lo indica, representa cuanto conocimiento se tiene sobre el impacto, pero involucra a su vez la existencia de medidas de gestión que se pueden tener sobre el impacto en cuestión. Para ello se le asigna el valor 1 cuando el impacto es **Bien Conocido** y existen medidas probadas de gestión para su manejo. El impacto se denomina Poco Conocido y se le asigna el valor 2 cuando el impacto es poco conocido o si es conocido las medidas de gestión conocidas no se han probado o no han resultado adecuadas. Por último, la variable Con podrá tomar el valor 4 si el impacto es **No Conocido**. En este caso el impacto es nuevo y no se conocen medidas de gestión para su manejo.

Mediante las variables explicadas anteriormente se podrá clasificar al impacto de la siguiente manera:

- **Significancia alta:** Un impacto tendrá alta significancia si tiene alguna de las variables con valor 8 o la suma de todas ellas excede 18. Los impactos con significancia alta deberán ser evaluados mediante un modelo o estudio especial.
- **Significancia media:** Un impacto tendrá significancia media si la suma de las variables del mismo se encuentra entre 12 y 18. Esta clase de impactos no requiere ser evaluado a través de modelos, pero sí se deberá implementar sobre él, medidas de gestión ambientalmente conocidas.
- **Significancia baja:** Corresponde al resto de los impactos negativos y no requiere ser considerado.
- **Significancia positiva:** Ocurre cuando el impacto es positivo.

7.2.2. Matriz de valoración

En la tabla a continuación se presenta la descripción de cada impacto con su correspondiente valoración mediante la metodología explicitada anteriormente.

7.2.2.1. Fase de construcción

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia
CONSTRUCCIÓN	Remoción de cobertura vegetal y arbórea	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua por arrastre de vegetación y sedimentos	-	1	4	1	2	2	10	Baja
		Suelos	Afectación a la calidad del suelo por eliminación parcial de los mismos	-	2	2	1	3	1	9	Baja
		Flora	Pérdida del hábitat	-	2	2	3	3	1	11	Baja
		Fauna	Pérdida del hábitat y afectación por disturbios	-	2	2	3	3	1	11	Baja
		Avifauna	Pérdida del hábitat y afectación por disturbios	-	2	2	3	3	1	11	Baja

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia	
CONSTRUCCIÓN	Remoción de cobertura vegetal y arbórea	Ecosistemas	Eliminación de ecosistema monte galería	-	8	8	3	3	1	23	Alta	
		Economía local	Disminución de capacidad de producción forestal	-	1	2	3	3	1	10	Baja	
		Paisaje	Modificación del paisaje	-	2	2	3	3	1	11	Baja	
	Desvío del río	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua por arrastre sedimentos	-	1	4	1	2	2	2	10	Baja
		Suelos	Erosión del suelo sobre la traza momentánea del cauce	-	1	2	2	2	2	2	9	Baja
		Fauna	Estrés de la fauna acuática	-	1	2	1	2	2	2	8	Baja

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia
CONSTRUCCIÓN	Generación de residuos sólidos de obra	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua por escurrimiento de lixiviados	-	1	4	1	2	1	9	Baja
		Agua subterránea	Modificación de la calidad del agua por infiltración de lixiviados	-	1	4	1	2	1	9	Baja
	Explotación recurso suelo (canteras)	Suelos	Afectación a la calidad del suelo por eliminación parcial o total de los mismos	-	2	2	1	2	1	8	Baja

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia
CONSTRUCCIÓN		Aire	Disminución de la calidad del aire por contaminación con material particulado y gases de combustión	-	2	4	2	2	1	11	Baja
		Nivel sonoro	Aumento del nivel sonoro	-	2	2	2	2	1	9	Baja
		Flora	Pérdida del hábitat	-	2	2	3	2	1	10	Baja
		Fauna	Pérdida del hábitat y afectación por disturbios	-	2	2	3	2	1	10	Baja
	Efluentes generados por acopio de materiales	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua	-	1	4	1	2	1	9	Baja
		Agua subterránea	Modificación de la calidad del agua	-	1	4	1	2	1	9	Baja
	Efluentes generados por personal de la obra	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua	-	2	4	1	2	1	10	Baja
		Agua subterránea	Modificación de la calidad del agua	-	2	4	1	2	1	10	Baja
	Demanda de mano de obra	Población local	Aumento de los puestos de empleo	+						-	Positiva
		Economía local	Disminución de la tasa de desempleo	+						-	Positiva
		Percepción social	Favorece la aceptación del emprendimiento	+						-	Positiva

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia
	Transporte de materiales y trabajadores (tránsito inducido)	Aire	Disminución de la calidad del aire por contaminación con material particulado y gases de combustión	-	2	4	2	2	1	11	Baja
		Nivel sonoro	Molestias por aumento del nivel sonoro	-	2	2	2	2	1	9	Baja
		Población local	Aumento de la probabilidad de siniestros de tránsito	-	2	4	1	1	1	9	Baja
		Infraestructura vial	Deterioro de la infraestructura vial	-	2	4	2	2	1	11	Baja
	Emisiones a la atmosfera	Aire	Disminución de la calidad del aire por contaminación con material particulado y gases de combustión	-	2	4	2	2	1	11	Baja

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia
CONSTRUCCIÓN	Emisiones a la atmosfera	Flora	Disminución de la capacidad de desarrollo de la flora	-	1	2	1	2	2	8	Baja
		Población local	Afectación a la salud	-	2	2	1	2	1	8	Baja
	Emisiones sonoras	Nivel sonoro	Aumento del nivel sonoro	-	2	2	3	2	1	10	Baja
		Fauna	Molestias y consecuente desplazamiento por aumento del nivel sonoro	-	4	2	1	2	1	10	Baja
		Población local	Molestias por aumento del nivel sonoro	-	2	2	1	2	1	8	Baja
	Contingencia - Derrame sustancias peligrosas	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua	-	4	4	1	2	1	12	Media
		Agua subterránea	Modificación de la calidad del agua	-	4	4	1	2	1	12	Media
		Suelos	Modificación de la calidad del suelo		4	2	1	2	1	10	Baja
	Contingencia - Creciente del río durante construcción	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua por arrastre de materiales y elementos de la obra	-	2	4	2	2	2	12	Media

7.2.2.2. Fase de operación

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia	
OPERACIÓN	Inundación de viviendas aisladas	Población local	Desplazamiento de personas afectadas	-	4	4	3	3	1	15	Media	
	Presencia física del emprendimiento	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua embalsada (eutroficación)	-	4	4	2	3	1	14	Media	
			Modificación del caudal natural del río Yí	-	4	4	3	3	1	15	Media	
			Alteración del escurrimiento superficial de la cuenca	-	4	8	2	3	1	18	Alta	
			Suelos	Modificación del nivel freático en los suelos adyacentes al lago	+						-	Positiva
		Fauna	Prosperación de nuevas especies	+							-	Positiva
			Dificultad de migración de especies acuáticas	-	4	4	2	3	1	14	Media	

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia
OPERACIÓN	Presencia física del emprendimiento	Ecosistemas	Cambio de ecosistema de monte galería a lago	-	8	8	3	3	1	23	Alta
		Paisaje	Cambio total del paisaje	-	8	4	3	3	1	19	Alta
		Percepción social	Desacuerdo con el emprendimiento	-	4	2	2	2	2	12	Media
	Presencia física de la caminería de acceso	Agua superficial	Alteración del escurrimiento superficial	-	1	2	1	3	1	8	Baja
		Población local	Mejora de los accesos y conectividad	+						-	Positiva
		Infraestructura vial	Mejora de la calidad de inf vial existente y generación de nueva caminería	+						-	Positiva
			Deterioro de la infraestructura vial x aumento de la intensidad del transito	-	2	2	2	3	1	10	Baja
		Percepción social	Conformidad con los nuevos servicios	+						-	Positiva

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia	
OPERACIÓN	Presencia física de las líneas de energía eléctrica	Población local	Limitaciones en el uso del suelo para vivienda	-	2	4	1	3	1	11	Baja	
	Cambio del uso del suelo	Economía local	Pérdida de suelos productivos por anegación	-	4	4	3	3	1	15	Media	
	Manejo de caudales en la operación de la represa	Agua superficial	Modificación del caudal natural del río Yí	-	4	4	3	3	3	1	15	Media
		Suelos	Erosión de los suelos por descargas	-	2	4	2	2	2	1	11	Baja
		Fauna	Estrés de la fauna acuática	-	1	2	1	2	2	2	8	Baja
	Control de inundaciones	Población local	Mejora la calidad de vida	+							-	Positiva
		Economía local	Ahorros por posibles inundaciones	+							-	Positiva
		Infraestructura vial	Se evita la anegación caminería	+							-	Positiva
		Percepción social	Falsa sensación de seguridad	-	4	8	2	3	3	2	19	Alta

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia	
OPERACIÓN	Generación de energía eléctrica	Servicios	Contribución a la generación mediante recursos renovables	+						-	Positiva	
		Percepción social	Favorece la aceptación del emprendimiento	+							-	Positiva
	Generación de residuos industriales (mantenimiento equipos)	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua	-	1	4	1	1	1	1	8	Baja
		Fauna	Afectación a la fauna acuática	-	1	4	1	1	1	1	8	Baja
	Generación de sedimentos	Agua superficial	Disminución del volumen embalse por aterramiento	-	2	4	2	3	1	1	12	Media
		Población local	Disminución del control de inundaciones por menor volumen embalsado	-	2	4	2	3	1	1	12	Media
	Generación de efluentes (domésticos, mantenimiento)	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua	-	2	4	1	2	1	1	10	Baja
		Agua subterránea	Modificación de la calidad del agua	-	2	4	1	2	1	1	10	Baja

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia
OPERACIÓN	Emisiones sonoras	Nivel sonoro	Aumento del nivel sonoro	-	2	2	3	2	1	10	Baja
		Fauna	Molestias y consecuente desplazamiento por aumento del nivel sonoro	-	4	2	1	2	1	10	Baja
		Población local	Molestias por aumento del nivel sonoro	-	1	2	1	2	1	7	Baja
	Contingencia - Rotura de presa	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua por arrastre sedimentos	-	1	4	1	2	2	10	Baja
		Población local	Daños materiales, psicológicos, pérdidas de vidas humanas	-	4	8	1	2	1	16	Alta
		Economía local	Gastos derivados del estado de emergencia y por daños materiales	-	2	4	1	2	1	10	Baja
		Infraestructura vial	Rotura de puentes, rutas, etc.	-	4	8	1	2	1	16	Alta

7.2.2.3. Fase de clausura

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia
CLAUSURA	Cese de la generación de energía eléctrica	Servicios	Disminución de la generación mediante recursos renovables	-	1	2	3	3	1	10	Baja
	Demolición de la central	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua por arrastre sedimentos y otros materiales	-	1	4	1	2	2	10	Baja
		Aire	Disminución de la calidad del aire por contaminación con material particulado y gases de combustión	-	2	4	1	2	1	10	Baja
		Nivel sonoro	Aumento del nivel sonoro	-	2	2	3	2	1	10	Baja
		Fauna	Molestias y consecuente desplazamiento por aumento del nivel sonoro	-	4	2	1	2	1	10	Baja
			Estrés de la fauna acuática	-	1	2	1	2	2	8	Baja

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia	
CLAUSURA	Demolición de la central	Ecosistemas	Cambio de ecosistema de humedal a fluvial (recuperación)	+							Positiva	
		Población local	Eliminación de elemento de control de inundaciones	-	4	4	3	3	1	15	Media	
		Paisaje	Recuperación del paisaje	+								Positiva
	Generación de residuos y efluentes	Agua superficial	Modificación de la calidad del agua por arrastre de sólidos y escurrimiento de lixiviados	-	1	4	2	2	2	1	10	Baja
		Agua subterránea	Modificación de la calidad del agua por infiltración de lixiviados	-	1	4	2	2	2	1	10	Baja
	Modificación de la demanda de empleo	Población local	Pérdida de empleos por cese de operación	-	2	2	3	3	3	1	11	Baja

Fase	Aspecto	Factor	Impacto	Tipo	Magnitud	Importancia	Probabilidad	Duración	Conocimiento	Suma	Significancia	
CLAUSURA	Transporte de materiales y trabajadores (tránsito inducido)	Aire	Disminución de la calidad del aire por contaminación con material particulado y gases de combustión	-	2	4	2	2	1	11	Baja	
		Nivel sonoro	Molestias por aumento del nivel sonoro	-	2	2	2	2	1	9	Baja	
		Población local	Aumento de la probabilidad de siniestros de tránsito	-	2	4	1	1	1	9	Baja	
		Infraestructura vial	Deterioro de la infraestructura vial	-	2	4	2	1	1	10	Baja	
	Emisiones a la atmosfera	Aire	Disminución de la calidad del aire por contaminación con material particulado y gases de combustión	-	2	4	2	2	2	1	11	Baja
		Flora	Disminución de la capacidad de desarrollo de la flora	-	1	2	1	2	2	2	8	Baja
		Población local	Afectación a la salud	-	4	2	1	2	1	10	Baja	
	Emisiones sonoras	Nivel sonoro	Aumento del nivel sonoro	-	2	2	3	2	1	10	Baja	
		Fauna	Molestias y consecuente desplazamiento por aumento del nivel sonoro	-	4	2	1	2	1	10	Baja	
		Población local	Molestias por aumento del nivel sonoro	-	2	2	1	2	1	8	Baja	

7.3. Descripción de impactos

Como se puede observar se valoraron 5 impactos con alta significancia que deberán ser evaluados particularmente mediante modelos u otro tipo de predicción.

Por otro lado, se obtuvieron 14 impactos de media significancia a los cuales se les definirán medidas de mitigación para evitar que los mismos tengan un impacto alto sobre los factores impactados.

La mayoría de los impactos, 66 para ser más precisos, se definieron como impactos de baja significancia. Si bien estos impactos no requieren de mayor análisis se presentará para ellos medidas de gestión ambiental habituales en estos tipos de emprendimientos.

Por último, es importante destacar que el emprendimiento tendrá 14 impactos positivos.

En lo que sigue se describirán los impactos identificados, tanto de alta, media y baja significancia e inclusive los del significancia positiva discriminados por fase del emprendimiento y por factor impactado.

7.3.1. Fase de construcción

7.3.1.1. Agua superficial y subterránea

<i>Impacto:</i>	Modificación de la calidad de agua por arrastre de vegetación y sedimentos
<i>Aspecto:</i>	Remoción de la cobertura vegetal y arbórea
<i>Descripción del impacto:</i>	Como consecuencia de la remoción de cobertura vegetal y de las actividades de excavación y nivelación del terreno, las cuales modifican los patrones naturales del escurrimiento y las características de las superficies del terreno, el escurrimiento superficial generado por la precipitación en el área de implantación de la obra podrá cargarse de sólidos. Esta carga de sólidos puede derivar a los cursos de agua afectando su calidad.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Organizar los movimientos de maquinaria según curvas de nivel a los efectos de evitar la formación de surcos que encaucen las aguas de escorrentías hacia los cursos. Realizar los acopios transitorios en lugares que no obstruyan el drenaje local.

<i>Impacto:</i>	Modificación de la calidad de agua por escurrimiento de lixiviados
<i>Aspecto:</i>	Generación de residuos sólidos de obra
<i>Descripción del impacto:</i>	La generación de residuos sólidos en la fase de construcción podrá generar impactos directos sobre la calidad del agua superficial sino son gestionados de forma adecuada.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Controlar el cumplimiento de las medidas establecidas en el PGA de Construcción, en particular en lo referente al manejo de residuos sólidos. Verificar que las empresas tercerizadas encargadas del transporte, tratamiento y/o disposición final de los residuos cuenten con las autorizaciones correspondientes. En caso de contar con residuos peligrosos buscar gestores autorizados para recolectar, tratar y disponer los mismos de acuerdo a la normativa vigente.

<i>Impacto:</i>	Modificación de la calidad de agua
<i>Aspecto:</i>	Efluentes generados por acopio de materiales, lavados de obra y domésticos
<i>Descripción del impacto:</i>	La generación de efluentes tipo domésticos y de obra podrán afectar la calidad del agua dependiendo de la disposición final prevista (infiltración al terreno, vertido a curso de agua, etc)
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Controlar el cumplimiento de las medidas establecidas en el PGA de Construcción, en particular en lo referente al manejo de emisiones líquidas. Contar con un sistema de tratamiento y/o disposición final seguro de acuerdo a la normativa vigente. En particular para los efluentes domésticos se propone su gestión mediante la colocación de baños químicos y su posterior manejo.

<i>Impacto:</i>	Modificación de la calidad de agua
<i>Aspecto:</i>	Contingencia - Derrame de sustancias peligrosas
<i>Descripción del impacto:</i>	El derrame de sustancias peligrosas está referido a la ocurrencia de vertimientos de combustibles, lubricantes u otros elementos peligrosos tanto en su transporte como en el manejo en el obrador.
<i>Valoración:</i>	Media
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Elaboración de un programa de mantenimiento preventivo. Recipientes estancos para contener eventuales derrames en las tareas de trasvase y cambio de aceite. Sitio de acopio sobre suelo protegido con medidas de prevención y control de derrames. Si hubiera residuos contaminados con hidrocarburos los mismos no se deben disponer con los residuos asimilables a domésticos, debiéndose buscar gestores autorizados para su gestión. A su vez, los envases de hidrocarburos usados deberán gestionarse en conjunto con otros residuos contaminados con hidrocarburos. Se debe almacenar los registros de envases de hidrocarburos.

<i>Impacto:</i>	Modificación de la calidad de agua por arrastre de materiales y elementos de obra
<i>Aspecto:</i>	Contingencia - Creciente del río durante construcción
<i>Descripción del impacto:</i>	Son conocidas los frecuentes desbordes del río Yí, situación que de suceder durante la construcción de la represa podría generar que el río arrastre materiales y elementos de obra que modifiquen su calidad.
<i>Valoración:</i>	Media
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Procurar que el obrador y los acopios de materiales se implanten a una distancia prudencial de la planicie y evitar que la maquinaria quede cerca de esta en los períodos en que no se realizan actividades.

7.3.1.2. Aire

<i>Impacto:</i>	Disminución de la calidad del aire por contaminación por material particulado y gases de combustión
<i>Aspecto:</i>	Explotación recurso suelo (cantera)
<i>Descripción del impacto:</i>	En las canteras la contaminación del aire se produce por la emisión de pequeñas partículas de suelo y rocas producidas por el tránsito de maquinaria y camiones, el movimiento de tierra y las explosiones que quedan suspendidas en el aire. En el caso de los gases de combustión estos son producidos por la combustión de los motores de los vehículos y maquinarias utilizados en la cantera.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Riego de las áreas donde se efectúa movimientos de material con la finalidad de favorecer la aglomeración del material particulado y su asentamiento. Riego de la caminería interna para evitar que el polvo sedimentado en las vías de circulación sea arrastrado con el paso de los vehículos. Corroboración periódica del correcto funcionamiento y condiciones de operación de los vehículos y la maquinaria a utilizar.

<i>Impacto:</i>	Disminución de la calidad del aire por contaminación por material particulado y gases de combustión
<i>Aspecto:</i>	Transito inducido y actividades propias de la construcción.
<i>Descripción del impacto:</i>	Los gases de combustión son producidos por la combustión de los motores de los vehículos y maquinarias utilizados en la obra y en el transporte de materiales y trabajadores.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Riego de las áreas donde se efectúa movimientos de material con la finalidad de favorecer la aglomeración del material particulado y su asentamiento. Riego de la caminería interna para evitar que el polvo sedimentado en las vías de circulación sea arrastrado con el paso de los vehículos. Corroboración periódica del correcto funcionamiento y condiciones de operación de los vehículos y la maquinaria a utilizar.

7.3.1.3. Nivel sonoro

<i>Impacto:</i>	Aumento del nivel sonoro
<i>Aspecto:</i>	Explotación recurso suelo (cantera)
<i>Descripción del impacto:</i>	Las actividades relacionadas al uso de maquinaria, vehículos y voladuras generan un aumento en la presión sonora sobre el medio.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Se trabajará en días laborables y horarios diurnos.

<i>Impacto:</i>	Aumento del nivel sonoro
<i>Aspecto:</i>	Transporte de materiales y trabajadores (tránsito inducido) y actividades propias de la construcción
<i>Descripción del impacto:</i>	Las actividades relacionadas al uso de maquinaria y vehículos generan un aumento en la presión sonora sobre el medio.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Se trabajará en días laborables y horarios diurnos.

7.3.1.4. Suelos

<i>Impacto:</i>	Afectación de la calidad del suelo por eliminación parcial de los mismos
<i>Aspecto:</i>	Remoción de cobertura vegetal y arbórea
<i>Descripción del impacto:</i>	Para la implantación de la central ya la construcción de la caminería se suele remover la cubierta vegetal del terreno y realizar movimientos de tierra, lo cual representa una alteración a la configuración natural del suelo. Además en las zonas de obras temporales también se suele remover la cubierta vegetal debido a su baja capacidad soporte y su alto contenido orgánico. Una vez removido y acopiado el material es posible la erosión del suelo debido a arrastre de finos ante eventos de lluvia.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Minimizar la remoción de cobertura vegetal y los movimientos de suelos en las zonas externas al embalse. Realizar la revegetación de taludes, terraplenes y superficies desnudas, inmediatamente luego de su formación.

<i>Impacto:</i>	Erosión del suelo sobre la traza momentánea del cauce
<i>Aspecto:</i>	Desvío del río
<i>Descripción del impacto:</i>	Debido a la modificación de la traza natural del curso hacia una nueva, el agua podrá erosionar esta zona.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Definir la nueva traza momentánea del río por zonas con menor capacidad de erosión. Realizar la revegetación de las superficies que hayan sido erosionadas con el desvío del cauce.

<i>Impacto:</i>	Afectación de la calidad del suelo por eliminación parcial o total de los mismos
<i>Aspecto:</i>	Explotación del recurso suelo (cantera)
<i>Descripción del impacto:</i>	Remoción total o parcial del suelo durante la preparación del terreno para el desarrollo de la actividad extractiva.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Minimización del tiempo de exposición y del área impactada, recomposición del perfil de suelos donde sea factible. Para ellos se acopiarán en forma ordenada los suelos removidos, manteniendo el perfil para su posterior colocación, con énfasis en coberturas vegetales naturales.

<i>Impacto:</i>	Modificación de la calidad del suelo
<i>Aspecto:</i>	Contingencia - Derrame de sustancias peligrosas
<i>Descripción del impacto:</i>	Derrame de combustibles, lubricantes u otras sustancias peligrosas por ocurrencia de contingencias tales como la rotura o falla de maquinaria y vehículos utilizados, por el mantenimiento de los mismo y por el suministro de combustible de manera excepcional mediante un camión surtidor.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Elaboración de un programa de mantenimiento preventivo. Recipientes estancos para contener eventuales derrames en las tareas de trasvase y cambio de aceite. Sitio de acopio sobre suelo protegido con medidas de prevención y control de derrames. Si hubiera residuos contaminados con hidrocarburos los mismos no se deben disponer con los residuos asimilables a domésticos, debiéndose buscar gestores autorizados para su gestión. A su vez, los envases de hidrocarburos usados deberán gestionarse en conjunto con otros residuos contaminados con hidrocarburos. Se debe almacenar los registros de envases de hidrocarburos.

7.3.1.5. Flora

<i>Impacto:</i>	Desaparición de la flora existente y pérdida de su hábitat
<i>Aspecto:</i>	Remoción de cobertura vegetal y arbórea
<i>Descripción del impacto:</i>	Junto con la remoción de la cobertura vegetal y el movimiento de suelos se puede remover la flora presente en el mismo y su hábitat.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Identificar y caracterizar lo más exhaustivamente posible los ecosistemas del área afectada y enfatizar en conocer las especies y dimensionar las poblaciones de las especies prioritarias. En el caso de que sea viable realizar el traslado de las especies o ejemplares que lo ameriten. Minimizar la remoción de la cobertura vegetal y los movimientos de suelo en las zonas externas al embalse.

<i>Impacto:</i>	Desaparición de la flora existente y pérdida de su hábitat
<i>Aspecto:</i>	Explotación del recurso suelo (cantera)
<i>Descripción del impacto:</i>	Junto con la remoción de la cobertura vegetal y el movimiento de suelos se puede remover la flora presente en el mismo y su hábitat.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Identificar y caracterizar lo más exhaustivamente posible los ecosistemas del área afectada y enfatizar en conocer las especies y dimensionar las poblaciones de las especies prioritarias. En el caso de que sea viable realizar el traslado de las especies o ejemplares que lo ameriten. Minimizar la remoción de la cobertura vegetal y los movimientos de suelo en las zonas externas al embalse.

<i>Impacto:</i>	Disminución de la capacidad de desarrollo de la flora
<i>Aspecto:</i>	Emisiones a la atmosfera de material particulado
<i>Descripción del impacto:</i>	El material particulado podrá obstruir los estomas de la flora presente impidiendo su normal desarrollo.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Riego de las áreas donde se efectúa movimientos de material con la finalidad de favorecer la aglomeración del material particulado y su asentamiento. Riego de la caminería interna para evitar que el polvo sedimentado en las vías de circulación sea arrastrado con el paso de los vehículos.

7.3.1.6. Fauna y Avifauna

<i>Impacto:</i>	Pérdida del hábitat y afectación por disturbios
<i>Aspecto:</i>	Remoción de cobertura vegetal y arbórea
<i>Descripción del impacto:</i>	Junto con la remoción de la cobertura vegetal se está removiendo el hábitat de especies que allí se encuentran.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Identificar y caracterizar lo más exhaustivamente posible los ecosistemas del área afectada y enfatizar en conocer las especies y dimensionar las poblaciones de las especies prioritarias. En el caso de que sea viable realizar el traslado de las especies o ejemplares que lo ameriten. Minimizar la remoción de la cobertura vegetal y los movimientos de suelo en las zonas externas al embalse.

<i>Impacto:</i>	Estrés de la fauna acuática
<i>Aspecto:</i>	Desvío del río
<i>Descripción del impacto:</i>	La construcción de la central con embalse implicará la realización de obras en la zona donde el curso natural escurre, por lo que será necesaria su derivación temporal y parcial. Estas actividades podrán implicar la pérdida y/o desplazamiento de especies acuáticas.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Identificar y caracterizar lo más exhaustivamente posible los ecosistemas del área afectada y enfatizar en conocer las especies y dimensionar las poblaciones de las especies prioritarias. En el caso de que sea viable realizar el traslado de las especies o ejemplares que lo ameriten. Minimizar la remoción de la cobertura vegetal y los movimientos de suelo en las zonas externas al embalse.

<i>Impacto:</i>	Perdida del hábitat y afectación por disturbios
<i>Aspecto:</i>	Explotación del recurso suelo (cantera)
<i>Descripción del impacto:</i>	La conversión de ecosistemas naturales de pradera por suelos dedicados a la minería y a las actividades asociadas a la misma genera pérdida de los mismos y puede generar una disminución en la biodiversidad. También es posible que durante las distintas etapas que involucra el proyecto se produzcan disturbios que alteran el comportamiento y la distribución de la biota allí presente.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Restricción de la localización del área de explotación y de sus actividades asociadas a lo rigurosamente necesario.

<i>Impacto:</i>	Molestias y consecuente desplazamiento por aumento del nivel sonoro
<i>Aspecto:</i>	Emisiones sonoras
<i>Descripción del impacto:</i>	Durante la fase de construcción se tendrán diversas fuentes de generación de ruido que podrán generar molestias a la fauna terrestre causando su desplazamiento temporal. Las principales fuentes de generación de ruido que se identifican son el traslado del personal, el transporte y funcionamiento de la maquinaria a utilizar y el tránsito de camiones.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Controlar el estado de la maquinaria a los efectos de asegurar su correcto funcionamiento y minimización de emisiones sonoras.

7.3.1.7. Ecosistemas

<i>Impacto:</i>	Eliminación de ecosistema bosque ribereño
<i>Aspecto:</i>	Remoción de la cobertura vegetal y arbórea
<i>Descripción del impacto:</i>	La remoción de la cobertura vegetal y arbórea necesaria para los posteriores trabajos en la construcción de la represa, genera la necesidad de retirar parte del bosque ribereño existente en las márgenes del río Yí.
<i>Valoración:</i>	Alta
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Por su valoración alta más adelante se evaluará la admisibilidad del impacto y se propondrán medidas para su mitigación y gestión.

7.3.1.8. Población local

<i>Impacto:</i>	Aumento de los puestos de empleo
<i>Aspecto:</i>	Demanda de mano de obra
<i>Descripción del impacto:</i>	La construcción de una obra de estas características puede generar temporalmente un número de plazas de trabajo relevante, en especial en zonas donde las opciones de trabajo giran en torno a trabajos vinculados a actividades agropecuarias.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

<i>Impacto:</i>	Aumento de la probabilidad de siniestros de tránsito
<i>Aspecto:</i>	Tránsito inducido
<i>Descripción del impacto:</i>	Habrán un incremento del tránsito en la zona debido principalmente al transporte de materiales de construcción y suministros hacia la zona de implantación de la PCH, además del transporte de los trabajadores de la obra. Este incremento podrá generar un aumento en el riesgo de accidentes, en particular donde haya caminería no preparada para ello y en donde el tránsito basal sea mínimo.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Informar a las autoridades competentes el tránsito de vehículos pesados. Coordinar con las autoridades competentes los factores determinantes de la seguridad vial (señalización de curvas, límites de velocidad, entradas y salidas de camiones, etc., y estado del pavimento). Respetar y controlar los límites de velocidad.

<i>Impacto:</i>	Afectación a la salud
<i>Aspecto:</i>	Emisiones a la atmósfera
<i>Descripción del impacto:</i>	Durante la fase de construcción el polvo se generará fundamentalmente por el movimiento de suelo en las etapas de destape, excavación y transporte del material, y por el tránsito de camiones y maquinaria en la obra (combustión y rodadura), pudiendo alterar la calidad del aire de la zona y consiguientemente causar molestias a la población local.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Limitar la velocidad de circulación de los vehículos en los caminos de acceso. Controlar el estado de la caminería vial (pavimentos en buen estado y consolidados). Realizar el mantenimiento de la maquinaria en obra. Recubrir los acopios para evitar el arrastre eólico del material. En caso de ser necesario regar las superficies de rodadura, en especial en caminos de material granular suelto próximos a centros poblados.

<i>Impacto:</i>	Molestias por aumento del nivel sonoro
<i>Aspecto:</i>	Emisiones sonoras
<i>Descripción del impacto:</i>	Durante la fase de construcción de una PCH se tendrán diversas fuentes de generación de ruido que podrán generar molestias a la población local
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Restringir la jornada de trabajo al horario diurno y en días hábiles, a menos de excepciones fehacientemente justificadas. Controlar el estado de la maquinaria a los efectos de asegurar su correcto funcionamiento y minimización de emisiones sonoras.

7.3.1.9. Economía local

<i>Impacto:</i>	Disminución de capacidad de producción forestal
<i>Aspecto:</i>	Remoción de cobertura vegetal y arbórea
<i>Descripción del impacto:</i>	En las cercanías de la zona de implantación existen plantaciones forestales las cuales algunas de ellas deberán ser retiradas para la construcción de la represa.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Compensación económica por las pérdidas ocasionadas.

<i>Impacto:</i>	Disminución de la tasa de desempleo
<i>Aspecto:</i>	Demanda de mano de obra
<i>Descripción del impacto:</i>	Con el aumento de la demanda de trabajo la tasa de desempleo disminuirá aunque no será un cambio significativo.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	

7.3.1.10. Infraestructura vial

<i>Impacto:</i>	Deterioro de la infraestructura vial
<i>Aspecto:</i>	Tránsito inducido
<i>Descripción del impacto:</i>	Habrà un incremento del tránsito en la zona debido principalmente al transporte de materiales de construcción y suministros hacia la zona de implantación, además del transporte de los trabajadores de la obra. Este incremento podrá generar un aumento en el deterioro de la infraestructura vial existente.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Respetar y controlar los límites de velocidad. Evitar el tránsito pesado en rutas o caminos no aptos para ello.

7.3.1.11. Paisaje

<i>Impacto:</i>	Modificación del paisaje
<i>Aspecto:</i>	Remoción de cobertura vegetal y arbórea
<i>Descripción del impacto:</i>	La topografía y cobertura vegetal, como elementos propios del paisaje, al ser modificados debido a la remoción de la cobertura vegetal y los movimientos de tierra podrán alterar distintas visuales del entorno del emprendimiento.
<i>Valoración:</i>	Alta
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Por su valoración alta más adelante se evaluará la admisibilidad del impacto y se propondrán medidas para su mitigación y gestión.

7.3.1.12. Percepción social

<i>Impacto:</i>	Favorece la aceptación del emprendimiento
<i>Aspecto:</i>	Demanda de mano de obra
<i>Descripción del impacto:</i>	La construcción de una obra de estas características puede generar temporalmente un número de plazas de trabajo relevante, esto genera una buena recepción por parte de la población local.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

7.3.2. Fase de operación

7.3.2.1. Agua superficial y subterránea

<i>Impacto:</i>	Modificación de la calidad de agua embalsada (Eutroficación)
<i>Aspecto:</i>	Presencia física del emprendimiento
<i>Descripción del impacto:</i>	El cambio en las condiciones hidrológicas del curso de agua mediante la implantación del embalse, podrá afectar la calidad del agua del mismo, potenciando episodios de contaminación eutrófica y causando modificaciones en el tenor de oxígeno disuelto, pH, nutrientes y temperatura.
<i>Valoración:</i>	Media
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Realizar estudios de línea de base, previo a la localización de la PCH, a los efectos de considerar los distintos usos y la calidad del cuerpo de agua, aguas arriba y aguas abajo del punto de implantación de la presa. Limpiar la vegetación en la zona a inundar previo al llenado del lago (ya que la calidad del cuerpo de agua puede verse modificada por la presencia de biomasa en las áreas anegadas). Limitar el tiempo de retención del agua en el reservorio. Controlar la fuente mediante el control de la aplicación de fertilizantes en los campos de la cuenca de aporte del lago, apuntando a la dosis necesaria de fertilizante y no a la fertilización por exceso. El control físico o contención de la vegetación flotante es eficaz pero impone un costo alto y recurrente. Evitar el uso de plaguicidas para controlar la presencia de vegetación flotante.

<i>Impacto:</i>	Modificación del caudal natural del río Yí
<i>Aspecto:</i>	Manejo de caudales en la operación de la represa
<i>Descripción del impacto:</i>	La implantación de la represa y el manejo de los caudales en la operación de la misma generarán una modificación en el caudal natural del río Yí. En el caso de la operación normal de la represa el caudal descargado será el caudal ambiental y el turbinado y durante avenidas extraordinarias el caudal aguas abajo corresponderá al caudal de salida del vertedero.
<i>Valoración:</i>	Media
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	En la operación normal de la represa el caudal descargado será el del caudal ambiental, sumado al caudal descargado por las turbinas. El caudal ambiental fue determinado mediante métodos estadísticos en relación a los caudales conocidos del río Yí en una serie de años, de manera de procurar no modificar sustancialmente el caudal natural del río.

<i>Impacto:</i>	Modificación de la calidad del agua
<i>Aspecto:</i>	Generación de residuos industriales y efluentes (domésticos e industriales)
<i>Descripción del impacto:</i>	La generación de residuos industriales y efluentes podrá generar impactos directos cuerpos de agua si no son gestionados de forma adecuada; consiguientemente se podrá afectar a los ecosistemas directamente dependientes de dichos hábitats.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Controlar el cumplimiento de las medidas establecidas en el PGA de operación, en particular en lo referente al manejo de emisiones líquidas y residuos sólidos. Contar con un sistema de tratamiento y/o disposición final seguro, de acuerdo a la normativa vigente. Verificar que las empresas tercerizadas encargadas del transporte, tratamiento y/o disposición final de residuos cuenten con las autorizaciones correspondientes. En el caso de contar con residuos peligrosos, buscar gestores autorizados para recolectar, tratar y disponer los mismos, de acuerdo a la normativa vigente.

<i>Impacto:</i>	Modificación de la calidad del agua por arrastre de sedimentos
<i>Aspecto:</i>	Contingencia - Rotura de Presa
<i>Descripción del impacto:</i>	La rotura de la presa generará el arrastre de una enorme cantidad de sedimentos por el colapso del dique de tierra de la represa y de los sedimentos que fueron aterrándose en el fondo del embalse en el correr del tiempo. La gran energía cinética que tendrá la rotura abrupta de la represa promoverá el arrastre de sedimentos en todo su recorrido por el cauce.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Se deberá contar con una Plan de Contingencias el cual prevea las medidas a tomar en caso de ocurrir la rotura de la represa y deberán tenerse en cuenta buenas prácticas de operación y mantenimiento del dique que disminuyan la probabilidad de rotura de la represa,

7.3.2.2. Suelos

<i>Impacto:</i>	Modificación del nivel freático en los suelos adyacentes
<i>Aspecto:</i>	Presencia física del emprendimiento
<i>Descripción del impacto:</i>	La presencia del embalse podrá provocar modificaciones en el nivel freático de la zona que lo rodea, tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa. Al inundarse el valle, parte del agua embalsada se infiltra a través de las paredes del vaso pasando a formar parte de las aguas subterráneas. Este aumento del nivel freático y los cambios en la dirección del flujo subterráneo, podrán provocar el anegamiento de zonas cercanas, afectando a los usos a los que tradicionalmente estuvieran dedicadas.
<i>Valoración:</i>	Media
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Realizar estudios previos a los efectos de determinar cómo la presencia física del embalse puede afectar el nivel freático y causar el encharcamiento de zonas cercanas a la represa.

<i>Impacto:</i>	Erosión de los suelos por descargas de caudales en la operación
<i>Aspecto:</i>	Manejo de caudales en la operación de la represa
<i>Descripción del impacto:</i>	La descarga de caudales de la represa tanto por la operación normal de las turbinas o por la descarga mediante el vertedero de excedencias podrá "lavar" el lecho y comenzar un desarrollo de procesos erosivos aguas abajo de la presa.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Como medida de gestión se prevé en el proyecto la construcción de dissipadores de energía aguas abajo de la represa que permitan disminuir la velocidad del agua, evitando en gran medida la erosión del lecho.

7.3.2.3. Nivel sonoro

<i>Impacto:</i>	Aumento del nivel sonoro
<i>Aspecto:</i>	Emisiones sonoras de la operación normal de la represa
<i>Descripción del impacto:</i>	Durante la fase de operación el funcionamiento de las turbinas, generadores y demás equipos electromecánicos incrementará el nivel sonoro de la zona, pudiendo provocar molestias a la población local y afectaciones a la fauna terrestre causando su eventual desplazamiento.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Aislamiento acústico de la central, de forma de minimizar las emisiones sonoras al exterior. Mantenimiento periódico del equipo electromecánico.

7.3.2.4. Fauna

<i>Impacto:</i>	Prosperación de nuevas especies
<i>Aspecto:</i>	Presencia física del emprendimiento
<i>Descripción del impacto:</i>	La creación de un ambiente lenticó permitirá que nuevas especies puedan habitar en el nuevo ambiente creado.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

<i>Impacto:</i>	Estrés de la fauna acuática
<i>Aspecto:</i>	Manejo de caudales en la operación de la represa
<i>Descripción del impacto:</i>	La presa constituirá una barrera física para los peces y la biota acuática en general, impidiendo su libre movilidad aguas arriba y aguas abajo de la represa.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	En todo momento asegurar la circulación del caudal ecológico mediante la regulación de turbinas, vertederos o descargadores de fondo. Implementar instalaciones de paso de peces (escalas de peces, elevadores, etc.), para ayudar al movimiento migratorio de peces hacia aguas arriba de la presa. Generar criaderos de peces; pueden ser útiles para mantener las poblaciones de especie nativas que pueden sobrevivir pero no reproducirse satisfactoriamente dentro del embalse.

<i>Impacto:</i>	Afectación a la fauna acuática
<i>Aspecto:</i>	Generación de efluentes tanto domésticos como industriales por el mantenimiento de equipos
<i>Descripción del impacto:</i>	La modificación de la calidad del agua superficial por la contaminación con efluentes tanto domésticos como industriales podrá afectar a la fauna acuática.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Se consideran las mismas medidas de gestión tomadas para evitar la modificación de la calidad del agua por la contaminación de efluentes.

<i>Impacto:</i>	Molestias y consecuentes desplazamientos por aumento del nivel sonoro
<i>Aspecto:</i>	Emisiones sonoras de la operación normal de la represa
<i>Descripción del impacto:</i>	Durante la fase de operación el funcionamiento de las turbinas, generadores y demás equipos electromecánicos incrementará el nivel sonoro de la zona, pudiendo provocar afectaciones a la fauna terrestre causando su eventual desplazamiento.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Aislamiento acústico de la central, de forma de minimizar las emisiones sonoras al exterior. Mantenimiento periódico del equipo electromecánico.

7.3.2.5. Ecosistemas

<i>Impacto:</i>	Cambio de bosque ribereño a lago
<i>Aspecto:</i>	Presencia física del emprendimiento
<i>Descripción del impacto:</i>	La implantación del lago implica la inundación de hábitats naturales, con la consiguiente pérdida y/o desplazamiento de las especies presentes directamente dependientes del hábitat considerado. En general los peces y otras especies acuáticas adaptadas a ríos y arroyos no pueden sobrevivir en lagos artificiales, pero podrán prosperar algunas otras especies, como pueden ser aves acuáticas, reptiles y anfibios, gracias a la presencia del reservorio. En general los hábitats terrestres naturales perdidos por anegamiento suelen ser considerados más valiosos que los hábitats acuáticos creados por el embalse.
<i>Valoración:</i>	Alta
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Por su valoración alta más adelante se evaluará la admisibilidad del impacto y se propondrán medidas para su mitigación y gestión.

7.3.2.6. Población local

<i>Impacto:</i>	Desplazamiento de personas afectadas por inundación de las viviendas con el lago
<i>Aspecto:</i>	Presencia física del emprendimiento
<i>Descripción del impacto:</i>	La implantación de una central con embalse implicará necesariamente la inundación de tierras y el consiguiente desplazamiento de los productores y habitantes afectados hacia otras tierras disponibles.
<i>Valoración:</i>	Media
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Contemplar la programación de la expropiación y compensaciones.

<i>Impacto:</i>	Mejora de los accesos y conectividad
<i>Aspecto:</i>	Presencia física de la caminería de acceso
<i>Descripción del impacto:</i>	La implantación de nueva caminería en la zona permitirá una mayor conectividad.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

<i>Impacto:</i>	Limitaciones en el uso del suelo para viviendas
<i>Aspecto:</i>	Presencia física de las líneas de energía eléctrica
<i>Descripción del impacto:</i>	Se considera riesgosa al implantación de viviendas en las zonas adyacentes a las líneas de energía eléctrica de alto voltaje por lo que el uso de suelo para viviendas se verá limitado.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Planificar el desarrollo del uso del suelo en la zona de los corredores de las líneas de energía eléctrica.

<i>Impacto:</i>	Mejora de la calidad de vida
<i>Aspecto:</i>	Control de inundaciones
<i>Descripción del impacto:</i>	La presencia de la represa permitirá almacenar los volúmenes producidos por avenidas extremas, produciéndose la laminación del caudal pico en el embalse y regulando la descarga, evitando de esta manera que se produzcan inundaciones en zonas pobladas aguas abajo.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

<i>Impacto:</i>	Disminución del control de inundaciones por disminución del volumen embalsado
<i>Aspecto:</i>	Generación de sedimentos en el embalse
<i>Descripción del impacto:</i>	El represamiento del curso de agua implica una modificación en la hidrología y limnología del sistema fluvial: inmediatamente aguas arriba de la presa se generará un cuerpo de agua léntico, mientras que aguas abajo de la misma se alterará el régimen de caudales. Aguas arriba del represamiento, debido al pasaje del curso de agua de condiciones lóxicas a lénticas, se generará un gran volumen de agua en reposo con lo cual se verá incrementada la sedimentación de los sólidos suspendidos en el lago. La acumulación de dichos sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos, generará depósitos de sedimentos en el fondo del reservorio, provocando cambios en la limnología y sedimentología y limitando su capacidad de almacenamiento y vida útil. Esta disminución del volumen de almacenamiento podrá generar una disminución en el control de inundaciones.
<i>Valoración:</i>	Media
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Se deberá realizar un control batimétrico cada 3 años.

<i>Impacto:</i>	Molestias por aumento del nivel sonoro
<i>Aspecto:</i>	Emisiones sonoras
<i>Descripción del impacto:</i>	Durante la fase de operación el funcionamiento de las turbinas, generadores y demás equipos electromecánicos incrementará el nivel sonoro de la zona, pudiendo provocar molestias a la población local y afectaciones a la fauna terrestre causando su eventual desplazamiento.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Aislamiento acústico de la central, de forma de minimizar las emisiones sonoras al exterior. Mantenimiento periódico del equipo electromecánico.

<i>Impacto:</i>	Daños materiales, psicológicos, pérdidas de vidas humanas
<i>Aspecto:</i>	Contingencia - Rotura de Presa
<i>Descripción del impacto:</i>	La posibilidad de colapso de una presa está vinculada a riesgos hidrológicos (avenidas extremas), riesgos geológicos (deslizamientos del vaso), deficiencias constructivas, deficiencias durante las tareas de operación y mantenimiento, filtraciones excesivas durante su vida útil, etc. La magnitud de los daños a producirse, dependerá de la altura de la presa y del volumen de agua almacenada, de las características de la zona a inundar y de la capacidad de repuesta para evacuar la población ubicada aguas abajo de la presa.
<i>Valoración:</i>	Alta
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Por su valoración alta más adelante se evaluará la admisibilidad del impacto y se propondrán medidas para su mitigación y gestión.

7.3.2.7. Economía local

<i>Impacto:</i>	Pérdida de suelos productivos por anegación
<i>Aspecto:</i>	Cambio de uso del suelo
<i>Descripción del impacto:</i>	Suelos que se consideran productivos en la zona tanto por su capacidad forestal o su aptitud para la ganadería o agricultura podrán verse inundación por la generación del lago.
<i>Valoración:</i>	Media
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Contemplar la programación de la expropiación y compensaciones.

<i>Impacto:</i>	Ahorros por posibles inundaciones
<i>Aspecto:</i>	Control de inundaciones
<i>Descripción del impacto:</i>	Durante los períodos de inundación en la ciudad de Durazno se generan grandes gastos de recursos humanos, materiales, combustibles, alimentación, logística, energía eléctrica en los locales para evacuados, reparación de calles secundarias para permitir la circulación momentánea entre otros. El control de las inundaciones permitirá a las autoridades evitar estos gastos.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

<i>Impacto:</i>	Gastos generados por estado de emergencia y daños materiales
<i>Aspecto:</i>	Contingencia - Rotura de presa
<i>Descripción del impacto:</i>	Durante los períodos de inundación en la ciudad de Durazno se generan grandes gastos de recursos humanos, materiales, combustibles, alimentación, logística, energía eléctrica en los locales para evacuados, reparación de calles secundarias para permitir la circulación momentánea entre otros. La rotura de la presa podrá generar daños y gastos incluso mayores que los generados por un evento de inundación ordinario.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Se deberá contar con una Plan de Contingencias el cual prevea las medidas a tomar en caso de ocurrir la rotura de la represa y deberán tenerse en cuenta buenas prácticas de operación y mantenimiento del dique que disminuyan la probabilidad de rotura de la represa.

7.3.2.8. Infraestructura vial

<i>Impacto:</i>	Mejora de la calidad de infraestructura vial existente y generación de nueva caminería
<i>Aspecto:</i>	Presencia física de la caminería de acceso
<i>Descripción del impacto:</i>	La implantación de la central implica implícitamente la construcción de nueva caminería e incluso de decidirse que la represa pueda ser transitable se tendrá una nueva vía de acceso al departamento vecino.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

<i>Impacto:</i>	Se evita la anegación de caminería
<i>Aspecto:</i>	Control de inundaciones
<i>Descripción del impacto:</i>	El control de las inundaciones por la amortiguación generada por el embalse de la represa evita que caminería, rutas y puentes se vean inundados en caso de ocurrir eventos extremos.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

<i>Impacto:</i>	Rotura de puentes, rutas, caminería en general
<i>Aspecto:</i>	Contingencia- Rotura de presa
<i>Descripción del impacto:</i>	La rotura de la presa podrá generar consecuentemente la rotura de puentes, rutas y caminería en general.
<i>Valoración:</i>	Alta
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Por su valoración alta más adelante se evaluará la admisibilidad del impacto y se propondrán medidas para su mitigación y gestión.

7.3.2.9. Servicios

<i>Impacto:</i>	Contribución a la generación de energía con recursos renovables
<i>Aspecto:</i>	Generación de energía
<i>Descripción del impacto:</i>	La diversificación de la matriz energética nacional es un objetivo a nivel país, a cuyo logro este tipo de emprendimientos contribuye.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

7.3.2.10. Paisaje

<i>Impacto:</i>	Cambio total del paisaje
<i>Aspecto:</i>	Presencia física del emprendimiento
<i>Descripción del impacto:</i>	La introducción de una central con embalse constituye un nuevo elemento del paisaje, que modifica las visuales del entorno actual (forma, línea, textura y colores). Para evaluar el grado de afectación paisajística se considera la posibilidad de percibir el paisaje, ligado a su vez a la frecuencia con que el mismo es visto
<i>Valoración:</i>	Alta
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Por su valoración alta más adelante se evaluará la admisibilidad del impacto y se propondrán medidas para su mitigación y gestión.

7.3.2.11. Percepción social

<i>Impacto:</i>	Desacuerdo con el emprendimiento
<i>Aspecto:</i>	Presencia física del emprendimiento
<i>Descripción del impacto:</i>	La construcción de una obra de estas características puede generar una mala recepción por parte de la población local.
<i>Valoración:</i>	Media
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Realizar campañas de difusión e información a la población explicando las características del proyecto.

<i>Impacto:</i>	Conformidad con los nuevos servicios de caminería
<i>Aspecto:</i>	Presencia física de la caminería de acceso
<i>Descripción del impacto:</i>	La construcción de nuevos caminos para acceder a la represa que podrán ser de utilidad para los pobladores de la zona genera una aceptación por parte de los mismos.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

<i>Impacto:</i>	Falsa sensación de seguridad
<i>Aspecto:</i>	Control de inundaciones
<i>Descripción del impacto:</i>	La presencia de la represa permitirá almacenar los volúmenes producidos por avenidas extremas, produciéndose la laminación del caudal pico en el embalse y regulando la descarga, disminuyendo de esta manera las inundaciones que se producen periódicamente en zonas pobladas aguas abajo. Esto genera sensación de seguridad en la población aunque no sea tan certero dicho control.
<i>Valoración:</i>	Alta
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Por su valoración alta más adelante se evaluará la admisibilidad del impacto y se propondrán medidas para su mitigación y gestión.

<i>Impacto:</i>	Favorece la aceptación del emprendimiento
<i>Aspecto:</i>	Generación de energía eléctrica
<i>Descripción del impacto:</i>	La generación de energía eléctrica mediante un recurso renovable genera una aceptación del emprendimiento por parte de los mismos.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

7.3.3. Fase de clausura

7.3.3.1. Agua superficial y subterránea

<i>Impacto:</i>	Modificación de la calidad del agua por arrastre de sedimentos y otros materiales
<i>Aspecto:</i>	Demolición de la central
<i>Descripción del impacto:</i>	Como consecuencia de las actividades de excavación y nivelación del terreno, el escurrimiento superficial generado por la precipitación en el área de implantación de la obra podrá cargarse de sólidos. Esta carga de sólidos puede derivar a los cursos de agua afectando su calidad.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Organizar los movimientos de maquinaria según curvas de nivel a los efectos de evitar la formación de surcos que encaucen las aguas de escorrentías hacia los cursos. Realizar los acopios transitorios en lugares que no obstruyan el drenaje local.

<i>Impacto:</i>	Modificación de la calidad del agua por arrastre de sólidos y escurrimiento de lixiviados
<i>Aspecto:</i>	Generación de residuos y efluentes
<i>Descripción del impacto:</i>	La generación de residuos sólidos durante las actividades para el desmantelamiento de la central podrá generar impactos directos sobre la calidad del agua superficial sino son gestionados de forma adecuada.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Controlar el cumplimiento de las medidas establecidas en el PGA de la fase abandono, en particular en lo referente al manejo de residuos sólidos. Verificar que las empresas tercerizadas encargadas del transporte, tratamiento y/o disposición final de los residuos cuenten con las autorizaciones correspondientes. En caso de contar con residuos peligrosos buscar gestores autorizados para recolectar, tratar y disponer los mismo de acuerdo a la normativa vigente.

7.3.3.2. Aire

<i>Impacto:</i>	Disminución de la calidad del aire por contaminación con material particulado y gases de combustión
<i>Aspecto:</i>	Demolición de la central y tránsito inducido
<i>Descripción del impacto:</i>	Durante la fase de clausura el polvo se generará fundamentalmente en las actividades de desmantelamiento, demolición y retiro del hormigón, de equipos e instalaciones electromecánicas, entre otros, pudiendo alterar la calidad de aire de la zona. Los gases de combustión son producidos por la combustión de los motores de los vehículos y maquinarias utilizados en la obra y en el transporte de materiales y trabajadores.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Riego de las áreas donde se efectúa movimientos de material con la finalidad de favorecer la aglomeración del material particulado y su asentamiento. Riego de la caminería interna para evitar que el polvo sedimentado en las vías de circulación sea arrastrado con el paso de los vehículos. Corroboración periódica del correcto funcionamiento y condiciones de operación de los vehículos y la maquinaria a utilizar.

7.3.3.3. Nivel sonoro

<i>Impacto:</i>	Molestias por aumento del nivel sonoro
<i>Aspecto:</i>	Transporte de materiales y trabajadores (tránsito inducido) y actividades propias de la clausura
<i>Descripción del impacto:</i>	Las actividades relacionadas al uso de maquinaria, vehículos y voladuras generan un aumento en la presión sonora sobre el medio.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Se trabajará en días laborables y horarios diurnos.

7.3.3.4. Flora

<i>Impacto:</i>	Disminución de la capacidad de desarrollo de la flora
<i>Aspecto:</i>	Emisiones a la atmósfera
<i>Descripción del impacto:</i>	El material particulado podrá obstruir los estomas de la flora presente impidiendo su normal desarrollo.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Riego de las áreas donde se efectúa movimientos de material con la finalidad de favorecer la aglomeración del material particulado y su asentamiento. Riego de la caminería interna para evitar que el polvo sedimentado en las vías de circulación sea arrastrado con el paso de los vehículos.

7.3.3.5. Fauna

<i>Impacto:</i>	Molestias y consecuente desplazamiento por aumento del nivel sonoro
<i>Aspecto:</i>	Demolición de la central y emisiones sonoras de las actividades propias de la clausura
<i>Descripción del impacto:</i>	Las acciones de desmontaje, demolición y reconformación, para los cuales se hará uso de maquinaria pesada, generarán un incremento del nivel sonoro en el entorno durante el tiempo que demande la realización de estas actividades. Dicho incremento del nivel sonoro podrá generar molestias a la fauna terrestre presente, causando su ahuyentamiento. Sin embargo es posible que las condiciones predecesoras referidas a la construcción y operación determinen que en el entorno no se encuentre presente fauna silvestre.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Controlar el estado de la maquinaria a los efectos de asegurar su correcto funcionamiento y minimización de las emisiones sonoras.

7.3.3.6. Ecosistemas

<i>Impacto:</i>	Cambio de ecosistema de lago a fluvial
<i>Aspecto:</i>	Demolición de la central
<i>Descripción del impacto:</i>	En el caso de que el embalse no tenga un uso ulterior, se deberá realizar el cierre de las derivaciones y la demolición de las estructuras. Esto conllevará a que se recupere, en alguna medida, el paisaje original en la zona de implantación de la PCH, y a que aguas abajo de la presa se recupere el caudal del curso de agua previo a su instalación.
<i>Valoración:</i>	Positiva
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

7.3.3.7. Población local

<i>Impacto:</i>	Eliminación de elemento de control de inundaciones
<i>Aspecto:</i>	Demolición de la central
<i>Descripción del impacto:</i>	Al demoler las estructuras, y en particular la presa, se perderá la capacidad de laminación de los caudales producidos por avenidas extremas, perdiéndose entonces el control de inundaciones aguas abajo
<i>Valoración:</i>	Media
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	La eliminación del elemento de control de inundaciones provocará que la ciudad de Durazno vuelva a la situación actual en donde se producen frecuentemente inundaciones. Si bien la represa aportará a la solución para evitar estas inundaciones, no lo hará completamente por sí solo, sino que se aclara que deberá contarse además con un plan de ordenamiento territorial de manera de disminuir el número de afectados en la ciudad. Este plan permitirá que al momento de retirar la represa, la zonas anegadas se encuentren con una menor cantidad de población habitando en ellas.

<i>Impacto:</i>	Pérdidas de empleos por cese de operación
<i>Aspecto:</i>	Modificación de la demanda de empleo
<i>Descripción del impacto:</i>	Al clausurar la central ocurrirá el cese de la oferta de trabajo correspondiente la fase de operación de la misma.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

<i>Impacto:</i>	Aumento de la probabilidad de siniestros de tránsito
<i>Aspecto:</i>	Transporte inducido
<i>Descripción del impacto:</i>	Habrà un incremento del tránsito en la zona debido principalmente al transporte de materiales de y suministros hacia la zona, además del transporte de los trabajadores. Este incremento podrá generar un aumento en el riesgo de accidentes, en particular donde haya caminería no preparada para ello y en donde el tránsito basal sea mínimo.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Informar a las autoridades competentes el tránsito de vehículos pesados. Coordinar con las autoridades competentes los factores determinantes de la seguridad vial (señalización de curvas, límites de velocidad, entradas y salidas de camiones, etc., y estado del pavimento). Respetar y controlar los límites de velocidad.

<i>Impacto:</i>	Afectación a la salud
<i>Aspecto:</i>	Emisiones a la atmósfera
<i>Descripción del impacto:</i>	Durante las actividades propias de la clausura, el polvo se generará fundamentalmente por desmantelamiento, demolición y retiro del hormigón, de equipos e instalaciones electromecánicas, entre otros, pudiendo alterar la calidad del aire de la zona y consiguientemente causar molestias a la población local.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Limitar la velocidad de circulación de los vehículos en los caminos de acceso. Controlar el estado de la caminería vial (pavimentos en buen estado y consolidados). Realizar el mantenimiento de la maquinaria en obra. Recubrir los acopios para evitar el arrastre eólico del material. En caso de ser necesario regar las superficies de rodadura, en especial en caminos de material granular suelto próximos a centros poblados.

<i>Impacto:</i>	Molestias por aumento del nivel sonoro
<i>Aspecto:</i>	Emisiones sonoras
<i>Descripción del impacto:</i>	Las acciones de desmontaje, demolición y reconformación, para los cuales se hará uso de maquinaria pesada, generarán un incremento del nivel sonoro en el entorno durante el tiempo que demande la realización de estas actividades. Dicho incremento del nivel sonoro podrá generar molestias a la población local.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Restringir la jornada de trabajo al horario diurno y en días hábiles, a menos de contadas excepciones. Controlar el estado de la maquinaria a los efectos de asegurar su correcto funcionamiento y minimización de las emisiones sonoras.

7.3.3.8. Infraestructura vial

<i>Impacto:</i>	Deterioro de la infraestructura vial
<i>Aspecto:</i>	Tránsito inducido
<i>Descripción del impacto:</i>	Habrà un incremento del tránsito en la zona debido principalmente al transporte de materiales de construcción y suministros hacia la zona de implantación, además del transporte de los trabajadores de la obra. Este incremento podrá generar un aumento en el deterioro de la infraestructura vial existente.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	Respetar y controlar los límites de velocidad. Evitar el tránsito pesado en rutas o caminos no aptos para ello.

7.3.3.9. Servicios

<i>Impacto:</i>	Disminución de la generación mediante recursos renovables
<i>Aspecto:</i>	Cese de la generación de energía eléctrica
<i>Descripción del impacto:</i>	El cese de la operación de la PCH determinará inevitablemente disminuir la oferta eléctrica de una fuente de energía renovable.
<i>Valoración:</i>	Baja
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	La planificación de la matriz energética resulta la principal medida a los efectos de mantener la presencia de energías renovables en la misma.

7.3.3.10. Paisaje

<i>Impacto:</i>	Recuperación del paisaje
<i>Aspecto:</i>	Demolición de la central
<i>Descripción del impacto:</i>	En el caso de que el embalse no tenga un uso ulterior, se deberá realizar el cierre de las derivaciones y la demolición de las estructuras. Esto conllevará a que se recupere, en alguna medida, el paisaje original en la zona de implantación.
<i>Valoración:</i>	Positivo
<i>Medidas de mitigación o gestión</i>	-

8. EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE ALTA SIGNIFICANCIA

8.1. Eliminación del ecosistema de bosque galería y la posterior creación de un ecosistema de lago

El área prevista para la implantación de la represa, así como la superficie de terreno sobre la cual se implantará el lago, se encuentra mayoritariamente sobre un ambiente de pradera pero con importantes extensiones de bosque ribereño.

La eliminación del ecosistema de bosque ribereño, ya sea por su deforestación o inundación, es probablemente uno de los impactos más significativo del presente emprendimiento.

Por un lado, este impacto provocará la pérdida y/o desplazamiento de muchas especies presentes directamente dependientes del hábitat considerado. En este sentido, los peces y otras especies acuáticas adaptadas a ríos y arroyos serán las más afectadas, dado que muchas no pueden sobrevivir en ambientes lenticos artificiales, pero podrán prosperar otras especies como aves acuáticas, reptiles y anfibios, gracias a la presencia del lago. Sin embargo, considerando el punto de vista de conservación de la diversidad biológica, la pérdida de los hábitats terrestres naturales suelen ser considerados más valiosos que los hábitats acuáticos creados por el embalse.

Por otro lado, existe una fuerte componente legal que protege la preservación de este tipo de ecosistema. La Ley Forestal Nº 15.939, establece en el Artículo 24: "Prohíbese la corta y cualquier operación que atente contra la supervivencia del monte indígena, con excepción de los siguientes casos:

- a) Cuando el producto de la explotación se destine al uso doméstico y alambrado del establecimiento rural al que pertenece.
- b) Cuando medie autorización de la Dirección Forestal basada en un informe técnico donde se detallen tanto las causas que justifiquen la corta como los planes de explotación a efectuarse en cada caso."

También se tiene una fuerte componente social, conformada por los habitantes de la zona, que sostiene la protección y forestación con especies autóctonas del monte nativo, considerándolo un elemento identificador y referente de la ciudad de Durazno y el departamento.³⁶

Según se aprecia en la Ilustración 8.1-1, el bosque ribereño que será destruido por la implantación del proyecto se extiende a lo largo de 21 km sobre las márgenes del río Yí y abarca una extensión de 944 ha. Esto corresponde a un 20% de la superficie afectada por lago generado y apenas un 4.2% de la totalidad de monte nativo existente en la cuenca con punto de cierre con punto de cierre en la ciudad de Durazno.

³⁶ Intendencia de Durazno – MVOTMA – DINOT, (2011). Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible para el Departamento de Durazno.

Si bien no se cuenta con normativa con la cual comparar la magnitud de este impacto, se entiende que el mismo será **admisible**, dado que se afecta un bajo porcentaje del área total de monte nativo.

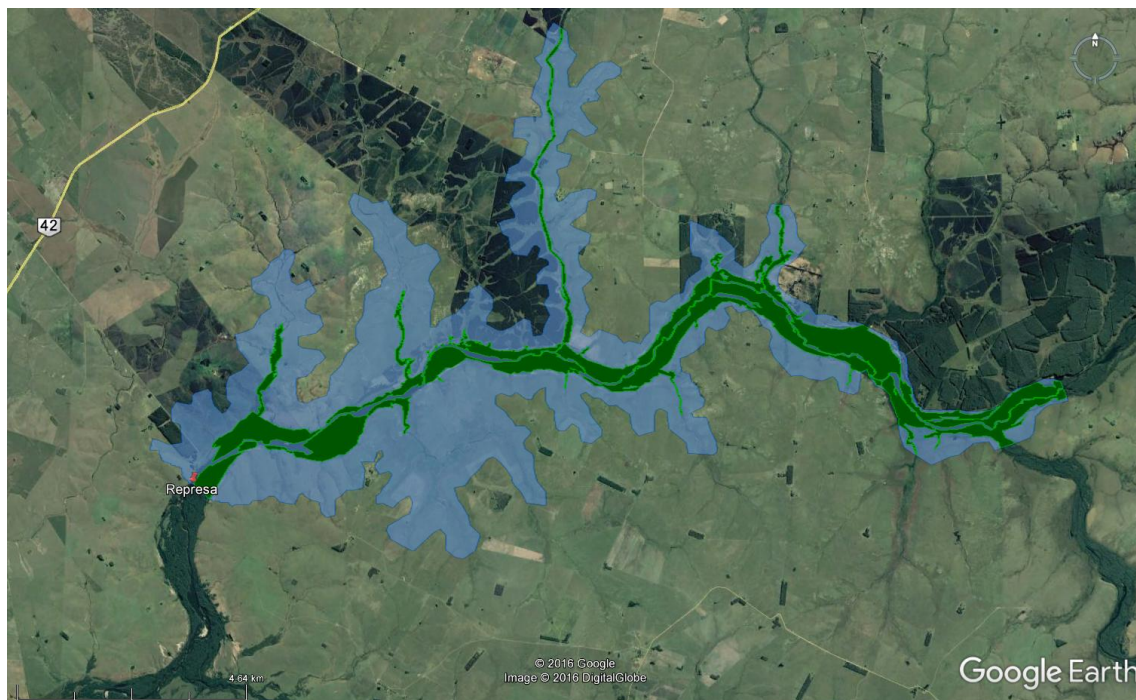


Ilustración 8.1-1 – Monte nativo afectado por el Lago

Como medida de compensación se propone la reforestación en zonas aledañas al emprendimiento con árboles de rápido crecimiento, previa limpieza del monte a inundar, con el fin de generar un ambiente adecuado para el traslado de las especies presentes en el hábitat a destruir.

Se considera importante que la eliminación del bosque ribereño se lleve a cabo mediante deforestación y no mediante la anegación del mismo. Esta última acción podría afectar la calidad del cuerpo de agua a generarse, ya que la descomposición de la materia orgánica potencia episodios de contaminación eutrófica y por tanto, modificaciones en el tener de oxígeno disuelto, pH, nutrientes y temperatura, afectando la calidad de vida acuática. Por otro lado, los productos de descomposición anaerobia incluyen el ácido sulfhídrico el cual resulta nocivo para los organismos acuáticos y corrosivo para las turbinas, y el metano y dióxido de carbono los cuales son gases de efecto invernadero.

8.2. Cambio total del paisaje por la presencia de la represa

El cambio total del paisaje se produce por la eliminación del monte galería existente en la zona y la posterior formación del lago en su lugar. En este punto consideramos que en el sentido del paisaje el cambio es total pero el nuevo paisaje generado mediante el lago aportará a la zona nuevos atractivos.

De todas manera, se analiza en lo que sigue las cuencas visuales de puntos particulares del lago con el fin de conocer desde qué zonas se visualiza el lago y si en ellas existen poblados o rutas desde las cuales las personas puedan apreciar el nuevo paisaje.

En la ilustración a continuación se presentan los puntos particulares de la represa donde se estudiarán las diferentes cuencas visuales. A partir de ellas, se obtendrá la cuenca visual del emprendimiento de la cual se podrá definir el trazado de rutas y poblados desde donde se observa la represa y su lago.

En todas las ilustraciones presentadas donde se representa la cuenca visual de un punto las zonas marcadas en verde corresponden a las zonas desde donde efectivamente se puede visualizar el punto correspondiente.

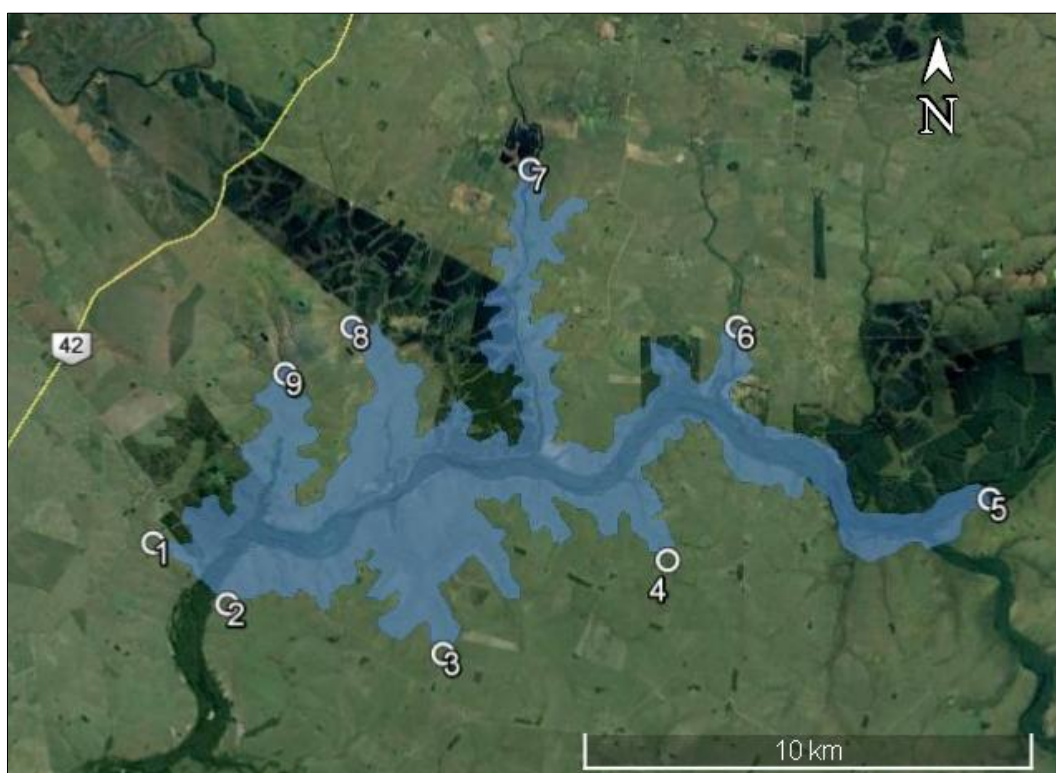


Ilustración 8.2-1 - Puntos particulares de la represa y el lago

Punto 1

El punto particular Nº 1 corresponde al extremo de margen derecha de la represa de tierra o dique. Desde dicho punto la cuenca visual es la presentada en la Ilustración 8.2-2.

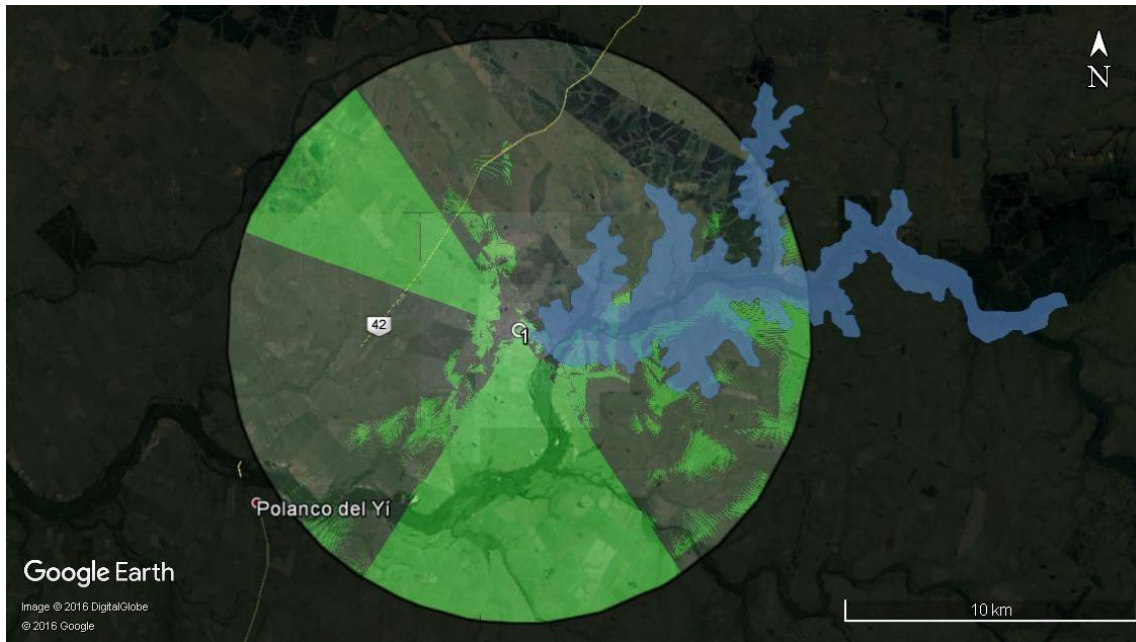


Ilustración 8.2-2 - Cuenca visual punto 1

Se observa que el punto 1 será visto desde un tramo de aproximadamente 3 km de la ruta nacional N° 42 y que no existe ningún poblado cercano desde el cual se vea dicho punto.

Punto 2

El punto particular N° 2 corresponde al extremo de la represa de tierra o dique ubicado en la margen izquierda del río Yí. En la Ilustración 8.2-3 se observa su cuenca visual.

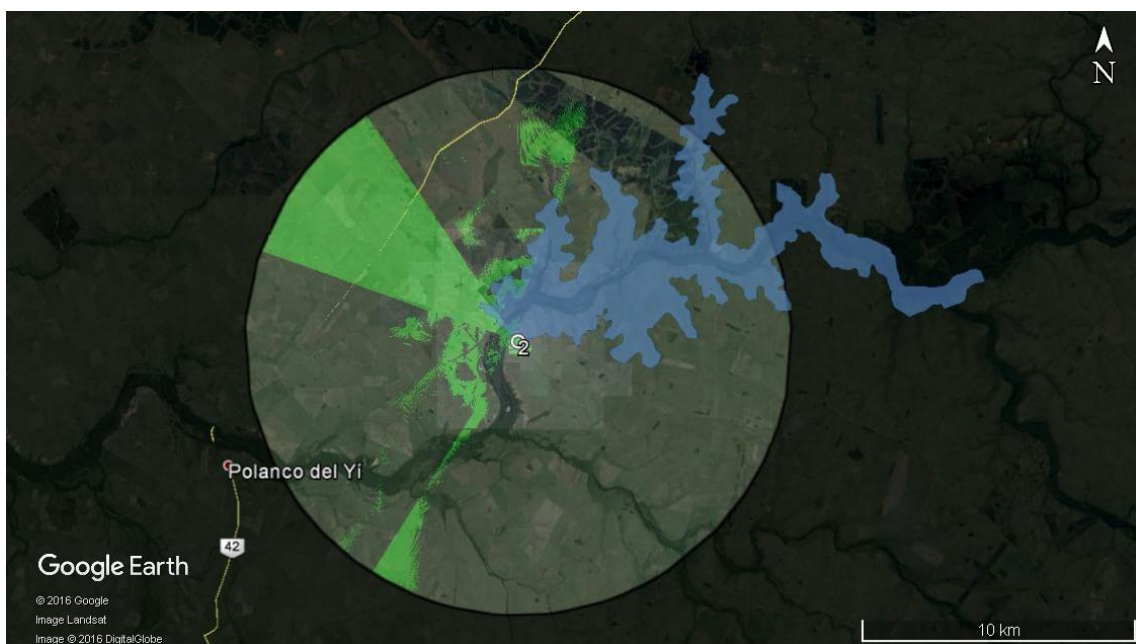


Ilustración 8.2-3 - Cuenca visual punto 2

Se aprecia que la cuenca visual de dicho punto tiene como principal zona de visualización un tramo de aproximadamente 4.0 km sobre la ruta nacional N° 42 y que no se constata la existencia de poblados desde los cuales se visualice el punto 2.

Punto 3

Sobre la margen izquierda del río Yí el lago de la represa presenta varias ramificaciones considerándose entonces el punto 3 como el extremo de la ramificación izquierda más cercana al dique.

Dicho punto si bien se ubica sobre la margen izquierda puede ser visto principalmente desde zonas más altas de la margen derecha. De estas zonas no se constata la existencia de tramos de rutas ni de poblados.

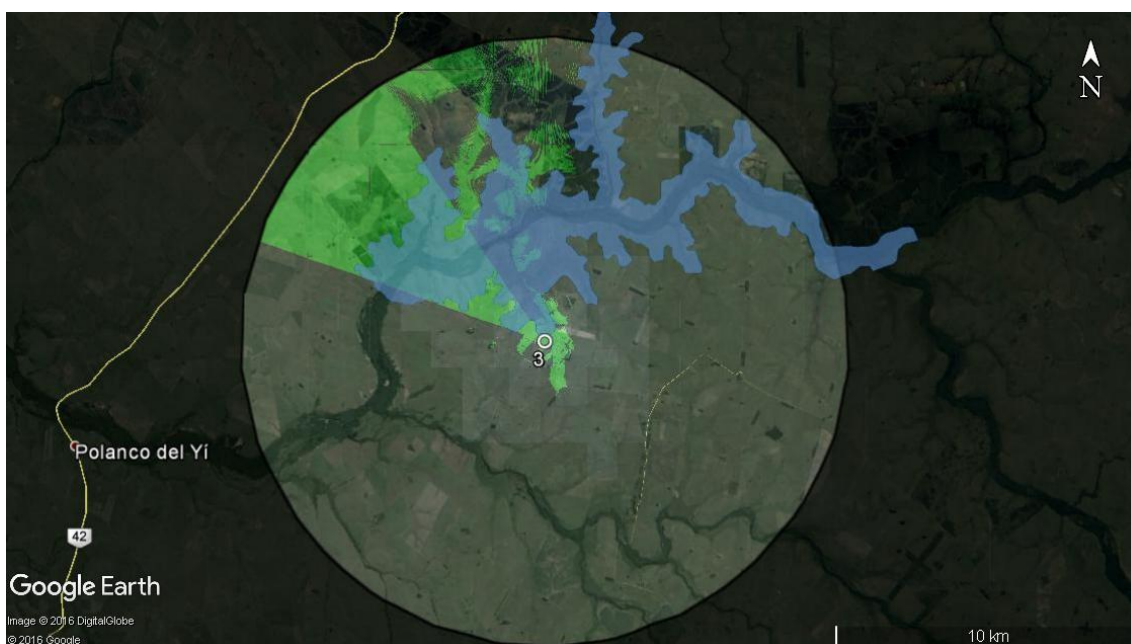


Ilustración 8.2-4 - Cuenca visual punto 3

Punto 4

El punto 4 corresponde a la segunda ramificación en magnitud que se presenta sobre la margen izquierda del río.

Se observa que desde la ruta N° 42 no se visualiza dicho punto pero si desde un tramo de 6.7 km de un camino vecinal al sur del lago. No se observa la presencia de poblados desde los cuales podrá verse este punto del lago.

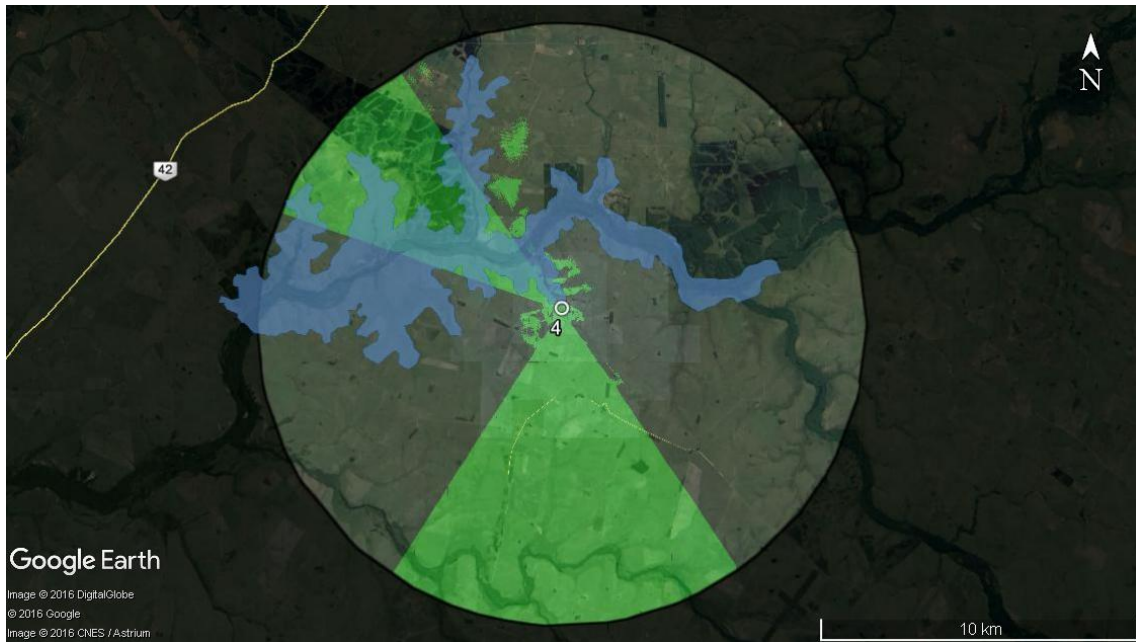


Ilustración 8.2-5 - Cuenca visual punto 4

Punto 5

El punto 5 corresponde a la “cola” del lago, es decir a la zona más lejana del lago respecto al dique, zona que se ubica particularmente sobre el río Yí.

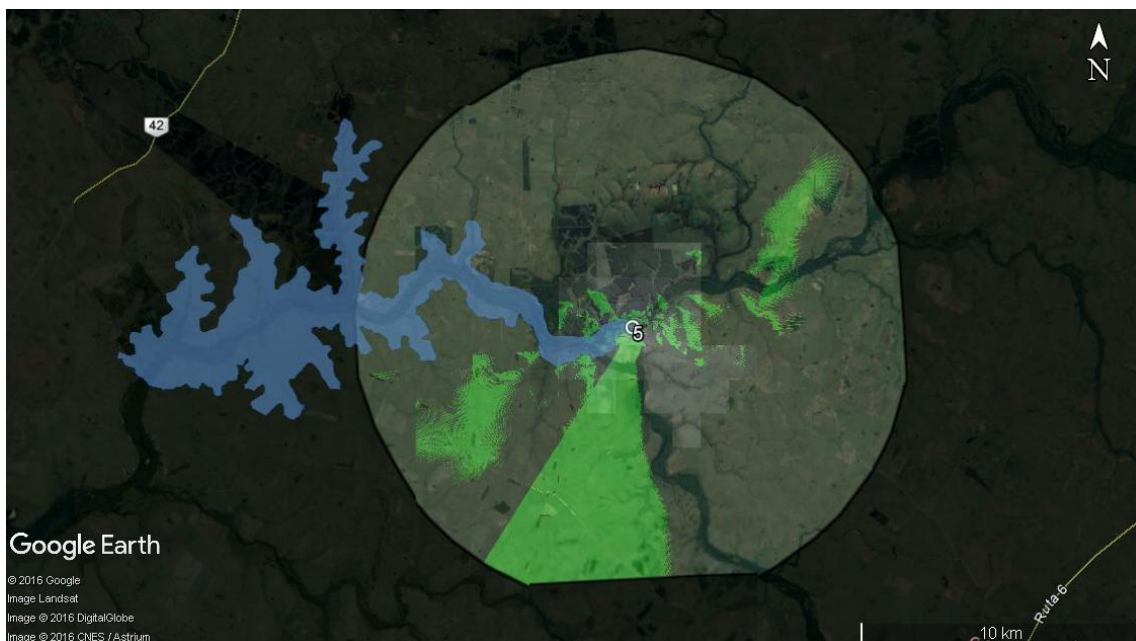


Ilustración 8.2-6 - Cuenca visual punto 5

A partir de esta cuenca visual se concluye que no se observan poblados desde los cuales pueda verse este punto. En cuanto a rutas o caminos desde los que si se observe el punto, se constata que, en un tramo de 5.8 km del camino vecinal al sur del lago, esta situación es factible.

Punto 6

El punto 6 correspondiente a la ramificación norte del lago más lejana a su dique, presenta una cuenca visual similar a la del punto 4 en su zona sur. Por lo que se aprecia que de igual manera que el punto 4, las zonas de principal visualización de este punto corresponden a 6.7 km del camino vecinal al sur del lago.

No se observa poblados desde los que se pueda ver este punto.

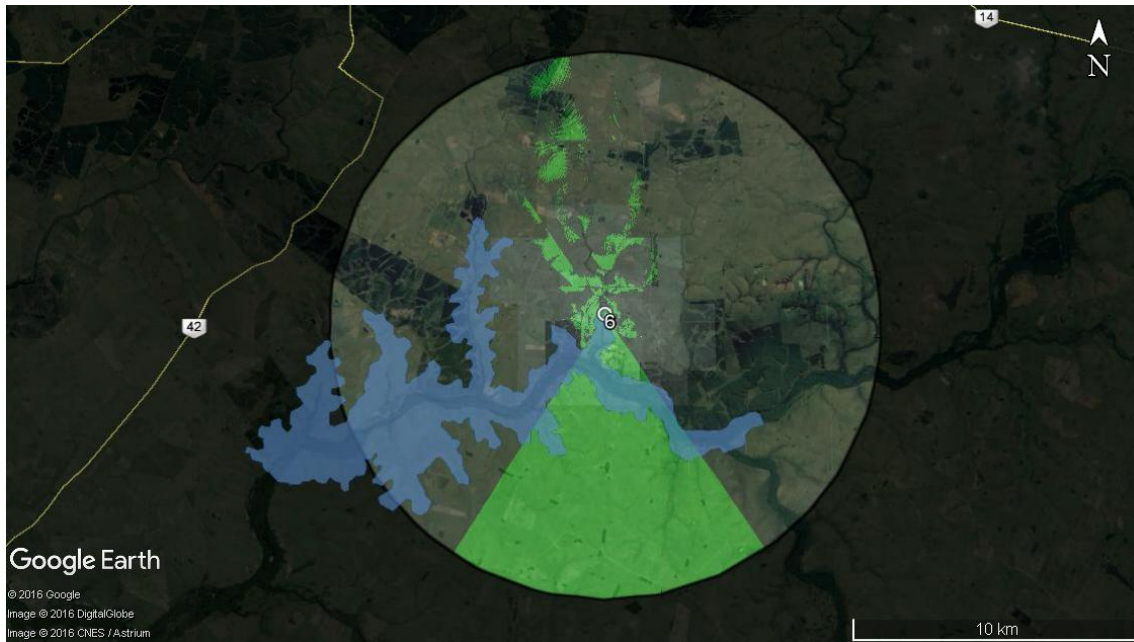


Ilustración 8.2-7 - Cuenca visual punto 6

Punto 7

El punto 7 definido como el punto extremo de la ramificación más extensa que presenta el lago, es el que genera una cuenca visual ubicada más al norte. Esta situación se evidencia en la Ilustración 8.2-8.

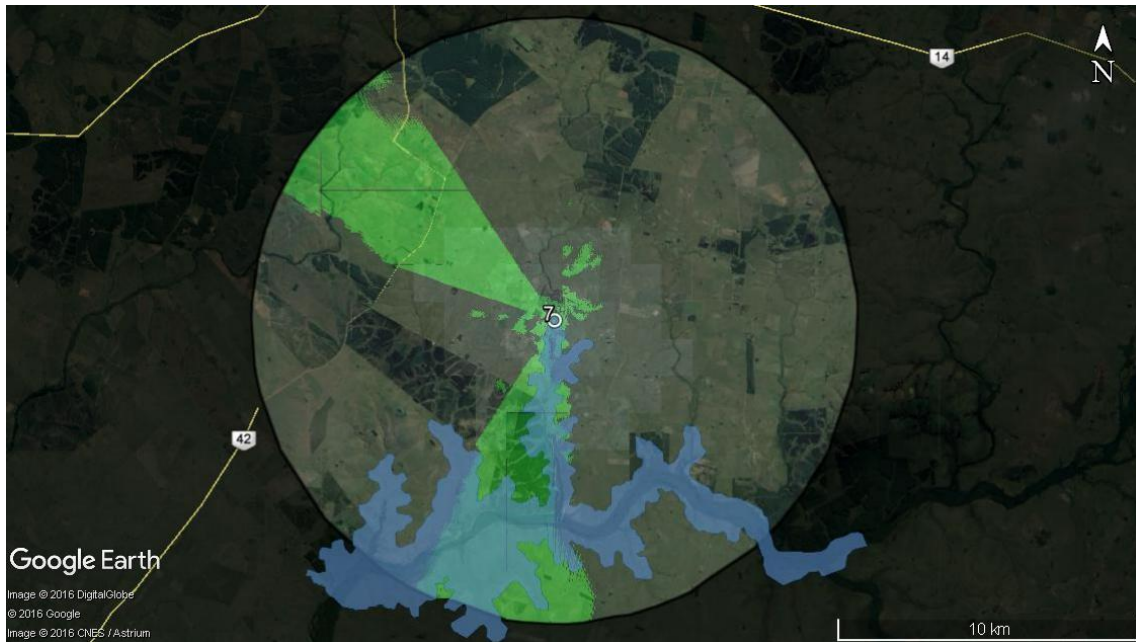


Ilustración 8.2-8 - Cuenca visual punto 7

Es sin dudas la zona más detectable visualmente desde la ruta N° 42, pudiendo observarse desde un tramo de aproximadamente 6.5 km de la misma. No se observan poblados ni otros caminos desde los que se vea este punto.

Punto 8

El punto 8 corresponde a la ramificación intermedia de la margen derecha del lago. La cuenca visual de dicho punto se puede observar en la Ilustración 8.2-9.

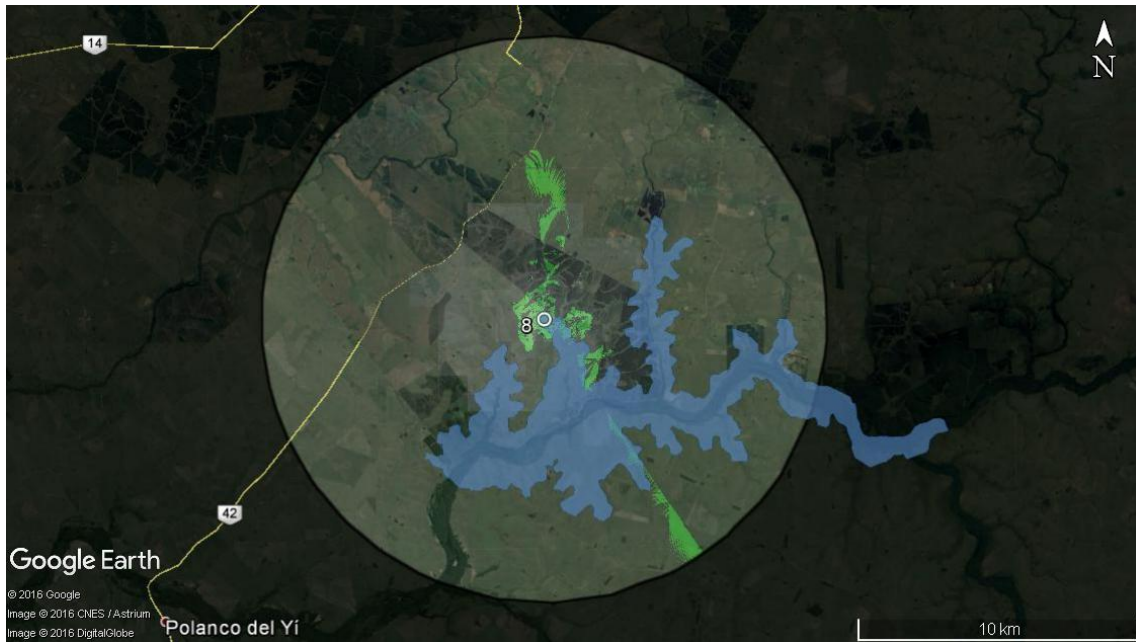


Ilustración 8.2-9 - Cuenca visual punto 8

Es evidente que la cuenca visual del punto 8 es la que presenta menores superficies desde donde se visualiza dicho punto. A partir de ella se concluye que no existen caminos ni poblados desde los cuales se pueda ver este punto.

Punto 9

El punto 9, cuya cuenca visual se observa en la Ilustración 8.2-10, al igual que el punto 8 no presenta caminos, rutas, ni poblados desde los cuales pueda apreciarse visualmente dicho punto.

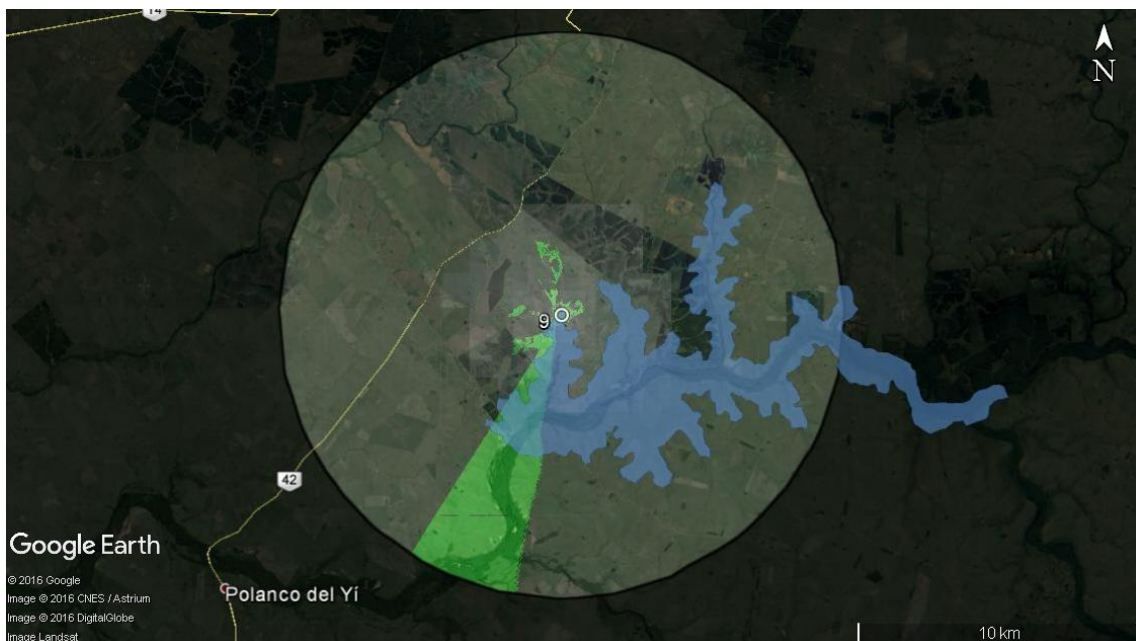


Ilustración 8.2-10 - Cuenca visual punto 9

Conclusiones

Considerando que no existen poblados desde los cuales sea visible la represa con su dique se define como las zonas desde donde el cambio de paisaje se podrá apreciar a aquellos tramos de rutas o caminos desde donde es visible la represa.

De la totalidad de los puntos definidos anteriormente se concluye que existen 2 tramos de la ruta nacional N° 42 desde donde se aprecia la represa que totalizan una longitud de 10.4 km de largo.

Por otro lado, al sur de la represa se observa que la misma es visible desde un camino vecinal en un tramos de aproximadamente 13.5 km.

Los tramos antes mencionados se observan en la Ilustración 8.2-11.



Ilustración 8.2-11 - Tramos de rutas y caminos desde los que se ve la represa

Conclusión

En base al modelo anterior se concluye que este impacto es **admisible**, no sólo porque la visibilidad del emprendimiento por la población es mínima, sino también porque la presencia de un lago podrá armonizarse fácilmente con el paisaje de la zona.

8.3. Alteración del escurrimiento superficial de la cuenca

Objetivo

El objetivo del presente modelo es predecir y evaluar la magnitud y significado de los impactos de la represa sobre el escurrimiento superficial de cuenca del Río Yí.

Metodología

Para la evaluación del impacto se empleó el software libre IAHRIS 2.2³⁷ desarrollado por la Universidad Politécnica de Madrid que permite obtener parámetros para caracterizar el régimen hidrológico natural y alterado en un punto de un curso de agua, calculando además una serie de índices que permiten valorar el grado de alteración del régimen hidrológico, a partir de una serie de caudales diarios o mensuales de al menos 15 años.

El paradigma del régimen de caudales ya indica los principales aspectos del régimen de caudales que poseen una mayor significación ambiental. La vinculación de esos aspectos del régimen con factores clave del ecosistema fluvial puede sintetizarse en:

1. Magnitud: ya que determina la disponibilidad general de agua en el ecosistema.
2. Frecuencia con la que un evento se produce en un intervalo de tiempo dado: indicativa de la variabilidad en el régimen de caudales y condicionante de la dinámica geomorfológica y ecológica, y por ende de la diversidad.
3. Duración o intervalo de tiempo asociado con unas determinadas condiciones de flujo: en situaciones extremas, avenidas y sequías, la duración está íntimamente ligada a los umbrales de resiliencia de las diferentes especies.
4. Estacionalidad o regularidad con la que ese evento acontece en una época determinada del año: es un aspecto vinculado estrechamente y en sincronía con los ciclos de vida de las especies (fluviales, de estuarios y marinas).
5. Tasas de cambio: referente a la rapidez con la que se producen los cambios de unas magnitudes a otras, afectando a la capacidad de respuesta de la biota.

Por tanto, el proceso de caracterización del régimen de caudales debe contemplar esos cinco aspectos, y debe hacerlo atendiendo tanto a los valores medios o habituales, como determinantes de la disponibilidad general de agua en el ecosistema, como a los valores extremos –avenidas y sequías-, al definir éstos las condiciones más críticas que soporta el ecosistema, y considerando la variabilidad tanto interanual como estacional.

La caracterización del estado ecológico debe plantearse mediante la comparación de la situación que se quiere analizar con la de referencia. Para cada uno de los elementos a considerar se debe:

- 1) Definir las variables a medir en atención a su capacidad para reflejar la integridad ambiental del elemento analizado.

³⁷ Martínez Santa María, C & Fernández Yuste, J.A. 2010. IAHRIS 2.2 Índices de alteración hidrológica en ríos.

2) Establecer el estado de referencia, esto es, los valores que esas variables tomarían para unas condiciones de mínima alteración del ecosistema fluvial.

3) Calcular los Ecological Quality Ratios (EQR) como cociente entre el valor de la variable para las condiciones actuales y el que le corresponde en el estado de referencia.

Siguiendo las recomendaciones del CIS-WDF (2003) referente a los Índices de Calidad Ecológica (EQR por sus siglas en inglés, Ecological Quality Ratios), el modelo IAHRIS define la mayor parte de los Índices de Alteración Hidrológica (IAH) como el cociente entre el valor del parámetro en régimen alterado y el valor de ese mismo parámetro en régimen natural.

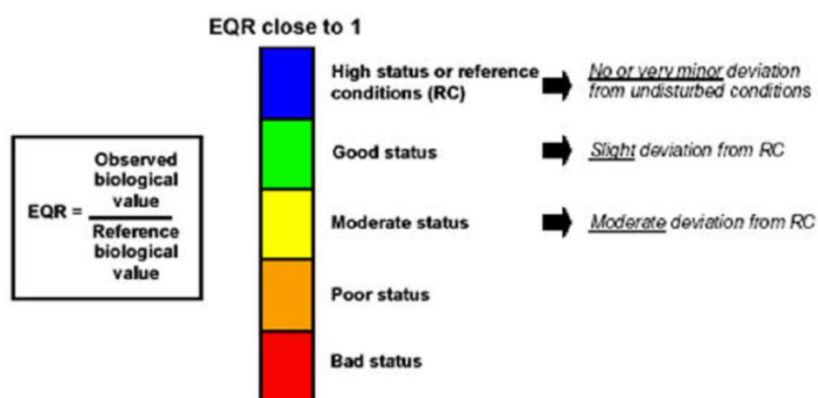


Ilustración 8.3-1 - Recomendación del CIS-WDF para los EQR

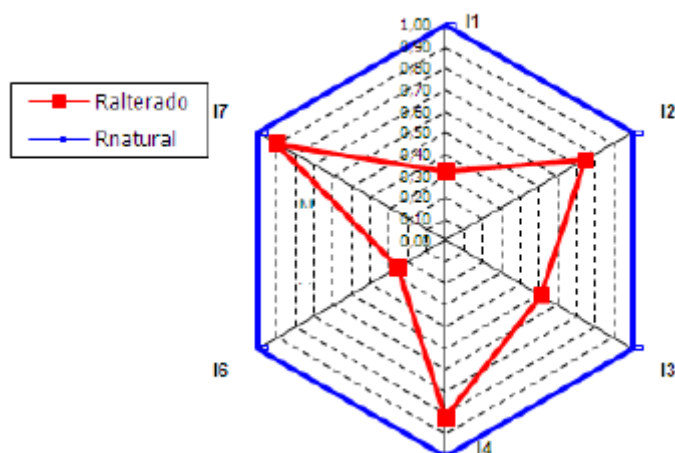
De este modo, los índices definidos por el modelo presentan valores acotados entre 0 y 1, siendo el 0 indicativo de alteración máxima, y 1 de ausencia de alteración. Siguiendo las recomendaciones para los EQR, el software establece 5 niveles o Estatus Hidrológicos distribuidos linealmente en el rango de valores que adoptan los IAH, asignando un código de colores según la recomendación antes descrita.

ESTATUS HIDROLÓGICO: INDICES PARCIALES (IAH)				
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
0,8 < IAH ≤ 1	0,6 < IAH ≤ 0,8	0,4 < IAH ≤ 0,6	0,2 < IAH ≤ 0,4	0 ≤ IAH ≤ 0,2

Ilustración 8.3-2 - Criterio de categorías cualitativas de los IAH

Para facilitar la interpretación global, y para cada uno de los tres grandes componentes del régimen –valores habituales, avenidas y sequías-, se ofrece dos ayudas.

Por un lado, una grafica en malla que permite ver simultáneamente los valores de los índices implicados en el aspecto evaluado. Esta gráfica permite apreciar con facilidad cuán lejos o cerca está el valor actual que alcanza cada índice –en rojo en la figura- de su valor natural, que siempre, por la convención asumida, es uno (1).



Por otro, se calcula un índice de alteración global para cada componente - valores habituales; avenidas; sequías- que agrega los valores de los índices utilizados para valorar cada uno de los aspectos considerados en ese componente del régimen.

Ese índice agregado o global, se evalúa como el cociente entre el área definida por el polígono correspondiente al régimen alterado, y la correspondiente al polígono del régimen natural –que lógicamente se corresponde a la superficie asociada a todos los índices con valor uno. También para estos índices de alteración global se establece un código de colores.

ESTATUS HIDROLÓGICO: INDICES GLOBALES (IAG)				
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
$0,64 < IAG \leq 1$	$0,36 < IAG \leq 0,64$	$0,16 < IAG \leq 0,36$	$0,04 < IAG \leq 0,16$	$0 \leq IAG \leq 0,04$

Ilustración 8.3-3 - Criterio de categorías cualitativas de los IAG

Los **impactos** se clasifican entonces en 5 escalas según su grado de afectación hidrológica:

- 6. Nivel I Nulo o Bajo
- 7. Nivel II Ligeramente
- 8. Nivel III Moderado
- 9. Nivel IV Alto
- 10. Nivel V Muy Alto

Empleando este software, se evalúa en lo que sigue el impacto que se produce en el escurrimiento superficial de la cuenca del río Yí.

Resultados

Los datos proporcionados a la aplicación corresponden a dos series de caudales diarios de 19 años en una misma sección del cauce para la situación sin represa (que corresponde al régimen natural) y para la situación con represa (que corresponde al régimen alterado).

En primer lugar la aplicación califica la variabilidad interanual de las series, clasificando los años en medios, húmedos o secos según la aportación anual.

Tabla 8.3-1 Variabilidad interanual en régimen natural

REGIMEN NATURAL

TIPOS DE AÑO					
HÚMEDOS		MEDIOS		SECOS	
AÑO	APORTACIÓN	AÑO	APORTACIÓN	AÑO	APORTACIÓN
2000-01	10897.398	1994-95	8781.391	1995-96	7246.334
2001-02	10495.546	1997-98	9538.206	1996-97	7021.909
2002-03	10339.626	1998-99	10101.180	1999-00	7083.762
2005-06	10945.966	2003-04	9666.616	2008-09	7063.880
2009-10	11738.737	2004-05	7931.380	2010-11	7667.018
		2006-07	9581.711		
		2007-08	9674.745		
		2011-12	8805.191		
		2012-13	9797.041		

Tabla 8.3-2 Variabilidad interanual en régimen alterado

REGIMEN ALTERADO

TIPOS DE AÑO					
HÚMEDOS		MEDIOS		SECOS	
AÑO	APORTACIÓN	AÑO	APORTACIÓN	AÑO	APORTACIÓN
2000-01	10912.052	1994-95	8730.563	1995-96	7285.985
2001-02	10457.182	1997-98	9553.153	1996-97	7073.650
2002-03	10410.700	1998-99	9721.053	1999-00	7141.501
2005-06	10978.024	2003-04	9371.206	2008-09	6723.034
2009-10	11781.072	2004-05	7927.855	2010-11	7667.932
		2006-07	9517.291		
		2007-08	9775.038		
		2011-12	8819.814		
		2012-13	9791.415		

Además se calcula la variabilidad intranual, es decir para los años que entran en cada tipo se calcula el aporte mensual mediano en cada mes.

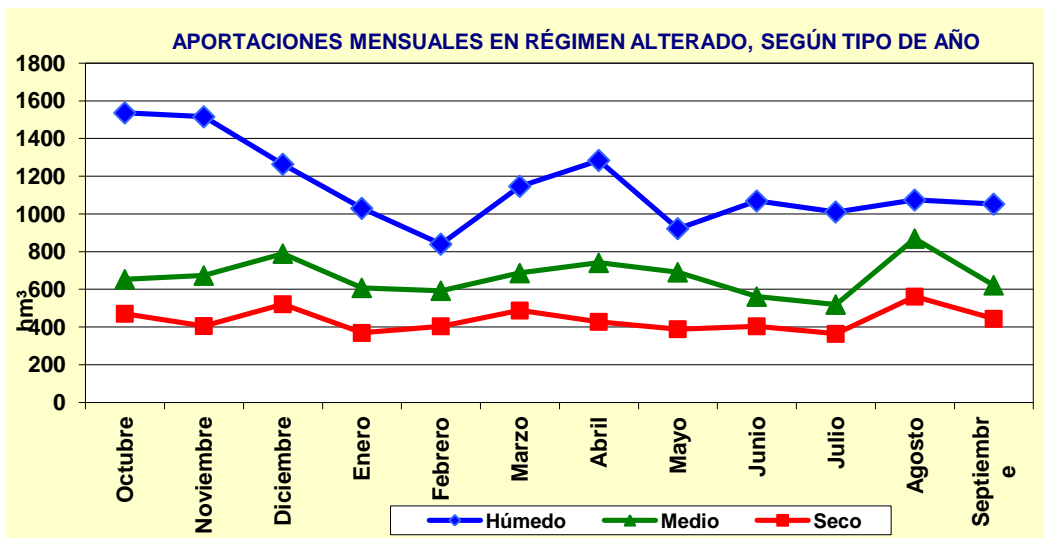
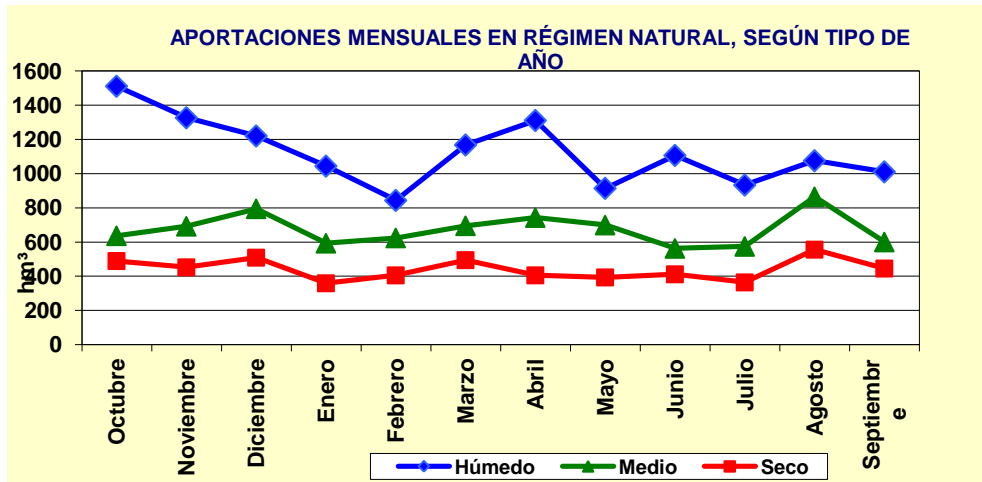


Tabla 8.3-3 Parámetros para régimen natural

COMPONENTE DEL RÉGIMEN NATURAL		ASPECTO	PARÁMETRO		
			DESCRIPCIÓN	VALOR (hm ³ ó m ³ /s)	
VALORES HABITUALES	Aportaciones anuales y mensuales	Magnitud	Media de las aportaciones anuales	Año húmedo	10883.46
				Año medio	9319.72
				Año seco	7216.58
				Año pond.	9177.77
		Variabilidad	Diferencia entre aportación mensual máxima y mínima en el año	Año húmedo	1495.52
				Año medio	1136.62
	Año seco			782.70	
	Estacionalidad	Mes de máxima y mínima aportación	Año húmedo	OCT-FEB	
			Año medio	AGO-JUN	
			Año seco	AGO-ENE	
Caudales diarios	Variabilidad	Diferencia entre los caudales medios diarios correspondientes a los percentiles de excedencia del 10% y 90%	Q 10%	664.12	
			Q 90%	120.00	
VALORES EXTREMOS	Caudales máximos (avenidas)	Magnitud y frecuencia	Media de los máximos caudales diarios anuales	Qc	2151.57
			Caudal generador del lecho; Período de retorno	QGL; T	1978.2 2
			Caudal de conectividad; Período de retorno	QCONEC;T	2526.7 4
			Caudal de la avenida habitual (percentil de excedencia del 5%)	Q 5%	937.11
		Variabilidad	Coeficiente de variación de máximos caudales diarios anuales	CV(Qc)	0.37
				Coeficiente de variación de la serie de avenidas habituales	CV(Q 5%)
		Estacionalidad	Número medio de días al mes con caudal medio diario ≥ Q5%	Ver tabla 8.3-5	
		Duración	Máximo nº de días consecutivos con caudal medio diario ≥ Q5%		5.16
VALORES EXTREMOS	Caudales mínimos (sequías)	Magnitud y frecuencia	Media de los mínimos caudales diarios anuales	Qs	119.98
			Caudal de la sequía habitual (percentil de excedencia del 95%)	Q 95%	120.00
		Variabilidad	Coeficiente de variación de mínimos caudales diarios anuales	CV(Qs)	0.00
				Coeficiente de variación de la serie de sequías habituales	CV(Q 95%)
		Estacionalidad	Número medio de días al mes con caudal medio diario ≤ Q95%	Ver tabla 8.3-5	
		Duración	Máximo nº de días consecutivos con caudal medio diario ≤ Q95%		20.84
				Número medio de días al mes con caudal medio diario nulo	Ver tabla 8.3-5

Tabla 8.3-4 Parámetros para régimen alterado

COMPONENTE DEL RÉGIMEN ALTERADO		ASPECTO	PARÁMETRO		
			DESCRIPCIÓN	VALOR (hm ³ ó m ³ /s)	
VALORES HABITUALES	Aportaciones anuales y mensuales	Magnitud	Media de las aportaciones anuales	Año húmedo	10907.81
				Año medio	9245.26
				Año seco	7178.42
				Año pond.	9138.87
		Variabilidad	Diferencia entre aportación mensual máxima y mínima en el año	Año húmedo	1477.70
				Año medio	1095.77
				Año seco	774.74
				Año pond.	1111.80
		Estacionalidad	Mes de máxima y mínima aportación	Año húmedo	OCT-FEB
	Año medio			AGO-JUL	
	Año seco			AGO-JUL	
	Caudales diarios	Variabilidad	Diferencia entre los caudales medios diarios correspondientes a los percentiles de excedencia del 10% y 90%	Q 10%	602.86
Q 90%				124.39	
VALORES EXTREMOS	Caudales máximos (avenidas)	Magnitud y frecuencia	Media de los máximos caudales diarios anuales	Qc	1771.73
			Caudal generador del lecho	QGL; T	1643.8
			Caudal de conectividad	QCONEC;T	2108.5
			Caudal de la avenida habitual (percentil de excedencia del 5%)	Q 5%	825.83
		Variabilidad	Coeficiente de variación de máximos caudales diarios anuales	CV(Qc)	0.38
				Coeficiente de variación de la serie de avenidas habituales	CV(Q 5%)
		Estacionalidad	Número medio de días al mes con caudal medio diario \geq Q5%	Ver tabla 8.3-6	
		Duración	Máximo nº de días consecutivos con caudal medio diario \geq Q5%		5.16
VALORES EXTREMOS	Caudales mínimos (sequías)	Magnitud y frecuencia	Media de los mínimos caudales diarios anuales	Qs	113.90
			Caudal de la sequía habitual (percentil de excedencia del 95%)	Q 95%	120.49
		Variabilidad	Coeficiente de variación de mínimos caudales diarios anuales	CV(Qs)	0.15
				Coeficiente de variación de la serie de sequías habituales	CV(Q 95%)
		Estacionalidad	Número medio de días al mes con caudal medio diario \leq Q95%	Ver tabla 8.3-6	
		Duración	Máximo nº de días consecutivos con caudal medio diario \leq Q95%		3.00
				Número medio de días al mes con caudal medio diario nulo	Ver tabla 8.3-6

Tabla 8.3-5 Número de días al mes - Régimen natural

Régimen Natural	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Nº MEDIO DÍAS AL MES CON $Q \geq Q5\%$	2.0	2.2	1.8	1.2	0.7	1.3	1.4	1.2	1.2	0.6	2.1	1.7
Nº MEDIO DÍAS AL MES CON $Q \leq Q95\%$	9.0	12.4	9.6	11.2	8.4	9.9	6.6	9.2	8.4	8.2	6.5	8.1
Nº MEDIO DÍAS AL MES CON Q NULO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 8.3-6 Número de días al mes - Régimen alterado

Régimen alterado	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Nº MEDIO DÍAS CON $Q \geq Q5\%$ natural	1.6	1.8	1.5	0.8	0.3	1.0	0.9	0.7	0.9	0.2	1.3	1.3
Nº MEDIO DÍAS CON $Q \leq Q95\%$ natural	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	1.1	0.2
Nº MEDIO DÍAS CON Q NULO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Luego se calculan los Índices de alteración hidrológica para valores habituales.

Tabla 8.3-7 Índices de alteración hidrológica

ASPECTO		IAH	NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
		VALOR	$0,8 < I \leq 1$	$0,6 < I \leq 0,8$	$0,4 < I \leq 0,6$	$0,2 < I \leq 0,4$	$0 < I \leq 0,2$
VALORES HABITUALES AÑO HÚMEDO	Magnitud	1.00					
		0.97					
	Variabilidad	0.87					
		0.97					
	Estacionalidad	0.97					
		0.87					
VALORES HABITUALES AÑO MEDIO	Magnitud	0.99					
		0.95					
	Variabilidad	0.88					
		0.94					
	Estacionalidad	0.76					
		0.67					
VALORES HABITUALES AÑO SECO	Magnitud	0.99					
		0.96					
	Variabilidad	0.88					
		0.95					
	Estacionalidad	0.80					
		0.83					
VALORES HABITUALES AÑO PONDERADO	Magnitud	0.99					
		0.96					
	Variabilidad	0.88					
		0.95					
	Estacionalidad	0.82					
		0.76					

Se calculan los Índices de alteración global para los valores habituales.

Tabla 8.3-8 Índices de alteración global

		NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
ASPECTO	VALOR	$0,64 < I \leq 1$	$0,36 < I \leq 0,64$	$0,16 < I \leq 0,36$	$0,04 < I \leq 0,16$	$0 < I \leq 0,04$
IAG _H AÑO HÚMEDO	0.89					
IAG _H AÑO MEDIO	0.74					
IAG _H AÑO SECO	0.81					
IAG _H AÑO PONDERADO	0.81					

Luego se calculan los Índices de alteración hidrológica para avenidas y sequías.

Tabla 8.3-9 Índices de alteración hidrológica

ASPECTO		IAH	NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
		VALOR	$0,8 < I \leq 1$	$0,6 < I \leq 0,8$	$0,4 < I \leq 0,6$	$0,2 < I \leq 0,4$	$0 < I \leq 0,2$
AVENIDAS	Magnitud	0.82					
		0.91					
		0.47					
		0.88					
	Variabilidad	0.96					
		0.95					
	Duración	1.00					
Estacionalidad	0.92						
SEQUIAS	Magnitud	0.95					
		1.00					
	Variabilidad	0.00					
		0.00					
	Duración	0.14					
		1.00					
	Estacionalidad	0.00					

Los índices de alteración global resultan.

Tabla 8.3-10 Índices de alteración global

IAG		NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	NIVEL IV	NIVEL V
ASPECTO	VALOR	$0,64 < I \leq 1$	$0,36 < I \leq 0,64$	$0,16 < I \leq 0,36$	$0,04 < I \leq 0,16$	$0 < I \leq 0,04$
AVENIDAS	0.73					
SEQUIAS	0.16					

Por último el software categoriza la masa de agua en función de la alteración.

Para la **catalogación como masa de agua muy alterada** el software utiliza dos criterios:³⁸

- 1) Un informe obtenido según el criterio P10-90: Se entenderá que una masa de agua está muy alterada hidrológicamente cuando presenta una desviación significativa en la magnitud de los parámetros que caracterizan las condiciones mensuales y anuales del régimen hidrológico... Se considerará que la desviación es significativa cuando la magnitud del parámetro anual o mensual se desvía significativamente de los valores del percentil del 10% al 90% de la serie en régimen natural. IAHRIS asume que una masa de agua está hidrológicamente **muy alterada cuando el porcentaje del nº total de meses o el porcentaje del nº total de años que cumple es inferior al 50%**. Si no se cumple este requisito, IAHRIS no asigna clasificación.
- 2) Un informe obtenido según el criterio IAH-MMA. En los ríos identificados como masas de agua se analizará su grado de alteración hidrológica mediante el cálculo de índices de alteración hidrológica... con estos índices se comparan las condiciones del régimen natural de referencia con las condiciones actuales... los parámetros utilizados deben basarse en las características fundamentales de los regímenes hidrológicos, como magnitud, duración, frecuencia, estacionalidad y tasas de cambio. IAHRIS asume que una masa de agua está hidrológicamente muy alterada si más del 50% de los indicadores **seleccionados muestran una alteración \geq al 50% (es decir, el índice toma un valor \leq 0,5)**. Si no se cumple este requisito, IAHRIS no asigna clasificación.

En este caso los resultados son:

Utilizando el criterio número 1:

RESULTADOS								
RÉGIMEN NATURAL				RÉGIMEN ALTERADO				
APORTACIONES ANUALES (hm ³ /año)								
MES	PERCENTIL 10% (excedencia)	MEDIANA	PERCENTIL 90% (excedencia)	APORTACIÓN MEDIANA (hm ³ /mes)	Nº MESES QUE CUMPLE (P90% ≤ AP _{MES} ≤ P10%)	Nº TOTAL DE MESES	% CUMPLE	CLASIFICACIÓN ³⁸
Octubre	1523.28	601.45	367.47	642.68	15	19	79	
Noviembre	1373.46	674.84	377.92	647.56	15	19	79	
Diciembre	1233.70	763.14	420.92	767.52	14	19	74	
Enero	1048.93	589.68	355.08	589.28	16	19	84	
Febrero	854.86	570.89	366.78	544.65	16	19	84	
Marzo	1170.81	595.02	452.24	596.12	16	19	84	
Abril	1282.34	635.83	365.02	639.08	16	19	84	
Mayo	933.07	630.92	363.16	625.76	16	19	84	
Junio	1155.09	552.10	337.26	554.39	16	19	84	
Julio	951.59	568.45	351.14	516.38	15	19	79	
Agosto	1111.78	844.82	457.31	827.92	16	19	84	
Septiembre	1083.65	597.64	417.84	608.93	16	19	84	
TOTALES					187	228	82	

RÉGIMEN NATURAL			RÉGIMEN ALTERADO				
APORTACIONES ANUALES (hm ³ /año)							
PERCENTIL 10% (excedencia)	MEDIANA	PERCENTIL 90%	APORTACIÓN MEDIANA (hm ³ /año)	Nº AÑOS QUE CUMPLE (P90% ≤ AP _{AÑO} ≤ P10%)	Nº TOTAL DE AÑOS	% CUMPLE	CLASIFICACIÓN ³⁸
10902.25	9538.21	7059.68	9517.29	15	19	79	

CLASIFICACIÓN: **SIN CLASIFICACIÓN.**

Utilizando el criterio número 2:

³⁸ El epígrafe 3.4.2 de la IPH (pg 38514 del BOE de 22-09-08)

Índice -Denominación-	Valor	Alteración $\geq 50\%$
Magnitud de las aportaciones anuales	0.99	NO
Magnitud de las aportaciones mensuales	0.96	NO
Variabilidad habitual	0.88	NO
Estacionalidad de máximos	0.82	NO
Estacionalidad de mínimos	0.76	NO
Magnitud del caudal generador del lecho	0.91	NO
Magnitud de las avenidas habituales	0.88	NO
Duración de avenidas	1	NO
Estacionalidad de avenidas (eval. Mensual)	0 meses (*)	NO (**)
Magnitud de las sequías habituales	1	NO
Duración de las sequías	0.14	SI
Estacionalidad de las sequías	12 meses (*)	SI (**)

(*) Numero de meses al año con IAH mensual ≤ 0.5

(**) IAH alterados si n° meses ≥ 3

N° de índices con alteración $\geq 50\% = 2$.

CLASIFICACIÓN: **SIN CLASIFICACIÓN.**

En ninguno de los dos casos se clasifico como masa de agua muy alterada.

Los niveles de alteración en su mayor parte fueron clasificados como NIVEL I, esto significa Nulo o bajo grado de afectación.

El peor caso se da en los años clasificados como secos, en estos el nivel de alteración es IV, esto implica un grado de afectación alto. Sin embargo debe destacarse que los años secos son 5 en la serie total de 19.

Se concluye así que el impacto de la represa en el escurrimiento superficial será **admisibile**.

8.4. Daños materiales y no materiales producidos por la rotura de la represa

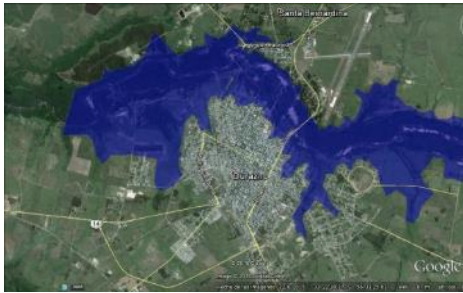
Curvas de inundación producidas por la rotura de la represa

Tal y como se observa en el informe central del proyecto se modeló la eventual rotura de la represa mediante el software HEC-RAS 5.0. Se modelaron así, diferentes escenarios de la rotura, ya sea porque la falla se da por el dique de materiales suelos o por el vertedero. También la condición inicial y la tormenta de diseño a la que se somete a la represa generan diferentes escenarios.

A continuación se presentan los diferentes escenarios modelados y sus correspondientes curvas de inundación tanto en la ciudad de Durazno como en el centro poblado de Polanco del Yí, ambos ubicados aguas debajo de la represa.

Escenario 1 – Rotura sin avenidas – Condición inicial a cota de vertedero

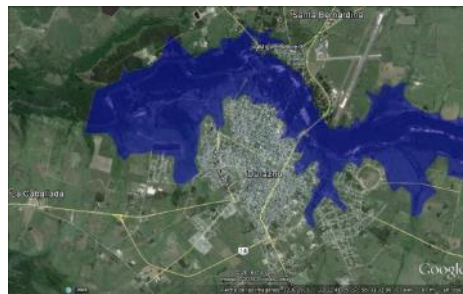
Escenario 1a – Falla de la presa de tierra



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	70.62
Nivel (m)	9.56
Velocidad cauce (m/s)	1.60
Velocidad planicie (m/s)	0.25
T Llegada onda (hs)	17
T Llegada pico (hs)	40

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	90.80
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	1.56
Velocidad planicie (m/s)	0.29
T Llegada onda (hs)	3
T Llegada pico (hs)	16

Escenario 1b – Falla del vertedero

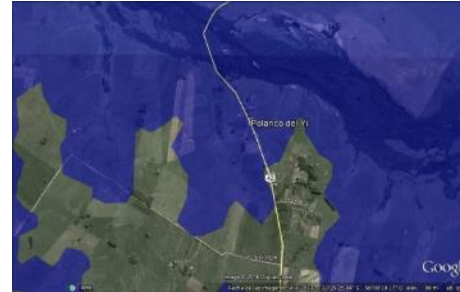
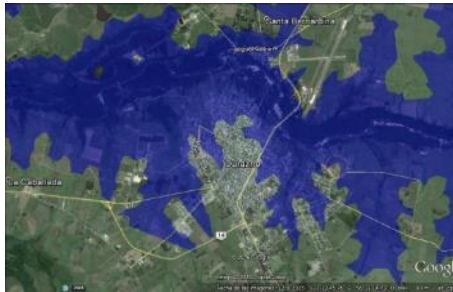


Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	70.38
Nivel (m)	9.77
Velocidad cauce (m/s)	1.55
Velocidad planicie (m/s)	0.22
T Llegada onda (hs)	16
T Llegada pico (hs)	42

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	89.88
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	1.45
Velocidad planicie (m/s)	0.25
T Llegada onda (hs)	2
T Llegada pico (hs)	23

Escenario 2 – Rotura con avenida de diseño Tr 1000 años – Condición inicial a cota de vertedero

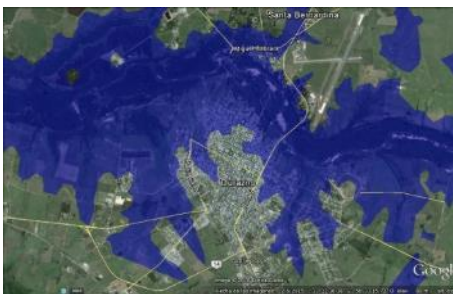
Escenario 2a – Falla de la presa de tierra



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	77.45
Nivel (m)	16.39
Velocidad cauce (m/s)	1.67
Velocidad planicie (m/s)	0.29
T Llegada onda (hs)	12
T Llegada pico (hs)	32

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	97.10
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	1.53
Velocidad planicie (m/s)	0.29
T Llegada onda (hs)	3
T Llegada pico (hs)	12

Escenario 2b – Falla del vertedero

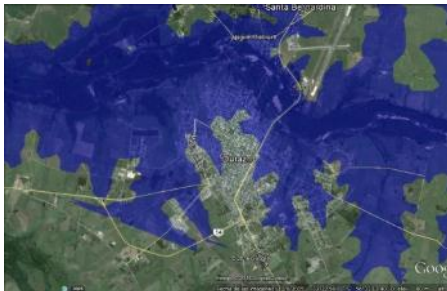


Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	76.63
Nivel (m)	15.57
Velocidad cauce (m/s)	1.67
Velocidad planicie (m/s)	0.29
T Llegada onda (hs)	13
T Llegada pico (hs)	41

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	97.10
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	1.53
Velocidad planicie (m/s)	0.28
T Llegada onda (hs)	2
T Llegada pico (hs)	20

Escenario 3 – Rotura con avenida extrema Tr 10000 años – Condición inicial a cota de vertedero

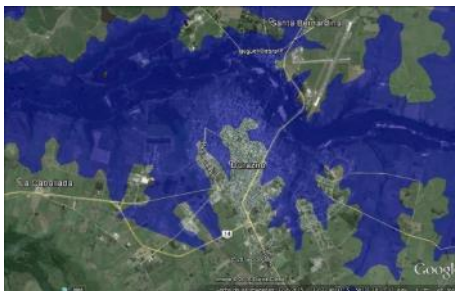
Escenario 3a – Falla de la presa de tierra



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	78.53
Nivel (m)	17.47
Velocidad cauce (m/s)	1.84
Velocidad planicie (m/s)	0.43
T Llegada onda (hs)	11
T Llegada pico (hs)	32

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	97.97
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	2.43
Velocidad planicie (m/s)	0.54
T Llegada onda (hs)	3
T Llegada pico (hs)	15

Escenario 3b – Falla del vertedero



Sección de medición	Puente Viejo
Cota (msnm)	78.11
Nivel (m)	17.05
Velocidad cauce (m/s)	0.91
Velocidad planicie (m/s)	0.21
T Llegada onda (hs)	12
T Llegada pico (hs)	75

Sección de medición	Ruta 42
Cota (msnm)	95.94
Nivel (m)	-
Velocidad cauce (m/s)	2.05
Velocidad planicie (m/s)	0.45
T Llegada onda (hs)	2
T Llegada pico (hs)	9

Concluyendo definimos que el peor escenario planteado es el 3a, correspondiente a la rotura de la presa de tierra con el embalse a cota de vertido y desaguardo la avenida extraordinaria.

Esta genera en la ciudad de Durazno sobre el puente de la ex Ruta 5 un nivel de agua de 17.47 m, 4.52 m por encima de la peor creciente ocurrida a la fecha (mayo 2007) que generó un nivel de 12.95 m en este mismo lugar.

Estimación de pérdidas de vida

Cuando una inundación por el fallo de la presa produce pérdida de vidas, ésta es claramente la consecuencia más grave, es la que mayor impacto tiene en la percepción pública del desastre. Por ello, es la consecuencia sobre la que se han realizado un mayor número de estudios y por lo tanto, que más metodologías hay disponibles para su estimación.

La pérdida de vidas es una consecuencia intangible que no puede ser estimada directamente en términos económicos. También se pueden considerar otros daños a las personas, como el número de heridos, aunque su cuantificación es más complicada.

Los métodos para la estimación de vidas proporcionarán un valor indicativo de la magnitud de la pérdida de vidas, pero no pueden dar un valor exacto, ya que en este proceso intervienen numerosas variables como el comportamiento de las personas, muy difíciles de modelar correctamente. Es importante entender las limitaciones de estos métodos, ya que se modelan un gran número de procesos complejos y la base de datos disponible de pérdida de vida en presas es bastante limitada.

Según Graham las principales causas de la incertidumbre en estos métodos son:

- El momento del fallo de la presa, del que dependerán las condiciones existentes (oscuridad, lluvia, etc.) y las personas expuestas a la inundación.
- La forma del aviso ante la inundación, ya que se desconoce cuándo se iniciará el aviso exactamente y como se propagará.
- La propia incertidumbre debida a las metodologías utilizadas para la estimación de la pérdida de vidas.

Si se estudian los datos disponibles de pérdida de vidas se puede observar que las tasas de mortalidad dentro de la población expuestas son bastante constantes en todo el mundo según el tipo de inundación. Otros aspectos que afectan también son la severidad de la inundación y el tiempo de aviso y de evacuación.

En general, la mayoría de metodologías actuales siguen el siguiente esquema:

- 1- Identificar un escenario particular a evaluar, que incluye el momento del día o del año y también la forma de rotura de la presa, ya que todo ello puede influir en los resultados.
- 2- Obtener datos de los mapas de inundaciones sobre las características de la inundación como velocidad del agua, profundidad, rapidez, duración, etc.
- 3- Determinar para el escenario evaluado cuándo y cómo se producen los mensajes de aviso a la población.
- 4- Determinar para los diferentes núcleos de población aguas abajo la diferencia de tiempo entre que empieza el aviso hasta que llega la onda de inundación, esto es lo que se conoce como tiempo de aviso.
- 5- Estimar el número de personas en cada una de las zonas en las que queda dividida el área inundada según las características de la inundación y el tiempo de aviso. Estas personas permanecerán en el área inundada porque no han sido avisadas o porque no han podido ser evacuadas.

- 6- La pérdida de vidas es estimada a partir de la población expuesta en cada zona usando tasas de mortalidad basadas en las características del flujo y de los posibles lugares de refugio (edificios, construcciones, etc.).

Metodología de Graham

Graham desarrolló un método para la estimación de la pérdida de vidas como consecuencia del fallo de una presa a partir de tasas de mortalidad fijas.

El método de Graham propone unas tasas de mortalidad fijas que se aplican a la población dentro de la zona inundada por el fallo de una presa. Estas tasas de mortalidad dependen de tres factores:

Severidad de la inundación: Muestra el grado de destrucción de las edificaciones y los refugios, por lo que es función de la altura de la lámina de agua.

Tiempo de aviso: Tiempo transcurrido entre que se produce el primer aviso a la población y el frente de inundación alcanza a la población. Por lo tanto, es un indicador del tiempo disponible para evacuar o proteger a la población.

Entendimiento de la severidad de la inundación: Para incluir el conocimiento de la población de las posibles consecuencias y su estado de alerta ante una posible inundación.

En función de estos tres valores, Graham propone las tasas de mortalidad que aparecen en la siguiente tabla.

Tabla 8.4-1 - Tasas para estimar la pérdida de vidas resultante de una inundación

Severidad de la inundación	Tiempo de aviso (minutos)	Entendimiento de la severidad	Tasa para estimar víctimas (fracción de las personas expuestas)	
			Valor sugerido	Rango sugerido
Alta	Sin aviso	No aplica	0.75	0.3-1.00
	15 a 60	Vago Preciso	* Utilizar los valores de arriba aplicados al número de personas que permanecen en la zona de inundación luego de ser avisadas. No se proporciona una guía para la estimación de ese grupo de personas.	
	Más de 60	Vago Preciso		
Media	Sin aviso	No aplica	0.15	0.03-0.35
	15 a 60	Vago Preciso	0.04 0.02	0.01-0.08 0.005-0.04
	Más de 60	Vago Preciso	0.03 0.01	0.005-0.06 0.002-0.02
Baja	Sin aviso	No aplica	0.01	0-0.02
	15 a 60	Vago Preciso	0.007 0.002	0-0.015 0-0.004
	Más de 60	Vago Preciso	0.0003 0.0002	0-0.0006 0-0.0004

Escenario de rotura

Por consiguiente, el primer paso de cualquier metodología es la definición de los posibles escenarios de estudio. Este paso consiste en definir las características de la situación en la que se produce el fallo de presa que pueden influenciar a los resultados.

En nuestro caso se define previamente que el escenario de rotura a evaluar responderá a la rotura de la presa de tierra cuando ocurre una tormenta de diseño de 10.000 años de período de retorno.

En cuanto al momento del día se asume que ocurrirá durante la noche, situación más desfavorable ya que durante la noche los procesos de aviso y evacuación son más lentos. Las personas se encontrarán mayoritariamente en las zonas residenciales en el horario nocturno.

La estación del año, particularmente en Polanco del Yí y en la ciudad de Durazno no tiene gran influencia al momento de la rotura. Esta condición es de mayor significancia en ciudades con grandes variaciones de población de invierno a verano, como en las ciudades turísticas.

El modo de fallo, que influye en la forma de aviso y el entendimiento de la severidad por parte de la población, se define como un fallo producido por el sobrevertido que dura 3 horas abriendo una brecha de trapezoidal de aproximadamente 200 m de ancho en la presa de tierra.

Población en riesgo

En primer lugar se estima la población en riesgo en la inundación. En este método se define la población en riesgo como la población que se encuentra en el área inundada cuando se produce el fallo de la presa.

En el centro poblado Polanco del Yí ubicado aguas abajo de la represa a unos 11 km la situación con la rotura de la represa implica la inundación total de las viviendas existentes. Se conoce de datos del Instituto Nacional de Estadística obtenidos del censo 2011 que en la localidad de Polanco del Yí habitan 38 personas.

En el caso de la ciudad de Durazno, al ser una ciudad con una población considerablemente mayor a Polanco del Yí, se evaluarán las viviendas afectadas por la rotura de la presa contabilizando la cantidad de padrones urbanos afectados y asumiendo la existencia de 1 vivienda por padrón.

Se obtuvo así un total de 6465 viviendas afectadas por la inundación en caso de ocurrir la rotura de la represa. Asumiendo una densidad de población de habitantes por vivienda totalizan una cantidad de 16.809 personas afectadas.

Severidad de la inundación

La severidad de la inundación, hace referencia al grado de destrucción de las edificaciones y el peligro para las personas, por lo que depende de las características de la inundación. En el método de Graham se divide la severidad en tres categorías:

Severidad alta: cuando la onda de inundación provoca una total destrucción de las edificaciones, provocando la muerte de la mayoría de las personas que se encuentran en el interior.

Severidad media: algunas edificaciones sufren daños importantes, especialmente las casas, aunque hay edificaciones y árboles que permanecen pudiendo servir como refugio.

Severidad baja: no hay edificios que sean completamente destruidos, habiendo solo daños superficiales.

Para definir el grado de severidad existen diferentes recomendaciones. Según Graham, una severidad alta solo es adecuada para zonas muy cercanas a la presa, que se vean afectadas por una gran onda de inundación muy rápidamente, en pocos minutos, con altas profundidades de inundación, siendo totalmente barrido cualquier rastro de vida humana. Por lo tanto, en la metodología de Graham no se recomiendan valores numéricos para definirla.

Según las recomendaciones de Graham, la severidad alta solo debe ser utilizada para presas de hormigón que rompen de forma instantánea, ya que para presas de materiales sueltos el desarrollo del fallo de la presa suele ser más gradual.

Respecto a la diferenciación entre el nivel medio y el nivel bajo de severidad, Graham recomienda para una primera aproximación, que se tome severidad media a partir 3 metros aproximadamente.

Como el escenario evaluado corresponde a la rotura del dique de tierra de la represa la severidad de la inundación no puede ser categorizada como alta.



Ilustración 8.4-1 - Mapa de calado de agua sobre la ciudad de Durazno

Observando el calado de agua presentado en la ilustración anterior se categoriza a la inundación en la ciudad de Durazno como de severidad media por tener calados por encima de 3 m en gran parte de la inundación.

De igual manera se obtiene que, para la localidad de Polanco del Yí, la severidad de la inundación será media.

Tiempo de aviso

El siguiente paso es definir el tiempo de aviso, que corresponde al tiempo entre que se realiza el aviso a la población y llega la onda de inundación a la población. Por lo tanto, hace referencia al tiempo que los habitantes tendrán para refugiarse o ser evacuados, y su correcta estimación es muy importante para obtener valores correctos.

En el método de Graham el tiempo de aviso también se divide en tres categorías:

Aviso inexistente: Cuando el tiempo de aviso es menor a 15 minutos. No hay aviso a la población, pues, no da tiempo a realizar un aviso por fuentes oficiales antes de la llegada de la inundación.

Aviso insuficiente: Cuando el tiempo de aviso está entre 15 y 60 minutos. En este caso se supone que se han realizado avisos oficiales antes de la llegada de la inundación. El aviso se difunde a algunas personas a través de las cadenas de comunicación, aunque no toda la población es avisada correctamente.

Aviso suficiente: Cuando el tiempo de aviso es mayor a 60 minutos. Se supone que se ha realizado un aviso adecuado a la población antes de la llegada de la onda de inundación. La mayoría de las personas en riesgo conocen que se aproxima la inundación.

Para presas de materiales sueltos, Graham desarrolló la siguiente tabla, que explica cómo calcular el momento en que se empieza a producir el aviso. A partir de esta tabla el tiempo de aviso en cada población podrá ser estimado fácilmente al ser la diferencia entre el tiempo en el que llega la onda de inundación y el momento en el que se inicia el aviso.

Tabla 8.4-2 - Estimación del tiempo de inicio de los avisos ante el fallo en presas de materiales sueltos

Modo de fallo	Otras consideraciones	Momento de fallo	Tiempo de inicio del aviso	
			Varios observadores en la presa	No hay observadores en la presa
Sobrevvertido	Área de cuenca aguas arriba menor de 260 km ²	Día	15 min antes del fallo de la presa	15 min después de que la onda de inundación llegue a una zona poblada
		Noche	15 min después del fallo de la presa	60 min después de que la onda de inundación llegue a una zona poblada
	Área de cuenca aguas arriba mayor de 260 km ²	Día	120 min antes del fallo de la presa	60 min antes del fallo de la presa
		Noche	Entre 60 y 120 min antes del fallo de la presa	Entre 0 y 60 min antes del fallo de la presa
Erosión interna		Día	60 min antes del fallo de la presa	15 min después de que la onda de inundación llegue a una zona poblada
		Noche	30 min después del fallo de la presa	60 min después de que la onda de inundación llegue a una zona poblada
Sísmico	Fallo instantáneo	Día	15 min después del fallo de la presa	15 min después de que la onda de inundación llegue a una zona poblada
		Noche	30 min después del fallo de la presa	60 min después de que la onda de inundación llegue a una zona poblada
	Fallo no instantáneo	Día	120 min antes del fallo de la presa	30 min después de que la onda de inundación llegue a una zona poblada
		Noche	120 min antes del fallo de la presa	30 min después de que la onda de inundación llegue a una zona poblada

El escenario evaluado corresponde a la falla por sobrevvertido. El área de la cuenca aguas arriba de la represa tiene una superficie de 4.821 km². La rotura se asume que se dará durante la noche y que la represa por su magnitud e importancia tendrá varios observadores.

Como resultado de estas hipótesis al entrar en la tabla anterior se obtiene un tiempo de inicio del aviso de entre 60 y 120 minutos. Asumiendo la situación más desfavorable se utiliza el valor de 120 minutos como tiempo de inicio del aviso.

Tabla 8.4-3 - Tiempos de aviso

Ciudad	Tiempo de llegada onda (horas)	Tiempo de inicio del aviso (horas)	Tiempo de aviso (horas)
Durazno	3	2	1
Polanco del Yí	11	2	9

Entendimiento de la severidad de la inundación

La última característica de la inundación que debe definirse en el método desarrollado por Graham es el entendimiento de la severidad de la inundación, que depende enormemente del tipo de mensajes de aviso que se realicen y de cómo la población los asimile. Se definen dos categorías:

Entendimiento vago: cuando los habitantes que reciben el aviso no han visto el evento de inundación o no comprenden la magnitud de la inundación que va a suceder.

Entendimiento preciso: los habitantes entienden correctamente los mensajes de aviso y comprenden la magnitud de la inundación.

El USBR recomienda tomar entendimiento preciso de la severidad siempre que hay un Plan de Emergencia implantado en la presa, ya que entonces, se supone que las autoridades sabrán cómo actuar para transmitir los mensajes correctamente y, por lo tanto, la población entenderá la severidad.

Las poblaciones del departamento de Durazno, y en mayor medida la ciudad de Durazno, tienen un gran entendimiento en lo que a inundaciones respecta ya que han sufrido fenómenos desde sus comienzos. Esto ayudará al entendimiento preciso de los habitantes frente al mensaje de aviso.

En la actualidad existe un Sistema de Alerta Temprana para la ciudad de Durazno el cual da un indicio del grado de entendimiento que la población tiene sobre las alertas de inundación.

Es por estos motivos que se define que el entendimiento de la población será preciso.

Resultados

En resumen las variables definidas por Graham serán las siguientes para cada una de las poblaciones:

Tabla 8.4-4 - Variables del modelo de Graham

Localidad	Población en riesgo (hab)	Severidad de la inundación	Tiempo de aviso (horas)	Entendimiento de la severidad
Durazno	16.809	Severidad media	1	Preciso
Polanco del Yí	38	Severidad media	9	Preciso

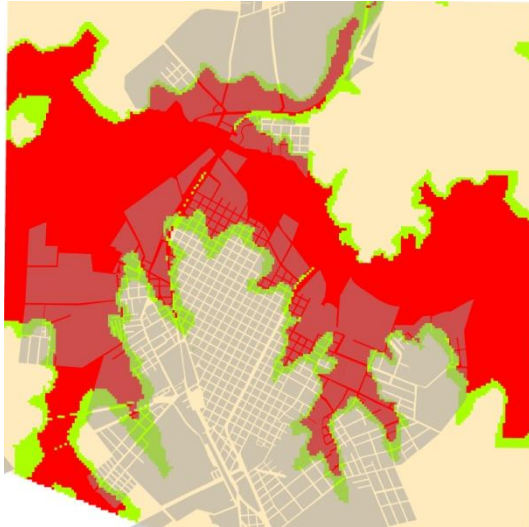
A partir de estas variables se obtiene de la Tabla 8.4-1 que la tasa de mortalidad para la localidad de Polanco del Yí será de 0.02 muertes por cada habitante en riesgo. Considerando que la población en riesgo es de 38 personas se puede decir que las pérdidas de vidas en esta localidad corresponden a 1 habitante.

Para la ciudad de Durazno la tasa de mortalidad será de 0.01, que considerando una población en riesgo de 16.809 habitantes el número de muertes asciende a 168 personas.

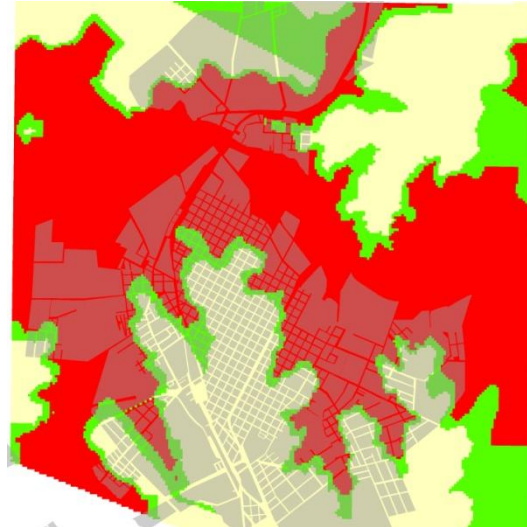
Es de gran relevancia destacar que si bien es alto el número de muertes en caso de ocurrir la rotura de la presa al alcanzarla una tormenta de 10.000 años de período de

retorno, la inundación con la ocurrencia de la tormenta de 10.000 años sin existir rotura podría generar afectaciones similares.

A modo de comparación se muestran los mapas de calados en la situación de ocurrencia de la tormenta de 10.000 años con y sin rotura de la represa.



Mapa de calado tormenta Tr 10000 sin rotura de presa



Mapa de calado tormenta Tr 10000 con rotura de presa

Se observa que en ambos escenarios el mapa de inundaciones es similar por lo que no es tan desacertado decir que las consecuencias serán similares.

Estimación de consecuencias económicas directas

En lo que sigue se calculan los daños económicos directos y tangibles provocados por la onda de inundación, incluyendo los daños a las viviendas, a la industria y el comercio, a las edificaciones, a las infraestructuras y los servicios, a la agricultura, etc.

En general, los métodos actuales para la estimación de las consecuencias directas constan de dos pasos. El primero es estimar el valor total del uso del suelo, es decir, cuáles serían los costos económicos si las construcciones y cultivos que hay sobre el suelo quedarán totalmente destruidos debido a la inundación. El segundo paso consiste en aplicar a estos costos una curva calado-daños, que relaciona el calado máximo de la inundación con el grado de destrucción asociado. De esta forma, multiplicando el grado de destrucción por los costos económicos de una destrucción máxima se obtienen las consecuencias económicas de la inundación. Por lo tanto, para aplicar esta metodología se partirá de los mapas de usos del suelo y de los mapas de inundación que muestren el calado en cada punto.

Estimación del valor del uso del suelo

Para estimar el valor del uso del suelo se utiliza la zonificación de atributos del suelo propuesta por el Plan Local de la ciudad de Durazno³⁹. Se observa en la ilustración que

³⁹ Instrumento de Ordenamiento Territorial – Proyecto de Plan Local de la ciudad de Durazno – Diciembre 2012

sigue las zonas marcadas por su atributo que quedan inundadas luego de la rotura de la presa.

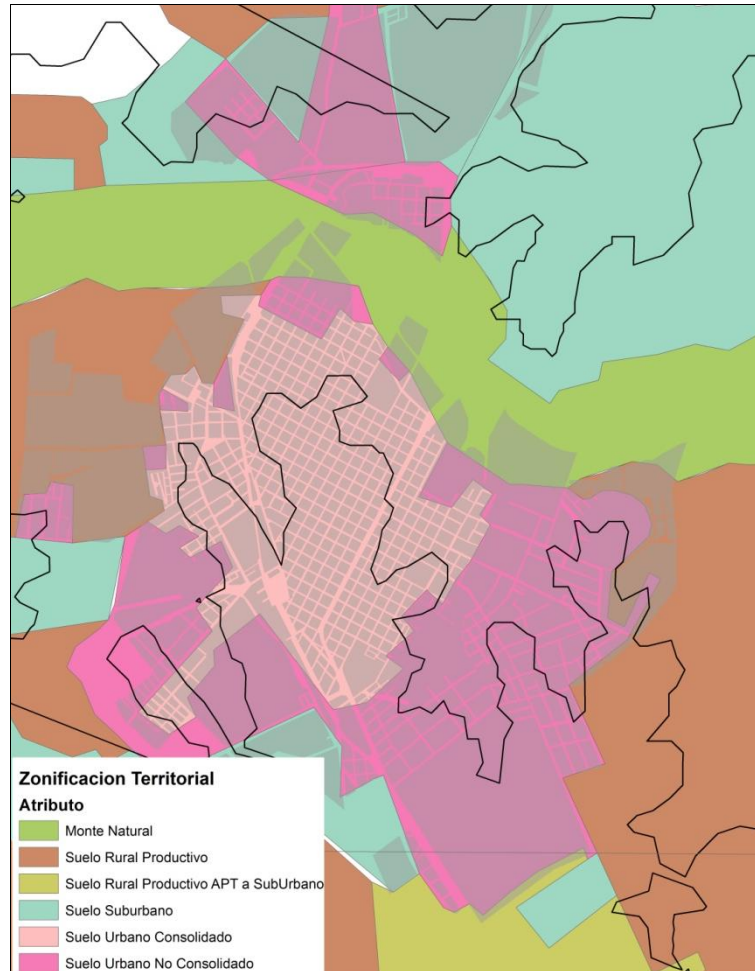


Ilustración 8.4-2 - Zonificación Territorial de la superficie inundada en la ciudad de Durazno

Tabla 8.4-5 - Superficies inundadas por atributo en la ciudad de Durazno

Atributo	Superficie (ha)	Precio (U\$S)
Monte Natural	1043	-
Suelo Rural Productivo	1623	3.300*
Suelo Rural Productivo APT a SubUrbano	16	3.300*
Suelo Suburbano	722	50.000**
Suelo Urbano Consolidado	279	100.000**
Suelo Urbano No Consolidado	592	70.000**
*Precio en dólares americanos por há de suelo		
**Precio en dólares americanos por vivienda		

Los precios presentados en la tabla consideran que, los suelos con atributo rural productivo sean o no transformable a suburbano no presentan viviendas ni edificios construidos en ellos. Los suelos suburbanos presentan por padrón una vivienda cuyo valor asciende a los U\$S 50.000, los urbanos no consolidados de igual manera

consideran una vivienda por padrón de valor U\$S 70.000 y los urbanos consolidados una vivienda por padrón de valor U\$S 100.000.

Se observa además que en la ciudad de Durazno luego de la rotura de la presa se inundan tanto la planta de tratamiento de agua potable como la de aguas residuales. Es importante mencionar que queda fuera de la inundación el tanque intermedio de abastecimiento de agua potable a la ciudad, lo cual podrá permitir el abastecimiento durante algunos días si es que el mismo tiene prevista una reserva de agua. Es de destacar que en el escenario de ocurrir la avenida extrema de 10.000 años de período de retorno ambas plantas de tratamiento quedan anegadas, aunque no ocurriese la rotura de la represa.



Ilustración 8.4-3 - Planta de tratamiento de efluentes y agua potable inundadas luego de la rotura

Se asume para la ciudad de Polanco del Yí que toda la zona inundada corresponde a suelo categorizado como suburbano. Y del último censo nacional⁴⁰ se conoce la existencia de 44 viviendas.

A modo de resumen se presenta la siguiente tabla con el costo en caso de ocurrir la destrucción total de suelos.

⁴⁰ Instituto Nacional de Estadística (INE) - Censos 2011.

Tabla XX – Costo de destrucción total en caso de inundación por rotura de la presa

Localidad	Atributo	Superficie (ha)	Cantidad de Padrones	Precio Unitario (U\$S)	Costo destrucción total (U\$S)
Durazno	Suelo Rural Productivo	1623	-	3,000	4,869,000
	Suelo Rural Productivo APT a SubUrbano	16	-	3,000	48,000
	Suelo Suburbano	-	81	50,000	4,050,000
	Suelo Urbano Consolidado	-	4370	100,000	437,000,000
	Suelo Urbano No Consolidado	-	2327	70,000	162,890,000
	Planta de tratamiento de efluentes	-	-	-	30,000,000
	Planta de tratamiento de agua potable	-	-	-	
Polanco del Yí	Suelo Suburbano	-	44	50,000	2,200,000
Total					641,057,000

Curva calado-daños

Luego de conocer el valor económico de las consecuencias directas si se produjera una destrucción total de todos los usos del suelo, el siguiente paso es la estimación del grado de destrucción debido a la inundación. Para ello, la mayoría de las metodologías utilizan curvas calado-daños que relacionan la profundidad de la inundación con el grado de destrucción alcanzado. Se utiliza la profundidad porque es el rasgo de la inundación que mejor define las consecuencias que ésta produce, aunque hay otras características como el tiempo de aviso y la duración de la inundación que también pueden influir en las consecuencias.

En lo que sigue se utiliza la siguiente curva calado-daños utilizada en Alemania.

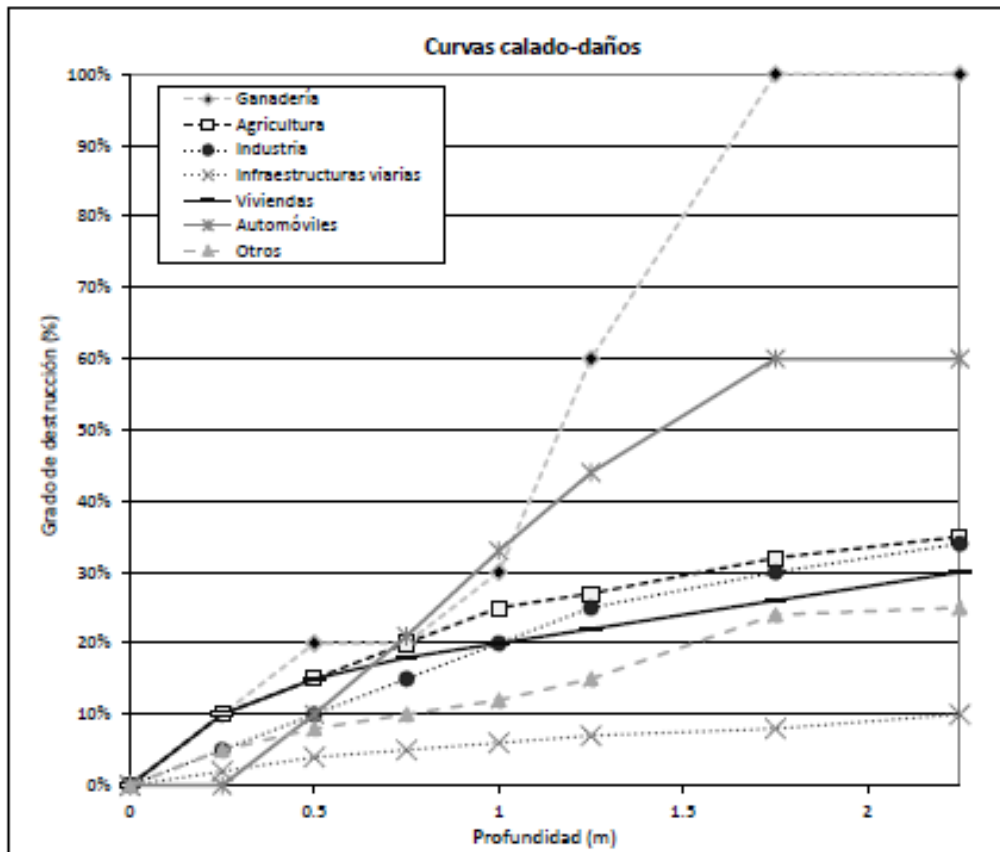


Ilustración 8.4-4 -- Curva calado – daños para diferentes usos del suelo en Alemania⁴¹

Para el cálculo del grado de destrucción se utilizarán las curvas presentadas anteriormente de Grado de Destrucción en Agricultura y en Viviendas. Se asume que en las viviendas rurales, por ser padrones con superficies relativamente pequeñas, se realiza como actividad la agricultura intensiva y no la ganadería.

Como en el escenario analizado el calado en la mayoría de las zonas supera los 3 m, se utiliza el grado de destrucción máximo en cada caso. Para la Agricultura este valor será del 100 % y para las viviendas del 30%. En el caso de las plantas de tratamiento se asume en ellas un grado de destrucción del 70% considerando que su equipamiento e infraestructuras son de gran complejidad y requieren el mantenimiento adecuado, pudiendo la inundación provocar consecuencias más destructoras que en el caso de una vivienda.

En estas condiciones los gastos económicos serán los siguientes.

⁴¹ Extraída de Guía Técnica de Seguridad de Presas – Análisis de Riesgo Aplicado a la Gestión de Seguridad de Presas y Embalses – Tomo I

Tabla 8.4-6 Pérdidas económicas directas

Uso del suelo		Costo destrucción total (U\$S)	Porcentaje de destrucción	Pérdidas (U\$S)
Agricultura	Suelo Rural Productivo	4,869,000	100%	4,869,000
	Suelo Rural Productivo APT a SubUrbano	48,000	100%	48,000
Viviendas	Suelo Suburbano	6,250,000	30%	1,875,000
	Suelo Urbano Consolidado	437,000,000	30%	131,100,000
	Suelo Urbano No Consolidado	162,890,000	30%	48,867,000
Plantas de tratamiento	-	30,000,000	70%	21,000,000
Total				207,759,000

Conclusión

Si bien se considera que los impactos determinados por el modelo son de gran relevancia, se deberá contar con un plan de contingencia de manera de, en primer lugar disminuir la probabilidad de que ocurra y en segundo lugar en caso de ocurrencia minimizar los impactos.

Es importante aclarar además que las condiciones de rotura evaluadas son las más desfavorables ya que se considera que la misma se dará durante un evento de 10.000 años de período de retorno, evento con muy baja probabilidad de ocurrencia.

No caben dudas que, la rotura producida por eventos con menor tiempo de retorno, o incluso la rotura sin evento de precipitación alguna, dará impactos de menor magnitud.

En el Capítulo 10 de este informe se presentan los lineamientos para elaborar el Plan de Contingencia para la rotura de la represa.

8.5. Falsa sensación de seguridad

Dentro de la modificación del régimen natural de caudales que introduce el embalse, uno de los efectos más notorios es el de la laminación de los grandes volúmenes de agua, y así la reducción en frecuencia, intensidad y duración de los episodios de crecidas.

Además de las consecuencias para el medio natural, existe la problemática humana de aumento de vulnerabilidad por la ocupación de los suelos inundable, frente a avenidas que el embalse no es capaz de absorber.

La laminación de las avenidas por medios estructurales produce una percepción menor del riesgo por parte de la población, que se traduce en una modificación de la peligrosidad de las crecidas y un aumento de la vulnerabilidad por la ocupación de los terrenos inundables a partir de una sensación de falsa seguridad.

Si bien la construcción de la represa, tomada como una medida estructural para el control de las inundaciones en la ciudad de Durazno, podrá brindar beneficios en este aspecto, será de igual o mayor importancia poder contar con medidas no estructurales complementarias.

Esta herramienta no estructural deberá evitar la ocupación no deseada del área inundable. Es por ello que se propone la elaboración de un Sistema de Cartografía de Zonas Inundables que contemple las zonas inundables y sus posibles riesgos, no permitiendo que sean ocupadas por parte de la población bajo ninguna circunstancia.

Es indispensable tener en cuenta que la mitigación del impacto de las crecidas requerirá de zonificación y relocalización de la población con mayor vulnerabilidad ante las inundaciones.

Esto va más allá de cualquier medida estructural que se pueda tomar, dado que es necesario no tener viviendas ni servicios públicos en las zonas que se inundan con períodos de retorno relativamente bajos.

Las zonas inundables podrían utilizarse para construir espacios recreativos tales como parques, ramblas, espacios deportivos, etc. Estas deberían ser obras que estén preparadas para la posibilidad de quedar bajo agua. Asimismo, no deben obstruir el flujo normal del río Yí en los eventos de crecidas.

Se presenta a continuación la zonificación propuesta, donde se definen las siguientes zonas en función de la recurrencia de los eventos que provocan la inundación:

- Zona de Alto Riesgo – Superficie anegada hasta la línea de inundación provocada por una tormenta de 2 años de período de retorno con la existencia de la represa.
- Zona de Medio Riesgo – Superficie anegada entre la línea de inundación provocada por una tormenta de 2 años de período de retorno con la existencia de la represa y la provocada por una tormenta de 100 años de período de retorno.
- Zona de Bajo Riesgo – Superficie anegada entre la línea de inundación provocada por una tormenta de 100 años de período de retorno con la

existencia de la represa y la provocada por una tormenta de 1000 años de período de retorno

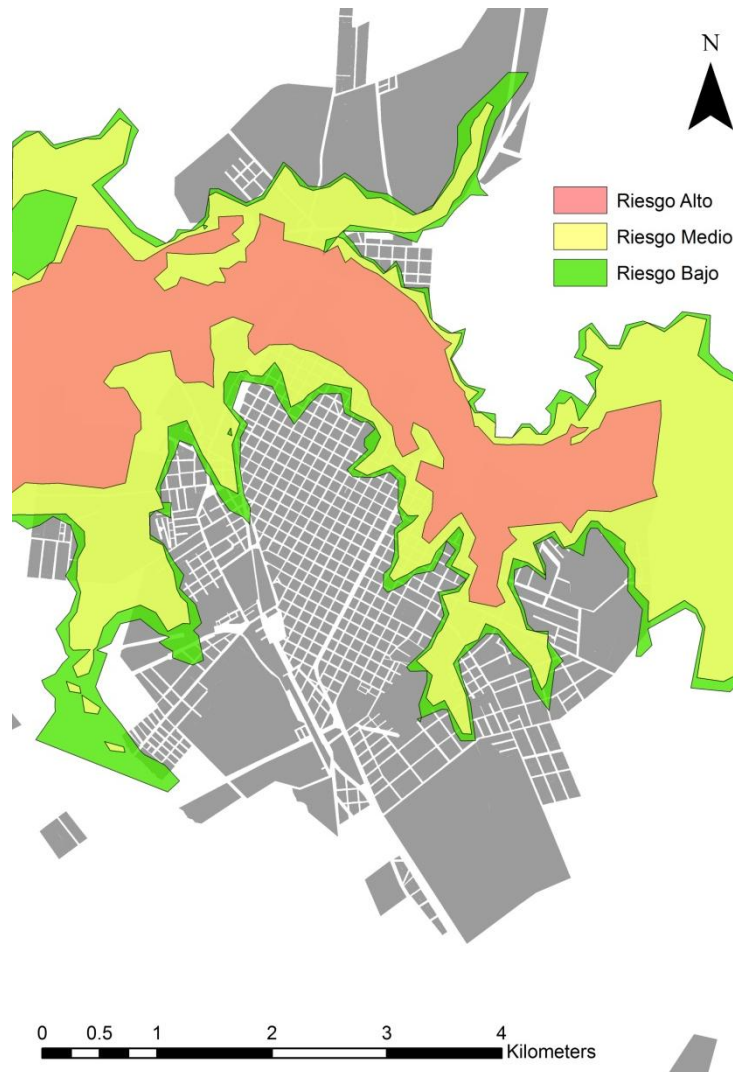


Ilustración 8.5-1 - Figura Zonificación Territorial para la ciudad de Durazno

En la zona de riesgo alto, indicada en color rojo en la ilustración, se deberá realojar a toda la población que la ocupa, demoliendo las viviendas de manera de evitar el regreso de los mismos ocupantes o de nuevos. No podrá existir en ella ningún tipo de infraestructura pública tal como lo son las plantas de tratamiento de efluentes y de agua potable de la ciudad ya que su anegación provocará problemas en los servicios así como daños al equipamiento y la edificación de las mismas.

La zona de riesgo medio (marcada con color amarillo) si bien posiblemente sufrirá menor frecuencia de anegaciones será una zona de gran relevancia ya que como se observa en la ilustración incluye en ella gran parte del fraccionamiento urbano de la ciudad. En esta superficie se propone de igual manera el realojo de la población existente y la posterior demolición de las viviendas para evitar la ocupación de las mismas. De manera de utilizar la superficie sin poner en riesgo a la población se plantea la utilización de esta zona para la construcción de espacios recreativos tales

como parques, ramblas, espacios deportivos, etc, las cuales deberían ser obras que estén preparadas para la posibilidad de quedar bajo agua.

En la zona de riesgo bajo se permitirá la existencia de viviendas pero se deberá tener especial comunicación con las personas que allí habiten, de modo de poder informarles con un tiempo prudencial ante la eventual crecida del río.

Conclusión

Se concluye que aplicando las medidas de ordenamiento territorial propuestas este impacto puede ser considerado **admisible**.

9. LINEAMIENTOS DEL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL (PGA)

9.1. Fase de construcción

9.1.1. Remoción de la cobertura vegetal

A continuación se detallan las distintas medidas de gestión a tener en cuenta de modo de evitar posibles impactos en la fase de remoción de la cobertura vegetal.

- ✓ Organizar los movimientos de maquinaria según curvas de nivel a los efectos de evitar la formación de surcos que encaucen las aguas de escorrentías hacia los cursos. Realizar los acopios transitorios en lugares que no obstruyan el drenaje local. Ambas medidas evitarán la modificación de la calidad de agua por arrastre de vegetación y sedimentos.
- ✓ Minimizar la remoción de cobertura vegetal y los movimientos de suelos en las zonas externas al embalse. Realizar la revegetación de taludes, terraplenes y superficies desnudas, inmediatamente luego de su formación.
- ✓ Identificar y caracterizar lo más exhaustivamente posible los ecosistemas del área afectada y enfatizar en conocer las especies y dimensionar las poblaciones de las especies prioritarias.

En el caso de que sea viable realizar el traslado de las especies o ejemplares que lo ameriten. Minimizar la remoción de la cobertura vegetal y los movimientos de suelo en las zonas externas al embalse.

9.1.2. Desvío del río

La construcción de la central con embalse implicará la realización de obras en la zona donde el curso natural escurre, por lo que será necesaria su derivación temporal y parcial.

Se proponen las siguientes medidas de gestión para disminuir al máximo los posibles impactos generados por el desvío del río.

- ✓ Definir la nueva traza momentánea del río por zonas con menor capacidad de erosión.
- ✓ Realizar la revegetación de las superficies que hayan sido erosionadas con el desvío del cauce.
- ✓ Identificar y caracterizar lo más exhaustivamente posible los ecosistemas del área afectada y enfatizar en conocer las especies y dimensionar las poblaciones de las especies prioritarias. En el caso de que sea viable realizar el traslado de las especies o ejemplares que lo ameriten.

9.1.3. Residuos sólidos de obra

La generación de residuos sólidos en la fase de construcción podrá generar impactos directos sobre varios factores si no son gestionados de forma adecuada. En lo que sigue se presentan medidas de gestión ambiental para disminuir al máximo estos impactos.

- ✓ Controlar el cumplimiento de las medidas establecidas en el PGA de Construcción, en particular en lo referente al manejo de residuos sólidos.
- ✓ Verificar que las empresas tercerizadas encargadas del transporte, tratamiento y/o disposición final de los residuos cuenten con las autorizaciones correspondientes.
- ✓ En caso de contar con residuos peligrosos buscar gestores autorizados para recolectar, tratar y disponer los mismos de acuerdo a la normativa vigente.

9.1.4. Efluentes de obra

Los efluentes generados en una obra son en grandes líneas generados por el acopio de materiales, los lavados de obra y efluentes de tipo domésticos. Para su gestión se presentan los siguientes lineamientos.

- ✓ Controlar el cumplimiento de las medidas establecidas en el PGA de Construcción, en particular en lo referente al manejo de emisiones líquidas.
- ✓ Contar con un sistema de tratamiento y/o disposición final seguro de acuerdo a la normativa vigente.
- ✓ En particular para los efluentes domésticos se propone su gestión mediante la colocación de baños químicos y su posterior manejo.

9.1.5. Emisiones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera se podrán generar por la circulación de vehículos por caminería no asfaltada, por los gases de combustión de vehículos y maquinaria durante la fase de obra y por el movimiento de los materiales de construcción, entre otros.

Para disminuir las emisiones a la atmósfera se proponen las siguientes medidas de gestión ambiental.

- ✓ Riego de las áreas donde se efectúa movimientos de material con la finalidad de favorecer la aglomeración del material particulado y su asentamiento.
- ✓ Riego de la caminería interna para evitar que el polvo sedimentado en las vías de circulación sea arrastrado con el paso de los vehículos.
- ✓ Corroboración periódica del correcto funcionamiento y condiciones de operación de los vehículos y la maquinaria a utilizar.
- ✓ Limitar la velocidad de circulación de los vehículos en los caminos de acceso.
- ✓ Controlar el estado de la caminería vial (pavimentos en buen estado y consolidados).
- ✓ Realizar el mantenimiento de la maquinaria en obra.
- ✓ Recubrir los acopios para evitar el arrastre eólico del material.

9.1.6. Nivel sonoro

Durante la fase de construcción se tendrán diversas fuentes de generación de ruido que podrán generar molestias. Las principales fuentes de generación de ruido que se

identifican son el traslado del personal, el transporte y funcionamiento de la maquinaria a utilizar y el tránsito de camiones.

Para la minimización de su impacto se presentan las siguientes medidas de gestión.

- ✓ Controlar el estado de la maquinaria a los efectos de asegurar su correcto funcionamiento y minimización de emisiones sonoras.
- ✓ Restringir la jornada de trabajo al horario diurno y en días hábiles, a menos de excepciones fehacientemente justificadas.
- ✓ Controlar el estado de la maquinaria a los efectos de asegurar su correcto funcionamiento y minimización de emisiones sonoras.

9.1.7. Tránsito inducido

Habrán un incremento del tránsito en la zona debido principalmente al transporte de materiales de construcción y suministros hacia la zona de implantación de la PCH, además del transporte de los trabajadores de la obra. Este aumento podrá generar diversos impactos por lo que se propone sea gestionado mediante estas premisas.

- ✓ Informar a las autoridades competentes el tránsito de vehículos pesados.
- ✓ Coordinar con las autoridades competentes los factores determinantes de la seguridad vial (señalización de curvas, límites de velocidad, entradas y salidas de camiones, etc., y estado del pavimento).
- ✓ Respetar y controlar los límites de velocidad.
- ✓ Evitar el tránsito pesado en rutas o caminos no aptos para ello.

9.1.8. Contingencia – Derrame de sustancias peligrosas

El derrame de sustancias peligrosas está referido a la ocurrencia de vertimientos de combustibles, lubricantes u otros elementos peligrosos tanto en su transporte como en el manejo en el obrador.

Para su gestión se presentan los siguientes lineamientos para la realización de un correcto plan de contingencias.

- ✓ Elaboración de un programa de mantenimiento preventivo.
- ✓ Recipientes estancos para contener eventuales derrames en las tareas de trasvase y cambio de aceite.
- ✓ Sitio de acopio sobre suelo protegido con medidas de prevención y control de derrames.
- ✓ Si hubiera residuos contaminados con hidrocarburos los mismos no se deben disponer con los residuos asimilables a domésticos, debiéndose buscar gestores autorizados para su gestión. A su vez, los envases de hidrocarburos usados deberán gestionarse en conjunto con otros residuos contaminados con hidrocarburos. Se debe almacenar los registros de envases de hidrocarburos.

9.1.9. Contingencia – Creciente del río durante la construcción

Son conocidas los frecuentes desbordes del río Yí, situación que de suceder durante la construcción de la represa podría generar que el río arrastre materiales y elementos de obra que modifiquen su calidad. En lo que sigue se presentan algunos lineamientos para la correcta gestión ambiental en este caso.

- ✓ Procurar que el obrador y los acopios de materiales se implanten a una distancia prudencial de la planicie.
- ✓ Evitar que la maquinaria quede cerca de esta en los períodos en que no se realizan actividades.

9.1.10. Explotación de canteras para la obtención de materiales para la construcción

El dique de la represa diseñada es, en su mayoría, un dique de materiales sueltos exceptuando la zona central donde se ubica el vertedero tipo Ogee de hormigón. Esto genera la necesidad de extracción de materiales tanto arcilla para su núcleo y dentellón como de materiales más gruesos para los espaldones e incluso de áridos para la conformación del hormigón en zonas cercanas.

Para procurar no generar impactos negativos sobre las zonas de extracción de materiales se proponen los lineamientos de buenas prácticas ambientales a llevar a cabo.

- ✓ En las canteras la contaminación del aire se produce por la emisión de pequeñas partículas de suelo y rocas producidas por el tránsito de maquinaria y camiones, el movimiento de tierra y las explosiones que quedan suspendidas en el aire. Como medidas principales para disminuir este impacto se proponen el riego de las áreas donde se efectúa movimientos de material con la finalidad de favorecer la aglomeración del material particulado y su asentamiento. Así como también el riego de la caminería interna para evitar que el polvo sedimentado en las vías de circulación sea arrastrado con el paso de los vehículos.
- ✓ En el caso de los gases de combustión estos son producidos por la combustión de los motores de los vehículos y maquinarias utilizados en la cantera y para ello se propone la corroboración periódica del correcto funcionamiento y condiciones de operación de los vehículos y la maquinaria a utilizar.
- ✓ Las actividades relacionadas al uso de maquinaria, vehículos y voladuras generan un aumento en la presión sonora sobre el medio es por ello que se trabajará en días laborales y en horarios diurnos.
- ✓ La remoción total o parcial del suelo durante la preparación del terreno para el desarrollo de la actividad extractiva podrá afectar la calidad del suelo por eliminación parcial o total de los mismos. De modo de disminuir este impacto se propone la minimización del tiempo de exposición y del área impactada, con la posterior recomposición del perfil de suelos donde sea factible. Para ellos se acopiarán en forma ordenada los suelos removidos, manteniendo el perfil para su posterior colocación, con énfasis en coberturas vegetales naturales.

- ✓ Restricción de la localización del área de explotación y de sus actividades asociadas a lo rigurosamente necesario.

9.2. Fase de operación

9.2.1. Inundación de la superficie anegada por el lago

La implantación de una central con embalse implicará necesariamente la inundación de tierras y el consiguiente desplazamiento de los productores y habitantes afectados hacia otras tierras disponibles. Como medida para gestionar esta situación se plantea contemplar la programación con un tiempo prudencial de la expropiación y compensaciones.

9.2.2. Eutroficación del agua embalsada

El cambio en las condiciones hidrológicas del curso de agua mediante la implantación del embalse, podrá afectar la calidad del agua del mismo, potenciando episodios de contaminación eutrófica y causando modificaciones en el tenor de oxígeno disuelto, pH, nutrientes y temperatura. Para disminuir los riesgos de eutroficación se proponen las siguientes medidas.

- ✓ Realizar estudios de línea de base, previo a la localización de la PCH, a los efectos de considerar los distintos usos y la calidad del cuerpo de agua, aguas arriba y aguas abajo del punto de implantación de la presa.
- ✓ Limpiar la vegetación en la zona a inundar previo al llenado del lago (ya que la calidad del cuerpo de agua puede verse modificada por la presencia de biomasa en las áreas anegadas).
- ✓ Limitar el tiempo de retención del agua en el reservorio.
- ✓ Controlar la fuente mediante el control de la aplicación de fertilizantes en los campos de la cuenca de aporte del lago, apuntando a la dosis necesaria de fertilizante y no a la fertilización por exceso.
- ✓ El control físico o contención de la vegetación flotante es eficaz pero impone un costo alto y recurrente.
- ✓ Evitar el uso de plaguicidas para controlar la presencia de vegetación flotante.

9.2.3. Modificación del nivel freático en suelos adyacentes

La presencia del embalse podrá provocar modificaciones en el nivel freático de la zona que lo rodea, tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa. Al inundarse el valle, parte del agua embalsada se infiltra a través de las paredes del vaso pasando a formar parte de las aguas subterráneas. Este aumento del nivel freático y los cambios en la dirección del flujo subterráneo, podrán provocar el anegamiento de zonas cercanas, afectando a los usos a los que tradicionalmente estuvieran dedicadas.

Para gestionar el impacto generado se deberán realizar estudios previos a los efectos de determinar cómo la presencia física del embalse puede afectar el nivel freático y causar el encharcamiento de zonas cercanas a la represa.

9.2.4. Manejo de caudales en la operación de la represa

La descarga de caudales de la represa tanto por la operación normal de las turbinas o por la descarga mediante el vertedero de excedencias podrá generar diversos impactos sobre todo en las zonas aguas abajo de la descarga. Para minimizar sus efectos se proponen las siguientes medidas de gestión.

- ✓ Se prevé en el proyecto la construcción de disipadores de energía aguas abajo de la represa que permitan disminuir la velocidad del agua, evitando en gran medida la erosión del lecho.

9.2.5. Efecto barrera

La presa constituirá una barrera física para los peces y la biota acuática en general, impidiendo su libre movilidad aguas arriba y aguas abajo de la represa. Como medidas de gestión para atenuar los impactos provocados se proponen las siguientes.

- ✓ En todo momento asegurar la circulación del caudal ecológico mediante la regulación de turbinas, vertederos o descargadores de fondo.
- ✓ Implementar instalaciones de paso de peces (escalas de peces, elevadores, etc.), para ayudar al movimiento migratorio de peces hacia aguas arriba de la presa.
- ✓ Generar criaderos de peces; pueden ser útiles para mantener las poblaciones de especie nativas que pueden sobrevivir pero no reproducirse satisfactoriamente dentro del embalse.

9.2.6. Efluentes en la operación y generación de residuos sólidos

Los principales efluentes generados durante la operación de la represa son de tipo industriales y domésticos. Para disminuir sus impactos ambientales y los correspondientes a los residuos sólidos generados se proponen las siguientes medidas de gestión.

- ✓ Controlar el cumplimiento de las medidas establecidas en el PGA de operación, en particular en lo referente al manejo de emisiones líquidas y residuos sólidos.
- ✓ Contar con un sistema de tratamiento y/o disposición final seguro, de acuerdo a la normativa vigente.
- ✓ Verificar que las empresas tercerizadas encargadas del transporte, tratamiento y/o disposición final de residuos cuenten con las autorizaciones correspondientes.
- ✓ En el caso de contar con residuos peligrosos, buscar gestores autorizados para recolectar, tratar y disponer los mismos, de acuerdo a la normativa vigente.

9.2.7. Nivel sonoro

Durante la fase de operación el funcionamiento de las turbinas, generadores y demás equipos electromecánicos incrementará el nivel sonoro de la zona.

Para minimizar los impactos tanto sobre la población como sobre la fauna se proponen las siguientes medidas.

- ✓ Aislamiento acústico de la central, de forma de minimizar las emisiones sonoras al exterior.
- ✓ Mantenimiento periódico del equipo electromecánico.

9.2.8. Percepción social

La construcción de una obra de estas características puede generar una mala recepción por parte de la población local para su mitigación se propone realizar campañas de difusión e información a la población explicando las características del proyecto.

9.2.9. Implantación de las líneas eléctricas

La presencia física de las líneas de transmisión eléctrica genera por si misma diversos impactos los cuales deberán ser gestionados para disminuir su efecto sobre los diversos factores.

- ✓ Se considera riesgosa al implantación de viviendas en las zonas adyacentes a las líneas de energía eléctrica de alto voltaje por lo que el uso de suelo para viviendas se verá limitado. Para minimizar este impacto se propone la planificación del desarrollo del uso del suelo en la zona de los corredores de las líneas de energía eléctrica.

9.3. Fase de clausura

9.3.1. Escurrimiento de lixiviados

Como consecuencia de las actividades de excavación y nivelación del terreno, el escurrimiento superficial generado por la precipitación en el área de implantación de la obra podrá cargarse de sólidos. Esta carga de sólidos puede derivar a los cursos de agua afectando su calidad. Para minimizar este arrastre se proponen las siguientes medidas.

- ✓ Organizar los movimientos de maquinaria según curvas de nivel a los efectos de evitar la formación de surcos que encaucen las aguas de escorrentías hacia los cursos.
- ✓ Realizar los acopios transitorios en lugares que no obstruyan el drenaje local.

9.3.2. Efluentes y residuos sólidos

La generación de residuos sólidos y efluentes durante las actividades para el desmantelamiento de la central podrá generar impactos directos sobre la calidad del agua superficial sino son gestionados de forma adecuada. Para evitar dichos impactos se proponen las siguientes medidas.

- ✓ Controlar el cumplimiento de las medidas establecidas en el PGA de la fase abandono, en particular en lo referente al manejo de residuos sólidos y efluentes.
- ✓ Verificar que las empresas tercerizadas encargadas del transporte, tratamiento y/o disposición final de los residuos cuenten con las autorizaciones correspondientes.
- ✓ En caso de contar con residuos peligrosos buscar gestores autorizados para recolectar, tratar y disponer los mismo de acuerdo a la normativa vigente.

9.3.3. Emisiones a la atmósfera

Durante la fase de clausura el polvo se generará fundamentalmente en las actividades de desmantelamiento, demolición y retiro del hormigón, de equipos e instalaciones electromecánicas, entre otros, pudiendo alterar la calidad de aire de la zona. Los gases de combustión son producidos por la combustión de los motores de los vehículos y maquinarias utilizados en la obra y en el transporte de materiales y trabajadores. Para disminuir los efectos se proponen los siguientes lineamientos para su gestión.

- ✓ Riego de las áreas donde se efectúa movimientos de material con la finalidad de favorecer la aglomeración del material particulado y su asentamiento.
- ✓ Riego de la caminería interna para evitar que el polvo sedimentado en las vías de circulación sea arrastrado con el paso de los vehículos.
- ✓ Corroboración periódica del correcto funcionamiento y condiciones de operación de los vehículos y la maquinaria a utilizar.
- ✓ Limitar la velocidad de circulación de los vehículos en los caminos de acceso.
- ✓ Controlar el estado de la caminería vial (pavimentos en buen estado y consolidados).

- ✓ Realizar el mantenimiento de la maquinaria en obra.
- ✓ Recubrir los acopios para evitar el arrastre eólico del material.

9.3.4. Nivel sonoro

Las actividades relacionadas al uso de maquinaria, vehículos y voladuras generan un aumento en la presión sonora sobre el medio. De manera de disminuir los impactos se propone que se trabaje en días laborales y horarios diurnos y que se controle el estado de la maquinaria a los efectos de asegurar su correcto funcionamiento y minimización de las emisiones sonoras.

9.3.5. Tránsito inducido

Habrà un incremento del tránsito en la zona debido principalmente al transporte de materiales de construcción y suministros hacia la zona de implantación de la PCH, además del transporte de los trabajadores de la obra. Este aumento podrá generar diversos impactos por lo que se propone sea gestionado mediante estas premisas.

- ✓ Informar a las autoridades competentes el tránsito de vehículos pesados.
- ✓ Coordinar con las autoridades competentes los factores determinantes de la seguridad vial (señalización de curvas, límites de velocidad, entradas y salidas de camiones, etc., y estado del pavimento).
- ✓ Respetar y controlar los límites de velocidad.
- ✓ Evitar el tránsito pesado en rutas o caminos no aptos para ello.

10. Lineamientos para el plan de contingencia de rotura de la represa

Debido a la gran importancia que tiene la seguridad en todas las fases de la vida de una represa, se aplican desde hace bastantes años normativas encaminadas a reducir al máximo el riesgo de rotura. Como resultado de ello se han realizado evidentes progresos con la aplicación de criterios de seguridad más exigentes a lo largo del tiempo y se puede indicar que según las estadísticas de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) la probabilidad de rotura de una presa se ha reducido drásticamente en los últimos años, a nivel mundial.

Se han comenzado a aplicar en diversos países criterios de seguridad más exigentes a aquellas presas que, en caso de accidente, pudieran tener mayores consecuencias para la población situada aguas abajo. Esta aplicación de criterios selectivos exige clasificar las presas en función del riesgo potencial que pudiera derivarse de su posible rotura o de su funcionamiento incorrecto.

La represa diseñada fue clasificada como categoría A por encontrarse aguas arriba de la localidad de Polanco del Yí, a una distancia de 11 km en línea recta y aguas arriba de la ciudad de Durazno, a una distancia de 45 km también en línea recta.

El Plan de Contingencias puede enmarcarse dentro de las actuaciones preventivas en materia de seguridad de presas y debe entenderse como una medida de protección a la población que actúa de dos maneras:

- Por una parte, permite analizar las condiciones de seguridad de la presa y su entorno, reduciendo las posibilidades de generar riesgos.
- Y por otra parte, en caso de accidente, reducir al máximo sus consecuencias.

10.1. Contenido del Plan de Contingencia

10.1.1. Análisis de seguridad de la presa

10.1.1.1. Situaciones y fenómenos que pueden afectar la seguridad de la presa.

Como situaciones que pueden afectar la seguridad de la presa se destacan las siguientes:

- Avenidas, y en particular avenidas extremas.
- Comportamiento anormal de la presa, posibles anomalías en sus deformaciones, estado tensional, cimentación, filtraciones en la presa o en su cimientamiento, aparición de fisuración, erosión interna fracturación hidráulica o sifonamientos, etc.
- Anomalías en la operación o funcionamiento de los órganos de desagüe, erosiones y cavitaciones hidráulicas.
- Deslizamientos masivos en el embalse.
- Actos de Sabotaje y Vandalismo.

En general se tendrá en cuenta que el proceso de fallo o rotura de una presa es complejo, y que su ocurrencia puede darse por múltiples circunstancias.

10.1.1.2. Indicadores de emergencia

En lo que sigue se describirán los procedimientos y medios materiales y humanos para poder realizar una identificación fiable, y con el tiempo de antelación suficiente, de las diversas emergencias posibles que se puedan presentar.

Indicadores de eventos hidrológicos

Estos indicadores evidenciarán la ocurrencia de avenidas y en particular de avenidas extremas.

Al existir actualmente para la ciudad de Durazno el Sistema de Alerta Temprana para la prevención de inundaciones, el mismo permitirá prever la ocurrencia de una avenida extrema que pueda afectar la seguridad de la represa.

La represa fue diseñada para una avenida de 1.000 años de período de retorno y se definió que la misma fue capaz de recibir una avenida de 10.000 años de período de retorno sin ser sobrepasada por su dique. Es decir, se asumirá que la represa encontrándose en buenas condiciones respecto a su estructura podrá estar en riesgo en caso de ocurrir una avenida mayor a 10.000 años de período de retorno.

Sistemas de auscultación en operación

Las magnitudes a medir se dividen en variables de control externo o interno de la presa.

Dentro de las variables de control externos describimos a continuación las que normalmente se recomienda su medición.

- Meteorológicas y ambientales

Para la medición de variables meteorológicas y ambientales será necesaria la existencia de estaciones meteorológicas en lugares representativos del emplazamiento. Si bien actualmente se cuenta con una amplia red de estaciones meteorológicas convencionales y de 4 estaciones de telemetría sobre el río Yí, podría ser de gran utilidad la colocación de una estación en las cercanías del emplazamiento que permita conocer particularmente las variables meteorológicas en dicha zona. Algunas de estas variables podrán ser:

- Temperatura en el aire
- Temperatura en el agua del embalse
- Precipitaciones
- Viento

- Hidráulicas

Dentro de las variables hidráulicas se podrán auscultar los niveles de agua en el embalse y los caudales entrantes y salientes del embalse.

Para la medición de los **niveles del embalse** se recomienda que la misma se realice por dos procedimientos independientes. Estos son mediante escalas limnimétricas y mediante un limnímetro con señal eléctrica complementado con un registrador gráfico.

En presas como la tratada en este estudio, donde se prevén variaciones bruscas del nivel, se instalarán obligatoriamente indicadores de situaciones límite y de aviso.

Respecto a la medición de **caudales salientes del embalse**, la misma se realizará aguas debajo de la presa mediante aforos directos. La definición de estos aforos serán objeto de un proyecto de mediciones específicas.

Se puede complementar esta medición con los datos obtenidos de la producción de energía de las turbinas pero, si es posible, se recomienda la medición de caudal en el interior de tuberías mediante caudalímetros ultrasónicos o similares que permitirán una mejor precisión de la medición.

En lo que concierne a los **caudales entrantes al embalse** se determinarán, siempre que sea posible, basándose en mediciones realizadas en estaciones de aforo ubicadas en las entradas de ríos y arroyos que afluyen en el embalse y que no estén influenciados por el remanso del mismo.

Si esta medición no es posible se podrán obtener a partir de las curvas de volúmenes embalsados, de los caudales salientes y de los tiempos de referencia.

Por otro lado, están las variables de control interno que dependerán de si la presa es de hormigón o de materiales sueltos. Al contar la presa con un vertedero tipo Ogee de hormigón el mismo deberá ser tratado como una presa de gravedad, distinguiéndolo de la presa de materiales sueltos.

Entonces, las magnitudes a auscultar en el vertedero serán:

- Hidráulicas
 - Filtraciones recogidas en las galerías del vertedero
 - Subpresiones y niveles piezométricos en la base del vertedero
- Deformacionales
 - Desplazamientos absolutos horizontales y verticales
 - Desplazamiento relativo entre bloques y zonas claramente diferenciadas (por ejemplo estructura y cimientos)
 - Movimientos en juntas y fisuras
 - Giros
 - Movimientos y deformaciones en fallas y otros accidentes geológicos
 - Deformaciones en el hormigón
- Volumétricas
 - Cambios volumétricos del hormigón (expansión y retracción)

En la presa de materiales sueltos las variables a medir serán:

- Hidráulicas
 - Filtraciones recogidas en los drenes de la presa
 - Filtraciones aguas abajo de la presa
 - Niveles piezométricos en la cimentación

- Defomacionales
 - Desplazamientos horizontales y verticales absolutos y relativos
 - Deformaciones diferenciales entre núcleo y espaldones
 - Deformaciones verticales y horizontales
 - Deformaciones de la cimentación
 - Movimientos y deformaciones en fallas y otros accidentes geológicos

Como vemos en ambos casos, tanto para la presa de materiales sueltos como para su vertedero de hormigón las variables a auscultar coinciden en gran medida. A continuación expondremos como se podrán realizar estas mediciones.

Las **filtraciones** en el cuerpo de la presa o del vertedero podrán medirse en pozos calibrados, aforadores o si las filtraciones no son importantes por procedimientos manuales.

La distribución y número de aforadores se realizará de forma que en una sola localización se pueda medir la filtración total de la presa.

En lo sitios donde se prevean o existan filtraciones singulares se instalarán aforadores específicos que en todo momento permitan controlar la evolución de las mismas.

Las **subpresiones y niveles piezométricos** podrán medirse con piezómetro de tubo abierto, de tubo con manómetro o de tipo piezómetro cerrado ya sea eléctrico, neumático o hidráulico.

Los **desplazamientos horizontales** serán determinados por métodos geodésicos. Los métodos geodésicos clásicos tienen el inconveniente de ser muy laboriosos, pero son los únicos que permiten conocer los movimientos absolutos de la estructura y de su apoyo en el terreno. Por consiguiente, esta observación no suele realizarse con mucha frecuencia, aunque es aconsejable hacerla al menos dos veces al año.

Por otro lado, los **desplazamientos verticales** suelen medirse por nivelación topográfica. La nivelación deberá hacerse por el coronamiento de la presa, así como en el terreno hasta puntos extremos suficientemente alejados de la presa y del embalse para que puedan ser considerados como puntos fijos.

El control rápido de estos movimientos también puede conseguirse instalando extensómetros de gran longitud.

La **auscultación volumétrica** permite prever aumentos de volumen o retracciones importantes en el hormigón del cuerpo de la presa. Para su medición se podrá instalar extensómetros.

Sistemas de operación de los órganos de desagüe

Los órganos de desagüe, tanto el vertedero central tipo Ogee como las tuberías de turbinado y los descargadores de fondo deberán ser mantenidos en condiciones apropiadas para su correcto funcionamiento y en caso de obstrucción, sobre todo en lo que respecta a las tuberías, deberán existir sistemas de alarma que adviertan de tal situación.

Plan de vigilancia e inspecciones periódicas de la presa

Englobando los ítems mencionados anteriormente, se deberá tener un plan de vigilancia que controle periódicamente los indicadores, que se hayan definido como indicadores que pueden dar lugar a emergencias.

10.1.2. Zonificación territorial

En análisis de rotura de la presa fue realizado en el Anteproyecto de Diseño de la Represa y sus resultados y consecuencias tanto materiales como no materiales fueron presentados en el presente Estudio de Impacto Ambiental.

A continuación se realiza la zonificación territorial tanto para la localidad de Polanco del Yí como para la ciudad de Durazno en caso de ocurrir la rotura de la presa bajo la ocurrencia de una avenida extrema de 10.000 años de período de retorno.

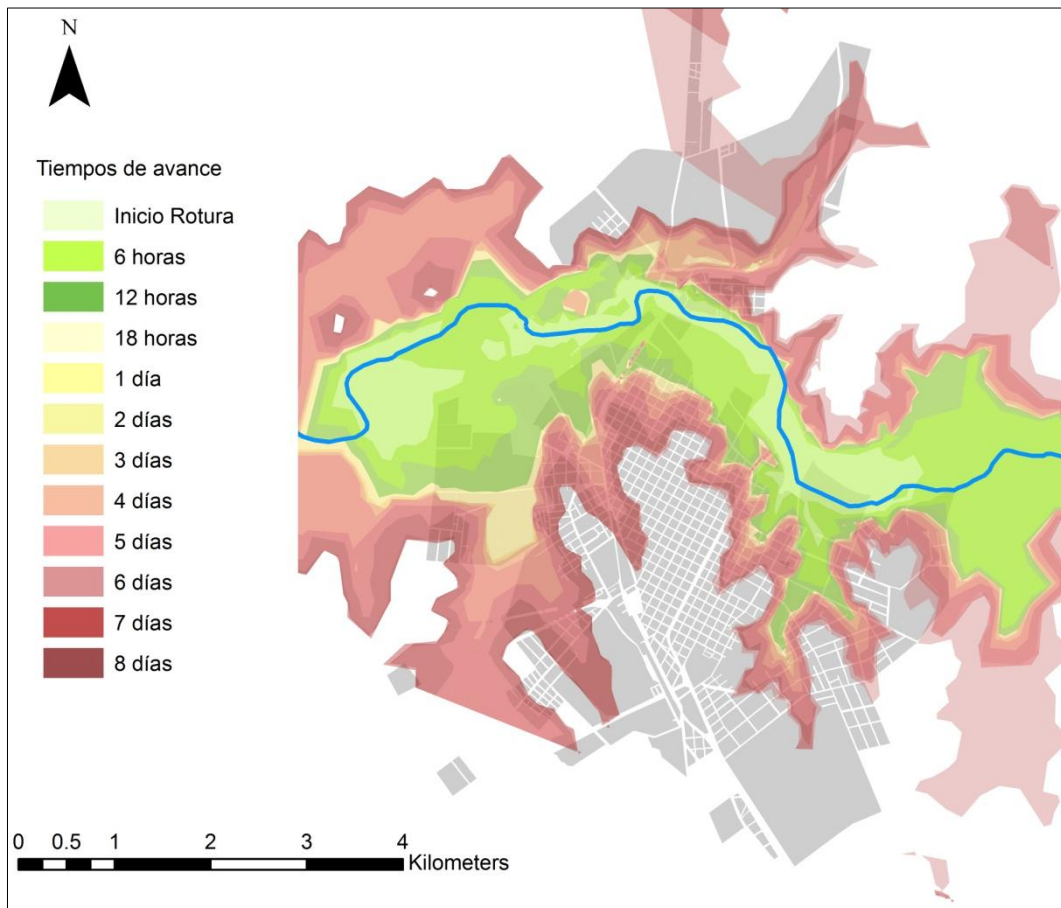


Ilustración 10.1-1 - Zonificación territorial en función del tiempo de llegada de la inundación luego de iniciada la rotura para la ciudad de Durazno

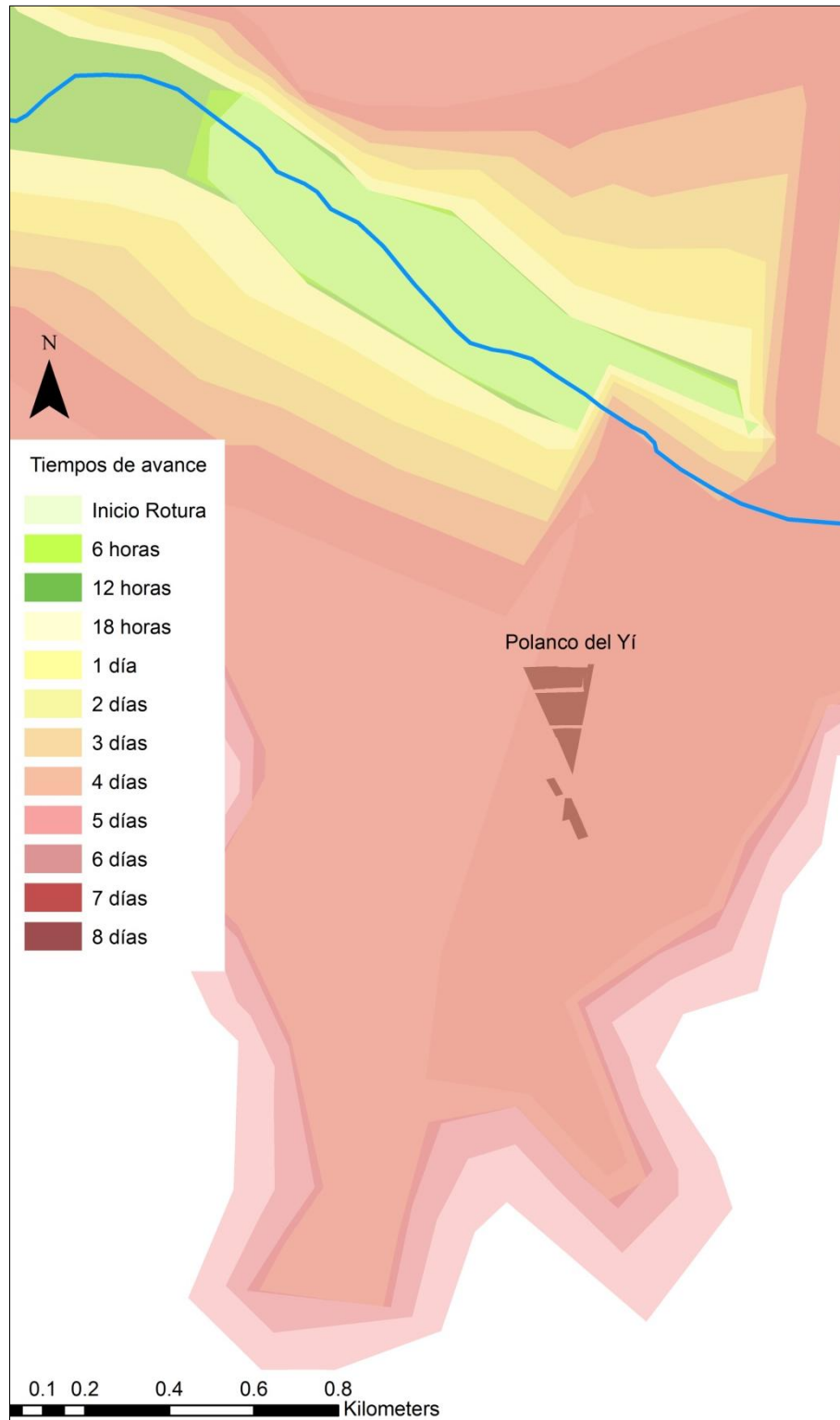


Ilustración 10.1-2 - Zonificación territorial en función del tiempo de llegada de la inundación luego de iniciada la rotura para la localidad de Polanco del Yí

En la ciudad de Durazno se observa que se compromete la zona urbana a partir de 12 horas después de la rotura, mientras que en la localidad de Polanco del Yí, si bien el río Yí en la zona de la localidad se ve alcanzado casi inmediatamente, para que la

inundación alcance la zona poblada se requieren aproximadamente 3 días luego de la rotura.

Mediante estas curvas de inundación presentadas se podrá determinar por período de tiempo las zonas afectadas y realizar con anticipación la evacuación de las mismas.

10.1.3. Normas de actuación

En base a las mediciones presentadas anteriormente se identifican los indicadores, con sus umbrales, que servirán de base técnica para la clasificación de la emergencia.

Las medidas correctoras se establecerán para cada indicador significativo, dando los tiempos aproximados de respuesta frente a cada emergencia, y se traducirán en la disponibilidad de medios y recursos.

En los casos extremos de emergencia en los que, con la vigilancia intensiva y la aplicación de las medidas correctoras, se prevea que pueda existir peligro de rotura o avería grave no pudiéndose asegurar con certeza que pueda ser controlado deberán indicarse la necesidad de utilizar todas las medidas técnicas posibles y todos los recursos disponibles, dándose prioridad a la seguridad de la presa frente a otros riesgos posibles aguas abajo.

En la situación en que el análisis de seguridad conduzca al un escenario límite en el que la probabilidad de rotura de la presa es elevada o ésta ya ha comenzado, se indicarán las actuaciones necesarias para controlar el incidente en la presa y los medios para evaluar o limitar en su caso el desarrollo de la rotura, dándose prioridad a los desembalses, si es que pueden efectuarse, y en todas las otras actuaciones a la seguridad de la presa.

En cuanto a los procedimientos de información y comunicación con los órganos públicos implicados en la gestión de la emergencia, se realizarán de acuerdo con los escenarios de seguridad y de peligro de rotura de presas, definidos por el Director del Plan.

Dicho órgano o servicio deberá ser permanentemente informado hasta el final de la emergencia por el director del Plan acerca de la evolución de la situación, valoración del peligro y medidas adoptadas para el control de riesgo.

Los sistemas de comunicación que se especifiquen serán fiables, incluso en situaciones extremas de emergencia, y redundantes.

10.1.4. Organización

Se deberá establecer la organización de los recursos humanos y materiales necesarios para la puesta en práctica de las actuaciones previstas.

Se deberá definir un Director del Plan el cual será quien tenga en su poder la dirección de la explotación de la represa.

Las funciones principales que realizará el director del plan serán las siguientes:

- Intensificar la vigilancia de la presa en caso de acontecimiento extraordinario

- Disponer la ejecución de las medidas técnicas o de explotación necesarias para la disminución del riesgo
- Mantener permanentemente informados a los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia
- Dar la alarma, en caso de peligro inminente de rotura de presa o, en su caso, de la rotura de la misma, mediante comunicación a los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia

En el Plan se incluirá un organigrama en el que se defina, de manera concreta, la organización de todo el personal del Plan, con la indicación de sus funciones y dependencias jerárquicas.

De igual manera, se definirá con detalle la organización de las comunicaciones tanto internas como externas, estableciendo específicamente los procedimientos para el establecimiento de las comunicaciones, los elementos de transmisión y recepción asignados al Plan.

El Plan de Contingencias se activa en determinadas circunstancias de emergencia por lo que los medios humanos requieren de información suficiente para que, en el momento necesario, pueda ser puesto en práctica y funciones correctamente. Es por esto que se realizará un programa de formación indicando que la formación se realizará para todo el personal que forma parte del Plan en el momento de su incorporación a él, teniendo en cuenta las capacitaciones técnicas necesarias de cada uno de los componentes del Plan.

El Plan deberá considerarse como algo dinámico que será puesto al día y corregido según vaya demostrando que resulta necesario. Se recomienda tener en cuenta una serie de circunstancias, entre otras posibles, tales como los cambios en la morfología o instalaciones en la presa, cambios en la geomorfología de la cuenca vertiente al embalse, cambios en la presencia de población aguas debajo de la presa, cambios en los sistemas de comunicación o detección de fallos en la redacción del Plan o en la implantación o puesta en práctica.

10.1.5. Medios y recursos.

Los criterios generales que se recomiendan a modo de guía para el establecimiento de medios y recursos en el Plan son los siguientes:

- Disponer de un equipo humano con la calificación técnica suficiente para ser capaz de realizar y supervisar todas las actuaciones necesarias para controlar la emergencia
- Disponer de los elementos materiales necesarios para realizar las actividades que se requieran
- Disponer de un sistema de comunicaciones rápido y seguro para avisar y tener informada de la situación a todos los organismos implicados
- Disponer de sistemas de señalización acústica u otros sistemas alternativos para avisar a la población existente en la zona inundable en un intervalo no superior a treinta minutos.

11. BIBLIOGRAFÍA

Libros, publicaciones y otros

- Bosi, J., et al. (1998). *Carta Geológica del Uruguay a escala 1/500.000*. Versión CD Rom. Geoeditores SRL. Montevideo.
- Preciozzi, F., Spoturno, J., & Heinzen, W. (1979). *Carta geo-estructural del Uruguay, escala 1: 2.000. 000*. Instituto Geológico Ing. Terra Arocena, Montevideo.
- Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W., & Rossi, P. (1985). *Memoria explicativa de la carta geológica del Uruguay a escala 1: 500.000. DI. NA. MI. GE.*
- Aldabe J., Rocca P., Claramunt S. (2009), *URUGUAY*. Pag 383-392 en C.Devenish, D.F. Díaz Fernandez, R.P. Clay, I. Davison & I. Yépez Zabala Eds. *Important Bird Areas America – Priority sites for biodiversity conservation.*
- Brazeiro A., Panario D., Soutullo A., Gutierrez o., Segura A. y Mai P. (2012) - *Clasificación y delimitación de las eco-regiones de Uruguay. Informe Técnico*. Convenio MGAP/PPR–Facultad de Ciencias/Vida Silvestre/ Sociedad Zoológica del Uruguay/CIEDUR 40p .
- Serra S., Bessonart J.,Teixeira de Mello F., Duarte A., Malabarba L. y Loureiro M. (2014) *Peces del Río Negro*. Montevideo, MGAP-DINARA, 208 p.
- Álvarez W., De Souza Rocha R., (2010). *Relieve del territorio uruguayo.*
- Gallego F., (2010). *Cartografía de comunidades de pastizal de la Región Centro-Sur (Cristalino)*. Tesina para optar por el grado de Lic. Ciencias Biológicas.
- Evia, Gerargo; Gudyanas, Eduardo; y col. *Ecología del Paisaje. Aportes para la conservación de la Diversidad Biológica*. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente MVOTMA, Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI). 173pp, ISBN 84-89650-74-8
- CICCOP, SPANCOLD. (2005). *Guías Técnicas de seguridad de presas*
- MGAP (1976). *Descripción de Grupos de Suelos CONEAT.*
- MGAP (). *Proyecto 1.6: Aptitud general de uso de la tierra*
- Intendencia de Durazno – MVOTMA – DINOT, (2011). *Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible para el Departamento de Durazno.*
- Evia, Gerargo; Gudynas, Eduardo; y col. *Ecología del Paisaje. Aportes para la conservación de la Diversidad Biológica*. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente MVOTMA, Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI). 173pp, ISBN 84-89650-74-8

- Sganga J.C. (1994) Caracterización de la vegetación de la R.O.U. En: MGAP, Contribución de los estudios edafológicos al conocimiento de la vegetación en la República Oriental del Uruguay. Boletín técnico 13: 3-12.
- Lowrance, R., Leonard, R., & Sheridan, J. (1985). Managing riparian ecosystems to control nonpoint pollution. *Journal of soil and water conservation*, 40(1), 87-91.
- del Tánago, M. G. (1999). Las riberas elementos clave del paisaje y en la gestión del agua. In *El agua a debate desde la Universidad: hacia una nueva cultura del agua: 1er Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas* (pp. 499-512). Institución Fernando el Católico.
- Naiman, R. J., Decamps, H., Pastor, J., & Johnston, C. A. (1988). The potential importance of boundaries of fluvial ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 289-306.
- Boutin, C., Jobin, B., & Bélanger, L. (2003). Importance of riparian habitats to flora conservation in farming landscapes of southern Québec, Canada. *Agriculture, ecosystems & environment*, 94(1), 73-87.
- Elosegui, A. (Ed.). (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA.
- Carrere R., Grupo Guayubirá – El bosque natural uruguayo: caracterización general y estudio de caso. Caso N°9.
- MGAP (2011). *Memoria de Mapa de Cobertura del Suelo del Uruguay*
- Brazeiro A., Panario D., Soutullo A., Gutierrez o., Segura A. y Mai P. (2012) - Clasificación y delimitación de las eco-regiones de Uruguay. Informe Técnico. Convenio MGAP/PPR–Facultad de Ciencias/Vida Silvestre/ Sociedad Zoológica del Uruguay/CIEDUR 40p .
- Serra, Sebastián; Bessonart, José; Teixeira de Mello, Franco; Duarte, Alejandro; Malabarba, Luiz y Loureiro, Marcelo. (2014). *Peces del Río Negro*. Montevideo, MGAP-DINARA, 208 p.
- Brazeiro A, Soutullo A y Bartesaghi L (2012): Prioridades de conservación dentro de las eco-regiones de Uruguay. Informe Técnico. Convenio MGAP/PPR – Facultad de Ciencias/Vida Silvestre Uruguay/ Sociedad Zoológica del Uruguay/CIEDUR. 20p..
- Aldabe J., Rocca P., Claramunt S. (2009), URUGUAY. Pag 383-392 en C.Devenish, D.F. Díaz Fernandez, R.P. Clay, I. Davison & I. Yépez Zabala Eds. *Important Bird Areas America – Priority sites for biodiversity conservation*.
- MTSS (2015). *Serie Informes Departamentales: Principales indicadores del mercado laboral-DURAZNO*

- Convenio Intendencia de Durazno – MVOTMA/DINOT (2011). Directrices departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible para el departamento de Durazno. Ley N° 18.308.
- Intendencia de Durazno – MVOTMA – DINOT, (2011). Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible para el Departamento de Durazno.
- Martínez Santa María, C & Fernández Yuste, J.A. 2010. IAHRIS 2.2 Índices de alteración hidrológica en ríos.
- Instrumento de Ordenamiento Territorial – Proyecto de Plan Local de la ciudad de Durazno – Diciembre 2012

Páginas web

- Instituto Uruguayo de Meteorología: www.meteorologia.com.uy (consultada 09/2016).
- Grupo Guayubira: <http://www.guayubira.org.uy/monte/Ciedur5iii.html> (consultada 09/2016)
- Red Académica Uruguaya – www.rau.edu.uy
- www.cebra.com.uy/renare/suelos-y-aguas/coneat/grupos-coneat/
- DINAMIGE-División Geología-Área Hidrogeología (2003), Carta Hidrogeológica del Uruguay, escala 1/1.000.000.
- www.dinamige.gub.uy/documents/10180/0/Carta_hidrogeol%C3%B3gica_Uruguay.pdf
- INE. Censo 2011. <http://www5.ine.gub.uy/censos2011/resultadosfinales/durazno.html>
- Página web del MTOP, Dirección Nacional de Vialidad Red Vial Nacional. <http://web.archive.org/web/20131213190427/http://www.mtop.gub.uy/gxpsites/hgxpp001?1,5,68,O,S,O,MNU;E;2;7;6;2;33;1;MNU>; (Consultada 10/2016)
- Página web ANEP, <http://sig.anep.edu.uy/siganep> (consultada 10/2016).
- Sitio web Patrimonio Uruguay, <http://www.patrimoniouruguay.gub.uy/> (consultado 10/2016)
- Resolución N° 842/995, <http://www.impo.com.uy/bases/resoluciones/842-1995/1>
- Resolución N° 1015/008, <http://www.impo.com.uy/bases/resoluciones/1015-2008/2>