



# FACTIBILIDAD DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN PRESAS MULTIPROPÓSITO

Contrato INE/ENE/ERG-T1886-SN1/11:

*“Estudio de factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)”*

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) - Fundación Julio Ricaldoni, Uruguay

**Responsables del presente informe:**

Dr. Ing. Rafael Terra, rterra@fing.edu.uy

Ing. Daniel Schenzer, schenzer@fing.edu.uy

**Colaboradores:**

Ing. Alejandra De Vera

Noviembre 2013

## ÍNDICE GENERAL

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE BASE .....</b>	<b>5</b>
2.1	INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	5
2.2	ANTECEDENTES .....	5
<b>3.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO .....</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>9</b>
4.1	ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD ENERGÉTICA MEDIA .....	9
4.2	EVALUACIÓN DE ASPECTOS SOCIO-AMBIENTALES.....	11
4.3	PREDISEÑO DE LA OBRA CIVIL .....	11
4.4	ESTIMACIÓN DEL COSTO DE INVERSIÓN.....	13
4.5	ANÁLISIS DEL RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	17
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>19</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>28</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXO I: ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD DE LOS CASOS SELECCIONADOS .....</b>	<b>30</b>
7.1	CUARÓ GDE. ....	31
7.2	TRES CRUCES.....	44
7.3	PELADO .....	57
7.4	RIO SAN SALVADOR .....	69
7.5	RIO YÍ .....	78
7.6	AO. VALENTÍN GDE.....	90
7.7	ARAPEY 04 .....	99
7.8	ARAPEY 07 .....	112
7.9	MATAOJO GDE. ....	125
7.10	ARERUNGUA 01 .....	138
7.11	AO. ZAPUCAY .....	147
7.12	MATAOJO.....	157
7.13	RÍO SAN JOSÉ 04 .....	166
7.14	RÍO SAN JOSÉ 05 .....	181
7.15	AO. DEL POTRERO .....	197
7.16	AO. ILLESCAS.....	207
7.17	AO. MOLLES DEL PESCADO .....	217

## **ACRÓNIMOS**

CONEAT	Comisión Nacional de Estudio Agroeconómico de la Tierra, MGAP
DINAGUA	Dirección Nacional de Aguas; MVOTMA
DINASA	Dirección Nacional de Aguas y Saneamiento, MVOTMA, actualmente DINAGUA
DNE	Dirección Nacional de Energía, MIEM
FAO	Food and Agriculture Organization, Naciones Unidas
MDE	Modelo Digital de Elevaciones
MIEM	Ministerio de Industria, Energía y Minería, Uruguay
MGAP	Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Uruguay
MVOTMA	Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Uruguay
NASA	National Aeronautics and Space Administration, Estados Unidos
NRCS	Natural Resources Conservation Service (Estados Unidos)
O&M	Operación y Mantenimiento
OPYPA	Oficina de Programación y Política Agropecuaria, MGAP
PCH	Pequeña Central Hidroeléctrica
PPR	Proyecto de Producción Responsable, MGAP
RENARE	Dirección General de Recursos Naturales Renovables, MGAP
SGM	Servicio Geográfico Militar, Ministerio de Defensa Nacional, Uruguay
SIG	Sistema de Información Geográfica
TIR	Tasa Interna de Retorno
UTE	Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas, Uruguay

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe se enmarca dentro de la *Actividad 4* del convenio “Estudio de factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas” entre el Banco Interamericano de Desarrollo y la Fundación Julio Ricaldoni. Su objetivo es determinar la pre-factibilidad de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) en nuevas presas multipropósito con uso prioritario de riego y subsidiario de generación hidroeléctrica.

Para ello se seleccionaron, en acuerdo con el MGAP, DINAGUA-MVOTMA y la DNE-MIEM, los proyectos de presas para riego más promisorios a ser analizados. Dicha selección se hizo a partir de un listado de propuestas ya existentes planteadas por diversos colectivos e instituciones (intendencias, agrupaciones de productores, etc). Se recurrió luego a criterios generales como ser el salto disponible, la extensión de la cuenca de aporte, el valor de las tierras a inundar, la posibilidad de conducción del agua por gravedad, las oportunidades de desarrollo de zonas de gran potencial productivo, mucho de los cuales luego serán analizados en mayor detalle para los sitios seleccionados.

Para los casos seleccionados se realizó un análisis de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica de los proyectos, el cual comprende los siguientes pasos:

- Caracterización de la cuenca de aporte y del embalse.
- Estimación de la disponibilidad energética media.
- Evaluación de aspectos socio-ambientales.
- Prediseño de la obra civil.
- Estimación del costo de inversión.
- Análisis del retorno de la inversión.

En base a los resultados obtenidos, se presenta una evaluación comparativa de los casos analizados. Dicha valoración pretende brindar los elementos técnicos de priorización que ayuden a seleccionar los casos en los cuales profundizar el análisis de factibilidad.

Finalmente, se realizan comentarios generales y conclusiones.

## 2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE BASE

### 2.1 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La información de base utilizada se obtuvo a partir de la recopilación de archivos existentes en distintos organismos y entidades más información general.

A continuación se presenta un listado de la información recopilada y sistematizada:

- Información geográfica disponible en el sistema de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables (RENARE), en particular, cartografía de grupos de suelos CONEAT, usos del suelo y recursos hídricos.
- Mapa de escurrimientos medios del Uruguay. Artículo “Monitoreo y Disponibilidad de Recursos Hídricos en Uruguay” de Genta, J.L. y Failache, N., Dirección Nacional de Aguas y Saneamiento (DINASA).
- Cartas topográficas del Servicio Geográfico Militar (SGM), escala 1:50.000, con curvas de nivel cada 10 m.
- Modelo Digital del Terreno de 90x90 m de la NASA (disponible en <http://earthexplorer.usgs.gov/>).
- Carta de reconocimiento de Suelos del Uruguay, escala 1:1000000. División de Suelos y Aguas, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), 1979.
- Parcelario rural de Artigas, Durazno, Flores, Florida, Lavalleja, Rivera, Salto, San José y Soriano.
- Información de la red eléctrica nacional de media tensión, suministrada por UTE.

Para la georreferenciación de la información se empleó el sistema de coordenadas de las cartas del SGM; Proyección: Gauss Kruger Uruguay, Datum horizontal: Yacaré, Datum vertical: Nivel medio del Río de la Plata en el puerto de Montevideo.

### 2.2 ANTECEDENTES

Algunos de los sitios seleccionados contaban con estudios previos que estuvieron disponibles para cotejar los análisis realizados. Los antecedentes manejados fueron los siguientes:

- Estudio sobre Riego Agropecuario en Uruguay, febrero de 2013. FAO-Red Mercosur en apoyo a OPYPA-MGAP.
- Análisis de la pre-factibilidad de presas multiprediales en el departamento de Florida, Presas multipropósito. División Planificación, DINAGUA, marzo de 2013. .
- Análisis de la pre-factibilidad de presas multiprediales en la cuenca del río San José, Presas multipropósito sobre el río San José. División Planificación, DINAGUA, marzo de 2013. .

- Proyectos departamentales de riego, Artigas, diciembre de 2011. Instituciones participantes: Oficina de Planeamiento y Presupuesto, Intendencia de Artigas, Asociación de Cultivadores de Arroz y Asociación Agropecuaria de Artigas.
- Estudio del Uso Eficiente y Sustentable del Recurso Agua en el Este del Departamento de Salto, junio de 2011. SigmaPlus Ingenieros Consultores, Programa de Desarrollo Local ART/PNUD Uruguay, Grupo de Trabajo Uso Agropecuario del Agua (GTUAA).
- Evaluación de proyectos de riego multiprediales, MGAP-PPR, 2009.

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

En acuerdo con el MGAP, DINAGUA y la DNE-MIEM, se seleccionaron 17 proyectos de presas para riego como los más promisorios a ser analizados, según los siguientes criterios:

- Salto disponible mayor a 10 m.
- Cuenca de aporte mayor a 8.500 Há. Una extensa cuenca de aporte posibilita su uso tanto para riego como para usos alternativos, por ejemplo, para generación de energía; se amplía el período de uso fuera de la temporada de riego.
- Se buscó que los embalses se encuentren sobre tierras del menor valor posible; especialmente, se privilegiarán las zonas altas, favoreciendo la conducción del agua por gravedad.

A continuación se presenta la localización de los embalses pre-seleccionados.

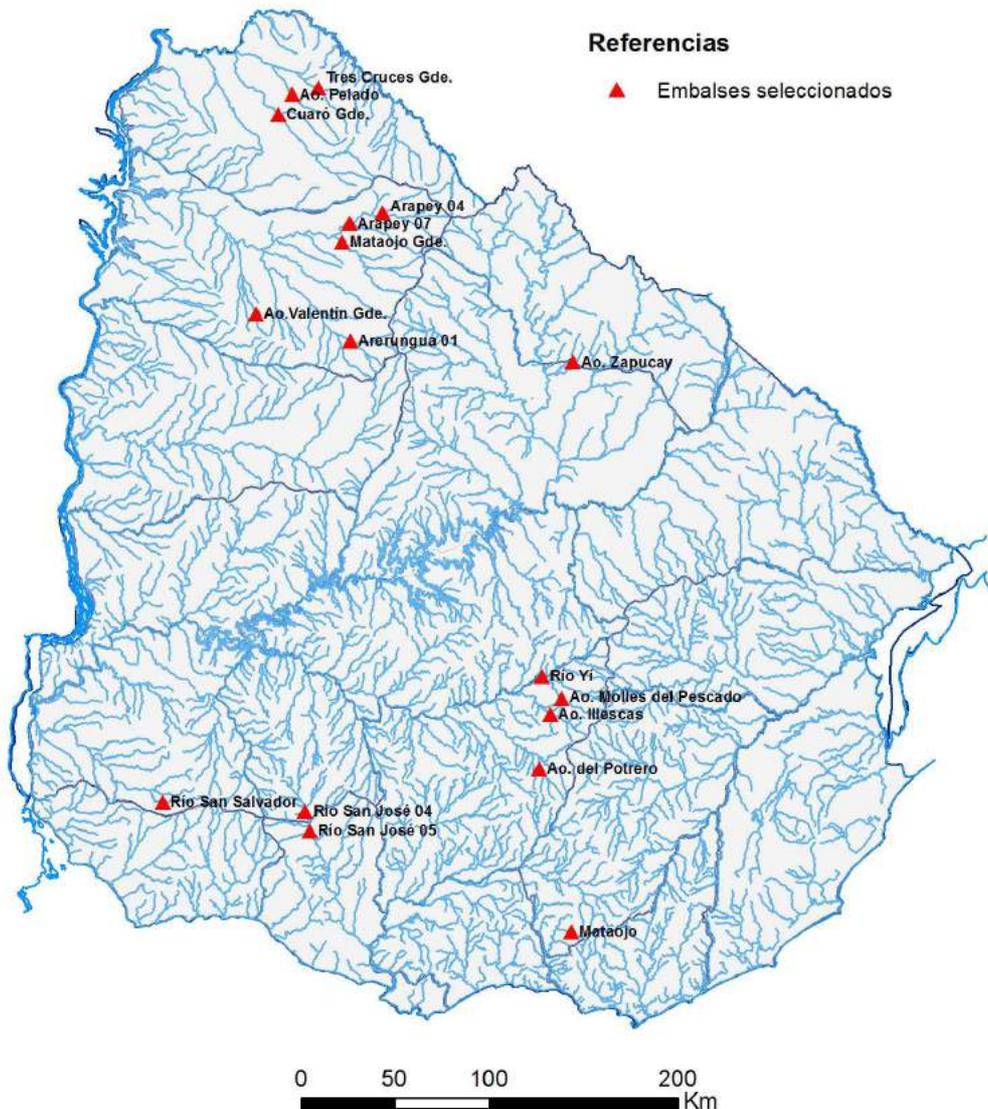


Figura 3-1: Localización de los embalses pre-seleccionados

Se destaca la dispersión de los casos pre-seleccionados, abarcando varias zonas del país de gran potencial agrícola para cultivos y pasturas y con incipiente desarrollo del riego.

Para cada caso, se relevó algunos parámetros cuantificables (área de la cuenca de aporte, área del espejo de agua, altura y volumen del embalse) y se determinó el caudal medio de aporte a partir del mapa de escurrimientos medios de Uruguay.

Los datos geométricos de cada embalse, así como el trazado y caracterización de las cuencas de aporte a los mismos, fueron obtenidos a través de un sistema de información geográfica (SIG). Para hallar las relaciones entre la altura máxima del embalse, el volumen almacenado y el área inundada se construyó, a partir de las curvas de nivel cada 10 m del SGM, un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con un tamaño de celda de 10x10 m; en algunos casos se empleó el Modelo Digital del Terreno de 90x90 m de la NASA.

En la Tabla 3-1 se presenta la caracterización de los embalses pre-seleccionados, la cuenca y el volumen medio anual de aporte a los mismos.

**Tabla 3-1: Caracterización de los embalses pre-seleccionados**

Nº	Depto.	Curso a Utilizar	X (SGM)	Y (SGM)	Altura máxima (m)	Vol del embalse (Hm <sup>3</sup> )	Lago (há)	Cuenca (há)	Escurrimiento medio anual (Hm <sup>3</sup> )
1	Artigas	Cuaró Gde.	388.312	6.616.549	10,0	43,3	1.300	146.000	909
2	Artigas	Tres Cruces Gde.	409.473	6.630.671	11,0	33,0	900	49.000	325
3	Artigas	Ao Pelado	395.656	6.627.086	10,5	14,5	435	16.900	114
4	Soriano	Río San Salvador	327.178	6.250.445	18,0	60,0	900	19.125	70
5	Durazno	Río Yí	528.198	6.317.694	15,0	144,0	2.488	120.000	673
6	Salto	Ao. Valentín Gde.	376.472	6.510.483	10,0	30,1	556	9.331	39
7	Salto	Arapey 07	426.101	6.558.457	18,0	54,0	915	120.000	807
8	Salto	Arapey 04	443.552	6.564.038	16,0	23,0	581	76.000	525
9	Salto	Matajojo Gde.	422.263	6.548.780	18,0	43,0	827	99.000	695
10	Salto	Arerungua 01	426.583	6.496.109	21,0	34,0	522	40.600	240
11	Rivera	Ao. Zapucay	544.658	6.484.704	12,0	40,8	805	12.517	62
12	Lavalleja	Matajojo	543.859	6.181.534	20,0	24,0	283	8.500	42
13	Flores	Río San José 04	402.535	6.245.616	26,0	213,0	3.270	54.170	205
14	San José	Río San José 05	404.894	6.235.376	24,0	403,0	5.870	117.448	449
15	Florida	Ao del Potrero	526.783	6.268.346	15,0	56,0	1.010	15.200	74
16	Florida	Ao Illescas	532.630	6.297.225	24,0	115,0	1.490	31.600	165
17	Florida	Ao Molles del Pescado	538.728	6.305.484	35,0	52,0	510	14.300	74

## 4. METODOLOGÍA

A continuación se describen los pasos del análisis de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica de cada uno de los proyectos de PCH multipropósito.

### 4.1 ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD ENERGÉTICA MEDIA

Para cada uno de los casos seleccionados se estimó la disponibilidad energética media a partir de la cuenca de aporte, la altura o salto máximo y el volumen de almacenamiento del embalse, asumiendo que:

- El riego es por gravedad con nivel de restitución a cota del curso aguas abajo.
- Dentro de la zafra de riego, considerada de 4 meses, se turbinó todo el volumen de riego.

Más adelante se considera la posibilidad de que el tiempo efectivo de riego sea menor (una fracción) de la temporada de riego y se evalúa cómo dependen los resultados de estas hipótesis.

- El caudal de funcionamiento de la turbina a instalar es igual al caudal de riego, sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación.
- La altura de funcionamiento de la turbina o salto bruto es igual a la altura máxima del embalse (se tomó como nivel de restitución la cota del curso aguas abajo).
- Fuera de la temporada de riego, solo se turbinó en condiciones de vertido.

Para el cálculo se siguieron los pasos especificados en el apartado “Embalses de uso prioritario para riego” de la “Guía para estimar la disponibilidad energética de pequeñas centrales hidroeléctricas”, elaborada en el marco del presente proyecto.

#### 1. Estimación del volumen medio de aporte anual al embalse

El escurrimiento medio mensual en la cuenca de aporte al embalse fue obtenido a partir del mapa de escurrimientos medios (mm/mes) de Uruguay, empleando un SIG.

#### 2. Caudal de funcionamiento y potencia de la turbina

El protocolo de riego en cada embalse depende de decisiones (agronómicas, empresariales, etc.) que pueden ser variables de un año a otro; para tener una primera aproximación se consideraron dos caudales de funcionamiento ( $Q_{continuo}$  y  $Q_{intermitente}$ ):

- Si se riega en forma continua con caudal constante durante toda la temporada de riego, es decir, si se considera un tiempo efectivo de riego de 4 meses (120 días):

$$Q_{continuo} = V_{embalse} (m^3) / (4 \text{ meses})$$

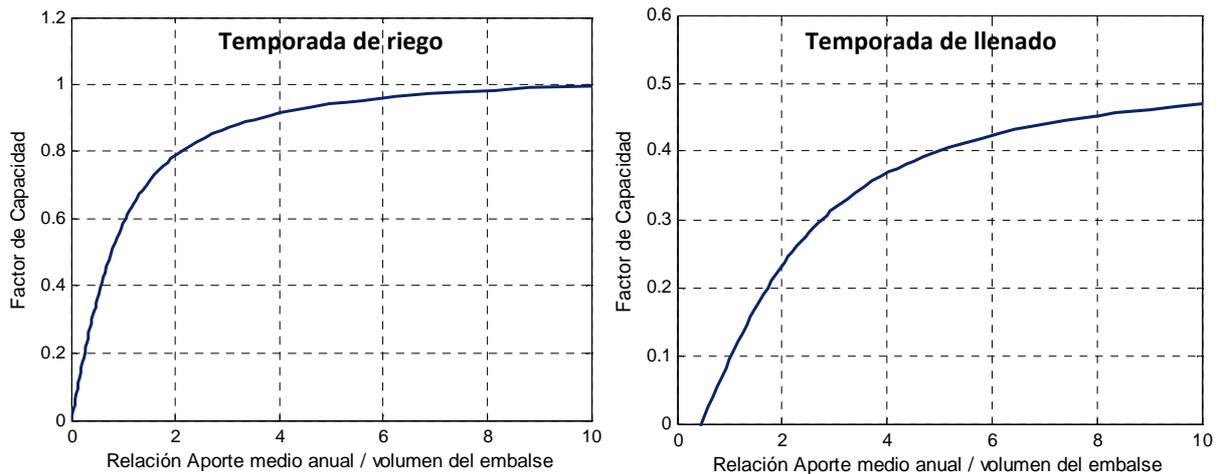
- Si se considera un riego intermitente con un tiempo efectivo de riego de 40 días (4 meses/3) con el mismo caudal constante para cada intervalo de riego (p.e. si se riega un día entero cada 3 días o todos los días durante 8 horas, etc):

$$Q_{intermitente} = 3 * Q_{continuo}$$

El primer escenario puede ser una aproximación razonable a la realidad de un embalse que abastece una red extensa de distribución a un número importante de chacras. El segundo, será una mejor aproximación para sistemas más chicos que riegan un número menor de chacras. En cualquiera de los casos, estará sujeto a la programación del riego que requiera el o los cultivos regados.

### 3. Estimación del Factor de Capacidad del embalse

A partir de la relación entre el aporte medio anual al embalse y el volumen máximo del mismo, se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado, según las siguientes gráficas:



**Figura 4-1: Factor de Capacidad para cada temporada (riego y llenado)**

**Fuente: Guía para estimar la disponibilidad energética de pequeñas centrales hidroeléctricas, 2012 (IMFIA-FJR-BID)**

Dicho coeficiente tiene en cuenta la variabilidad de generación en las temporadas debido a la variabilidad interanual de las precipitaciones.

### 4. Estimación de la energía media anual generable en el embalse

La energía media generada en el embalse para cada temporada (riego y llenado) se calculó a partir del factor de capacidad correspondiente.

Cabe destacar que la estimación de la energía generable durante la temporada de riego no depende del escenario de riego (continuo o intermitente), sino del volumen total de riego. En el caso del riego intermitente, el aumento del caudal de funcionamiento ( $Q_{intermitente} = 3 * Q_{continuo}$ ) compensa la reducción en el tiempo de operación.

En cambio, durante la temporada de llenado (en donde solo se turbinan en condiciones de vertido), la hipótesis de riego intermitente, que tiene asociada una mayor potencia instalada, genera más energía.

Finalmente, para calcular la energía media anual generada se suman las energías a generar en cada temporada.

## 4.2 EVALUACIÓN DE ASPECTOS SOCIO-AMBIENTALES

Para cada uno de los casos seleccionados se analizaron una serie de indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo, el índice CONEAT de las tierras a inundar y el impacto en la infraestructura existente.

### 1. Padrones afectados

A partir del parcelario rural se analizó en cada caso la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados. Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos considerando la cota de vertido. El mismo criterio se tomó para los demás impactos asociados al lago del embalse. Eventualmente, en un análisis más detallado, será necesario estudiar la inundación con sobreelevaciones asociadas a crecidas con ciertos períodos de recurrencia.

### 2. Usos del suelo y área de monte nativo

Tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se determinaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso. En particular, interesa conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

### 3. Índice CONEAT

Una idea aproximada del valor de los suelos presentes en la zona afectada por el proyecto está dada por la descripción de los Grupos de Suelos y la asignación de un valor del índice CONEAT. Dicho índice cuantifica la capacidad de generar valor en un determinado suelo con un emprendimiento agropecuario, evaluando los kilos de carne bovina y ovina en pie y kilos de lana por hectárea de ese campo natural; el promedio nacional se toma como índice 100 (hay valores de 0 a 263).

### 4. Impactos en infraestructura existente

En base a la información disponible en GoogleEarth, se realizó una primera identificación de las infraestructuras afectadas por la construcción de la presa y su lago.

## 4.3 PREDISEÑO DE LA OBRA CIVIL

### 1. Vertedero y seguridad de la obra

A partir de la laminación de un evento de crecida se analizó la viabilidad de construcción del vertedero de máxima; consecuentemente se determinó la revancha necesaria para que la obra sea segura frente al sobrepasamiento.

Para ello, con el Método del NRCS, se determinó el evento hidrológico de diseño asociado a un período de retorno de 100 años. Luego, se realizó el diseño a nivel de factibilidad del vertedero. La consecuente sobreelevación producida por el tránsito del hidrograma en el embalse se determinó a partir del Método de Piscina Nivelada.

La tipología del aliviadero depende de diversos factores, como ser el tipo de presa, las características topográficas y geológicas de la zona, las características del cauce natural, del reparto posible entre distintas obras de alivio que se proyecten en la

presa, entre otros. Para presas de materiales sueltos, generalmente el aliviadero se construye en forma independiente de la presa, fuera del cuerpo de ésta, en forma de canal de aliviadero.

Por lo tanto, en todos los casos como primera alternativa se evaluó la viabilidad de resolver la evacuación de excedentes mediante un vertedero tipo canal, con las características geométricas que se presentan en la Tabla 4-1.

**Tabla 4-1: Características del canal de aliviadero considerado**

Canal del aliviadero	
Pendiente	0,1%
Talud 1V:mH	2
Número de Manning	0,035

En los casos en que la alternativa anterior no resultó viable (se requerirían anchos de canal y sobreelevaciones en el embalse excesivos), se recurrió a una solución con vertedero de hormigón tipo estándar.

El análisis consistió en calcular, para cada ancho de vertedero considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 1,5 m/s para no erosionar el canal de tierra o menor a 5 m/s para no comprometer la estructura de hormigón).

En cada caso se seleccionó el ancho que optimiza los costos (a medida que el ancho disminuye, la laminación es mayor y se debe elevar el coronamiento de la presa), y que a su vez, verifica el criterio de velocidad permisible.

## 2. Dimensiones básicas de la presa

Dentro de las dimensiones básicas para cada presa se incluyeron las siguientes:

- Cota de coronamiento: determinada como la suma de la cota de vertido y la altura de revancha; incluye la sobreelevación del nivel debido a la laminación de la tormenta de diseño más una revancha de seguridad de 0,50 m aproximadamente.
- Altura de presa: surge de sumar la altura del embalse a nivel de cota de vertedero y la altura de revancha.
- Ancho de coronamiento: se calculó en función de la altura de la presa según el manual del Bureau of Reclamation (Design of Small Dams, 1987):  $w = z/5 + 3,0$  donde  $w$  es el ancho de coronamiento recomendado (expresado en m) y  $z$  es la altura de la presa (expresada en m).
- Taludes: para los taludes laterales se consideró una pendiente de 3H:1V y 2,5H:1V aguas arriba y aguas abajo de la presa respectivamente.
- Longitud del cierre a la cota considerada: determinada a partir del MDE.
- Volumen de material requerido: para estimar el volumen total de materiales sueltos necesarios para construir la presa se tomó una aproximación del

terreno bajo la presa determinada a partir de las curvas de nivel cada 10 m del SGM ó del Modelo Digital del Terreno de 90x90 m de la NASA.

#### 4.4 ESTIMACIÓN DEL COSTO DE INVERSIÓN

Dentro de los costos de inversión de la PCH se incluyeron:

- Costo de la obra civil.
- Costo de expropiación de las tierras a inundar.
- Costo del equipo electromecánico.
- Costo del tendido de la línea de energía eléctrica y puesto de conexión.

A continuación se describen brevemente, cómo se estimó cada uno de ellos.

##### 1. Costo de la obra civil

En el costo de la obra civil se incluyó el costo de la presa de tierra y del vertedero de hormigón (cuando corresponda).

Para la presa se tomó un costo global de 5,0 USD/m<sup>3</sup> de tierra movida, más un 30% adicional de obras anexas. Esta estimación presupone la disponibilidad de un préstamo cercano que no requiera grandes desplazamientos en el movimiento de tierra. Del mismo modo, las obras anexas no incluyen largos tramos de caminería. Ambas hipótesis deberán ser analizadas en mayor detalle a nivel de factibilidad.

En el caso del vertedero de hormigón se consideró un costo de 600 USD/m<sup>3</sup> de hormigón. El volumen requerido de hormigón para el cuerpo central del vertedero, sin considerar ni el cuenco de disipación ni el volumen necesario para la cimentación, se estimó aproximando la sección del vertedero por una sección trapezoidal. Se simplificó la sección tipo para un vertedero estándar definida por el Bureau of Reclamation (Design of Small Dams, 1987), aproximando la misma por un trapecio rectángulo de base menor  $0,867 * H_0$ , base mayor  $3,042 * H_0$  y altura  $3,336 * H_0$ , donde  $H_0$  es elevación sobre vertedero para la crecida de diseño. Dicha sección se multiplica por el ancho del vertedero para obtener el volumen de hormigón.

##### 2. Costo de expropiación de las tierras a inundar

En general el precio de la tierra depende de diversos factores, entre los cuales los más significativos son: la aptitud de uso, la calidad, el estado de conservación, las posibilidades de mejora, las limitaciones, la ubicación y facilidad de acceso, etc.

En la Figura 4-2 se presenta un mapa indicativo del precio de la tierra en Uruguay, elaborado por Caldeyro Victorica Bienes Raíces (<http://campos.caldeyro.com/zonas-precios.php>), donde se han identificado áreas homogéneas (a escala de país) en cuanto al uso actual y potencial de la tierra. Cabe señalar que dicha regionalización tuvo en cuenta la actividad actual predominante, por lo que dentro de una misma zona puede haber usos actuales y potenciales distintos a los indicados. En la Tabla 4-2 se presentan los precios asociados a cada una de esas zonas.

En a base a dichos valores, y considerando además el índice CONEAT, se estimó el costo de expropiación de las tierras a inundar en cada caso.

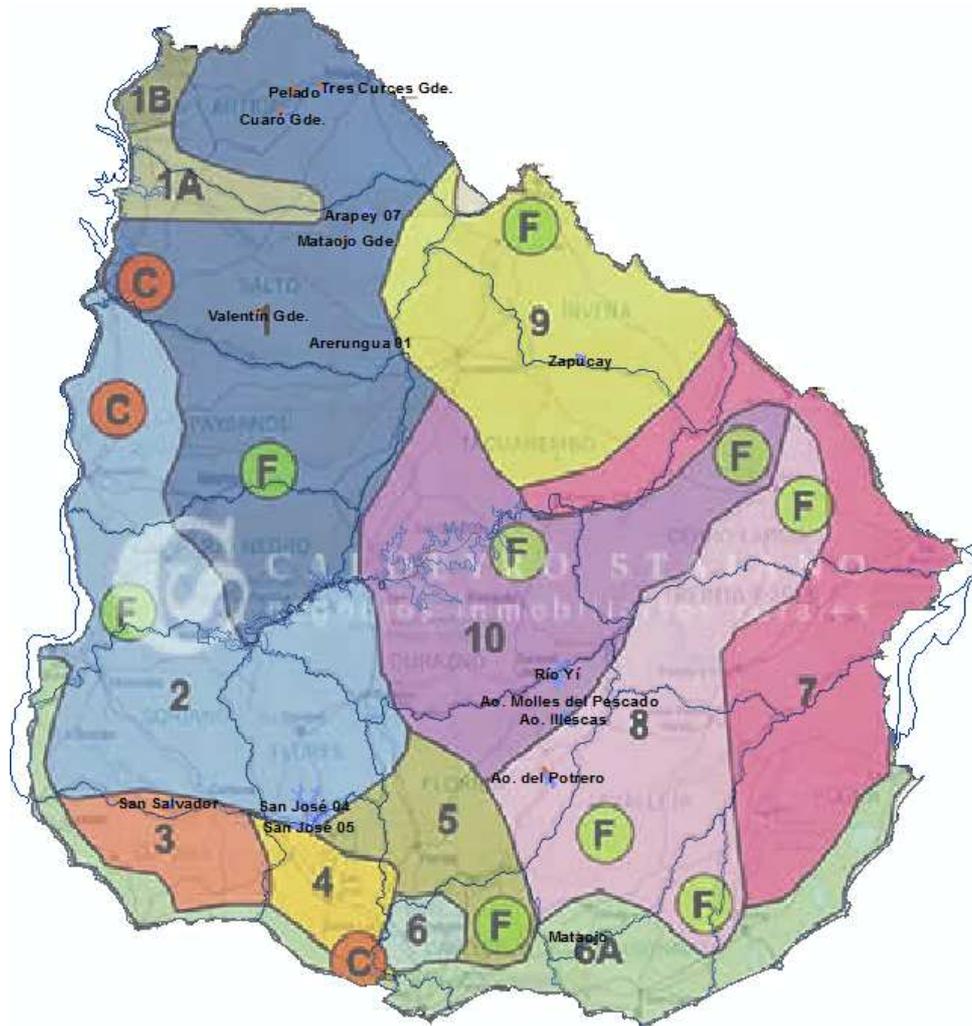


Figura 4-2: Mapa indicativo del precio de la tierra según zonas de similar aptitud y uso  
(Fuente: Caldeyro Victorica Bienes Raíces - <http://campos.caldeyro.com/zonas-precios.php>)

**Tabla 4-2: Precio indicativo de la tierra según zonas de similar aptitud y uso  
(Fuente: Caldeyro Victorica Bienes Raíces)**

Zonas	Zonas de similar aptitud y uso	Departamentos y Localidades	Dólares Norteamericanos por Hectarea
<b>1</b>	NOROESTE Vacunos de cría y ciclo completo Ovejas Cítrus Forestación (al Este de la zona)	Artigas, Salto, Este de Paysandú Oeste de Tacuarembó	950 a 2.500
<b>1A</b>	NOROESTE Arrocera Vacunos de engorde	Sudoeste de Artigas Noroeste de Salto	1.800 a 2.500
<b>1B</b>	NOROESTE Producciones intensivas	Noroeste de Artigas	1.500 a 3.000
<b>2</b>	LITORAL OESTE Agricultura intensiva. Soja-Trigo- Vacunos de engorde	Oeste de Paysandú y Río Negro Soriano, Flores, oeste de Florida	3.500 a 5.500
<b>3</b>	SUDOESTE Maíz-Girasol-Soja-Trigo Cuenca Lechera.	Colonia	2.500 a 4500
<b>4</b>	SUR Cultivos intensivos, riego Lechería Cítrus Papa	San José y Este de Colonia	2.500 a 5.000
<b>5</b>	CENTRO SUR Lechería Vacunos de engorde	Sudeste de Flores, Sur de Florida y Centro	2.000 a 3.500
<b>6</b>	SUR Cultivos intensivos Hortícola	Sudoeste de Canelones	3.500 a 4.500
<b>6A</b>	SUR Inmobiliario - Turístico	Área de influencia de Montevideo, Punta del Este y la costa Oceánica en general	4.000 a 40.000
<b>7</b>	LITORAL ESTE Cuenca arrocera. Vacunos de ciclo completo e invernada	Rocha, Centro y Este de Sur de Tacuarembó,	1.800 a 3.000
<b>8</b>	CENTRO ESTE Vacunos de cría extensiva Forestación	Centro Oeste de Cerro Minas	1.500 a 2.500
<b>9</b>	NORTE Vacunos de cría y ciclo completo Vacunos de engorde. Agricultura. (Soja, Maíz, Trigo) Forestación	Rivera y Centro Norte de Tacuarembó	1.500 a 3.000
<b>10</b>	CENTRO Vacunos de ciclo completo. Agricultura (Soja) Forestación	Centro Sur de Tacuarembó, Durazno, Norte de Florida y Este de Flores	1.800 a 2.500
<b>Citricultura</b> 			3.000 a 10.000
<b>FORESTACION Pinos. Eucalyptus. Olivos</b> 	Centro Sur de Paysandú y Norte y Centro Oeste de Río Negro Este de Artigas y Salto y Oeste de Rivera Noroeste de Tacuarembó y Oeste de Cerro Largo Sudoeste de Lavalleja , Noroeste de Maldonado y Rocha Centro y Noreste de Durazno y Norte de Florida		1.500 a 3.000

### 3. Costo del equipo electromecánico

Para estimar el costo del equipo electromecánico se realizó una extensa revisión de la bibliografía e información disponible para proyectos hidroeléctricos de pequeña escala, tanto a nivel mundial como local. Se detecta una disminución del costo por unidad de potencia instalada a medida que aumenta la capacidad de los equipos, aunque la dispersión es muy amplia, producto de la diversidad de proyectos hidroeléctricos y las oportunidades y limitaciones específicas de cada sitio.

A partir de la información disponible se llegó a que los costos de instalación de una PCH en Uruguay deberían variar entre 800 y 2.500 U\$S/kW en los casos en donde la represa ya está construida con otro fin y solamente falta instalar el equipamiento electromecánico y el sistema eléctrico; mientras que en los casos en donde se debe realizar la inversión completa (incluyendo también la represa) el costo de inversión variarían mayoritariamente entre 3.000 y 5.000 U\$S/kW, pudiendo encontrarse valores que superan los 10.000 U\$S/kW.

En este caso se adoptó un valor de 1.750 U\$S/kW instalado.

### 4. Costo del tendido de la línea de energía eléctrica

A partir de la potencia instalada en cada caso y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias.

Luego, para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea existente más cercana y se propuso un trazado tentativo evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados. Sin perjuicio de ello, en cada caso deberá consultarse con UTE para la selección del punto más conveniente de conexión a la red.

Finalmente, a partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión.

**Tabla 4-3: Costos de conexión a la red (Fuente: UTE)**

Tipo de conductor	Tensión (kV)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Costo estimado (USD/km)
ACSR	15/6	50/8	49.300
ACSR	15/6	95/15	60.500
+ Puesto de conexión USD 50.000			
ACSR	31,5	95/15	77.000
ACSR	31,5	125/30	84.700
ACSR	31,5	240/40	93.000
+ Puesto de conexión USD 250.000			

Obs: Costos válidos para líneas aéreas implantadas en suelos sin dificultades especiales para hincar los postes.

### 5. Costo de inversión total

A partir del volumen de materiales sueltos requerido para la presa, del volumen de hormigón necesario para el vertedero, de las características y superficie de las tierras a inundar, de la potencia instalada y de las características y extensión del tendido eléctrico se estimó el costo de inversión para cada caso, según:

$$\begin{aligned} \text{Costo de inversión (USD)} &= 1,3 * (5,0 \text{ USD/m}^3 * \text{Mov. de tierra [m}^3]) \\ &+ 600 \text{ USD/m}^3 * \text{Vol.Hormigón [m}^3] \\ &+ \text{USD/há} * \text{Área Lago [há]} \\ &+ 1.750 \text{ USD/kW} * \text{Potencia instalada [kW]} \\ &+ \text{USD/km} * \text{Tendido [km]} + \text{USD Puesto de conexión} \end{aligned}$$

#### 4.5 ANÁLISIS DEL RETORNO DE LA INVERSIÓN

Para cada proyecto seleccionado se realizó un análisis de pre-factibilidad económica, para estimar el retorno económico asociado a la implantación de la PCH y compararlo con la inversión necesaria.

Para ello se calculó, para todos los casos, la Tasa Interna de Retorno (TIR), es decir el valor de la tasa de descuento anual  $i$  para el cual la inversión inicial iguala al valor actual de los flujos de caja futuros, durante un período determinado.

$$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} = I_0$$

Donde:

- $V_t$ : Flujos de caja en el año  $t$
- $I_0$ : Inversión inicial
- $i$ : Tasa de descuento
- $n$ : Período de tiempo (en años)

1. Costos de inversión (presentados en el punto anterior)

2. Costos de O&M

Los costos de O&M de la PCH se estimaron como el 4% del costo de la presa y del equipo electromecánico (según Teske et al., 2010<sup>1</sup> y Krewitt et al., 2009<sup>2</sup>).

3. Remuneración por la energía generada

Como remuneración por la energía generada se adoptó un precio de 90 USD/MWh durante los primeros 20 años de generación, en base a la Resolución 12.-1056 del Directorio de UTE.

Se hizo además un análisis de sensibilidad de la TIR respecto al precio de venta de la energía generada.

---

<sup>1</sup> Teske, S., T. Pregger, S. Simon, T. Naegler, W. Graus, and C. Lins (2010). Energy [R]evolution 2010 - A sustainable world energy outlook. *Energy Efficiency*.

<sup>2</sup> Krewitt, W., K. Nienhaus, C. KleBmann, C. Capone, E. Stricker, W. Graus, M. Hoogwijk, N. Supersberger, U. von Winterfeld, and S. Samadi (2009). *Role and Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply*. Climate Change 18/2009. ISSN 1862-4359. Federal Environment Agency, Dessau-RoBlau, 336 pp.

#### 4. Ingresos netos debido a la generación de energía

El ingreso neto anual, flujos de caja por año, se calculó como la diferencia entre los ingresos (remuneración por la energía generada) y el costo de O&M de la PCH.

$$\text{Ingreso neto anual (USD)} = \text{USD/MWh} * \text{Energía Media Anual [MWh]} \\ - 0,04 * (\text{Costo de la presa} + \text{Costo del equipo electromecánico})$$

#### 5. Tasa interna de retorno

En el análisis del retorno de la inversión, considerando la naturaleza multipropósito de las PCH (uso prioritario de riego y subsidiario de generación hidroeléctrica), se diferenció entre el costo de la obra civil y de expropiación de las tierras a inundar -que debe ser recuperado entre el riego y la generación de energía- y el costo del equipo electromecánico y del tendido eléctrico -que debe ser pagado exclusivamente por la generación-.

En este sentido, se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar inicialmente la inversión en la obra civil de la presa que se supone tiene un uso prioritario para riego. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico, y a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa en sí ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

Luego se recalculó la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos propios ya considerados, un rango de porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

En el capítulo de resumen (capítulo 5) se propone adicionalmente una TIR global de la inversión haciendo una valoración del uso del agua para riego en base a una equivalencia en arroz. Para ello se asumió un precio del agua (remuneración) equivalente al valor de 500 kg de arroz por hectárea, un suministro a los regantes de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor del arroz cosechado de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos para los 17 proyectos de presas seleccionados. En el Anexo I se pueden ver en detalle los resultados obtenidos para cada uno de los casos.

### Disponibilidad energética media y volumen del embalse

En primer lugar, con el propósito de visualizar la dimensión de los proyectos seleccionados, en la Figura 5-1 y Figura 5-2 se presenta el volumen máximo de almacenamiento del embalse y la potencia nominal que convendría instalar en cada caso.

Los volúmenes embalsados varían en un amplio intervalo comprendido entre 10 Hm<sup>3</sup> y 400 Hm<sup>3</sup>, con un valor medio de 84 Hm<sup>3</sup>.

Se observa que la potencia nominal, bajo la hipótesis de riego continuo, toma valores entre 70 kW y 9.100 kW, con una media de 1.500 kW. En el escenario de riego intermitente, la misma varía entre 215 kW y 27.300 kW, con un valor medio de 4.500 kW (en uno y otro escenario la potencia aumenta en la misma relación que el caudal de funcionamiento,  $Q_{intermitente} = 3*Q_{continuo}$ ).

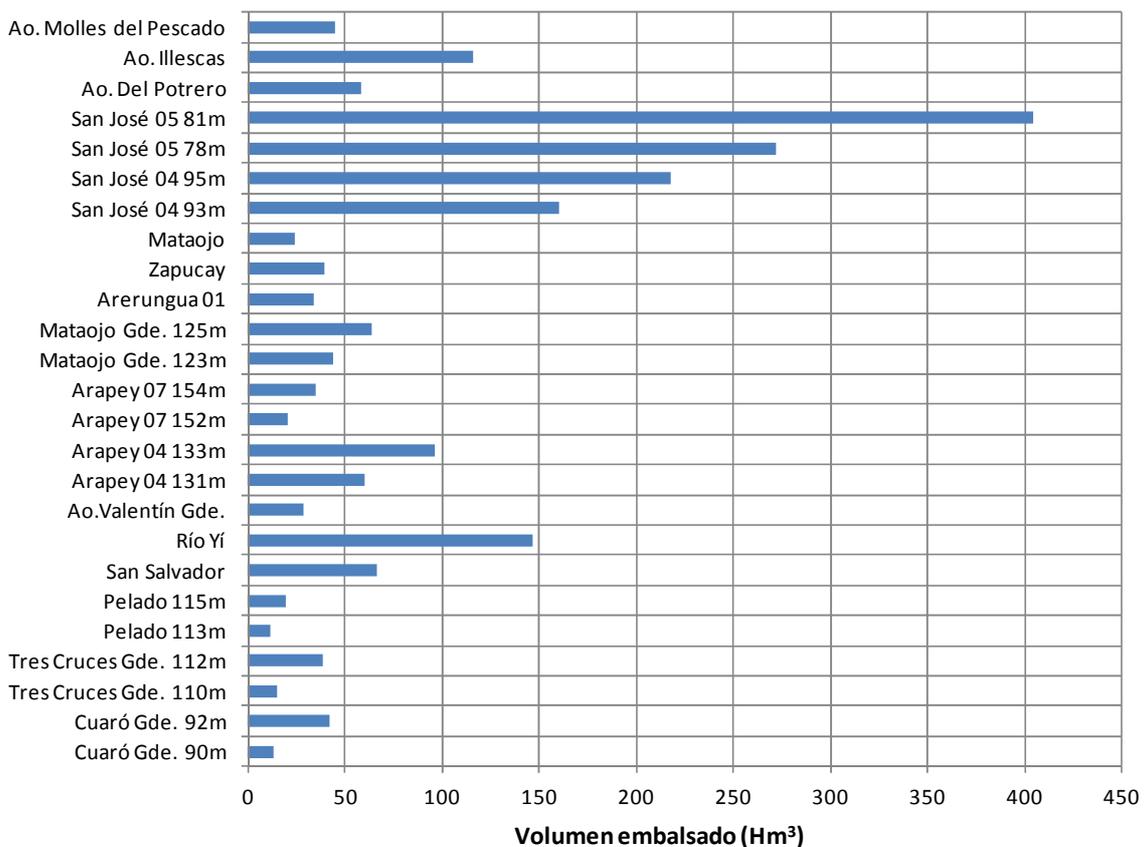


Figura 5-1: Volumen máximo de almacenamiento del embalse

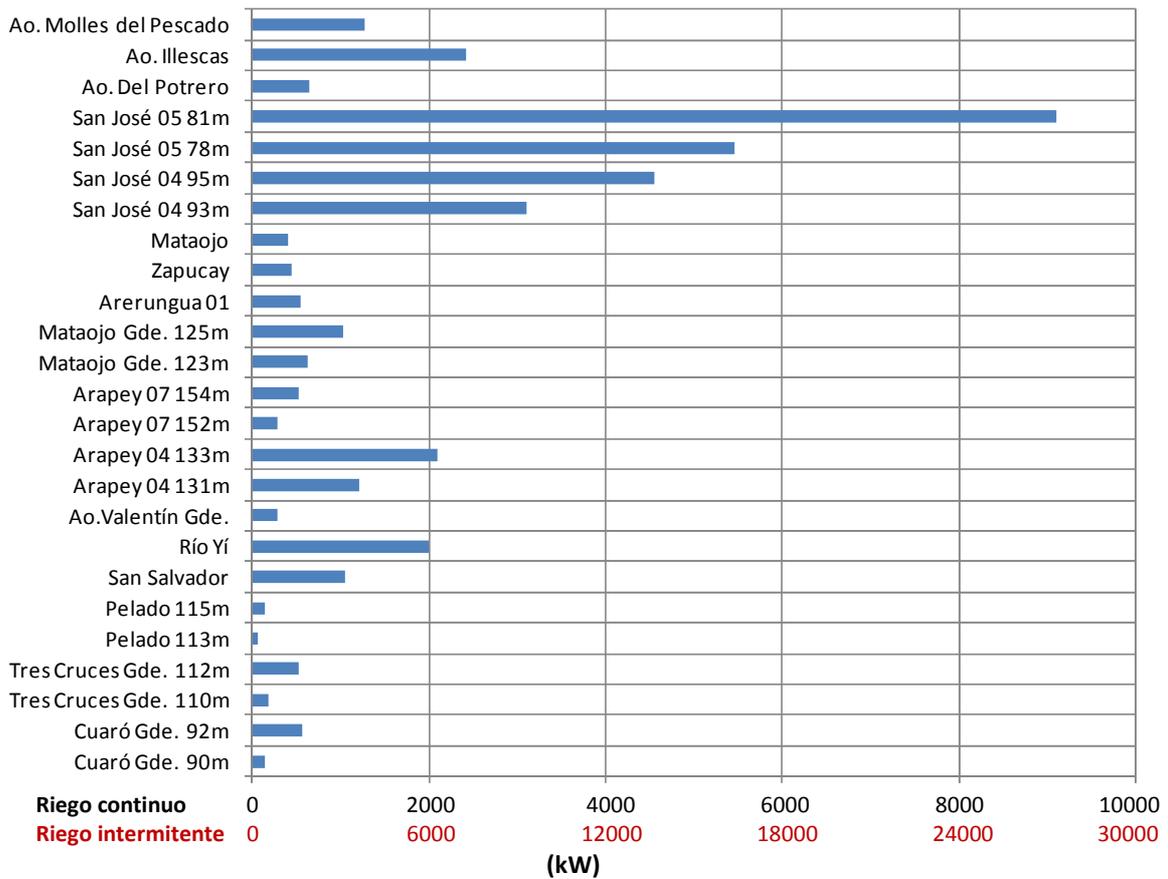


Figura 5-2: Potencia nominal a instalar en cada embalse pre-seleccionado y para cada escenario de operación considerado

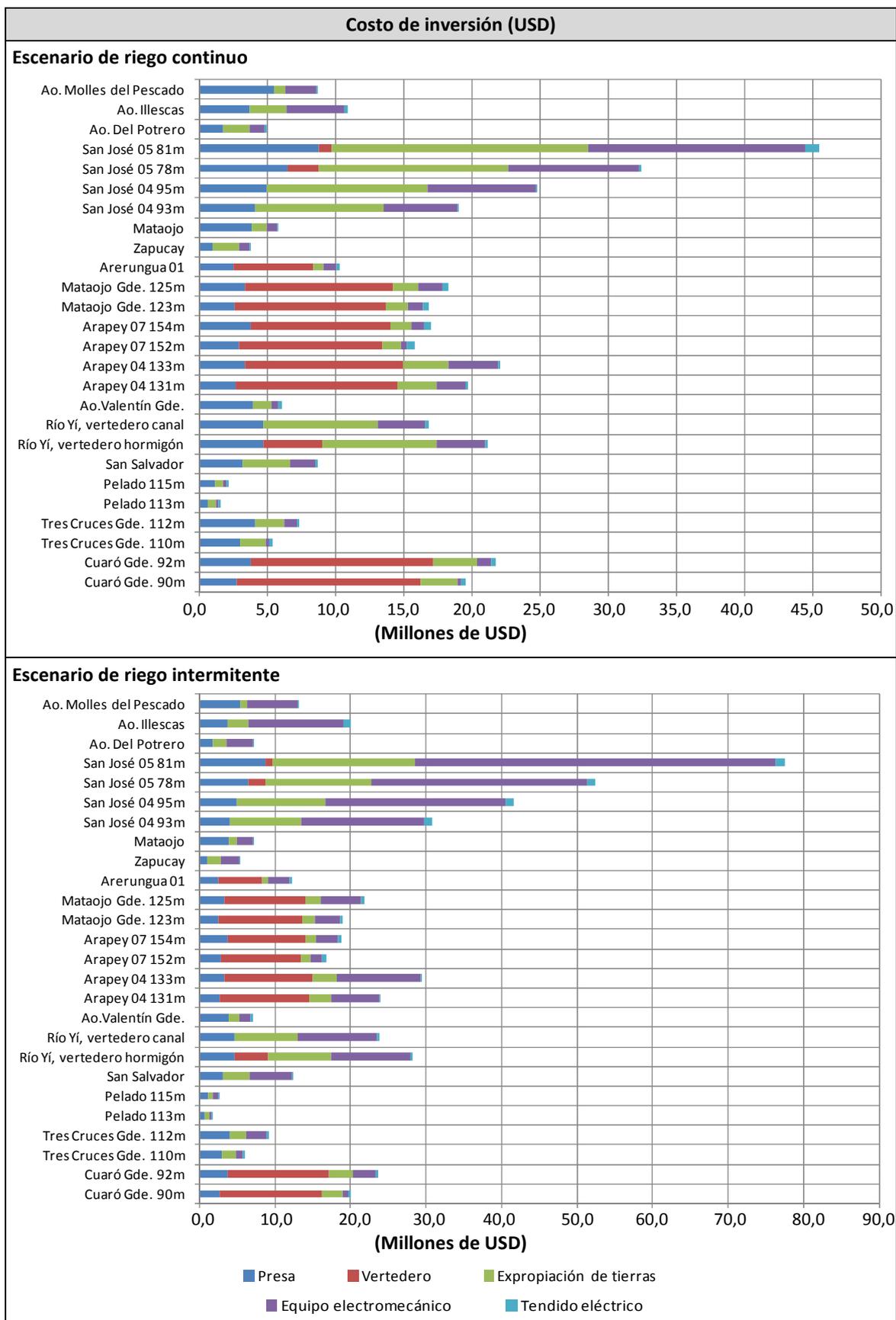
Análisis del retorno de la inversión

A continuación se presenta, para cada caso y para cada escenario de operación considerado, el costo de inversión desglosado en sus rubros principales: i) el costo de la presa, ii) el costo del vertedero de hormigón (en los casos en que corresponda), iii) el costo de expropiación de las tierras a inundar, iv) el costo del equipo electromecánico y v) el costo del tendido eléctrico.

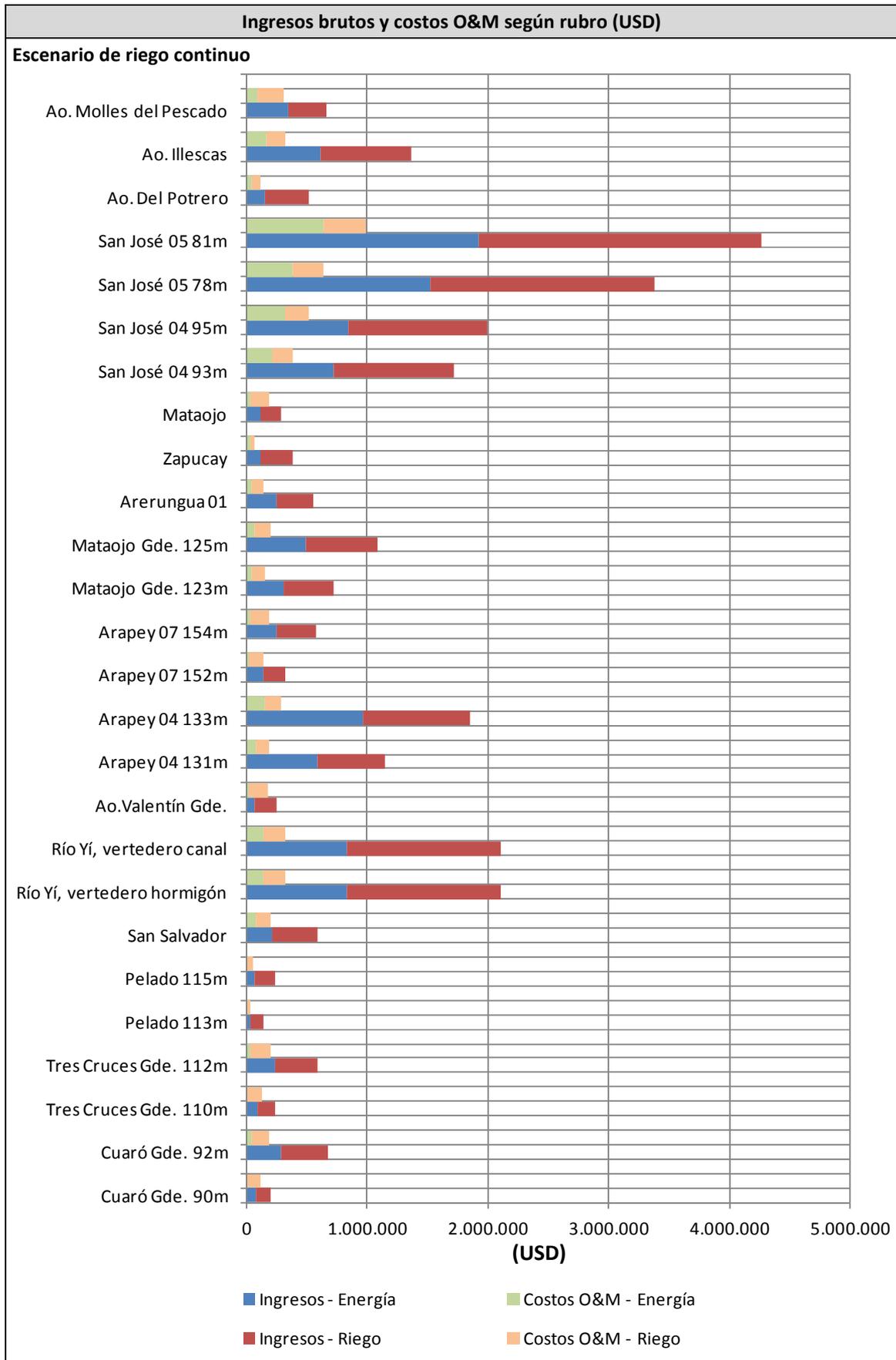
En general se observa que, bajo la hipótesis de riego continuo, el costo total de la inversión varía entre USD 1.500.000 y USD 45.500.000, con una media de USD 14.700.000. En el escenario de riego intermitente, el mismo varía entre USD 1.700.000 y USD 77.500.000, con un valor medio de USD 20.200.000.

A su vez, se observa cómo varía la estructura de costos en función de las características de cada caso y del escenario de operación considerado.

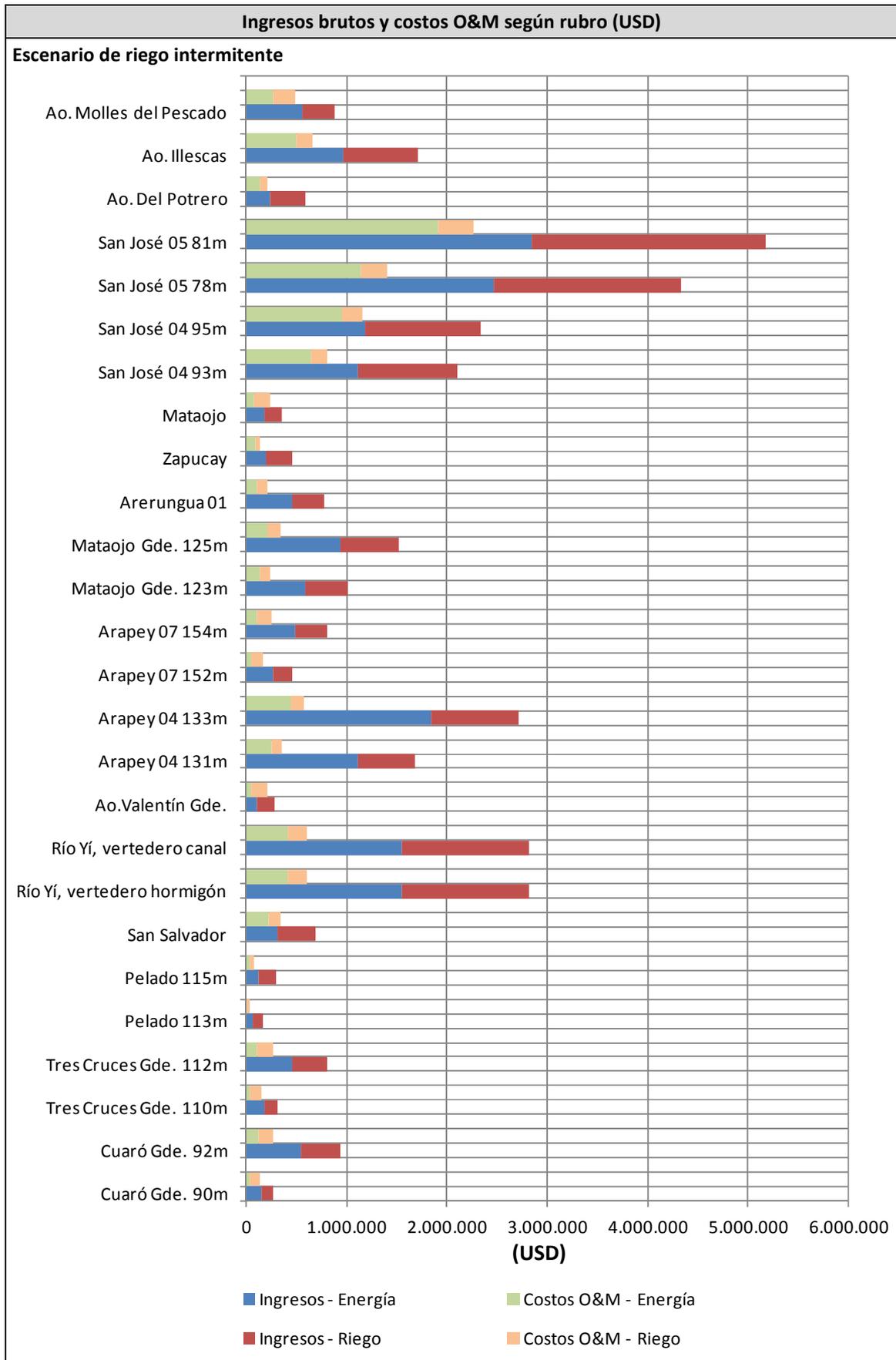
En la Figura 5-4 y Figura 5-5 se presentan los ingresos brutos y los costos de O&M anuales (sin actualizar) para cada escenario de operación del embalse, diferenciando entre los ingresos y costos asociados a la generación hidroeléctrica (ingresos por venta de energía y costo de O&M del equipo electromecánico) y al riego (valoración del uso del agua para riego y costos de O&M de la presa).



**Figura 5-3: Costo de inversión para cada embalse pre-seleccionado y para cada escenario de operación considerado**

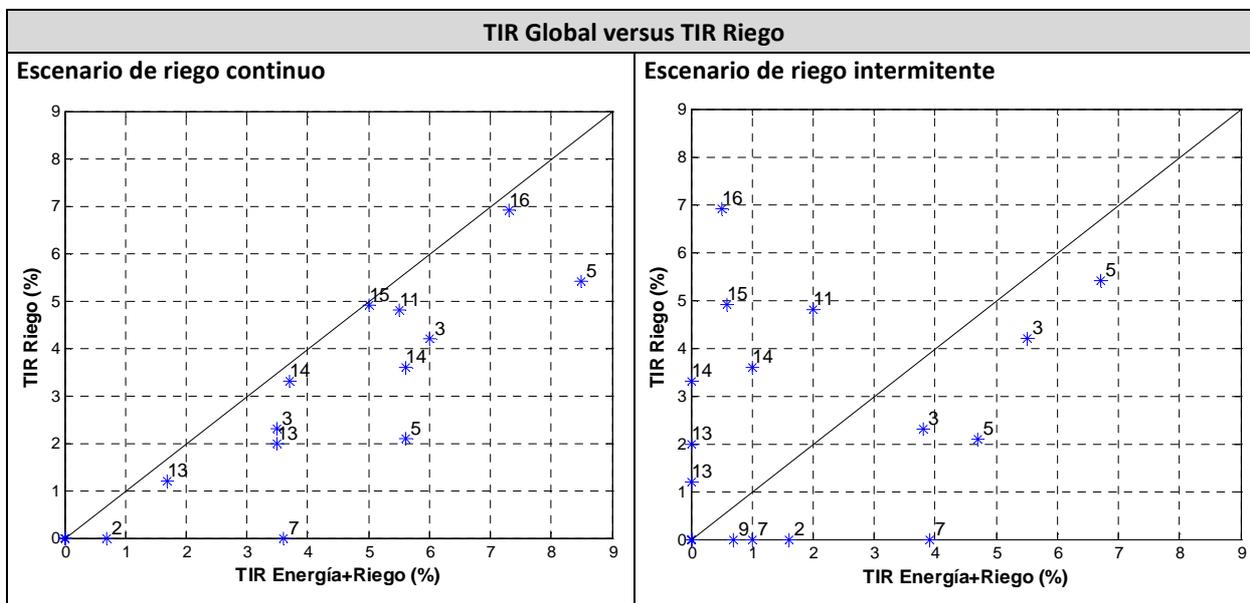


**Figura 5-4: Ingresos brutos y costos O&M según rubro bajo el escenario de riego continuo**



**Figura 5-5: Ingresos brutos y costos O&M según rubro bajo el escenario de riego intermitente**

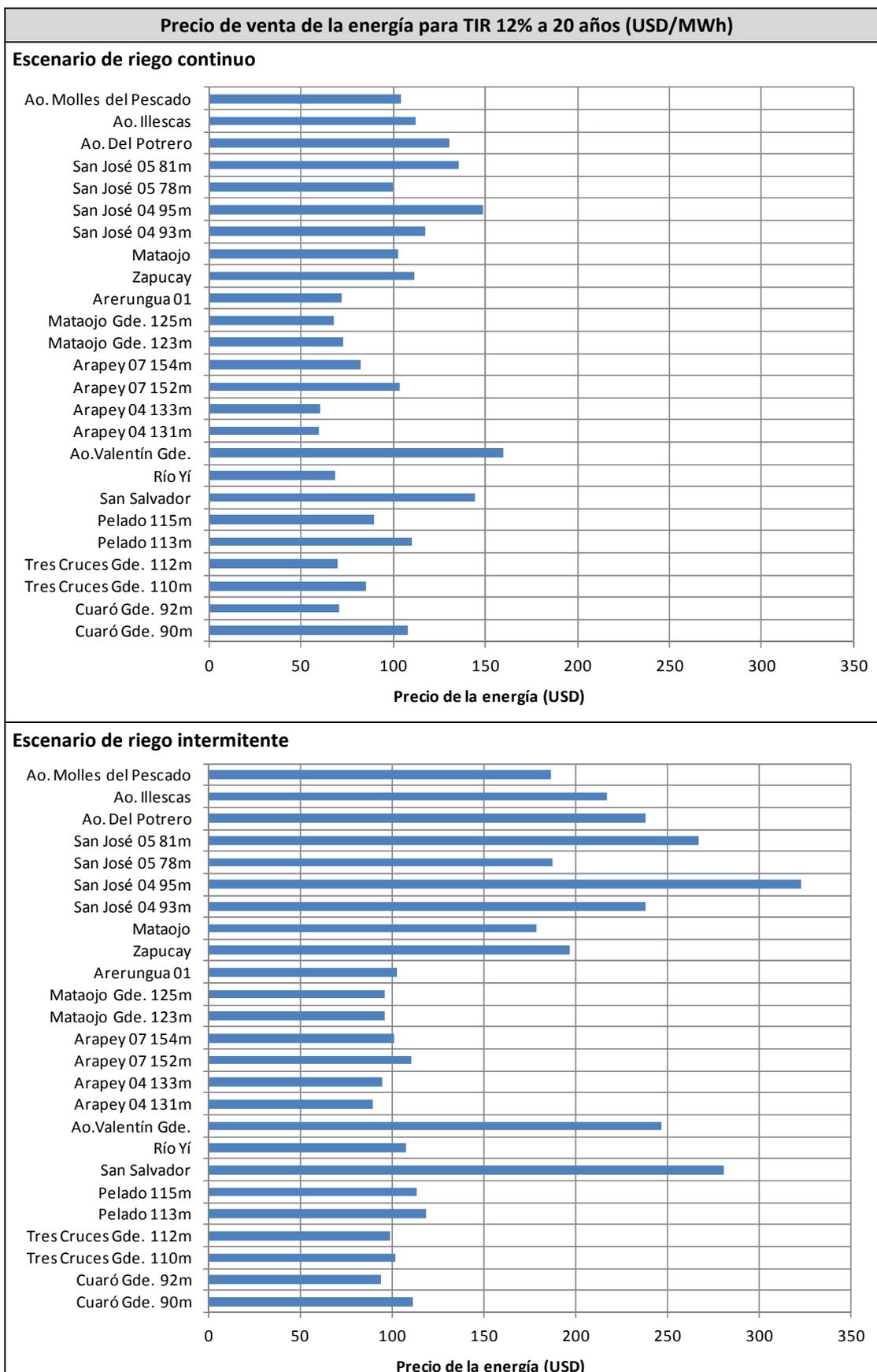
A continuación se presenta la TIR de la inversión global, incluyendo una valoración del uso del agua para riego y a la generación hidroeléctrica, en función de la TIR de la inversión asociada únicamente al riego (cada embalse tiene asociado un número de identificación según la Tabla 3-1 y todas las demás tablas con listados de casos). Dicha figura muestra, para cada proyecto seleccionado, la variación en la TIR debido a la incorporación de la generación hidroeléctrica.



**Figura 5-6: TIR Glogal (Energía + Riego) versus TIR Riego para cada embalse pre-seleccionado y para cada escenario de operación considerado**

En la siguiente figura se presenta el precio que debería pagarse por la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR de 12% a 20 años. Cabe destacar que dicho cálculo se realizó considerando únicamente los ingresos y costos asociados a la generación hidroeléctrica, sin incluir la valoración del uso del agua para riego ni los costos de la presa y de expropiación del terreno.

Se observa que los precios requeridos varían entre 60 y 320 USD/MWh, con una media de 127 USD/MWh.

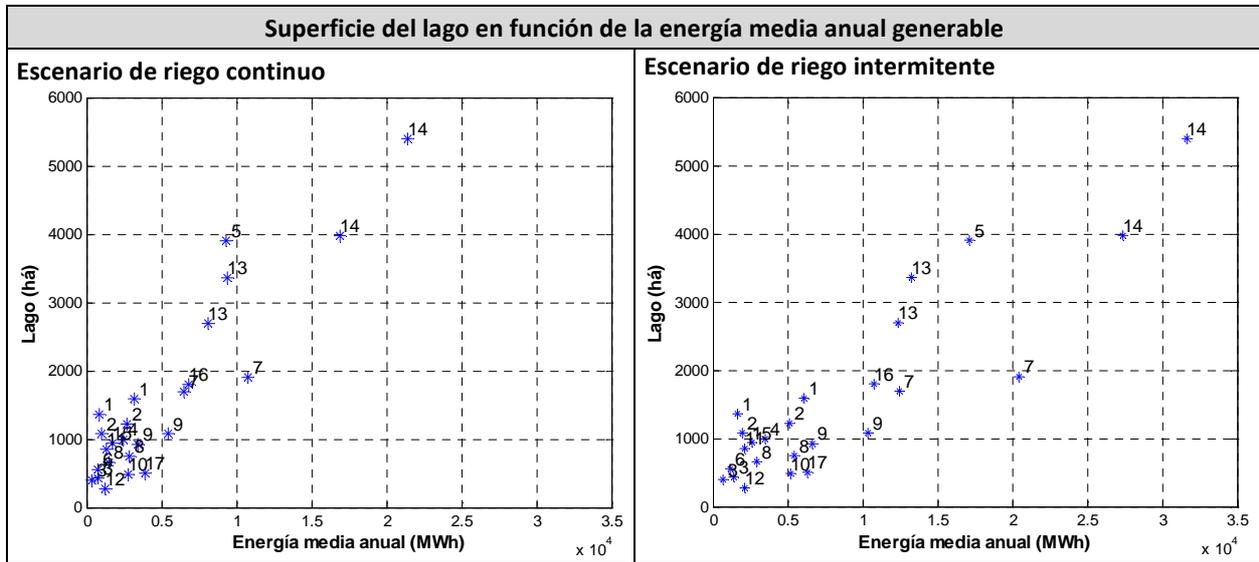


**Figura 5-7: Precio que debería pagarse por la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR de 12% a 20 años**

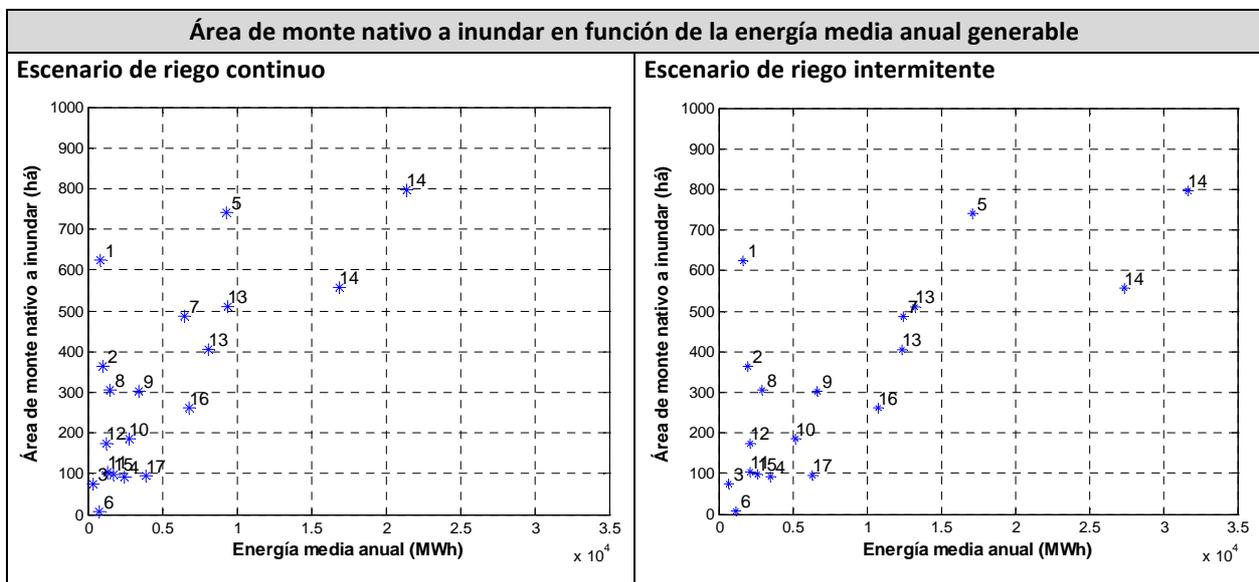
Evaluación de aspectos socio-ambientales

A continuación se presentan algunos indicadores que permiten valorar la afectación del lago, vinculándola con la dimensión del aprovechamiento hidroeléctrico.

En la Figura 5-8 y Figura 5-9 se presenta la superficie del lago y el área de monte nativo a inundar a cota de vertedero en función de la energía media anual generable en cada caso.



**Figura 5-8: Superficie del lago en función de la energía media anual generable para cada embalse pre-seleccionado y para cada escenario de operación considerado**



**Figura 5-9: Área de monte nativo a inundar en función de la energía media anual generable para cada embalse pre-seleccionado y para cada escenario de operación considerado**

Finalmente, en la Figura 5-10 se presenta la superficie de monte nativo a inundar para cada embalse seleccionado. Se observa que la misma varía entre 7 há (para la presa sobre el arroyo Valentín Gde.) y 800 há (para la presa sobre el río San José en el punto de cierre 05).

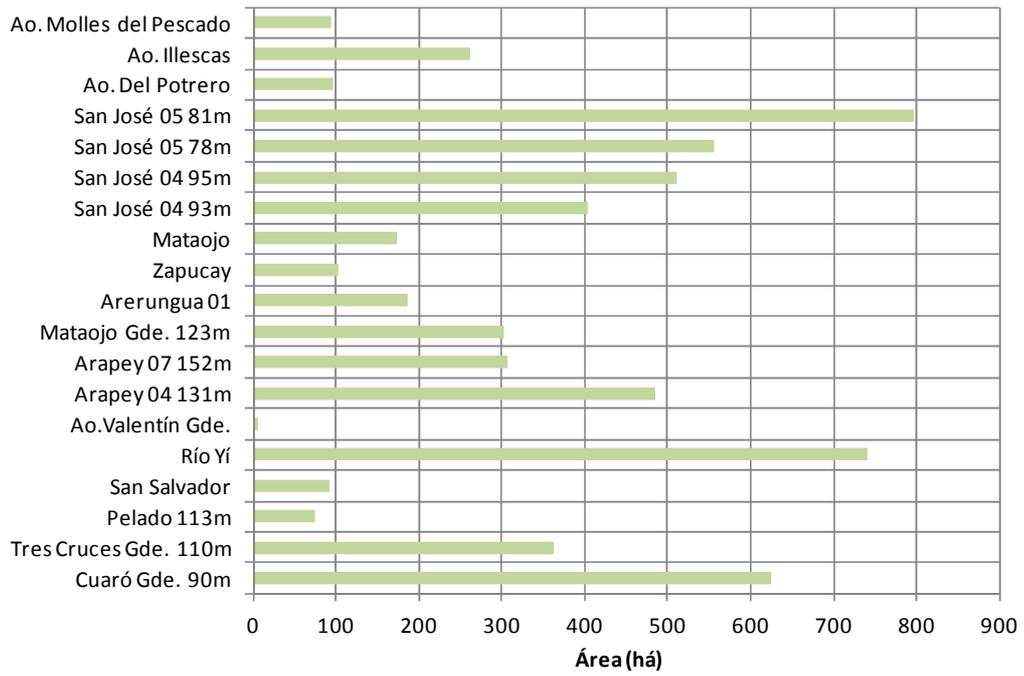


Figura 5-10: Área de monte nativo a inundar

## 6. CONCLUSIONES

En acuerdo con el MGAP, DINAGUA y DNE-MIEM, a partir de un listado de propuestas ya existentes planteadas por diversos colectivos e instituciones, se seleccionaron 17 proyectos de presas para riego como los más promisorios a ser analizados.

Para los casos pre-seleccionados se realizó un análisis de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica de los proyectos, el cual comprende la caracterización de la cuenca de aporte y del embalse, la estimación de la disponibilidad energética media, la evaluación de aspectos socio-ambientales, el prediseño de la obra civil, la estimación del costo de inversión y el análisis del retorno de la inversión. En algunos casos se hizo además un análisis de sensibilidad al volumen de almacenamiento del embalse.

En la estimación de la disponibilidad energética media se asumieron dos protocolos de operación del embalse, riego en forma continua con caudal constante durante toda la temporada, y riego intermitente con el mismo caudal constante para cada intervalo de riego. Cabe destacar que esta alternativa entre riego continuo o intermitente estará dada por la operación del embalse para riego en cada caso, que depende de decisiones (agronómicas, empresariales, etc.) que pueden ser variables de un año a otro. De los resultados obtenidos resulta que bajo la hipótesis de riego continuo hay sitios con potencia nominal a instalar desde 70 kW a 9.100 kW, con una media de 1.500 kW. Mientras que en el escenario de riego intermitente, la misma varía entre 215 kW y 27.300 kW, con un valor medio de 4.500 kW.

Para el análisis del retorno de la inversión se consideró un precio de la energía de 90 USD/MWh durante los primeros 20 años.

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica, sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; se supone que ésta será construida para un uso prioritario de riego. De esta manera resulta que bajo el escenario de riego continuo todos los casos presentan TIR positiva, con una media de 11,7% y un máximo de 21,7%, mientras que si se considera un riego intermitente se tienen 8 casos con TIR positiva con un valor medio de 5,6% y un máximo de 11,9%. Cabe destacar que dichos resultados dependen fuertemente de la hipótesis de caudal triple, es decir, del sobreequipamiento considerado respecto al caudal medio.

Se hizo un análisis de sensibilidad al precio de venta de la energía generada, calculando el precio que debería pagarse para que, con idénticas condiciones de generación y costos –sin incluir los de la presa ni de expropiación del terreno-, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14y 16%. En particular, para obtener una TIR de 12%, los precios de venta de la energía deberían estar entre 60 y 320 USD/MWh, dependiendo del sitio, con un valor medio de 127 USD/MWh (ver análisis de casos en Anexo I).

Luego se recalculó la TIR, para cada sitio, adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos propios ya considerados, algún porcentaje de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados. Se llegó a que en ningún caso la generación hidroeléctrica logra cubrir el 100% de la inversión.

Adicionalmente se calculó una TIR de la inversión global, incluyendo la generación hidroeléctrica y una valoración del uso del agua para riego, y se la comparó con la TIR de la inversión asociada únicamente al riego. Se llegó a que bajo el escenario de riego continuo la incorporación de la generación hidroeléctrica tiene un efecto positivo en la TIR en todos los casos (aumenta la TIR del emprendimiento dedicado sólo a riego), mientras que si se considera un riego intermitente la variación en la TIR no siempre es positiva. Nuevamente, dichos resultados dependen fuertemente de la hipótesis de caudal triple.

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que bajo las hipótesis, costos y precios manejados existen casos en los que la implementación de aprovechamientos hidroeléctricos en represas nuevas para riego es rentable.

## **7. ANEXO I: ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD DE LOS CASOS SELECCIONADOS**

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el análisis de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica de cada uno de los embalses seleccionados.

## 7.1 CUARÓ GDE.

Dado que la iniciativa original propone un embalse sobre el arroyo Cuaró Grande a cota 90 m con un volumen de almacenamiento de 43,0 Hm<sup>3</sup>, el cual no coincide con el volumen calculado en el presente informe, en este caso se consideraron dos cotas para el embalse:

- Cota +90 m, cota considerada en el proyecto original.
- Cota +92 m, cota tal que el volumen de almacenamiento sea similar al considerado en el proyecto original.

### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) para las dos cotas consideradas. Para ello se construyó, a partir de las curvas de nivel cada 10 m del SGM, un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1: Características geométricas del embalse - Cuaró Gde

Cota (m)	Altura (m)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Área (há)
90	15,0	12,9	1.368
92	17,0	42,4	1.583

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.

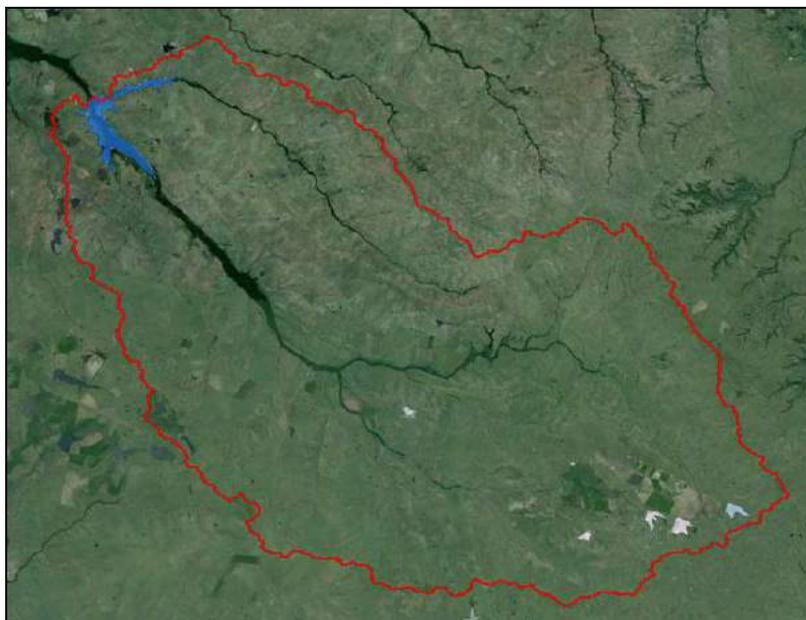


Figura 7-1: Cuenca de aporte - Cuaró Gde

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir

de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el embalse a cota 90 m.

**Tabla 7-2: Caracterización hidrológica - Cuaró Gde, cota 90 m**

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	145.220
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	52
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	909
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	12,9
Relación cuenca/embalse	70,5
Factor de Capacidad (riego)	1,00
Factor de Capacidad (llenado)	0,46

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

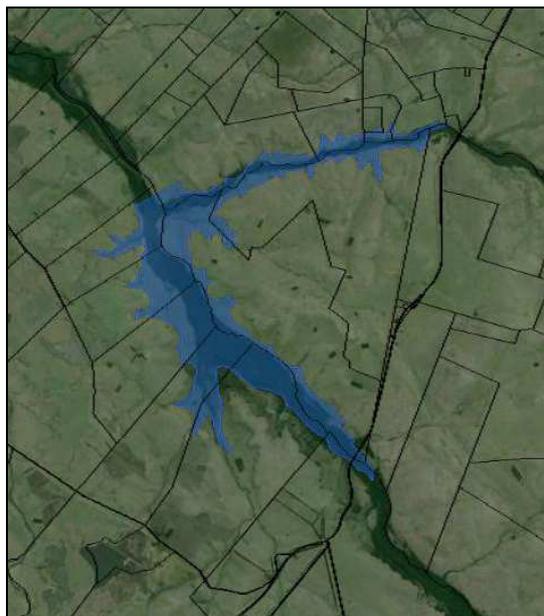
**Tabla 7-3: Disponibilidad energética media - Cuaró Gde, cota 90 m**

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	15,0	15,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	3,2	9,7
Potencia (kW)	155	466
Factor de Capacidad (riego)	1,00	
Energía Máx. (riego) (MWh)	448	
Energía (riego) (MWh)	448	448
Factor de Capacidad (llenado)	0,46	0,46
Energía Máx. (llenado) (MWh)	896	2.687
Energía (llenado) (MWh)	415	1.244
Energía Media Anual (MWh)	862	1.692

### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el índice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Artigas se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados para la cota considerada (90 m, cota del embalse a nivel de vertedero).



**Tabla 7-4: Padrones inundados a cota 90 m - Cuaró Gde**

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

**Tabla 7-5: Área total y porcentaje de área inundada a cota 90 m para cada padrón - Cuaró Gde**

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
723	10	4	41%
4172	384	134	35%
6175	55	15	28%
4171	346	92	27%
4173	512	134	26%
6838	1.317	284	22%
6174	157	34	22%
6962	631	139	22%
6963	1.143	183	16%
5833	579	81	14%
6839	1.292	147	11%
5837	26	2	6%
5835	210	13	6%
906	535	15	3%
2702	10	0,2	2%
906	1.259	10	1%
724	264	3	1%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-6: Áreas a inundar a cota 90 m según usos del suelo - Cuaró Gde

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Cursos de Agua	16	1,2%
Arbustos y Pradera Natural	4	0,3%
Monte Nativo	624	48,2%
Pradera Natural	650	50,2%

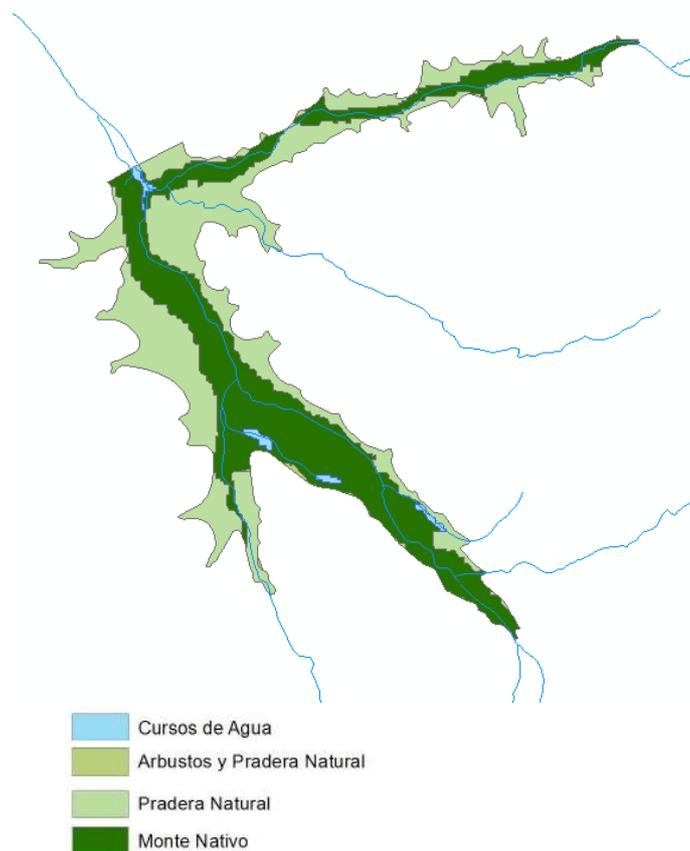


Figura 7-2: Usos del suelo de las tierras a inundar a cota 90 m - Cuaró Gde

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

Tabla 7-7: Área a inundar en función del índice CONEAT - Cuaró Gde, cota 90 m

Índice CONEAT	Área (há)
30	186
153	258
158	850
<b>Promedio ponderado</b>	<b>139</b>

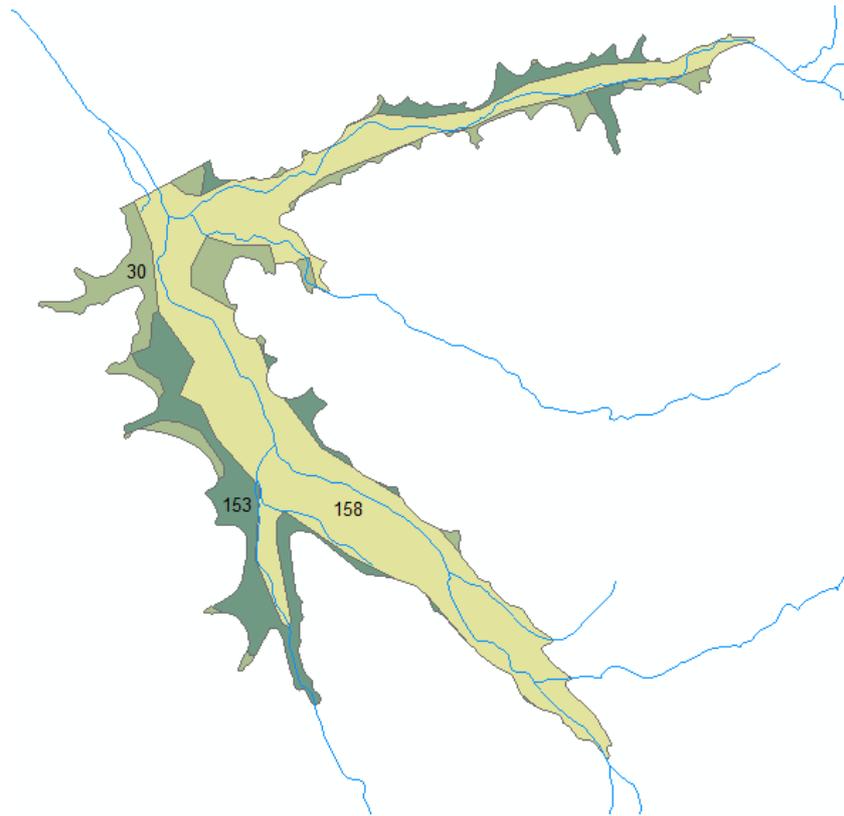


Figura 7-3: Índice CONEAT de las tierras a inundar a cota 90 m - Cuaró Gde

En la siguiente figura se puede observar que la afectación de infraestructura debido a la presencia del lago es mínima (a lo sumo afecta algún camino vecinal), tampoco se constata inundación de establecimientos rurales (indicados como ▲) ni de líneas de energía eléctrica de media tensión.



Figura 7-4: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Cuaró Gde, cota 90 m

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-8 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-8: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Cuaró Gde**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	1.452
Longitud del cauce principal (km)	83
Desnivel geométrico (m)	215
Pendiente media (%)	0,26%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	20,23
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>3.580</b>

En este caso, debido al muy bajo tiempo de residencia del agua en el embalse (muy alta relación cuenca/embalse), para materializar un vertedero tipo canal que sea estable frente a la erosión del flujo se requieren anchos de canal y sobreelevaciones en el embalse excesivos. Por ello se descartó esta solución y se procedió a evaluar la alternativa de un vertedero de hormigón.

Se calculó, para cada ancho de vertedero considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 5 m/s para no comprometer la estructura). A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada ancho de vertedero considerado.

**Tabla 7-9: Laminación para diferentes anchos del vertedero de hormigón - Cuaró Gde, cota 90 m**

Ancho del vertedero (m)	300	330	350	400	450
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	3.581	3.581	3.581	3.581	3.581
Caudal máximo vertido (m <sup>3</sup> /s)	3.448	3.449	3.454	3.480	3.498
Capacidad de laminación	96,3%	96,3%	96,4%	97,2%	97,7%
Sobreelevación (m)	3,4	3,2	3,1	2,9	2,7
Velocidad en la descarga (m/s)	5,01	4,85	4,76	4,56	4,40

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero de hormigón que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 3 m.

A los fines de estimar el costo del vertedero se seleccionó un ancho igual a 330 m.

**Tabla 7-10: Cota de coronamiento - Cuaró Gde, cota 90 m**

Cota de vertido (m)	90,0
Altura de revancha (m)	4,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>94,0</b>

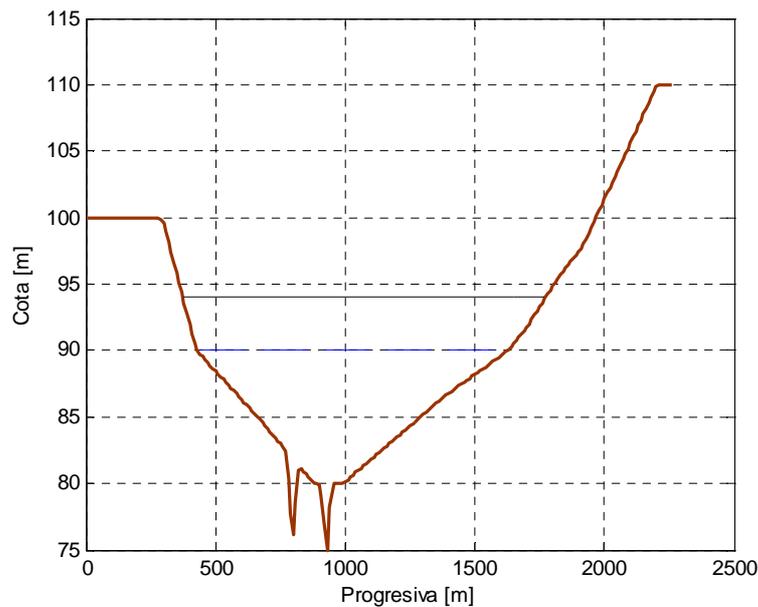
**Tabla 7-11: Altura de presa - Cuaró Gde, cota 90 m**

<b>Altura máxima del embalse (m)</b>	15,0
<b>Altura de revancha (m)</b>	4,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>19,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-5 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-12: Volumen de material requerido para la construcción de la presa a cota 90 m- Cuaró Gde**

<b>Altura de presa (m)</b>	19,0
<b>Ancho de coronamiento (m)</b>	6,0
<b>Talud aguas arriba (1V:mH)</b>	1V:3H
<b>Talud aguas abajo (1V:mH)</b>	1V:2,5H
<b>Longitud del cierre (m)</b>	1.400
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>410.000</b>



**Figura 7-5: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Cuaró Gde, cota 90 m**

### Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

Tabla 7-13: Costo de la obra civil - Cuaró Gde, cota 90 m

Volumen de tierra (m <sup>3</sup> )	410.000
Costo de la presa (USD)	<b>2.700.000</b>
Volumen de hormigón (m <sup>3</sup> )	22.400
Costo del vertedero (USD)	<b>13.500.000</b>
Costo de la obra civil (USD)	<b>16.200.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 1 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 2.000 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 2.740.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 270.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 800.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8). Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 6 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-6 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 350.000.



Figura 7-6: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Cuaró Gde

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-14: Costo de inversión - Cuaró Gde, cota 90 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	16.200.000	16.200.000
Costo de expropiación	2.740.000	2.740.000
Costo del equipo electromecánico	270.000	800.000
Costo del tendido eléctrico	350.000	350.000
<b>Costo total</b>	<b>19.500.000</b>	<b>20.000.000</b>

### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>3</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

Tabla 7-15: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Cuaró Gde, cota 90 m

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	620.000	1.160.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	77.600	152.300
Costo de O&M (USD/año)	10.900	32.700
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	<b>66.700</b>	<b>119.600</b>
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>8,8%</b>	<b>8,1%</b>

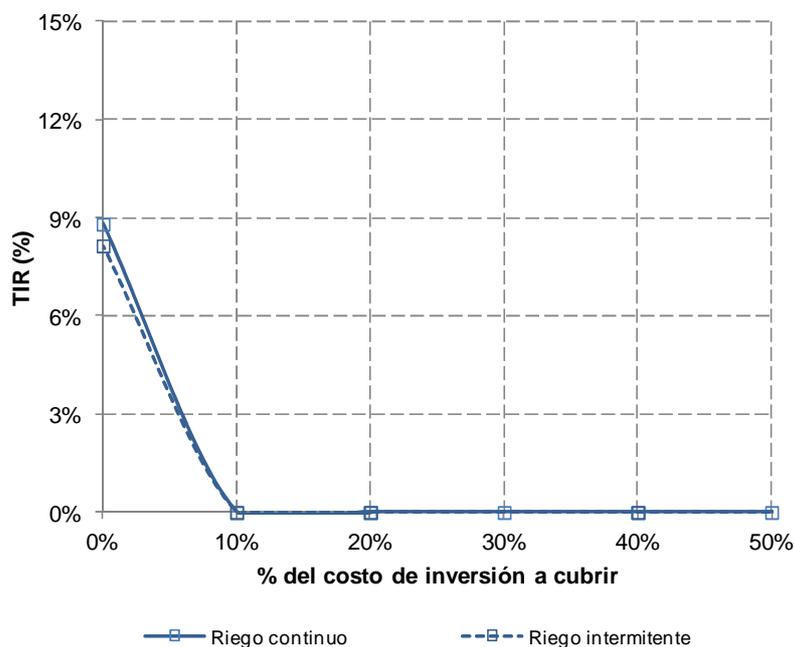
Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

Tabla 7-16: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Cuaró Gde, cota 90 m

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
<b>TIR = 8%</b>	86 USD/MWh	89 USD/MWh
<b>TIR = 10%</b>	97 USD/MWh	100 USD/MWh
<b>TIR = 12%</b>	108 USD/MWh	111 USD/MWh
<b>TIR = 14%</b>	121 USD/MWh	123 USD/MWh
<b>TIR = 16%</b>	133 USD/MWh	135 USD/MWh

<sup>3</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.



**Figura 7-7: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Cuaró Gde, cota 90 m**

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

**Tabla 7-17: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Cuaró Gde, cota 90 m**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	19.530.000	20.080.000
Ingresos totales (USD/año)	197.300	271.900
Costo de O&M (USD/año)	119.000	140.800
Ingresos netos (USD/año)	78.200	131.100
TIR para 20 años (%)	< 0,0%	< 0,0%

### **Análisis de sensibilidad al volumen del embalse**

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos para el segundo caso considerado, con el embalse a cota 92 m, con un salto disponible de 17,0 m, un espejo de agua de 1583 há y un volumen de almacenamiento de 42,4 Hm<sup>3</sup>.

Disponibilidad energética media

Tabla 7-18: Caracterización hidrológica - Cuaró Gde, cotas 90 y 92 m

Caracterización hidrológica	Cota 90 m	Cota 92 m
Altura máxima del embalse (m)	15	17
Superficie del lago (há)	1.368	1.583
Volumen de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	12,9	42,4
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	909	909
Relación Cuenca/Embalse	<b>70,5</b>	<b>21,4</b>
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	<b>0,46</b>	<b>0,44</b>

Tabla 7-19: Disponibilidad energética media - Cuaró Gde, cota 92 m

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	17,0	17,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	10,6	31,8
Potencia (kW)	<b>579</b>	<b>1.738</b>
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	1,00	
Energía Máx. <sub>(riego)</sub> (MWh)	1.669	
Energía <sub>(riego)</sub> (MWh)	<b>1.669</b>	<b>1.669</b>
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,44	0,44
Energía Máx. <sub>(llenado)</sub> (MWh)	3.337	10.012
Energía <sub>(llenado)</sub> (MWh)	<b>1.481</b>	<b>4.444</b>
Energía Media Anual (MWh)	<b>3.150</b>	<b>6.112</b>

Estimación del costo de inversión

Tabla 7-20: Costo de inversión - Cuaró Gde, cota 92 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la presa	3.750.000	3.750.000
Costo del vertedero	13.400.000	13.400.000
Costo de expropiación	3.160.000	3.160.000
Costo del equipo electromecánico	1.000.000	3.000.000
Costo del tendido eléctrico	350.000	350.000
Costo total	<b>21.700.000</b>	<b>23.700.000</b>

Análisis del retorno de la inversión

Tabla 7-21: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Cuaró Gde, cota 92 m

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	1.350.000	3.350.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	280.000	550.000
Costo de O&M (USD/año)	40.000	122.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>240.000</b>	<b>428.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>17,1%</b>	<b>11,1%</b>

Tabla 7-22: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Cuaró Gde, cota 92 m

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	57 USD/MWh	76 USD/MWh
TIR = 10%	63 USD/MWh	85 USD/MWh
TIR = 12%	71 USD/MWh	94 USD/MWh
TIR = 14%	78 USD/MWh	103 USD/MWh
TIR = 16%	86 USD/MWh	113 USD/MWh

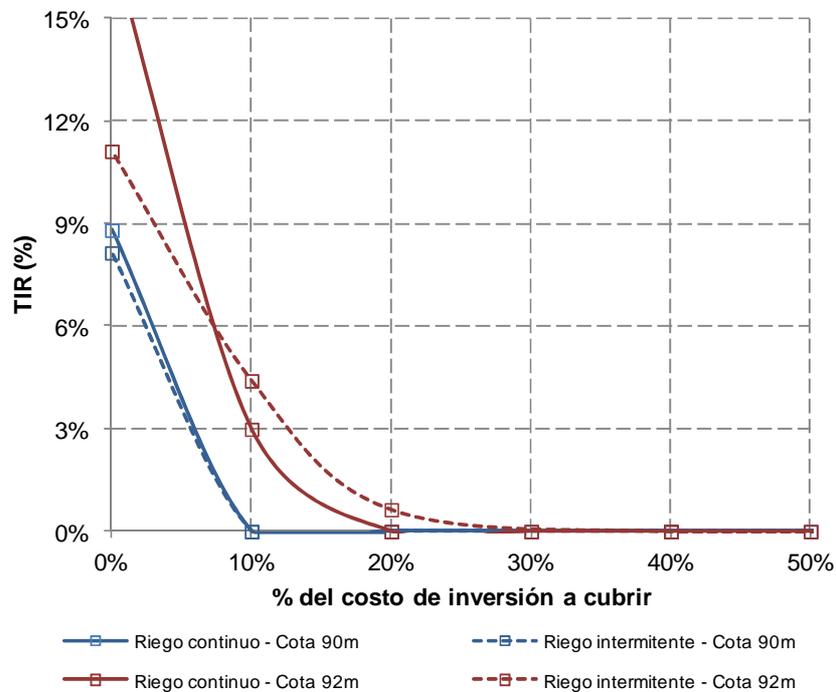


Figura 7-8: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Cuaró Gde, cota 90 y 92 m

**Tabla 7-23: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Cuaró Gde, cota 92 m**

<b>Análisis del retorno de la inversión global</b>		
<b>Escenario de operación del embalse</b>	<b>Continuo</b>	<b>Intermitente</b>
<b>Costo de inversión (USD)</b>	21.710.000	23.740.000
<b>Ingresos totales (USD/año)</b>	677.000	943.600
<b>Costo de O&amp;M (USD/año)</b>	190.700	271.800
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	486.300	671.800
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>&lt; 0,0%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

## 7.2 TRES CRUCES

Dado que en la iniciativa original propone un embalse sobre el arroyo Tres Cruces Grande a cota 110 m con un volumen de almacenamiento de 33,0 Hm<sup>3</sup>, el cual no coincide con el volumen calculado en el presente informe, en este caso se consideraron dos cotas para el embalse:

- Cota +110 m, cota considerada en el proyecto original.
- Cota +112 m, cota tal que el volumen de almacenamiento sea similar al considerado en el proyecto original.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada caso.

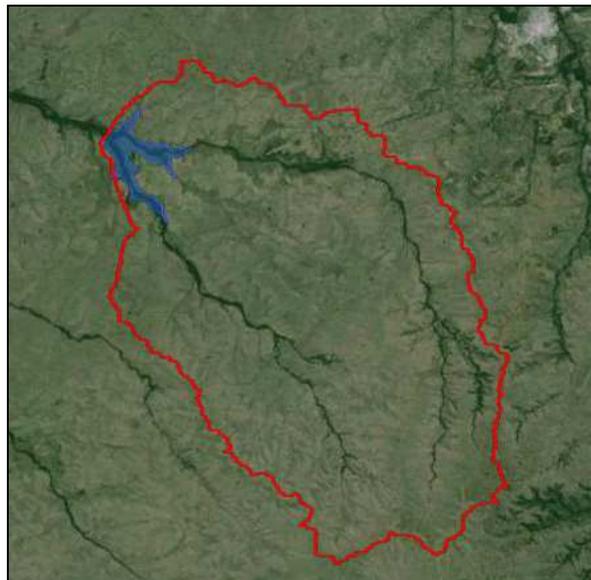
### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las relaciones entre la altura máxima del embalse, el volumen almacenado y el área inundada. Para ello se construyó, a partir de las curvas de nivel cada 10 m del SGM, un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7-24.

**Tabla 7-24: Características geométricas del embalse - Tres Cruces**

Cota (m)	Altura (m)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Área (há)
110,0	15,0	15,4	1.077
112,0	17,0	38,4	1.223

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



**Figura 7-9: Cuenca de aporte - Tres Cruces**

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir

de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el embalse a cota 110 m.

**Tabla 7-25: Caracterización hidrológica - Tres Cruces, cota 110 m**

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	48.802
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	55
<b>Volumen medio de aporte anual (Hm<sup>3</sup>)</b>	<b>325</b>
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	15,4
Relación cuenca/embalse	<b>21,1</b>
Factor de Capacidad (riego)	<b>1,00</b>
Factor de Capacidad (llenado)	<b>0,44</b>

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

**Tabla 7-26: Disponibilidad energética media - Tres Cruces, cota 110 m**

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	15,0	15,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	3,9	11,5
<b>Potencia (kW)</b>	<b>186</b>	<b>557</b>
Factor de Capacidad (riego)	1,00	
Energía Máx. (riego) (MWh)	535	
<b>Energía (riego) (MWh)</b>	<b>535</b>	<b>535</b>
Factor de Capacidad (llenado)	0,44	0,44
Energía Máx. (llenado) (MWh)	1.069	3.207
<b>Energía (llenado) (MWh)</b>	<b>474</b>	<b>1.422</b>
<b>Energía Media Anual (MWh)</b>	<b>1.008</b>	<b>1.956</b>

### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el índice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Artigas se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados para la cota considerada (110 m, cota de embalse a nivel de vertedero).

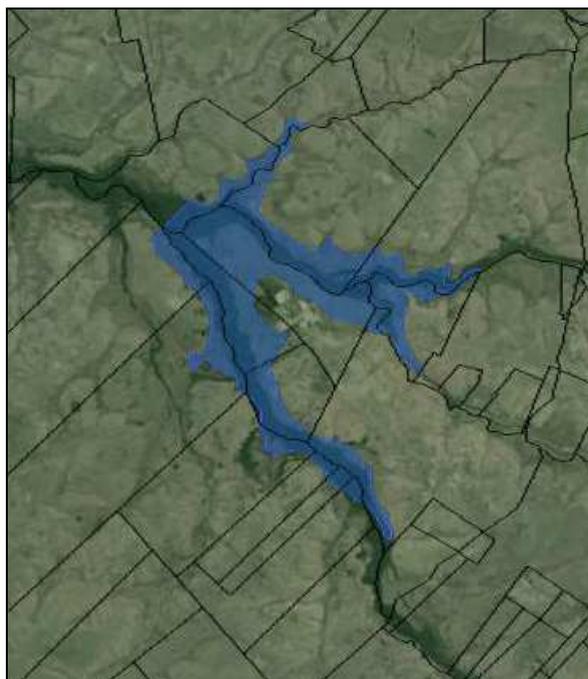


Tabla 7-27: Padrones inundados a cota 110 m - Tres Cruces

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

Tabla 7-28: Área total y porcentaje de área inundada a cota 110 m para cada padrón - Tres Cruces

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
3457	160	132,8	83%
732	327	194,7	59%
4474	168	68,4	41%
4697	163	61,2	37%
2354	535	132,8	25%
1030	347	45,4	13%
764	83	10,0	12%
733	751	60,4	8%
1031	857	56,9	7%
2636	1.076	58,1	5%
1709	444	22,4	5%
1695	141	7,6	5%
3442	148	6,2	4%
712	1.147	30,1	3%
730	315	8,9	3%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-29: Áreas a inundar a cota 110 m según usos del suelo - Tres Cruces

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Arbustos y Pradera Natural	3	0,4%
Monte Nativo	364	40,5%
Pradera Natural	517	57,6%
Suelo Desnudo asociado a agricultura o plantación forestal	13	1,5%

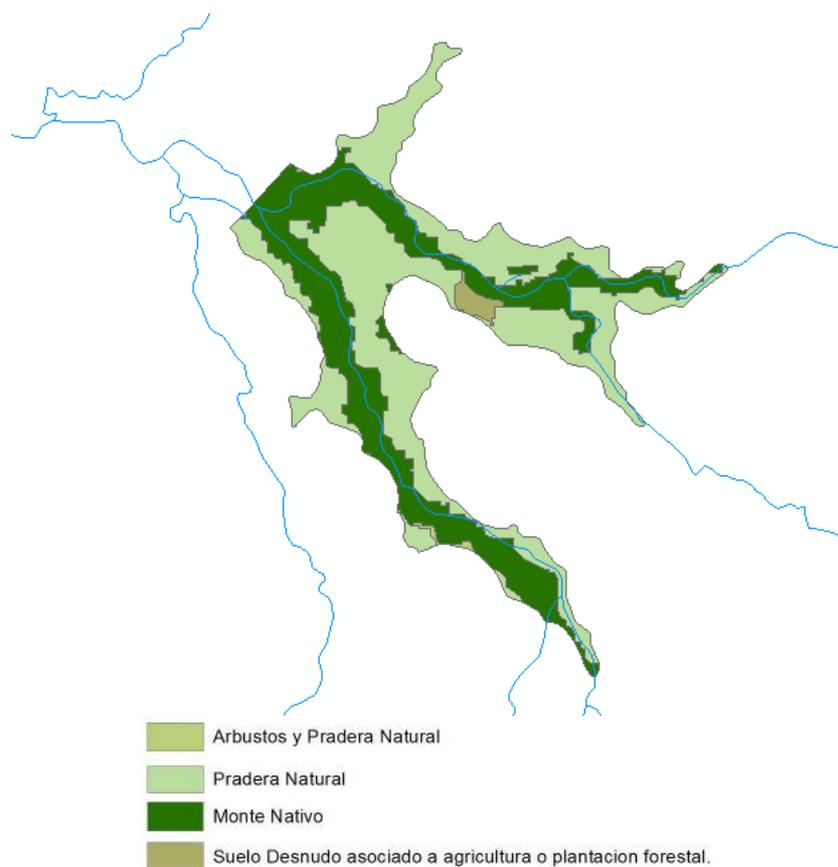


Figura 7-10: Usos del suelo de las tierras a inundar a cota 110 m - Tres Cruces

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

Tabla 7-30: Área a inundar en función del índice CONEAT - Tres Cruces, cota 110 m

Índice CONEAT	Área (há)
30	63
57	322
153	41
158	471
<b>Promedio ponderado</b>	<b>113</b>

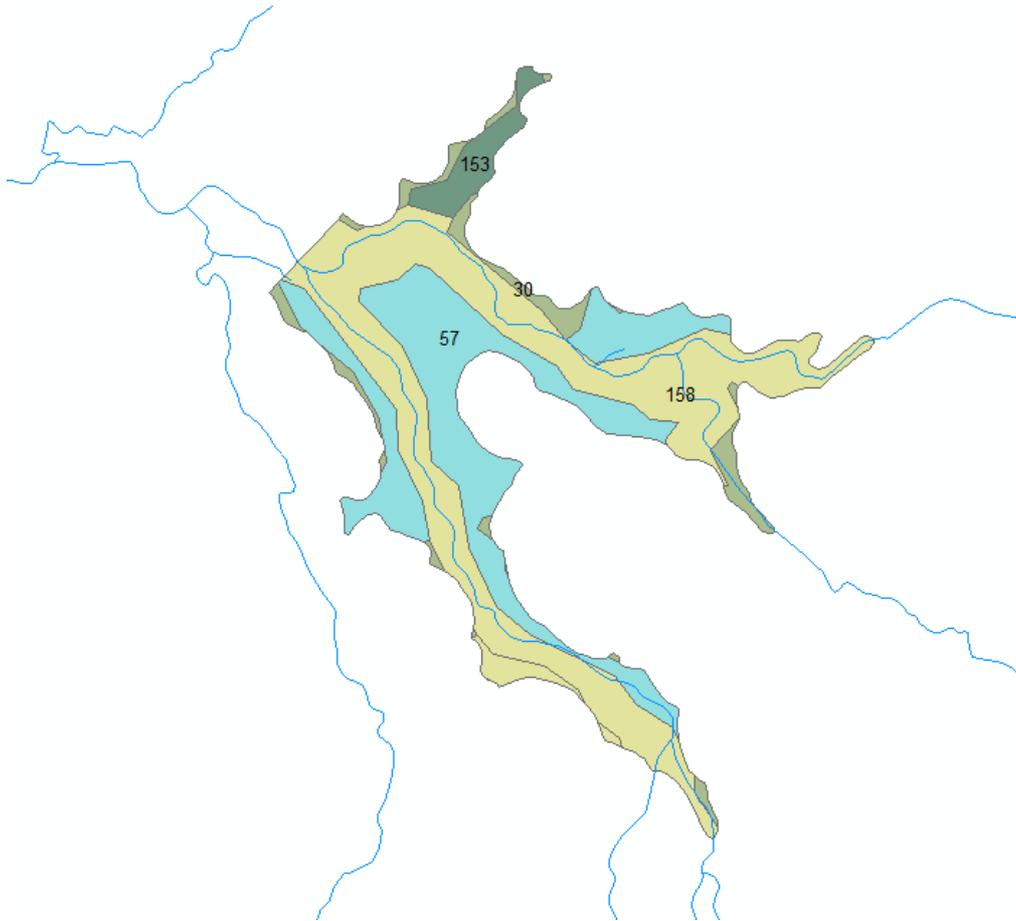


Figura 7-11: Índice CONEAT de las tierras a inundar a cota 110 m - Tres Cruces

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago no afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲), sus accesos, ni a rutas o caminos vecinales, ni a líneas de energía eléctrica de media tensión.

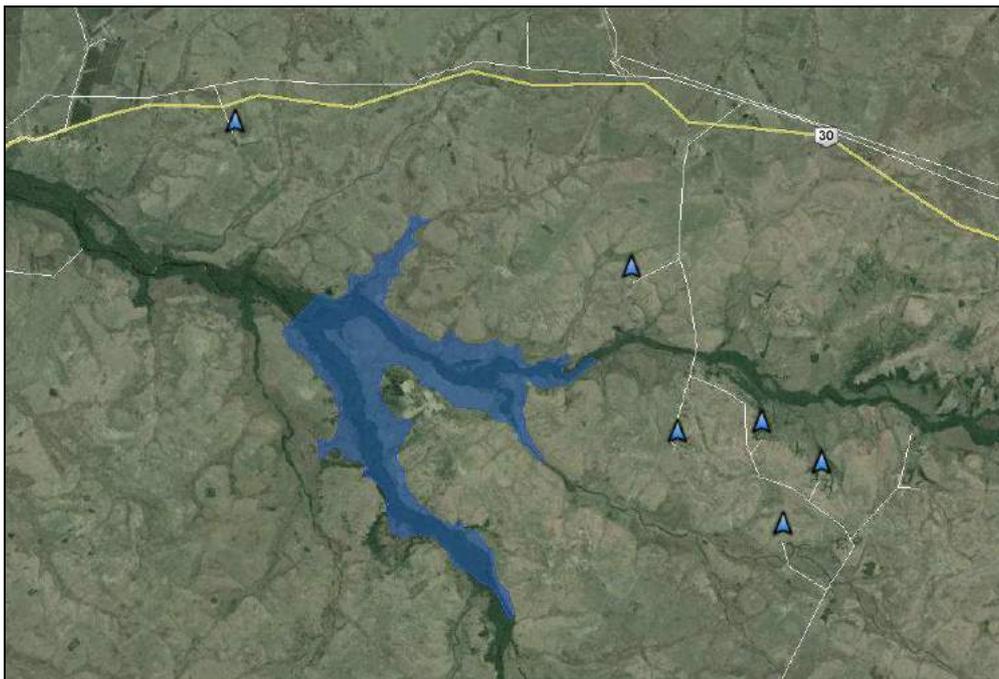


Figura 7-12: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Tres Cruces, cota 110 m

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-31 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-31: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Tres Cruces**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	488
Longitud del cauce principal (km)	48
Desnivel geométrico (m)	219
Pendiente media (%)	0,45%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	10,78
Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	1.861

En este caso el aliviadero se materializó a través de un vertedero tipo canal, según la siguiente configuración.



**Figura 7-13: Configuración propuesta para el vertedero tipo canal - Tres Cruces**

Cabe señalar que en el caso de que el ancho disponible no sea suficiente para evacuar la avenida de proyecto, el tramo AB (Figura 7-13) también podría considerarse como otra zona de descarga.

Se calculó para cada ancho de canal considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 1,5 m/s para no erosionar el canal de tierra).

**Tabla 7-32: Laminación para diferentes anchos del vertedero tipo canal - Tres Cruces, cota 110 m**

Ancho del vertedero (m)	500	600	650	700	800
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	1.861	1.861	1.861	1.861	1.861
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	1.789	1.799	1.803	1.806	1.810
Capacidad de laminación	96,1%	96,7%	96,9%	97,0%	97,2%
Sobreelevación (m)	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8
Velocidad en la descarga (m/s)	1,61	1,50	1,46	1,42	1,35

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero tipo canal que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 2 m.

**Tabla 7-33: Cota de coronamiento - Tres Cruces, cota 110 m**

Cota de vertido (m)	110,0
Altura de revancha (m)	4,0
Cota de coronamiento (m)	<b>114,0</b>

**Tabla 7-34: Altura de presa - Tres Cruces, cota 110 m**

Altura máxima del embalse (m)	15,0
Altura de revancha (m)	4,0
Altura de la presa (m)	<b>19,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-14 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-35: Volumen de material requerido para la construcción de la presa a cota 110 m - Tres Cruces**

Altura de presa (m)	19,0
Ancho de coronamiento (m)	6,0
Talud aguas arriba (1V:mH)	1V:3H
Talud aguas abajo (1V:mH)	1V:2,5H
Longitud del cierre (m)	1.470
Volumen de material (m <sup>3</sup> )	<b>456.500</b>

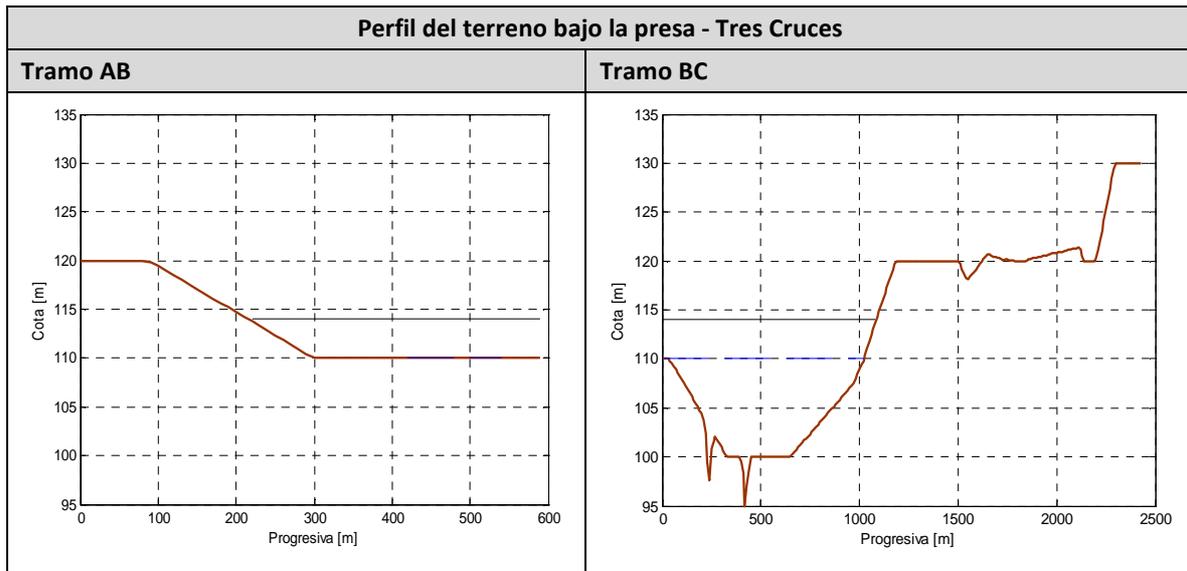


Figura 7-14: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Tres Cruces, cota 110 m

### Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

Tabla 7-36: Costo de la obra civil - Tres Cruces, cota 110 m

Volumen de tierra (m <sup>3</sup> )	456.500
Costo de la presa (USD)	<b>3.000.000</b>
Volumen de hormigón (m <sup>3</sup> )	0
Costo del vertedero (USD)	<b>0</b>
Costo de la obra civil (USD)	<b>3.000.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 1 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 1.725 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 1.850.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 325.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 975.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 3,5 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-15 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3),

se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 225.000.

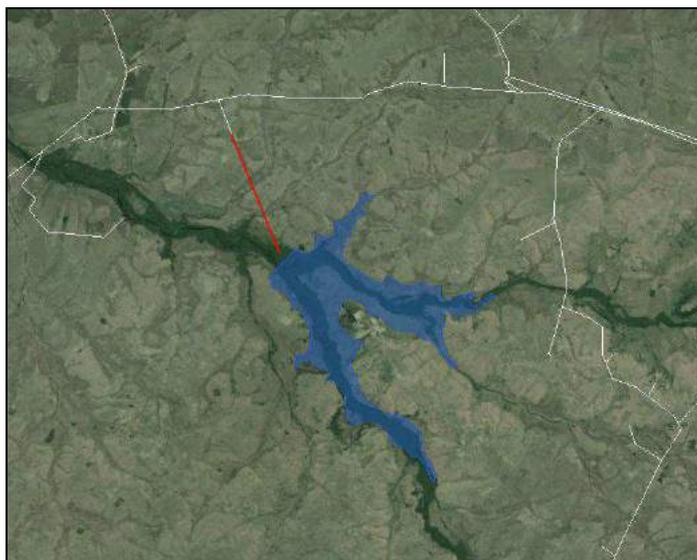


Figura 7-15: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Tres Cruces

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-37: Costo de inversión - Tres Cruces, cota 110 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	3.000.000	3.000.000
Costo de expropiación	1.850.000	1.850.000
Costo del equipo electromecánico	325.000	975.000
Costo del tendido eléctrico	225.000	225.000
<b>Costo total</b>	<b>5.400.000</b>	<b>6.000.000</b>

#### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>4</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

<sup>4</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.

Tabla 7-38: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Tres Cruces, cota 110 m

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	550.000	1.200.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	91.000	176.000
Costo de O&M (USD/año)	13.000	39.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>78.000</b>	<b>137.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>13,0%</b>	<b>9,6%</b>

Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

Tabla 7-39: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Tres Cruces, cota 110 m

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	68 USD/MWh	82 USD/MWh
TIR = 10%	76 USD/MWh	90 USD/MWh
TIR = 12%	86 USD/MWh	102 USD/MWh
TIR = 14%	95 USD/MWh	112 USD/MWh
TIR = 16%	104 USD/MWh	123 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

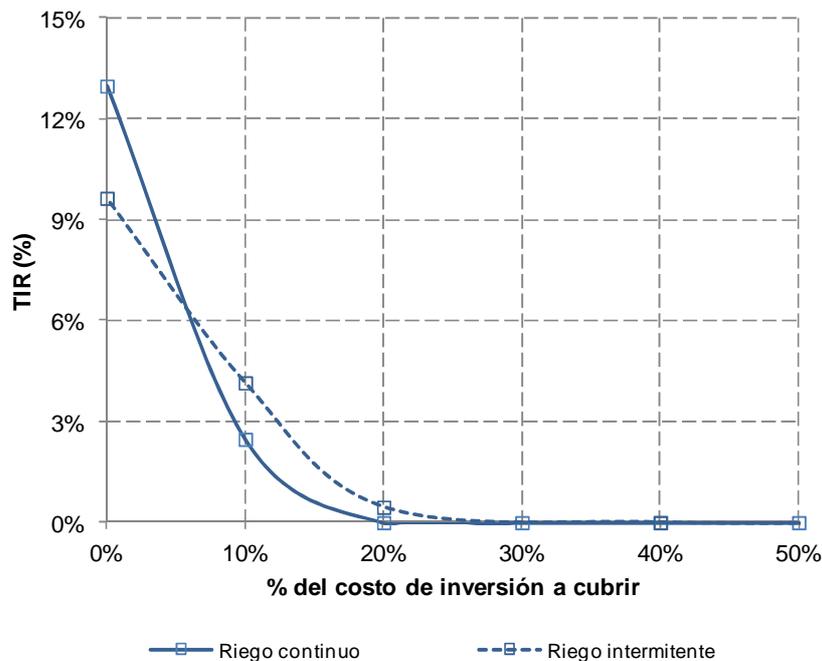


Figura 7-16: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Tres Cruces, cota 110 m

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

Tabla 7-40: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Tres Cruces, cota 110 m

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	5.370.000	6.020.000
Ingresos totales (USD/año)	233.600	318.900
Costo de O&M (USD/año)	131.700	157.700
Ingresos netos (USD/año)	101.900	161.300
TIR para 20 años (%)	< 0,0%	< 0,0%

### Análisis de sensibilidad al volumen del embalse

#### Disponibilidad energética media

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos para el segundo caso considerado, con el embalse a cota 112 m, con un salto disponible de 17,0 m, un espejo de agua de 1223 há y un volumen de almacenamiento de 38,4 Hm<sup>3</sup>.

Tabla 7-41: Caracterización hidrológica - Tres Cruces, cotas 110 y 112 m

Caracterización hidrológica	Cota 110 m	Cota 112 m
Altura máxima del embalse (m)	15	17
Superficie del lago (há)	1.077	1.223
Volumen de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	15,4	38,4
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	325	325
Relación Cuenca/Embalse	21,1	8,5
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	1,00	0,99
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,44	0,40

Tabla 7-42: Disponibilidad energética media - Tres Cruces, cota 112 m

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	17,0	17,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	9,6	28,8
Potencia (kW)	524	1.573
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	0,99	
Energía Máx. <sub>(riego)</sub> (MWh)	1.511	
Energía <sub>(riego)</sub> (MWh)	1.490	1.490
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,40	0,40
Energía Máx. <sub>(llenado)</sub> (MWh)	3.021	9.063
Energía <sub>(llenado)</sub> (MWh)	1.210	3.630
Energía Media Anual (MWh)	2.700	5.120

Estimación del costo de inversión

**Tabla 7-43: Costo de inversión - Tres Cruces, cota 112 m**

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la presa	4.100.000	4.100.000
Costo del vertedero	0	0
Costo de expropiación	2.100.000	2.100.000
Costo del equipo electromecánico	920.000	2.750.000
Costo del tendido eléctrico	225.00	225.000
<b>Costo total</b>	<b>7.300.000</b>	<b>9.200.000</b>

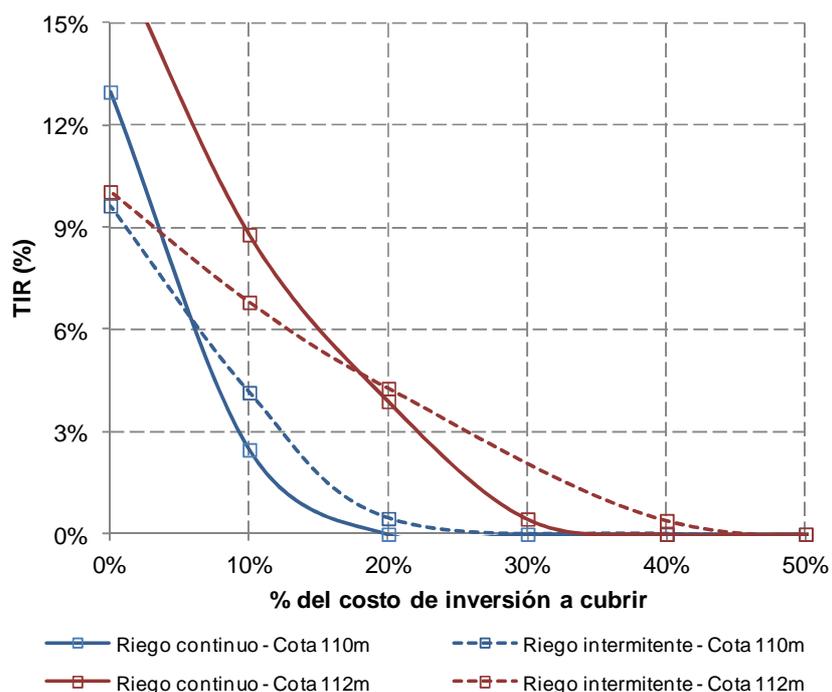
Análisis del retorno de la inversión

**Tabla 7-44: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Tres Cruces, cota 112 m**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	1.145.000	2.975.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	242.000	460.000
Costo de O&M (USD/año)	36.000	110.000
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	<b>206.000</b>	<b>350.000</b>
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>17,4%</b>	<b>10,0%</b>

**Tabla 7-45: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Tres Cruces, cota 112 m**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
<b>TIR = 8%</b>	57 USD/MWh	81 USD/MWh
<b>TIR = 10%</b>	63 USD/MWh	90 USD/MWh
<b>TIR = 12%</b>	70 USD/MWh	99 USD/MWh
<b>TIR = 14%</b>	77 USD/MWh	109 USD/MWh
<b>TIR = 16%</b>	85 USD/MWh	119 USD/MWh



**Figura 7-17: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Tres Cruces 110 y 112 m**

**Tabla 7-46: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Tres Cruces, cota 112 m**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	7.340.000	9.180.000
Ingresos totales (USD/año)	594.500	812.300
Costo de O&M (USD/año)	200.500	273.900
Ingresos netos (USD/año)	394.000	538.400
TIR para 20 años (%)	0,7%	1,6%

### 7.3 PELADO

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el arroyo Pelado con un volumen de almacenamiento de 14,5 Hm<sup>3</sup>.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las dos cotas consideradas en este caso, +113 y +115 m, de manera de embalsar un volumen similar al considerado en el proyecto original.

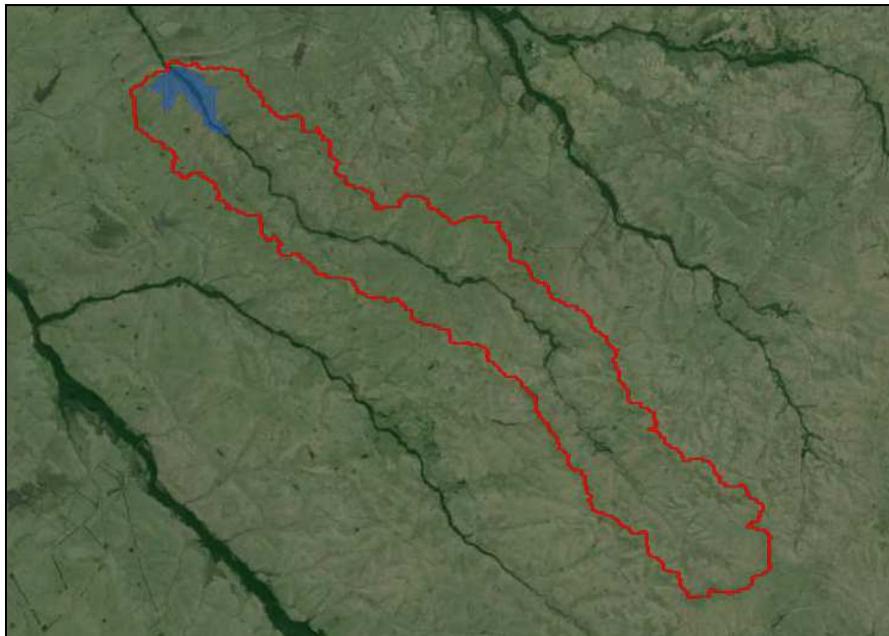
#### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las relaciones entre la altura máxima del embalse, el volumen almacenado y el área inundada. Para ello se construyó, a partir de las curvas de nivel cada 10 m del SGM, un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7-47.

**Tabla 7-47: Características geométricas del embalse - Pelado**

Cota (m)	Altura (m)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Área (há)
113	8,0	11,1	400
115	10,0	19,6	431

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



**Figura 7-18: Cuenca de aporte - Pelado**

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el embalse a cota 113 m.

Tabla 7-48: Caracterización hidrológica - Pelado, cota 113 m

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	16.756
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	57
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	114
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	11,1
Relación cuenca/embalse	10,2
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	1,00
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,41

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

Tabla 7-49: Disponibilidad energética media - Pelado, cota 113 m

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	8,0	8,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	2,8	8,4
Potencia (kW)	72	215
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	1,00	
Energía Máx. <sub>(riego)</sub> (MWh)	206	
Energía <sub>(riego)</sub> (MWh)	206	206
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,41	0,41
Energía Máx. <sub>(llenado)</sub> (MWh)	413	1.238
Energía <sub>(llenado)</sub> (MWh)	170	511
Energía Media Anual (MWh)	376	717

#### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el índice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Artigas se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados para la cota considerada (113 m, cota del embalse a nivel de vertedero).



Tabla 7-50: Padrones inundados a cota 113 m - Pelado

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

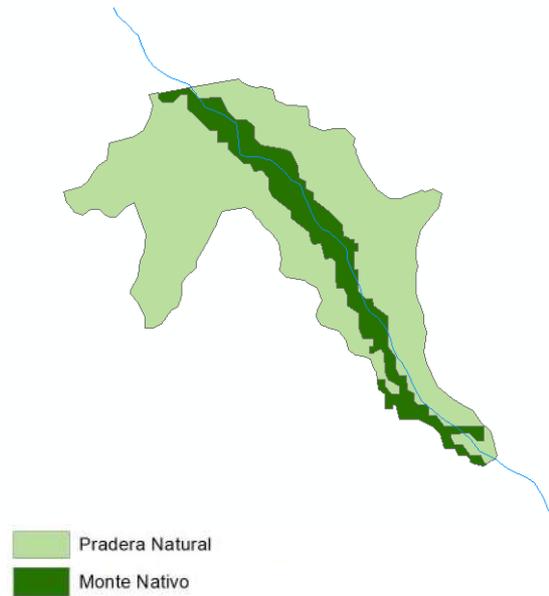
Tabla 7-51: Área total y porcentaje de área inundada a cota 113 m para cada padrón - Pelado

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
4541	34	22,0	65%
5853	127	62,1	49%
2269	178	76,3	43%
2842	478	72,9	15%
4540	602	84,4	14%
6536	255	20,4	8%
6537	499	32,7	7%
5852	292	18,9	6%
2198	135	8,8	6%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-52: Áreas a inundar a cota 113 m según usos del suelo - Pelado

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Monte Nativo	75	19%
Pradera Natural	318	81%

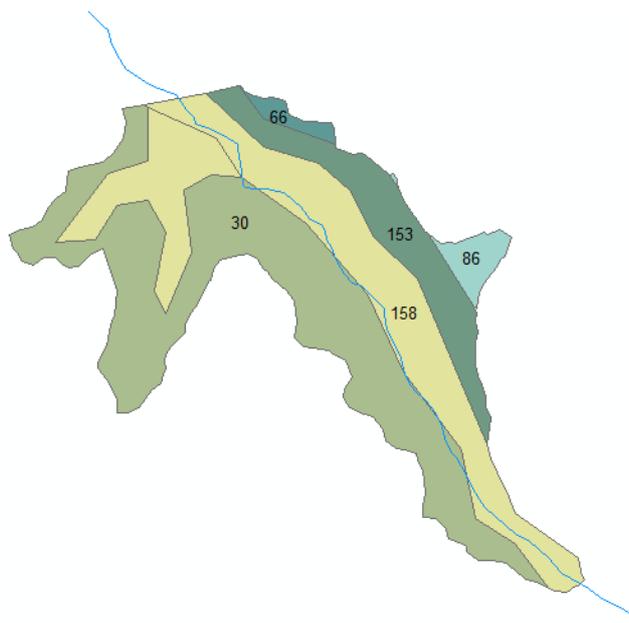


**Figura 7-19: Usos del suelo de las tierras a inundar a cota 113 m - Pelado**

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

**Tabla 7-53: Área a inundar en función del índice CONEAT - Pelado, cota 113 m**

Índice CONEAT	Área (há)
30	182
66	6
86	11
153	53
158	142
<b>Promedio ponderado</b>	<b>95</b>



**Figura 7-20: Índice CONEAT de las tierras a inundar a cota 113 m - Pelado**

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago no afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲), sus accesos, ni a rutas o caminos vecinales, ni a líneas de energía eléctrica de media tensión.



Figura 7-21: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Pelado, cota 113 m

#### Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-54 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

Tabla 7-54: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Pelado

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	168
Longitud del cauce principal (km)	45
Desnivel geométrico (m)	183
Pendiente media (%)	0,40%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	10,72
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>680</b>

En este caso el aliviadero se diseñó como un vertedero tipo canal.

Se calculó, para cada ancho de canal considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 1,5 m/s para no erosionar el canal de tierra).

Tabla 7-55: Laminación para diferentes anchos del vertedero tipo canal - Pelado, cota 113 m

Ancho del vertedero (m)	50	100	150	200	300
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	680	680	680	680	680
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	424	516	561	589	614
Capacidad de laminación	62,3%	75,9%	82,6%	86,6%	90,3%
Sobreelevación (m)	3,8	2,9	2,4	2,1	1,7
Velocidad en la descarga (m/s)	2,05	1,79	1,61	1,48	1,29

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero tipo canal que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 2 m.

Tabla 7-56: Cota de coronamiento - Pelado, cota 113 m

Cota de vertido (m)	113,0
Altura de revancha (m)	3,0
Cota de coronamiento (m)	<b>116,0</b>

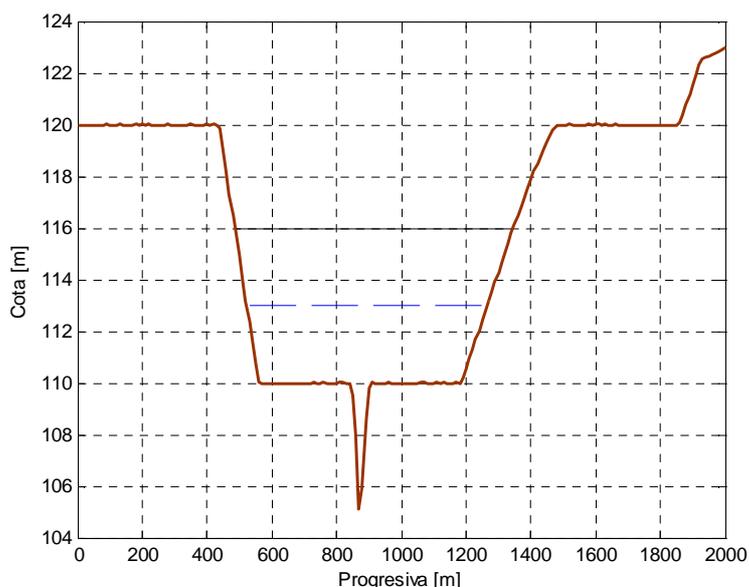
Tabla 7-57: Altura de presa - Pelado, cota 113 m

Altura máxima del embalse (m)	8,0
Altura de revancha (m)	3,0
Altura de la presa (m)	<b>11,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-22 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

Tabla 7-58: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Pelado, cota 113 m

Altura de presa (m)	11,0
Ancho de coronamiento (m)	5,0
Talud aguas arriba (1V:mH)	1V:3H
Talud aguas abajo (1V:mH)	1V:2,5H
Longitud del cierre (m)	860
Volumen de material (m <sup>3</sup> )	<b>98.200</b>



**Figura 7-22: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo)  
Pelado, cota 113 m**

#### Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-59: Costo de la obra civil - Pelado, cota 113 m**

<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	98.200
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>638.300</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	0
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>0</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>638.300</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 1 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 1.500 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 600.500.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 125.400 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 376.200 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 2 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-23 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3),

se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 150.000.



Figura 7-23: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Pelado

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-60: Costo de inversión - Pelado, cota 113 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	638.300	638.300
Costo de expropiación	600.500	600.500
Costo del equipo electromecánico	125.400	376.200
Costo del tendido eléctrico	150.000	150.000
<b>Costo total</b>	<b>1.500.000</b>	<b>1.700.000</b>

### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>5</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

<sup>5</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.

Tabla 7-61: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Pelado, cota 113 m

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	275.400	526.200
Ingresos por venta de energía (USD/año)	33.900	64.500
Costo de O&M (USD/año)	5.000	15.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>28.900</b>	<b>49.500</b>
TIR para 20 años (%)	<b>8,5%</b>	<b>7,0%</b>

Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

Tabla 7-62: Precios de la energía paara TIR dado a 20 años - Pelado, cota 113 m

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	87 USD/MWh	95 USD/MWh
TIR = 10%	98 USD/MWh	107 USD/MWh
TIR = 12%	110 USD/MWh	119 USD/MWh
TIR = 14%	123 USD/MWh	131 USD/MWh
TIR = 16%	136 USD/MWh	144 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

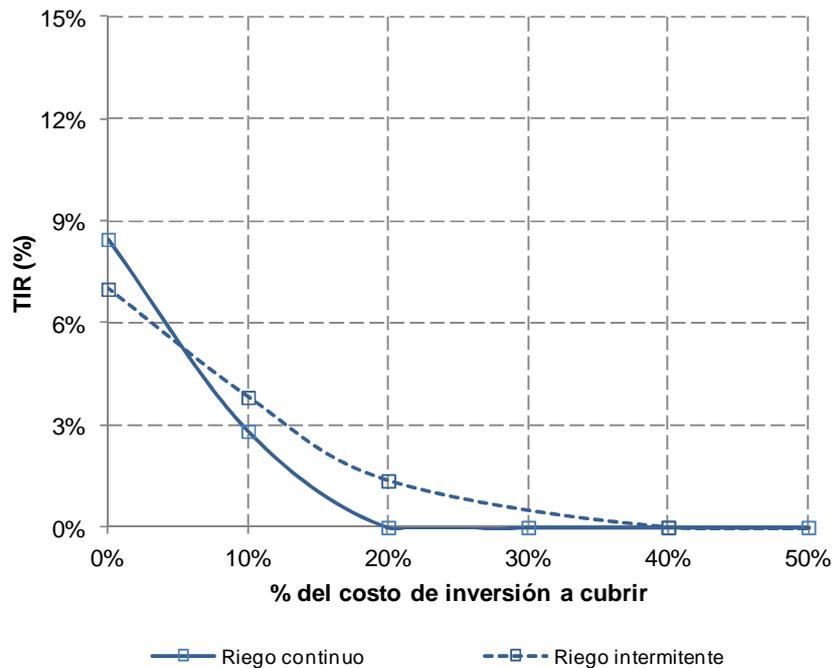


Figura 7-24: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Pelado, cota 113 m

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

Tabla 7-63: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Pelado, cota 113 m

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	1.510.000	1.760.000
Ingresos totales (USD/año)	137.100	167.800
Costo de O&M (USD/año)	30.500	40.600
Ingresos netos (USD/año)	106.600	127.200
TIR para 20 años (%)	3,5%	3,8%

### Análisis de sensibilidad al volumen del embalse

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos para el embalse a cota 115 m, con un salto disponible de 10,0 m, un espejo de agua de 431 há y un volumen de almacenamiento de 19,6 Hm<sup>3</sup>.

### Disponibilidad energética media

Tabla 7-64: Caracterización hidrológica - Pelado, cotas 113 y 115 m

Caracterización hidrológica	Cota 113 m	Cota 115 m
Altura máxima del embalse (m)	8,0	10,0
Superficie del lago (há)	400	431
Volumen de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	11,1	19,6
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	114	114
Relación Cuenca/Embalse	10,2	5,8
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	1,00	0,96
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,41	0,37

Tabla 7-65: Disponibilidad energética media - Pelado, cota 115 m

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	10,0	10,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	4,9	14,7
Potencia (kW)	158	473
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	0,96	
Energía Máx. <sub>(riego)</sub> (MWh)	454	
Energía <sub>(riego)</sub> (MWh)	434	434
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,37	0,37
Energía Máx. <sub>(llenado)</sub> (MWh)	908	2.723
Energía <sub>(llenado)</sub> (MWh)	334	1.002
Energía Media Anual (MWh)	768	1.436

Estimación del costo de inversión

Tabla 7-66: Costo de inversión - Pelado, cota 115 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la presa	1.100.000	1.100.000
Costo del vertedero	0	0
Costo de expropiación	650.000	650.000
Costo del equipo electromecánico	275.000	830.000
Costo del tendido eléctrico	150.000	150.000
<b>Costo total</b>	<b>2.150.000</b>	<b>2.700.000</b>

Análisis del retorno de la inversión

Tabla 7-67: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Pelado, cota 115 m

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	425.000	980.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	70.000	130.000
Costo de O&M (USD/año)	11.000	33.000
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	<b>59.000</b>	<b>97.000</b>
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>12,4%</b>	<b>7,6%</b>

Tabla 7-68: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Pelado, cota 115 m

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
<b>TIR = 8%</b>	71 USD/MWh	92 USD/MWh
<b>TIR = 10%</b>	79 USD/MWh	103 USD/MWh
<b>TIR = 12%</b>	90 USD/MWh	114 USD/MWh
<b>TIR = 14%</b>	98 USD/MWh	126 USD/MWh
<b>TIR = 16%</b>	107 USD/MWh	138 USD/MWh

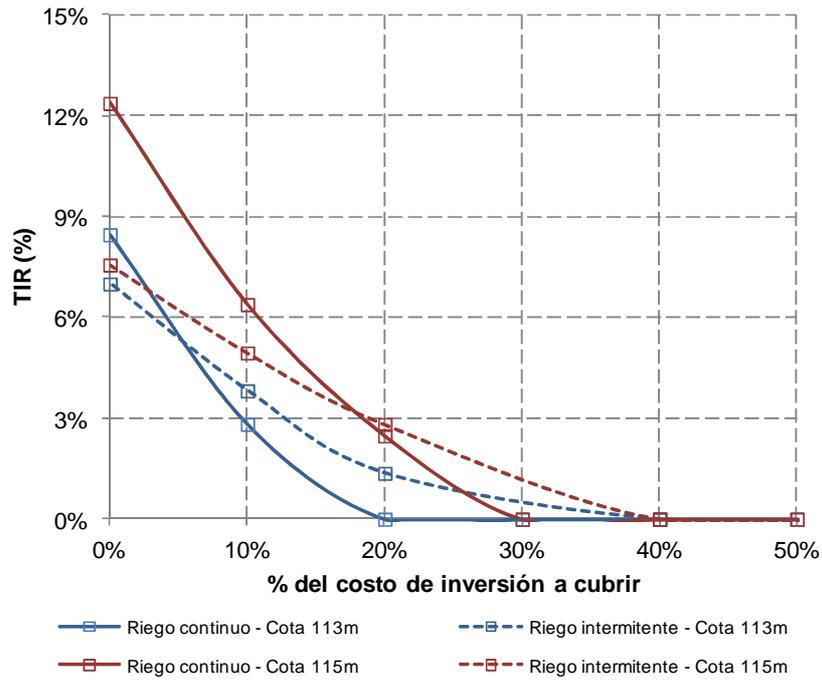


Figura 7-25: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Pelado, cota 113 y 115 m

Tabla 7-69: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Pelado, cota 115 m

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	2.160.000	2.710.000
Ingresos totales (USD/año)	243.300	303.400
Costo de O&M (USD/año)	54.600	76.700
Ingresos netos (USD/año)	188.600	226.700
TIR para 20 años (%)	6,0%	5,5%

## 7.4 RIO SAN SALVADOR

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el río San Salvador con un salto disponible de 18 m, un área inundada de 900 há y un volumen almacenado de 60 Hm<sup>3</sup>.

### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) a partir de un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m generado en base a las curvas de nivel cada 10 m del SGM.

Para el lago a cota 95 m, resulta un salto disponible de 20,0 m, un área inundada de 990 há y un volumen almacenado de 66,0 Hm<sup>3</sup>.

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



Figura 7-26: Cuenca de aporte - San Salvador

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

Tabla 7-70: Caracterización hidrológica - San Salvador

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	19.011
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	31
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	70
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	66,0
Relación cuenca/embalse	1,1
Factor de Capacidad (riego)	0,61
Factor de Capacidad (llenado)	0,09

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

Tabla 7-71: Disponibilidad energética media - San Salvador

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
$H_{m\acute{a}x}$ (m)	20,0	20,0
Caudal de funcionamiento ( $Hm^3$ /mes)	16,5	49,5
Potencia (kW)	1.062	3.186
Factor de Capacidad (riego)	0,61	
Energía Máx. (riego) (MWh)	3.059	
Energía (riego) (MWh)	1.860	1.860
Factor de Capacidad (llenado)	0,09	0,09
Energía Máx. (llenado) (MWh)	6.118	18.353
Energía (llenado) (MWh)	561	1.683
Energía Media Anual (MWh)	2.421	3.543

#### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el ndice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Soriano se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que seran inundados para la cota considerada (95 m, cota del embalse a nivel de vertedero).



Tabla 7-72: Padrones inundados a cota 95 m - San Salvador

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

Tabla 7-73: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - San Salvador

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
1720	50	29,9	59%
2948	627	325,8	52%
1720	91	47,5	52%
1718	203	90,6	45%
8453	88	34,0	39%
1719	64	21,9	35%
5449	48	16,4	34%
5453	164	30,7	19%
2948	651	118,0	18%
2947	1.098	166,7	15%
1722	487	70,0	14%
3594	76	9,7	13%
1715	223	25,3	11%
2945	1.272	7,9	1%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-74: Áreas a inundar según usos del suelo - San Salvador

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Cultivo de Secano > 2 há	82	8%
Monte Nativo	92	9%
Pradera Natural	806	81%
Suelo Desnudo asociado a agricultura o plantación forestal	17	2%

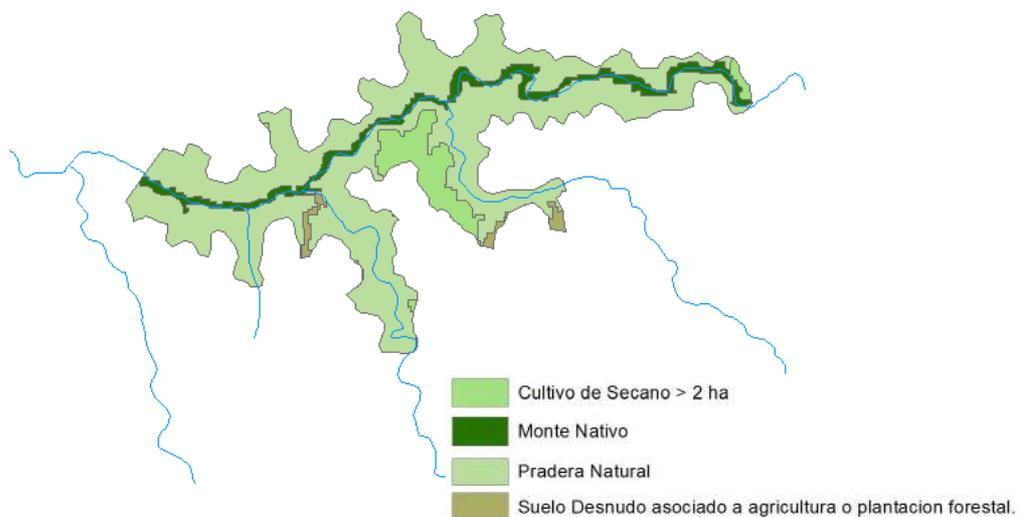


Figura 7-27: Usos del suelo de las tierras a inundar - San Salvador

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

Tabla 7-75: Área a inundar en función del índice CONEAT - San Salvador

Índice CONEAT	Área (há)
61	23
88	913
114	12
140	44
193	5
<b>Promedio ponderado</b>	<b>90</b>

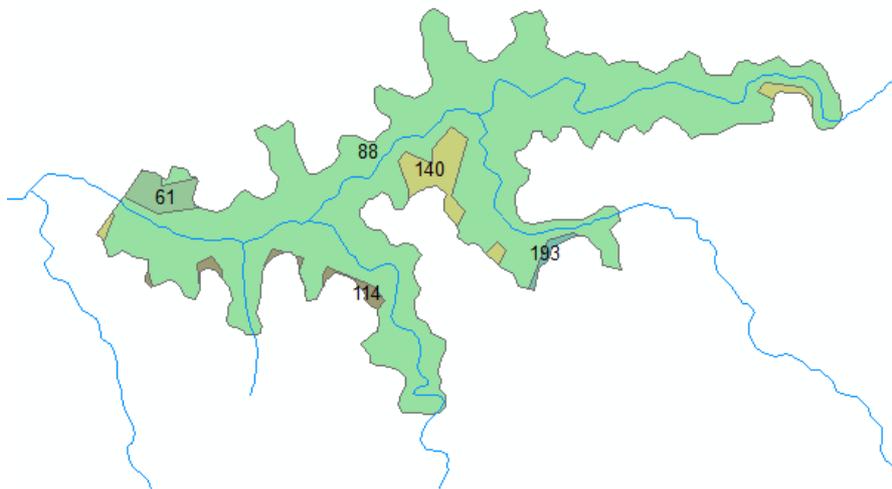


Figura 7-28: Índice CONEAT de las tierras a inundar - San Salvador

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago no afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲), sus accesos, ni a rutas o caminos vecinales, aunque sí inunda una línea de energía eléctrica de 15 kV.



Figura 7-29: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - San Salvador

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-76 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-76: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - San Salvador**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	190
Longitud del cauce principal (km)	35
Desnivel geométrico (m)	94
Pendiente media (%)	0,27%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	10,34
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>683</b>

En este caso el aliviadero se diseñó como un vertedero tipo canal.

Se calculó, para cada ancho de canal considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 1,5 m/s para no erosionar el canal de tierra).

**Tabla 7-77: Laminación para diferentes anchos del vertedero tipo canal - San Salvador**

Ancho del vertedero (m)	50	100	130	150	200
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	683	683	683	683	683
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	238	340	383	405	446
Capacidad de laminación	34,8%	49,8%	56,1%	59,3%	65,2%
Sobreelevación (m)	2,7	2,2	2,1	2,0	1,7
Velocidad en la descarga (m/s)	1,67	1,53	1,46	1,42	1,32

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero tipo canal que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 2 m.

A los fines de estimar el costo del vertedero se seleccionó un ancho igual a 130 m.

**Tabla 7-78: Cota de coronamiento - San Salvador**

Cota de vertido (m)	95,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>98,0</b>

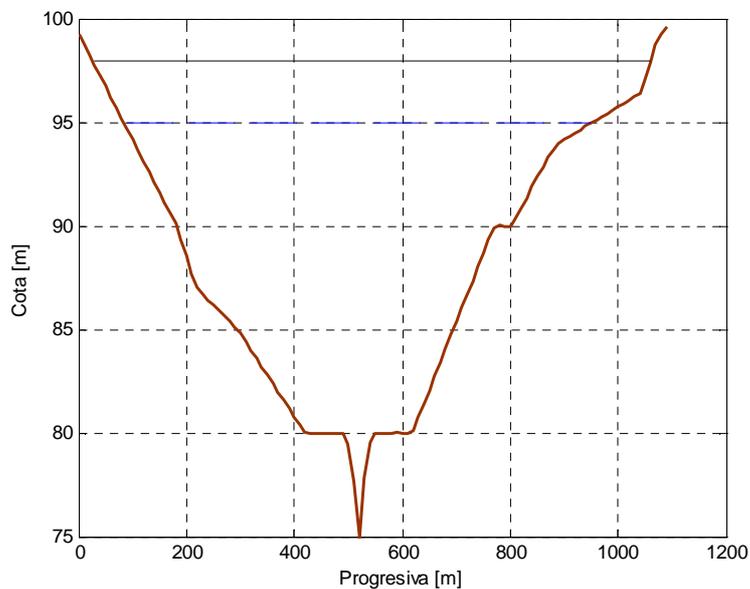
**Tabla 7-79: Altura de presa - San Salvador**

Altura máxima del embalse (m)	20,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>23,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-30 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-80: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - San Salvador**

<b>Altura de presa (m)</b>	23,0
<b>Ancho de coronamiento (m)</b>	7,0
<b>Talud aguas arriba (1V:mH)</b>	1V:3H
<b>Talud aguas abajo (1V:mH)</b>	1V:2,5H
<b>Longitud del cierre (m)</b>	1.040
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>487.400</b>



**Figura 7-30: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - San Salvador**

### Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-81: Costo de la obra civil - San Salvador**

<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	487.400
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>3.170.000</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	0
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>0</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>3.170.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 3 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un

precio de la tierra de 3.500 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 3.460.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 1.850.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 5.600.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 3 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-31 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión. A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 198.000.



Figura 7-31: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - San Salvador

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-82: Costo de inversión - San Salvador

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	3.170.000	3.170.000
Costo de expropiación	3.460.000	3.460.000
Costo del equipo electromecánico	1.850.000	5.600.000
Costo del tendido eléctrico	198.000	198.000
<b>Costo total</b>	<b>8.700.000</b>	<b>12.400.000</b>

Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>6</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

**Tabla 7-83: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - San Salvador**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	2.000.000	5.800.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	218.000	318.000
Costo de O&M (USD/año)	74.000	223.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>144.000</b>	<b>95.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>3,4%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

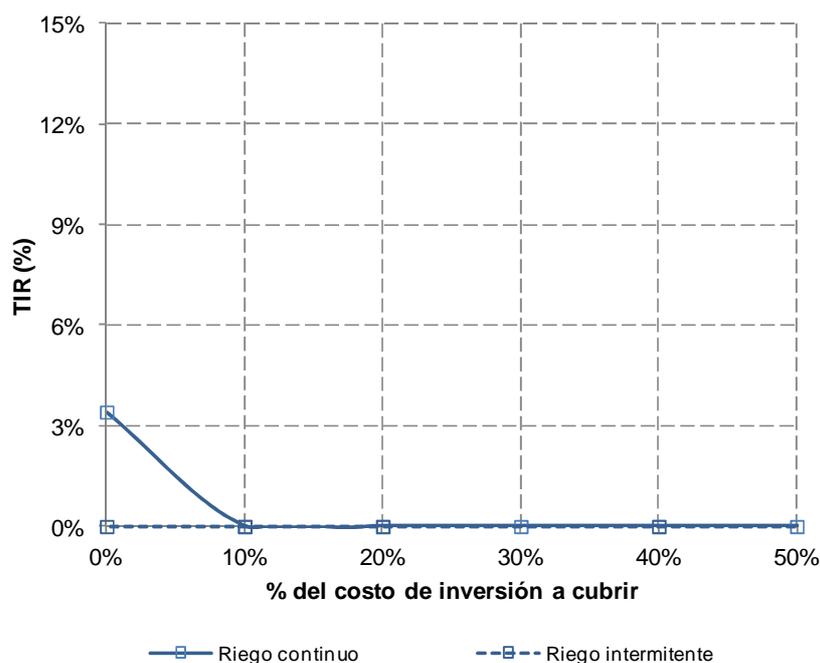
Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

**Tabla 7-84: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - San Salvador**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	117 USD/MWh	228 USD/MWh
TIR = 10%	130 USD/MWh	254 USD/MWh
TIR = 12%	144 USD/MWh	281 USD/MWh
TIR = 14%	159 USD/MWh	309 USD/MWh
TIR = 16%	174 USD/MWh	337 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

<sup>6</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.



**Figura 7-32: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - San Salvador**

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

**Tabla 7-85: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - San Salvador**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	8.690.000	12.410.000
Ingresos totales (USD/año)	590.800	691.700
Costo de O&M (USD/año)	201.100	349.800
Ingresos netos (USD/año)	389.700	342.000
TIR para 20 años (%)	< 0,0%	< 0,0%

## 7.5 RIO YÍ

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el río Yí con un salto disponible de 15 m, un área inundada de 2488 há y un volumen almacenado de 144 Hm<sup>3</sup>.

### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) a partir de un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m generado en base a las curvas de nivel cada 10 m del SGM.

Para el lago a cota 142 m, resulta un salto disponible de 17,0 m, un área inundada de 3902 há y un volumen almacenado de 146,5 Hm<sup>3</sup>.

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



Figura 7-33: Cuenca de aporte - Río Yí

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

Tabla 7-86: Caracterización hidrológica - Río Yí

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	123.618
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	45
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	673
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	146,5
Relación cuenca/embalse	4,6
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	0,93
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,34

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías en cada temporada.

Tabla 7-87: Disponibilidad energética media - Río Yí

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
$H_{m\acute{a}x}$ (m)	17,0	17,0
Caudal de funcionamiento ( $Hm^3/mes$ )	36,62	109,87
Potencia (kW)	2.003	6.009
Factor de Capacidad (riego)	0,93	
Energía Máx. (riego) (MWh)	5.768	
Energía (riego) (MWh)	5.377	5.377
Factor de Capacidad (llenado)	0,34	0,34
Energía Máx. (llenado) (MWh)	11.537	34.610
Energía (llenado) (MWh)	3.930	11.789
Energía Media Anual (MWh)	9.307	17.166

### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el ndice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Durazno y Florida se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que seran inundados para la cota considerada (142 m, cota del embalse a nivel de vertedero).

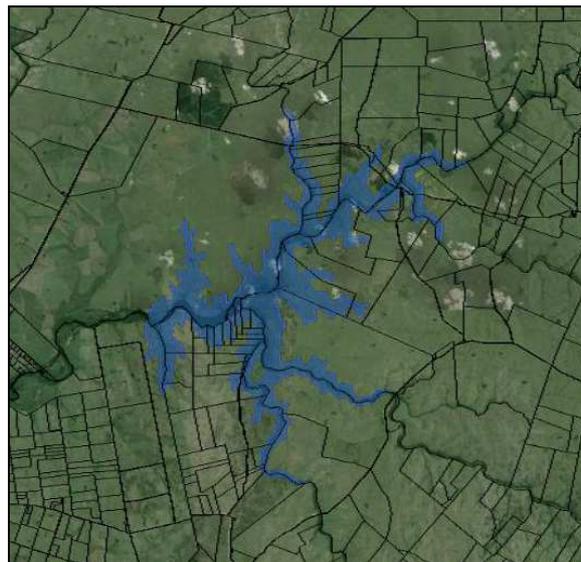


Tabla 7-88: Padrones inundados a cota 142 m - Río Y

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

Tabla 7-89: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - Río Yí

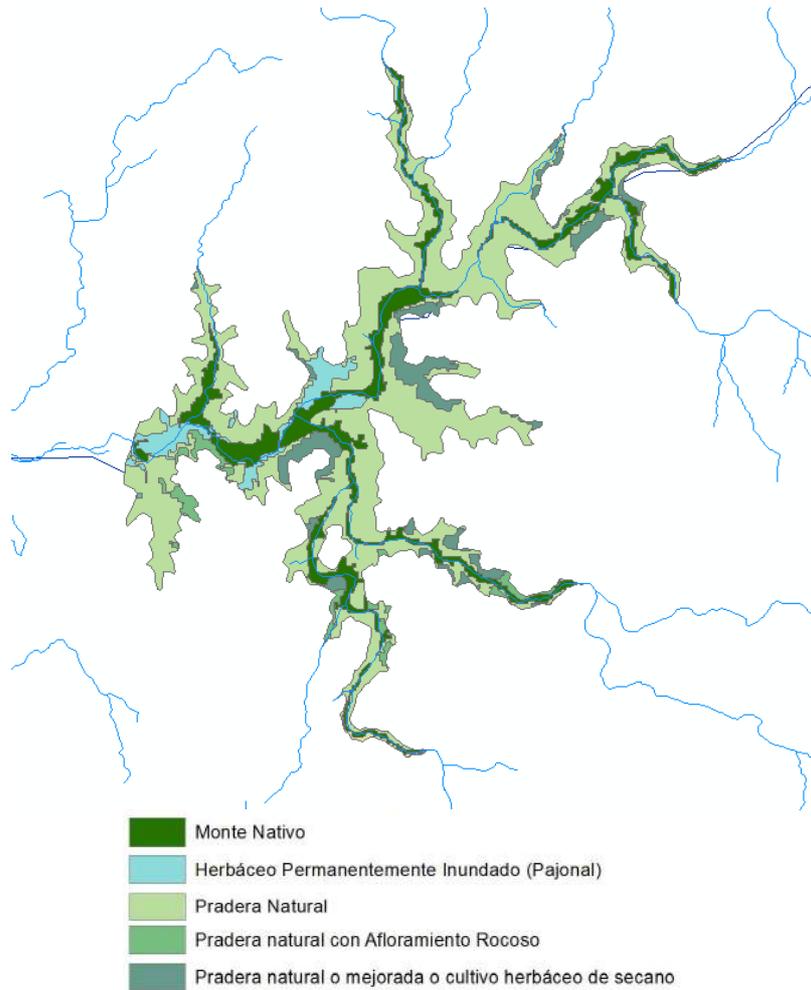
Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
2112	75	70,3	93%
7458	34	29,2	87%
7456	31	24,6	80%
1706	34	25,7	76%
7453	40	29,6	75%
15244	395	282,9	72%
7459	20	13,8	71%
7457	27	18,3	67%
7455	35	22,6	65%
7757	24	15,9	65%
6871	217	129,7	60%
6896	35	21,2	60%
7460	24	14,1	59%
7758	104	61,0	59%
7461	31	17,8	58%
2113	455	216,3	48%
7454	31	13,9	44%
6893	63	25,9	41%
1921	437	167,6	38%
3791	35	13,2	38%
1920	314	115,7	37%
6872	153	48,5	32%
7760	82	25,2	31%
16867	340	104,2	31%
7759	62	18,4	30%
1922	1.908	552,4	29%
15370	111	30,9	28%
5610	182	44,3	24%
7761	84	20,1	24%
7763	15	3,3	22%
6870	301	63,7	21%
1856	1.271	252,9	20%
5609	114	23,0	20%
6895	54	11,0	20%
13131	585	108,8	19%
15369	457	81,4	18%
5943	93	14,7	16%
1718	10	1,6	15%
1702	768	104,0	14%
2089	7.082	857,3	12%

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
4391	71	8,5	12%
7762	79	8,8	11%
1919	274	24,8	9%
2111	261	19,9	8%
4206	50	3,5	7%
12682	834	56,8	7%
10022	36	1,9	5%
12434	333	16,5	5%
14725	132	6,1	5%
4583	277	8,0	3%
5031	200	6,0	3%
7021	420	13,3	3%
8459	307	8,5	3%
12743	363	12,5	3%
6894	41	0,9	2%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-90: Áreas a inundar según usos del suelo - Río Yí

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Herbáceo Permanentemente Inundado (Pajonal)	200	5%
Monte Nativo	741	19%
Pradera Natural	2.527	64%
Pradera natural con Afloramiento Rocoso	117	3%
Pradera natural o mejorada o cultivo herbáceo de secano	326	8%



**Figura 7-34: Usos del suelo de las tierras a inundar - Río Yí**

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

**Tabla 7-91: Área a inundar en función del índice CONEAT - Río Yí**

Índice CONEAT	Área (há)
9	15
26	34
39	349
53	582
83	782
86	18
88	162
92	681
96	906
105	378
109	17
<b>Promedio ponderado</b>	<b>81</b>

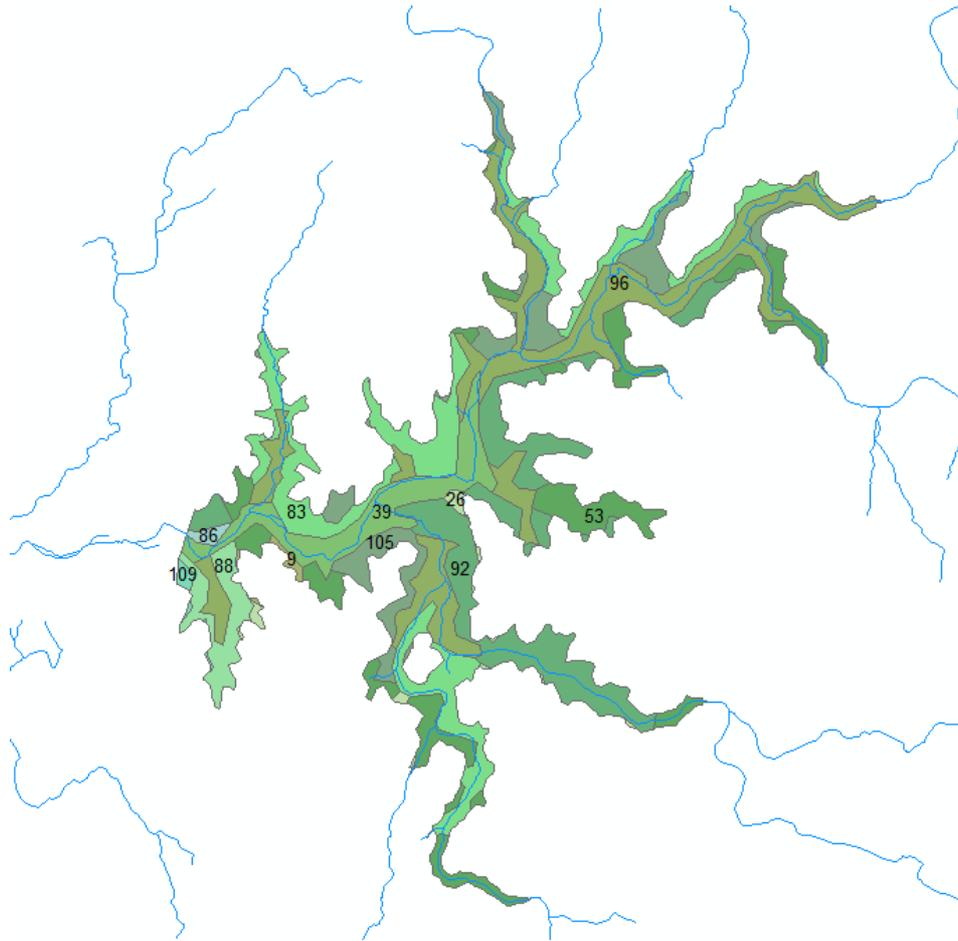


Figura 7-35: Índice CONEAT de las tierras a inundar - Río Yí

En la siguiente figura se observa que la presencia del lago no afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲), aunque sí a sus accesos, caminos vecinales y líneas de energía eléctrica de media tensión.



Figura 7-36: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Río Yí

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-92 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-92: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Río Yí**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	1.236
Longitud del cauce principal (km)	59
Desnivel geométrico (m)	166
Pendiente media (%)	0,28%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	15,04
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>2140</b>

En este caso, según el análisis realizado desde gabinete, el aliviadero podría diseñarse como un vertedero tipo canal de 600 m de ancho con una sobreelevación en el embalse de 2 m, o como un vertedero de hormigón de 100 m de ancho con una revancha del orden de 3 m. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada tipo y ancho de vertedero considerado.

**Tabla 7-93: Laminación para diferentes anchos del vertedero de hormigón - Río Yí**

Ancho del vertedero (m)	20	30	50	60	100
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	2.140	2.140	2.140	2.140	2.140
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	356	493	720	812	1.100
Capacidad de laminación	16,6%	23,1%	33,6%	37,9%	51,4%
Sobreelevación (m)	4,6	4,4	4,0	3,8	3,3
Velocidad en la descarga (m/s)	5,79	5,64	5,40	5,29	4,94

**Tabla 7-94: Laminación para diferentes anchos del vertedero tipo canal - Río Yí**

Ancho del vertedero (m)	500	550	600	650	700
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	2.140	2.140	2.140	2.140	2.140
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	1.639	1.673	1.702	1.726	1.746
Capacidad de laminación	76,6%	78,2%	79,6%	80,7%	81,6%
Sobreelevación (m)	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9
Velocidad en la descarga (m/s)	1,56	1,51	1,47	1,43	1,40

La elección definitiva entre una u otra alternativa debe hacerse luego de un peritaje del terreno en la zona de vertido.

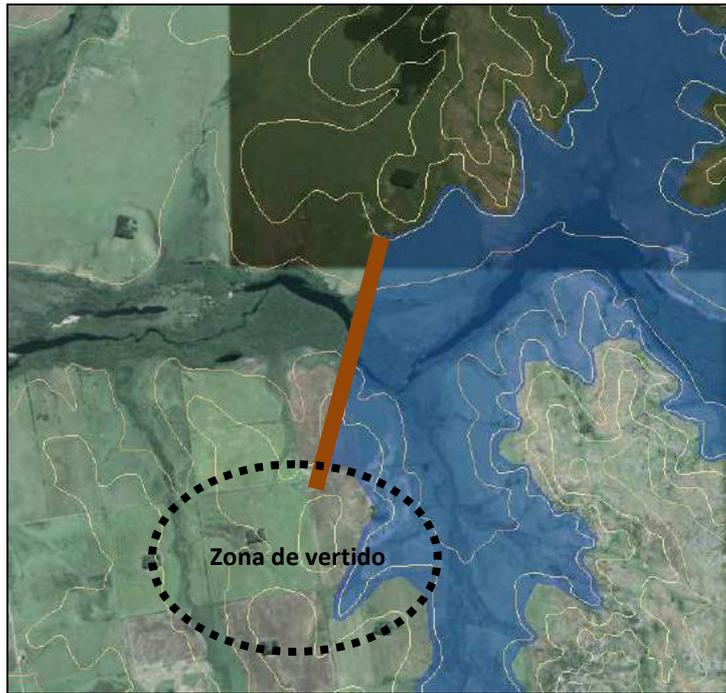


Figura 7-37: Imagen satelital de la zona de vertido propuesta para el vertedero tipo canal - Río Yí

A los fines de estimar el costo de la obra civil se seleccionó un vertedero de hormigón de 100 m de ancho. De todas maneras, en el análisis del retorno de la inversión se incluyen los resultados obtenidos para la alternativa del vertedero tipo canal.

Tabla 7-95: Cota de coronamiento - Río Yí

Cota de vertido (m)	142,0
Altura de revancha (m)	4,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>146,0</b>

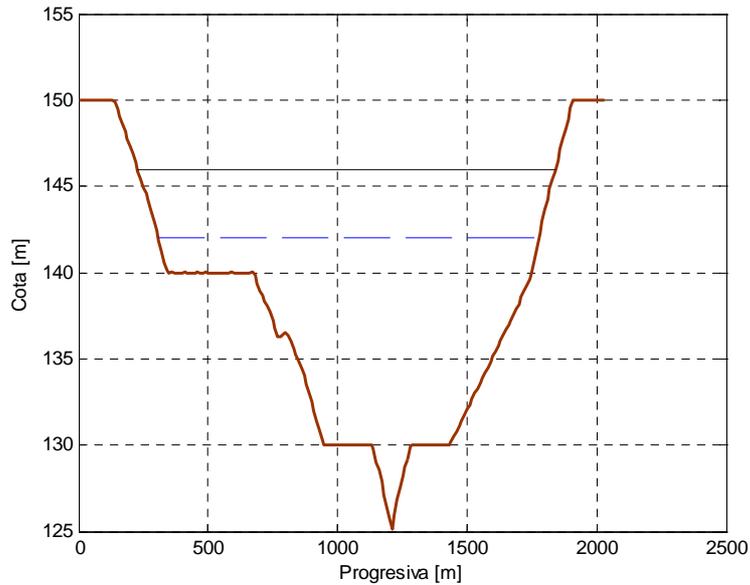
Tabla 7-96: Altura de presa - Río Yí

Altura máxima del embalse (m)	17,0
Altura de revancha (m)	4,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>21,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-38 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

Tabla 7-97: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Río Yí

Altura de presa (m)	21,0
Ancho de coronamiento (m)	6,0
Talud aguas arriba (1V:mH)	1V:3H
Talud aguas abajo (1V:mH)	1V:2,5H
Longitud del cierre (m)	1.620
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>718.800</b>



**Figura 7-38: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Río Yí**

#### Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-98: Costo de la obra civil - Río Yí**

<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	718.800
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>4.700.000</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	7.300
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>4.300.000</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>9.000.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 10 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 2.150 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 8.400.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de valor de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 3.500.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 10.500.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV, con una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea ACSR-50/8) bajo la hipótesis de riego continuo y de 95/15 mm<sup>2</sup> (línea ACSR-95/15) para el escenario de riego intermitente.

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 3,5 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-39 se presenta el trazado

propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión.

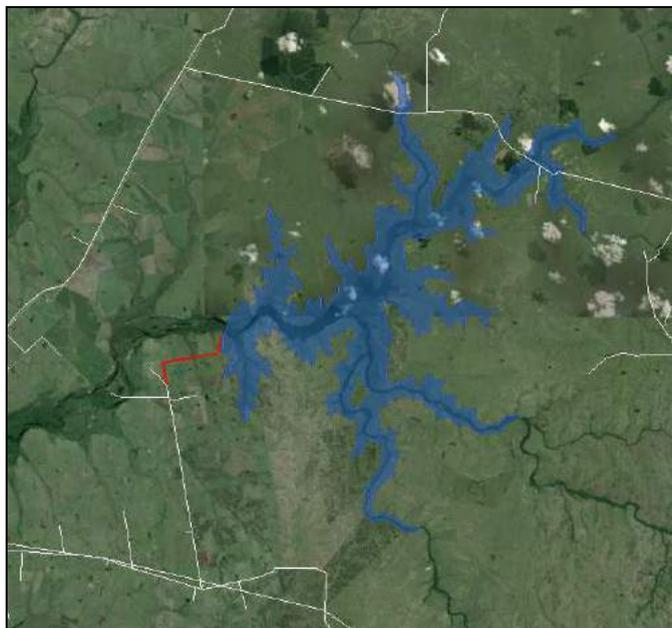


Figura 7-39: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Río Yí

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-99: Costo de inversión - Río Yí

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	9.000.000	9.000.000
Costo de expropiación	8.400.000	8.400.000
Costo del equipo electromecánico	3.500.000	10.500.000
Costo del tendido eléctrico	220.500	260.700
<b>Costo total</b>	<b>21.160.000</b>	<b>28.200.000</b>

### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>7</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a

<sup>7</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.

partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

**Tabla 7-100: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Río Yí**

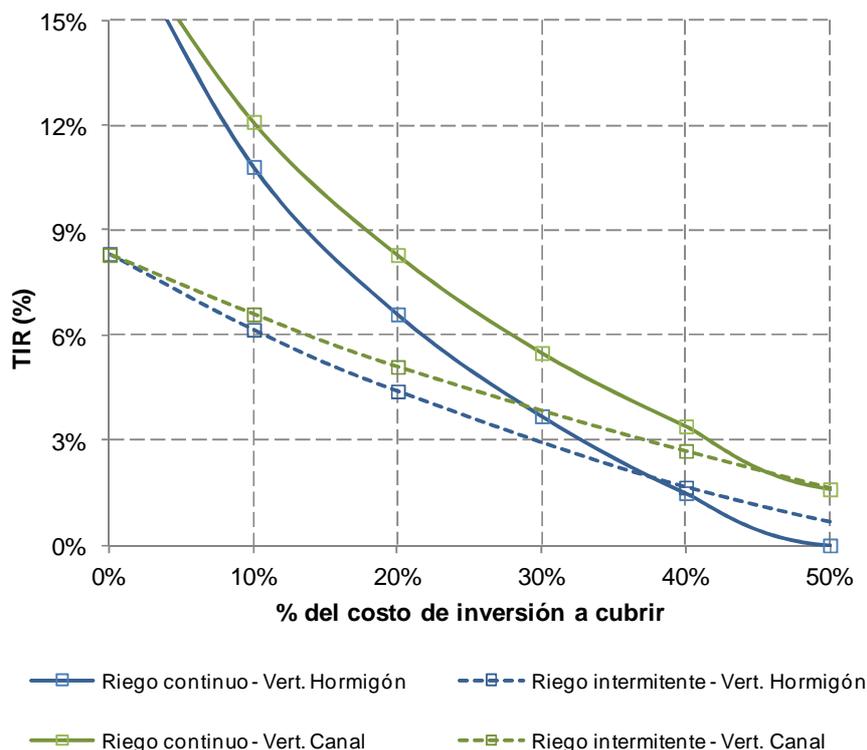
Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	3.720.000	10.760.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	840.000	1.500.000
Costo de O&M (USD/año)	140.000	420.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>700.000</b>	<b>1.080.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>18,0%</b>	<b>8,3%</b>

Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

**Tabla 7-101: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Río Yí**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	56 USD/MWh	88 USD/MWh
TIR = 10%	62 USD/MWh	98 USD/MWh
TIR = 12%	69 USD/MWh	108 USD/MWh
TIR = 14%	75 USD/MWh	119 USD/MWh
TIR = 16%	83 USD/MWh	130 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.



**Figura 7-40: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Río Yí**

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

**Tabla 7-102: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Río Yí con vertedero de hormigón**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	21.160.000	28.210.000
Ingresos totales (USD/año)	2.105.700	2.813.000
Costo de O&M (USD/año)	327.100	607.500
Ingresos netos (USD/año)	1.778.600	2.205.500
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>5,6%</b>	<b>4,7%</b>

**Tabla 7-103: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Río Yí con vertedero tipo canal**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	16.790.000	23.840.000
Ingresos totales (USD/año)	2.105.700	2.813.000
Costo de O&M (USD/año)	327.100	607.500
Ingresos netos (USD/año)	1.778.600	2.205.500
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>8,5%</b>	<b>6,7%</b>

## 7.6 AO. VALENTÍN GDE

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el arroyo Valentín Grande con un salto disponible de 10 m, un área inundada de 556 há y un volumen almacenado de 30,1 Hm<sup>3</sup>.

### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) a partir de un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m generado en base a las curvas de nivel cada 10 m del SGM.

Para el lago a cota 138 m, resulta un salto disponible de 12,0 m, un área inundada de 556 há y un volumen almacenado de 28,9 Hm<sup>3</sup>.

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



Figura 7-41: Cuenca de aporte - Valentín Gde.

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

Tabla 7-104: Caracterización hidrológica - Valentín Gde.

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	9.426
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	35
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	<b>39</b>
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	28,9
Relación cuenca/embalse	<b>1,4</b>
Factor de Capacidad (riego)	<b>0,68</b>
Factor de Capacidad (llenado)	<b>0,13</b>

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

Tabla 7-105: Disponibilidad energética media - Valentín Gde.

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
$H_{m\acute{a}x}$ (m)	12,0	12,0
Caudal de funcionamiento ( $Hm^3$ /mes)	7,2	21,7
Potencia (kW)	279	837
Factor de Capacidad (riego)	0,68	
Energía Máx. (riego) (MWh)	803	
Energía (riego) (MWh)	549	549
Factor de Capacidad (llenado)	0,13	0,13
Energía Máx. (llenado) (MWh)	1.606	4.818
Energía (llenado) (MWh)	210	631
Energía Media Anual (MWh)	759	1.180

### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el ndice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Salto se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que seran inundados para la cota considerada (138 m, cota del embalse a nivel de vertedero).

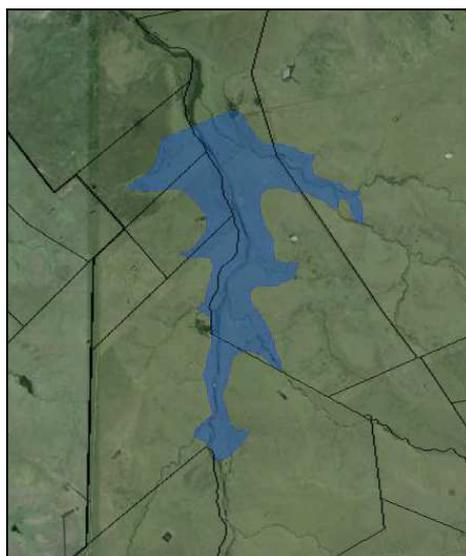


Tabla 7-106: Padrones inundados a cota 138 m - Valentín Gde.

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

Tabla 7-107: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - Valentín Gde.

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
1119	173	62,3	36%
3156	1.041	305,5	29%
1124	215	56,8	26%
1120	1.449	111,9	8%
3156	2.037	52,8	3%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-108: Áreas a inundar según usos del suelo - Valentín Gde.

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Monte Nativo	7	1%
Pradera Natural	567	96%
Suelo Desnudo asociado a agricultura o plantación forestal	15	3%

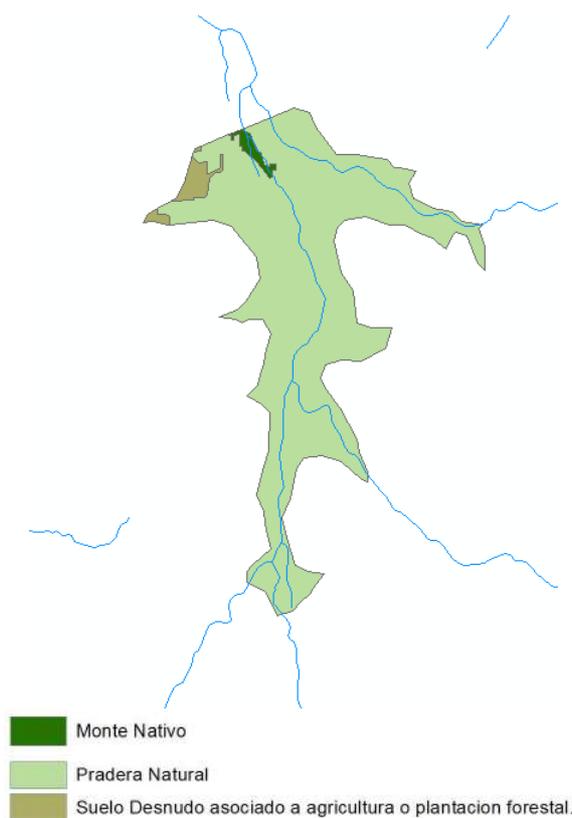


Figura 7-42: Usos del suelo de las tierras a inundar - Valentín Gde.

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

Tabla 7-109: Área a inundar en función del índice CONEAT - Valentín Gde.

Índice CONEAT	Área (há)
83	3
86	63
158	92
162	431
<b>Promedio ponderado</b>	<b>153</b>

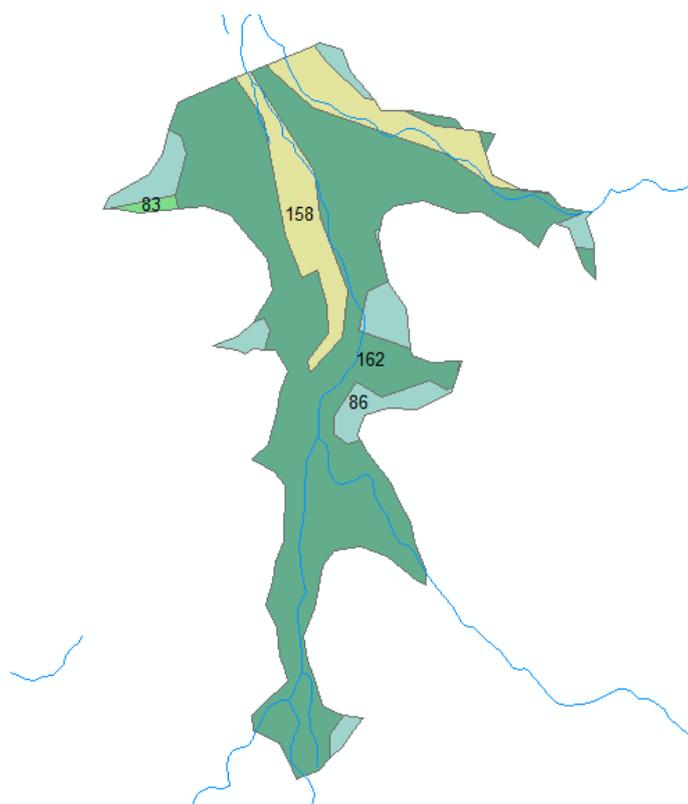


Figura 7-43: Índice CONEAT de las tierras a inundar - Valentín Gde.

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago afecta a un establecimiento rural (indicado como ▲), y a un tramo de la Ruta 4 de aproximadamente 1.000 m de longitud. No inunda caminos vecinales ni líneas de energía eléctrica de media tensión.



Figura 7-44: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Valentín Gde.

### Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-110 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

Tabla 7-110: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Valentín Gde.

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	94
Longitud del cauce principal (km)	18
Desnivel geométrico (m)	100
Pendiente media (%)	0,55%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	4,70
Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	613

En este caso el aliviadero se diseñó como un vertedero tipo canal.

Se calculó, para cada ancho de canal considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 1,5 m/s para no erosionar el canal de tierra).

Tabla 7-111: Laminación para diferentes anchos del vertedero tipo canal - Valentín Gde.

Ancho del vertedero (m)	25	50	100	150	200
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	613	613	613	613	613
Caudal máximo vertido (m <sup>3</sup> /s)	51	91	155	205	244
Capacidad de laminación	8,4%	14,9%	25,3%	33,4%	39,9%
Sobreelevación (m)	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
Velocidad en la descarga (m/s)	1,18	1,18	1,14	1,09	1,05

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero tipo canal que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 1,5 m.

**Tabla 7-112: Cota de coronamiento - Valentín Gde.**

Cota de vertido (m)	138,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>141,0</b>

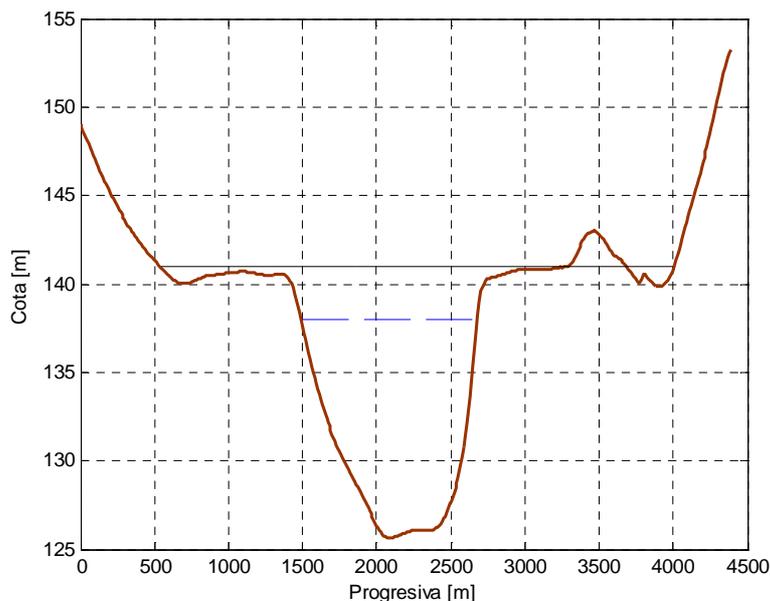
**Tabla 7-113: Altura de presa - Valentín Gde.**

Altura máxima del embalse (m)	12,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>15,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-45 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-114: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Valentín Gde.**

Altura de presa (m)	15,0
Ancho de coronamiento (m)	5,0
Talud aguas arriba (1V:mH)	1V:3H
Talud aguas abajo (1V:mH)	1V:2,5H
Longitud del cierre (m)	3.000
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>600.000</b>



**Figura 7-45: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Valentín Gde.**

Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-115: Costo de la obra civil - Valentín Gde.**

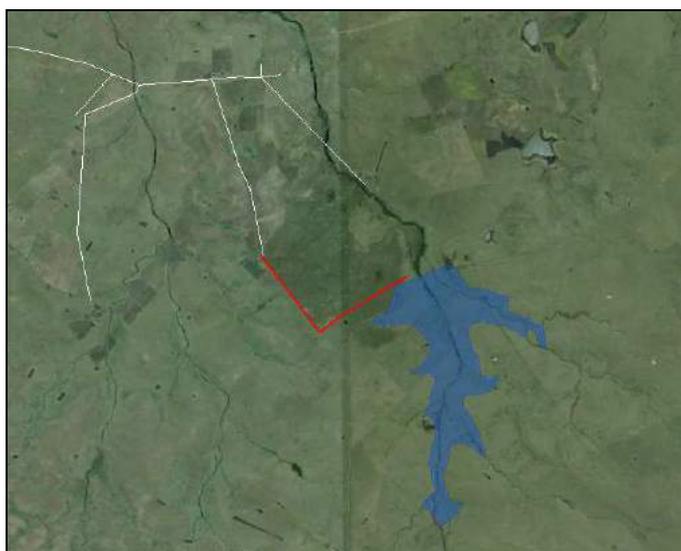
<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	600.000
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>3.900.000</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	0
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>0</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>3.900.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 1 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 2.500 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 3.900.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 490.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 1.400.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 4,5 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-46 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 272.000.



**Figura 7-46: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Valentín Gde.**

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-116: Costo de inversión - Valentín Gde.

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	3.900.000	3.900.000
Costo de expropiación	1.400.000	1.400.000
Costo del equipo electromecánico	490.000	1.400.000
Costo del tendido eléctrico	272.000	272.000
<b>Costo total</b>	<b>6.000.000</b>	<b>7.000.000</b>

### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>8</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

Tabla 7-117: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Valentín Gde.

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	762.000	1.672.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	68.000	106.000
Costo de O&M (USD/año)	20.000	58.000
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	<b>48.000</b>	<b>48.000</b>
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>2,5%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

<sup>8</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.

Tabla 7-118: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Valentín Gde.

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	128 USD/MWh	199 USD/MWh
TIR = 10%	143 USD/MWh	222 USD/MWh
TIR = 12%	160 USD/MWh	246 USD/MWh
TIR = 14%	177 USD/MWh	271 USD/MWh
TIR = 16%	194 USD/MWh	297 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

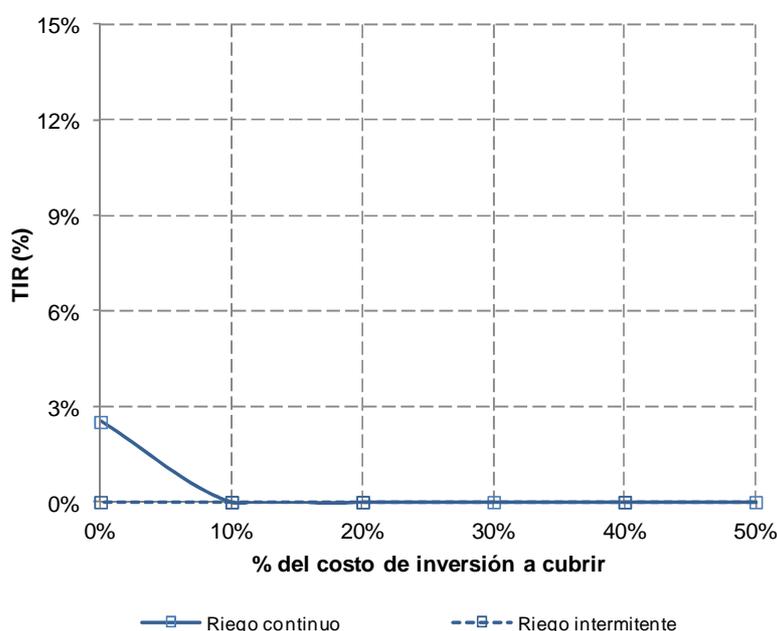


Figura 7-47: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Valentín Gde.

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg ("la bolsa") (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

Tabla 7-119: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Valentín Gde.

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	6.050.000	7.030.000
Ingresos totales (USD/año)	251.700	289.500
Costo de O&M (USD/año)	175.500	214.600
Ingresos netos (USD/año)	76.200	75.000
TIR para 20 años (%)	< 0,0%	< 0,0%

## 7.7 ARAPEY 04

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el río Arapey Grande con un salto disponible de 18 m, un área inundada de 915 há y un volumen almacenado de 54 Hm<sup>3</sup>.

En este caso, en vista de la elevada relación cuenca/embalse resultante, se realizó un análisis de sensibilidad al volumen del embalse considerando también una cota tal que el volumen embalsado sea aproximadamente el 150% del volumen original.

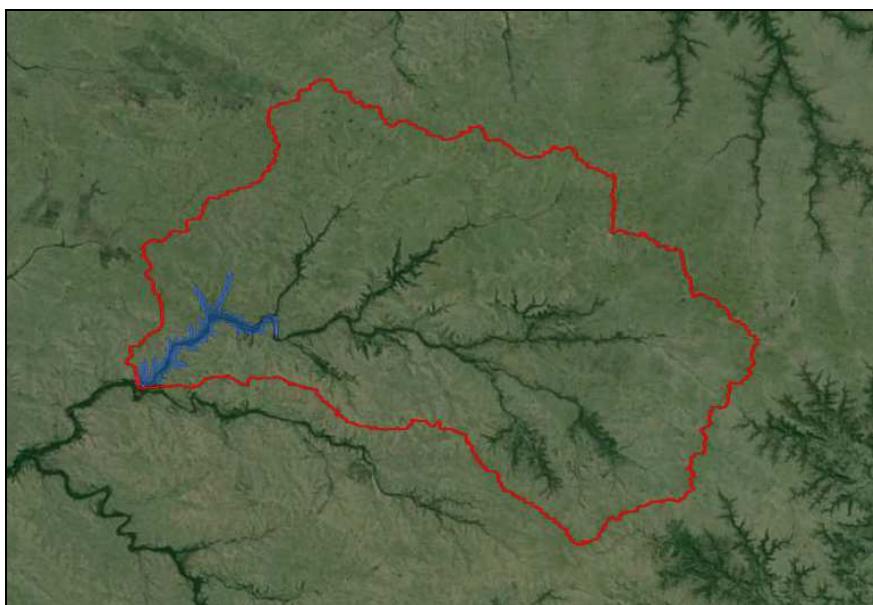
### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las relaciones entre la altura máxima del embalse, el volumen almacenado y el área inundada. Para ello se construyó, a partir de las curvas de nivel cada 10 m del SGM, un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7-120.

**Tabla 7-120: Características geométricas del embalse - Arapey 04**

Cota (m)	Altura (m)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Área (há)
131	25,0	60,4	1.699
133	27,0	96,5	1.912

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



**Figura 7-48: Cuenca de aporte - Arapey 04**

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el embalse a cota 131 m.

**Tabla 7-121: Caracterización hidrológica - Arapey 04, cota 131 m**

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	119.213
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	56
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	<b>807</b>
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	60,4
Relación cuenca/embalse	<b>13,4</b>
Factor de Capacidad (riego)	<b>1,00</b>
Factor de Capacidad (llenado)	<b>0,43</b>

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

**Tabla 7-122: Disponibilidad energética media - Arapey 04, cota 131 m**

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	25,0	25,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	15,1	45,3
Potencia (kW)	<b>1.215</b>	<b>3.645</b>
Factor de Capacidad (riego)	1,00	
Energía Máx. (riego) (MWh)	3.500	
Energía (riego) (MWh)	<b>3.500</b>	<b>3.500</b>
Factor de Capacidad (llenado)	0,43	0,43
Energía Máx. (llenado) (MWh)	6.999	20.998
Energía (llenado) (MWh)	<b>2.987</b>	<b>8.962</b>
Energía Media Anual (MWh)	<b>6.487</b>	<b>12.462</b>

### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el índice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Salto se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados para la cota considerada (131 m, cota del embalse a nivel de vertedero).



**Tabla 7-123: Padrones inundados a cota 131 m - Arapey 04**

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

**Tabla 7-124: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - Arapey 04, cota 131 m**

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
639	81	80,6	100%
5651	213	122,7	58%
636	217	77,8	36%
2106	63	21,6	34%
5651	81	26,0	32%
498	811	206,3	25%
3399	1.961	380,5	19%
3398	275	39,9	15%
641	1.056	154,7	15%
5650	394	51,7	13%
302	997	124,9	13%
412	470	53,6	11%
641	2.046	218,8	11%
5651	178	8,9	5%
639	355	19,0	5%
639	795	31,7	4%
8301	585	12,8	2%
7797	854	15,9	2%
638	577	5,5	1%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-125: Áreas a inundar según usos del suelo - Arapey 04, cota 131 m

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Cursos de Agua	114	7%
Arbustos y Pradera Natural	24	1%
Monte Nativo	486	29%
Pradera Natural	1.076	63%

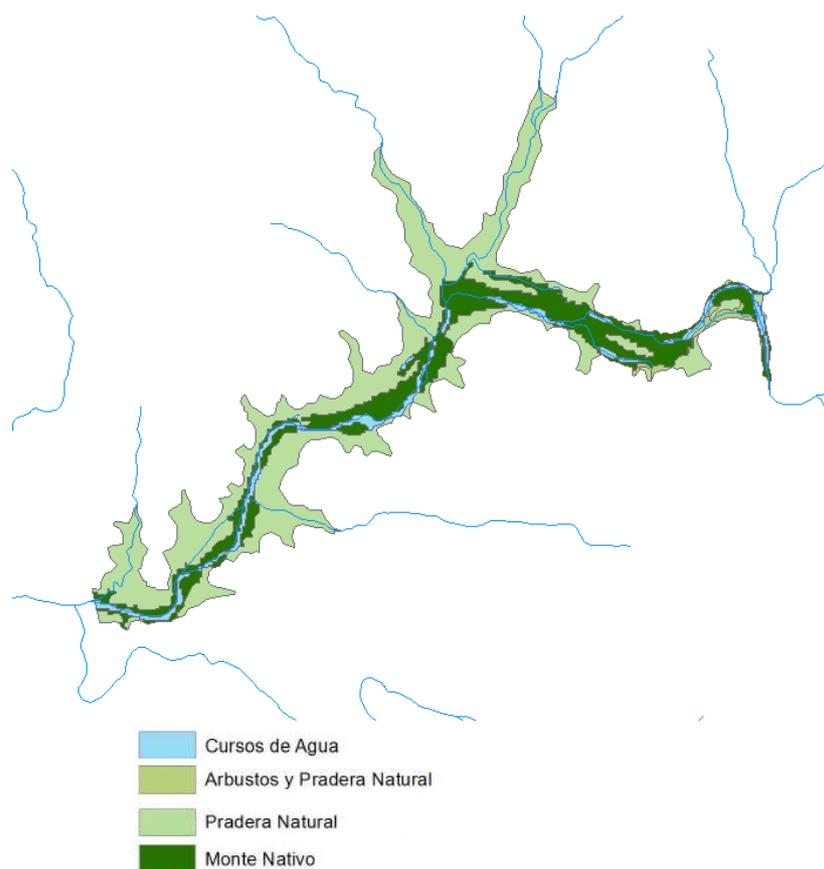


Figura 7-49: Usos del suelo de las tierras a inundar - Arapey 04, cota 131 m

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

Tabla 7-126: Área a inundar en función del índice CONEAT - Arapey 04, cota 131 m

Índice CONEAT	Área (há)
30	500
79	246
153	55
158	898
<b>Promedio ponderado</b>	<b>109</b>

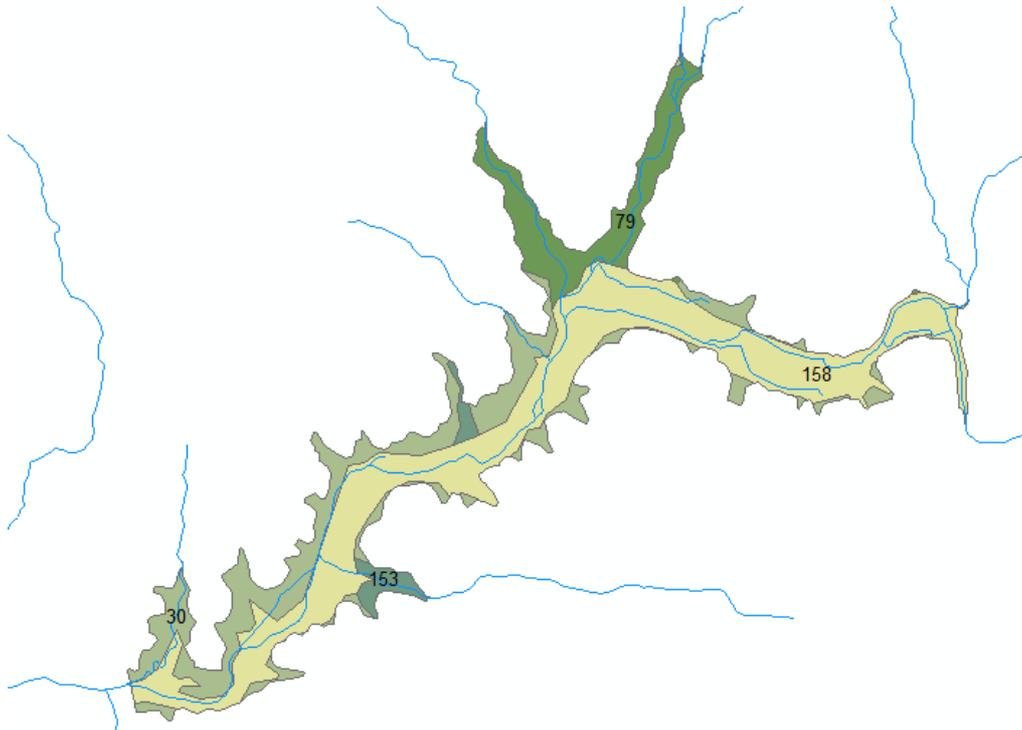


Figura 7-50: Índice CONEAT de las tierras a inundar - Arapey 04, cota 131 m

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago no afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲) aunque sí un camino vecinal que permite el acceso a los mismos, además de una línea de energía eléctrica de 15 kV.



Figura 7-51: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Arapey 04, cota 131 m

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-127 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-127: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Arapey 04**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	1.192
Longitud del cauce principal (km)	70
Desnivel geométrico (m)	208
Pendiente media (%)	0,30%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	16,90
Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	3239

En este caso, debido al muy bajo tiempo de residencia del agua en el embalse (muy alta relación cuenca/embalse), para materializar un vertedero tipo canal que sea estable frente a la erosión del flujo se requieren anchos de canal y sobreelevaciones en el embalse excesivos. Por ello se descartó esta solución y se procedió a evaluar la alternativa de un vertedero de hormigón.

Se calculó, para cada ancho de vertedero considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 5 m/s para no comprometer la estructura). A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada ancho de vertedero considerado.

**Tabla 7-128: Laminación para diferentes anchos del vertedero de hormigón - Arapey 04, cota 131 m**

Ancho del vertedero (m)	100	200	250	250	300
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	3.239	3.239	3.239	3.239	3.239
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	2.538	2.913	3.010	3.010	3.065
Capacidad de laminación	78,4%	89,9%	92,9%	92,9%	94,6%
Sobreelevación (m)	5,8	4,0	3,6	3,6	3,2
Velocidad en la descarga (m/s)	6,52	5,42	5,09	5,09	4,82

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero de hormigón que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 3 m.

A los fines de estimar el costo del vertedero se seleccionó un ancho igual a 300 m.

**Tabla 7-129: Cota de coronamiento - Arapey 04, cota 131 m**

Cota de vertido (m)	131,0
Altura de revancha (m)	4,0
Cota de coronamiento (m)	135,0

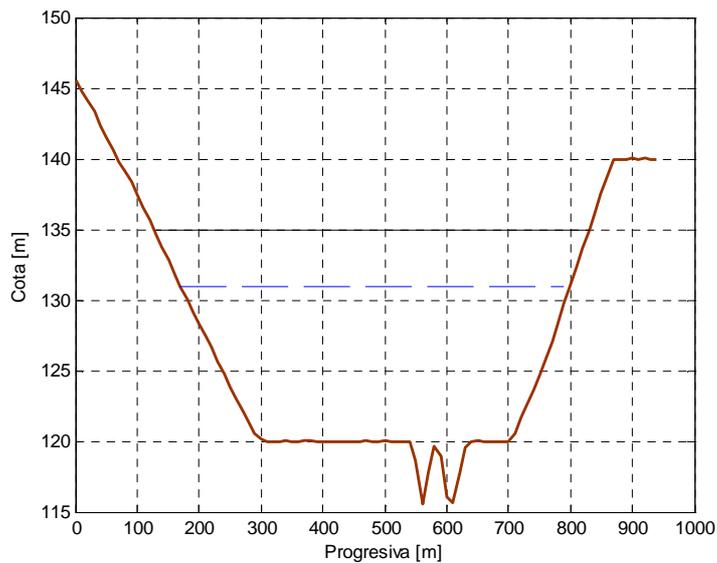
**Tabla 7-130: Altura de presa - Arapey 04, cota 131 m**

Altura máxima del embalse (m)	25,0
Altura de revancha (m)	4,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>29,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-52 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-131: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Arapey 04, cota 131 m**

Altura de presa (m)	29,0
Ancho de coronamiento (m)	8,0
Talud aguas arriba (1V:mH)	1V:3H
Talud aguas abajo (1V:mH)	1V:2,5H
Longitud del cierre (m)	710
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>404.500</b>



**Figura 7-52: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Arapey 04, cota 131 m**

### Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-132: Costo de la obra civil - Arapey 04, cota 131 m**

Volumen de tierra (m <sup>3</sup> )	404.500
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>2.600.000</b>
Volumen de hormigón (m <sup>3</sup> )	19.800
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>11.800.000</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>14.400.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 1 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 1.725 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 2.900.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 2.100.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 6.400.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 1,5 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-53 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 124.000.

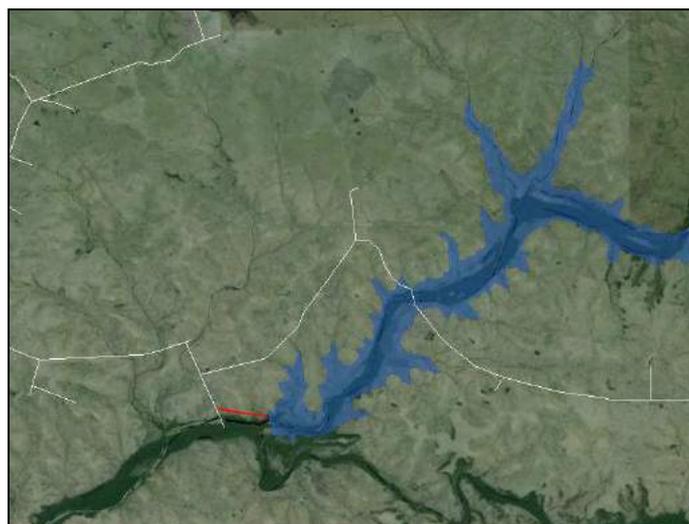


Figura 7-53: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Arapey 04

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-133: Costo de inversión - Arapey 04, cota 131 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	14.400.000	14.400.000
Costo de expropiación	2.900.000	2.900.000
Costo del equipo electromecánico	2.100.000	6.400.000
Costo del tendido eléctrico	124.000	124.000
<b>Costo total</b>	<b>19.700.000</b>	<b>24.000.000</b>

Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>9</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

**Tabla 7-134: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh, Arapey 04, cota 131 m**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	2.224.000	6.524.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	580.000	1.120.000
Costo de O&M (USD/año)	85.000	255.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>495.000</b>	<b>865.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>21,7%</b>	<b>11,9%</b>

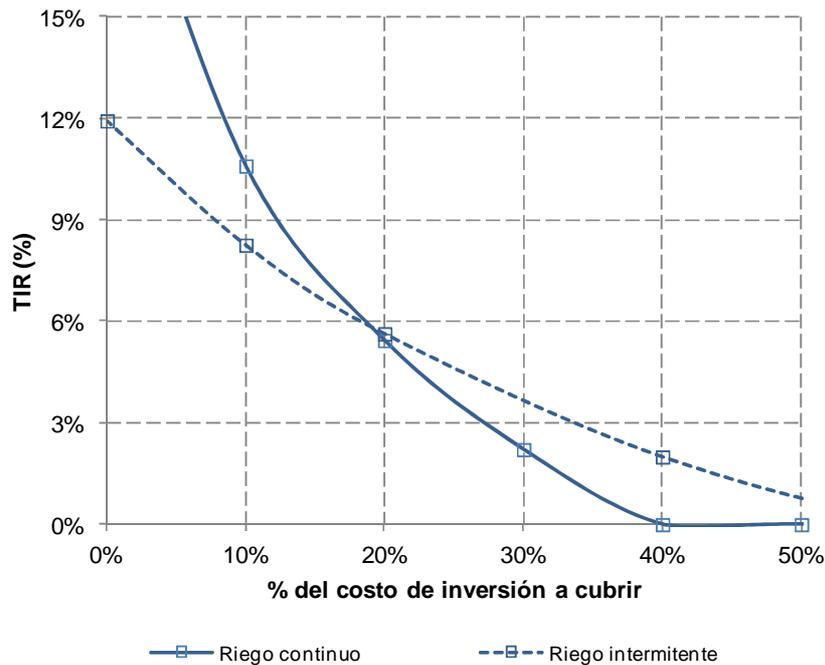
Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

**Tabla 7-135: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Arapey 04, cota 131 m**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	49 USD/MWh	74 USD/MWh
TIR = 10%	54 USD/MWh	82 USD/MWh
TIR = 12%	60 USD/MWh	90 USD/MWh
TIR = 14%	65 USD/MWh	99 USD/MWh
TIR = 16%	71 USD/MWh	108 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

<sup>9</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.



**Figura 7-54: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Arapey 04, cota 131 m**

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

**Tabla 7-136: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Arapey 04, cota 131 m**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	19.700.000	23.950.000
Ingresos totales (USD/año)	1.1450.000	1.682.700
Costo de O&M (USD/año)	190.200	360.300
Ingresos netos (USD/año)	954.800	1.322.400
TIR para 20 años (%)	< 0,0%	1,0%

### **Análisis de sensibilidad al volumen del embalse**

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos considerando el embalse a cota 133 m, con un salto disponible de 27,0 m, un espejo de agua de 1912 há y un volumen de almacenamiento de 96,5 Hm<sup>3</sup>.

Disponibilidad energética media

Tabla 7-137: Caracterización hidrológica - Arapey 04, cotas 131 y 133 m

Caracterización hidrológica	Arapey 04, cota 131 m	Arapey 04, cota 133 m
Altura máxima del embalse (m)	25,0	27,0
Superficie del lago (há)	1.699	1.912
Volumen de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	60,4	96,5
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	807	807
Relación Cuenca/Embalse	<b>13,4</b>	<b>8,4</b>
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	<b>1,00</b>	<b>0,99</b>
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	<b>0,43</b>	<b>0,40</b>

Tabla 7-138: Disponibilidad energética media - Arapey 04, cota 133 m

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	27,0	27,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	24,1	72,4
Potencia (kW)	<b>2.096</b>	<b>6.289</b>
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	0,99	
Energía Máx. <sub>(riego)</sub> (MWh)	6.038	
Energía <sub>(riego)</sub> (MWh)	<b>5.952</b>	<b>5.952</b>
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,40	0,40
Energía Máx. <sub>(llenado)</sub> (MWh)	12.075	36.226
Energía <sub>(llenado)</sub> (MWh)	<b>4.825</b>	<b>14.475</b>
Energía Media Anual (MWh)	<b>10.777</b>	<b>20.428</b>

Estimación del costo de inversión

Tabla 7-139: Costo de inversión - Arapey 04, cota 133 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la presa	3.300.000	3.300.000
Costo del vertedero	11.600.000	11.600.000
Costo de expropiación	3.300.000	3.300.000
Costo del equipo electromecánico	3.600.000	11.000.000
Costo del tendido eléctrico	124.000	140.000
Costo total	<b>22.000.000</b>	<b>29.400.000</b>

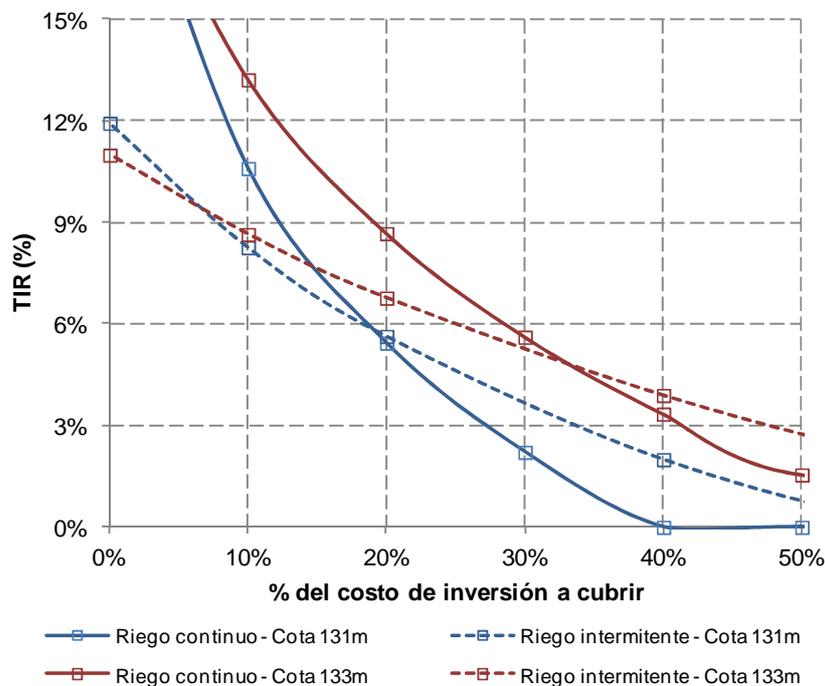
Análisis del retorno de la inversión

**Tabla 7-140: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh, Arapey 04, cota 133 m**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	3.724.000	11.140.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	970.000	1.800.000
Costo de O&M (USD/año)	150.000	440.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>820.000</b>	<b>1.360.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>21,2%</b>	<b>11,0%</b>

**Tabla 7-141: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Arapey 04, cota 133 m**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	50 USD/MWh	77 USD/MWh
TIR = 10%	55 USD/MWh	86 USD/MWh
TIR = 12%	60 USD/MWh	95 USD/MWh
TIR = 14%	67 USD/MWh	104 USD/MWh
TIR = 16%	73 USD/MWh	114 USD/MWh



**Figura 7-55: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Arapey 04, cota 131 y 133 m**

**Tabla 7-142: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Arapey 04, cota 133 m**

<b>Análisis del retorno de la inversión global</b>		
<b>Escenario de operación del embalse</b>	<b>Continuo</b>	<b>Intermitente</b>
<b>Costo de inversión (USD)</b>	22.050.000	29.410.000
<b>Ingresos totales (USD/año)</b>	1.853.700	2.722.300
<b>Costo de O&amp;M (USD/año)</b>	281.300	574.800
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	1.572.400	2.147.500
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>3,6%</b>	<b>3,9%</b>

## 7.8 ARAPEY 07

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el río Arapey Grande con un salto disponible de 16 m, un área inundada de 581 há y un volumen almacenado de 23 Hm<sup>3</sup>.

En este caso, en vista de la elevada relación cuenca/embalse resultante, se realizó un análisis de sensibilidad al volumen del embalse considerando también una cota tal que el volumen embalsado sea aproximadamente el 150% del volumen original.

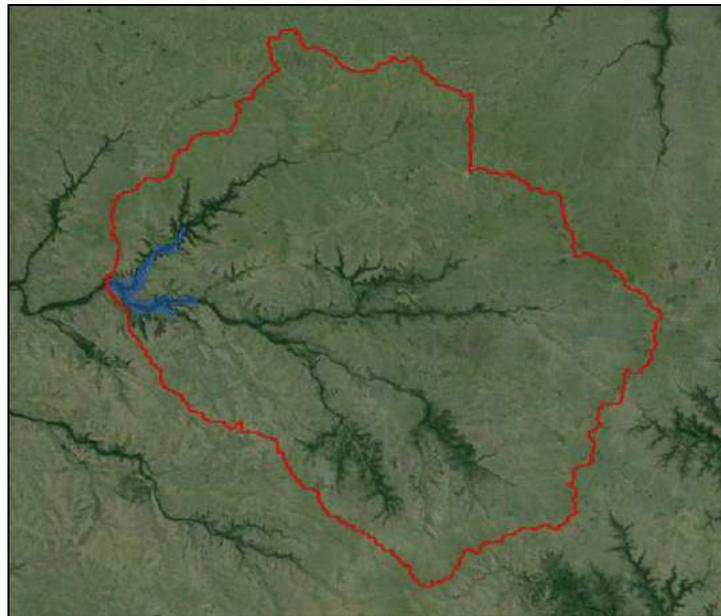
### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las relaciones entre la altura máxima del embalse, el volumen almacenado y el área inundada. Para ello se construyó, a partir de las curvas de nivel cada 10 m del SGM, un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7-143.

**Tabla 7-143: Características geométricas del embalse - Arapey 07**

Cota (m)	Altura (m)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Área (há)
152	17,0	20,4	666
154	19,0	34,4	742

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



**Figura 7-56: Cuenca de aporte - Arapey 07**

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el embalse a cota 152 m.

Tabla 7-144: Caracterización hidrológica - Arapey 07, cota 152 m

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	76.314
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	57
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	525
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	20,4
Relación cuenca/embalse	25,8
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	1,00
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,45

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

Tabla 7-145: Disponibilidad energética media - Arapey 07, cota 152 m

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	17,0	17,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	5,1	15,3
Potencia (kW)	278	835
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	1,00	
Energía Máx. <sub>(riego)</sub> (MWh)	802	
Energía <sub>(riego)</sub> (MWh)	802	802
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,45	0,45
Energía Máx. <sub>(llenado)</sub> (MWh)	1.604	4.811
Energía <sub>(llenado)</sub> (MWh)	719	2.158
Energía Media Anual (MWh)	1.521	2.959

#### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el índice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Salto se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados para la cota considerada (152 m, cota del embalse a nivel de vertedero).



Tabla 7-146: Padrones inundados a cota 152 m - Arapey 07

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

Tabla 7-147: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - Arapey 07, cota 152 m

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
7200	29	24,3	83%
627	54	20,5	38%
4659	5	1,9	37%
6631	174	54,8	31%
610	219	64,9	30%
3010	1.141	226,4	20%
7199	221	34,8	16%
2346	54	7,7	14%
627	648	47,3	7%
4031	601	27,7	5%
6225	313	16,0	5%
3009	837	39,9	5%
6632	40	1,7	4%
3807	184	6,6	4%
7200	344	10,2	3%
3843	224	4,3	2%
3844	113	1,2	1%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-148: Áreas a inundar según usos del suelo - Arapey 07 Arapey 07, cota 152 m

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Cursos de Agua	19	3%
Monte Nativo	307	46%
Pradera Natural	346	51%

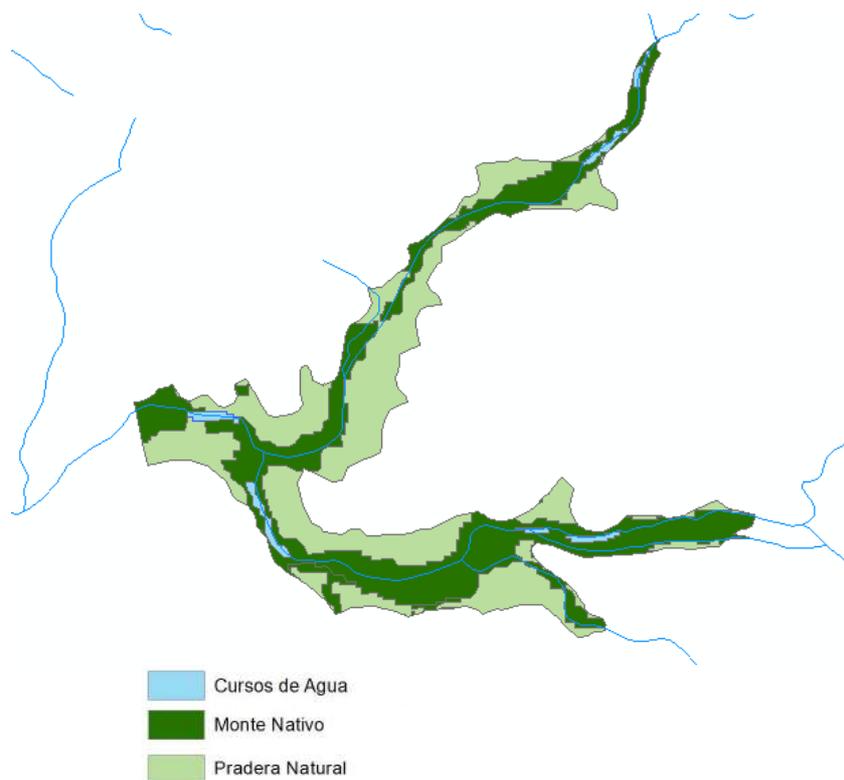


Figura 7-57: Usos del suelo de las tierras a inundar - Arapey 07, cota 152 m

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

Tabla 7-149: Área a inundar en función del índice CONEAT - Arapey 07, cota 152 m

Índice CONEAT	Área (há)
30	104
40	8
70	31
86	94
153	14
158	422
<b>Promedio ponderado</b>	<b>123</b>

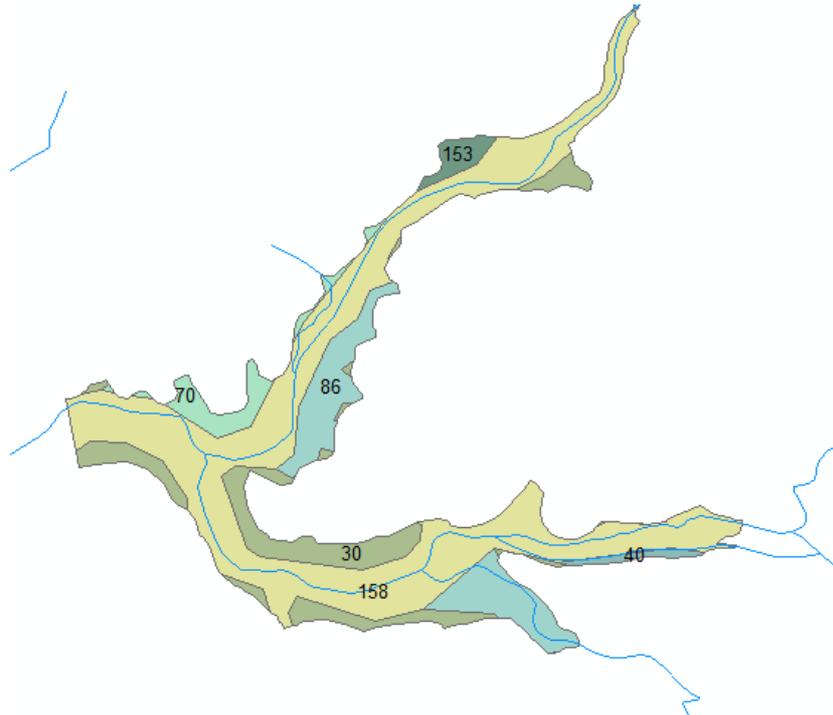


Figura 7-58: Índice CONEAT de las tierras a inundar - Arapey 07, cota 152 m

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago no afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲), sus accesos, ni a rutas o caminos vecinales, ni a líneas de energía eléctrica de media tensión.



Figura 7-59: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Arapey 07, cota 152 m

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-150 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-150: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Arapey 07**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	763
Longitud del cauce principal (km)	45
Desnivel geométrico (m)	180
Pendiente media (%)	0,40%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	10,80%
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>2.773</b>

En este caso, debido al muy bajo tiempo de residencia del agua en el embalse (muy alta relación cuenca/embalse), para materializar un vertedero tipo canal que sea estable frente a la erosión del flujo se requieren anchos de canal y sobreelevaciones en el embalse excesivos. Por ello se descartó esta solución y se procedió a evaluar la alternativa de un vertedero de hormigón.

Se calculó, para cada ancho de vertedero considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 5 m/s para no comprometer la estructura). A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada ancho de vertedero considerado.

**Tabla 7-151: Laminación para diferentes anchos del vertedero de hormigón - Arapey 07, cota 152 m**

Ancho del vertedero (m)	200	250	260	280	300
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	2.773	2.773	2.773	2.773	2.773
Caudal máximo vertido (m <sup>3</sup> /s)	2.629	2.673	2.679	2.688	2.694
Capacidad de laminación	94,8%	96,4%	96,6%	96,9%	97,2%
Sobreelevación (m)	3,8	3,3	3,2	3,1	2,9
Velocidad en la descarga (m/s)	5,24	4,89	4,83	4,72	4,61

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero de hormigón que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 3 m.

A los fines de estimar el costo del vertedero se seleccionó un ancho igual a 250 m.

**Tabla 7-152: Cota de coronamiento - Arapey 07, cota 152 m**

Cota de vertido (m)	152,0
Altura de revancha (m)	4,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>156,0</b>

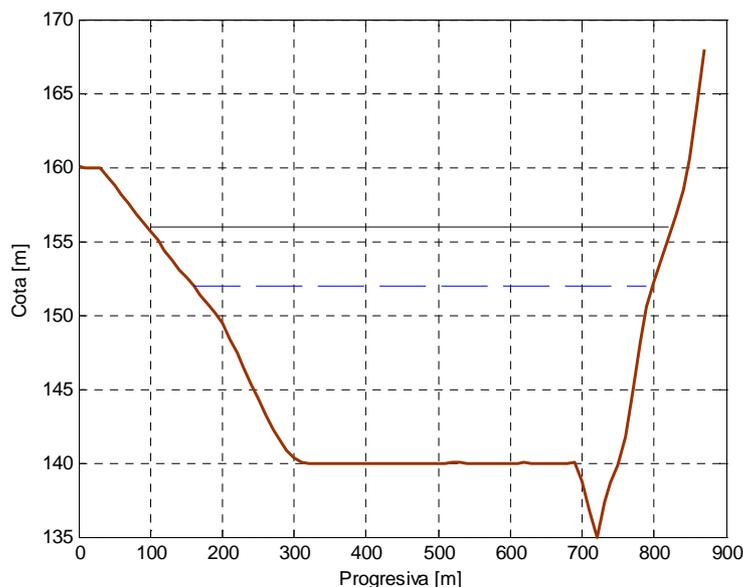
**Tabla 7-153: Altura de presa - Arapey 07, cota 152 m**

Altura máxima del embalse (m)	17,0
Altura de revancha (m)	4,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>21,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-60 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-154: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Arapey 07, cota 152 m**

Altura de presa (m)	21,0
Ancho de coronamiento (m)	6,0
Talud aguas arriba (1V:mH)	1V:3H
Talud aguas abajo (1V:mH)	1V:2,5H
Longitud del cierre (m)	730
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>444.500</b>



**Figura 7-60: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Arapey 07, cota 152 m**

### Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-155: Costo de la obra civil - Arapey 07, cota 152 m**

Volumen de tierra (m <sup>3</sup> )	444.500
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>2.900.000</b>
Volumen de hormigón (m <sup>3</sup> )	17.500
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>10.500.000</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>13.400.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 1 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 2.000 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 1.300.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 500.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 1.400.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 10 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-61 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 543.000.



Figura 7-61: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Arapey 07

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-156: Costo de inversión - Arapey 07, cota 152 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	13.400.000	13.400.000
Costo de expropiación	1.300.000	1.300.000
Costo del equipo electromecánico	500.000	1.400.000
Costo del tendido eléctrico	540.000	540.000
<b>Costo total</b>	<b>15.700.000</b>	<b>16.700.000</b>

### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>10</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

**Tabla 7-157: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh, Arapey 07, cota 152 m**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	1.040.000	1.940.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	137.000	266.000
Costo de O&M (USD/año)	20.000	58.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>117.000</b>	<b>208.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>9,6%</b>	<b>8,2%</b>

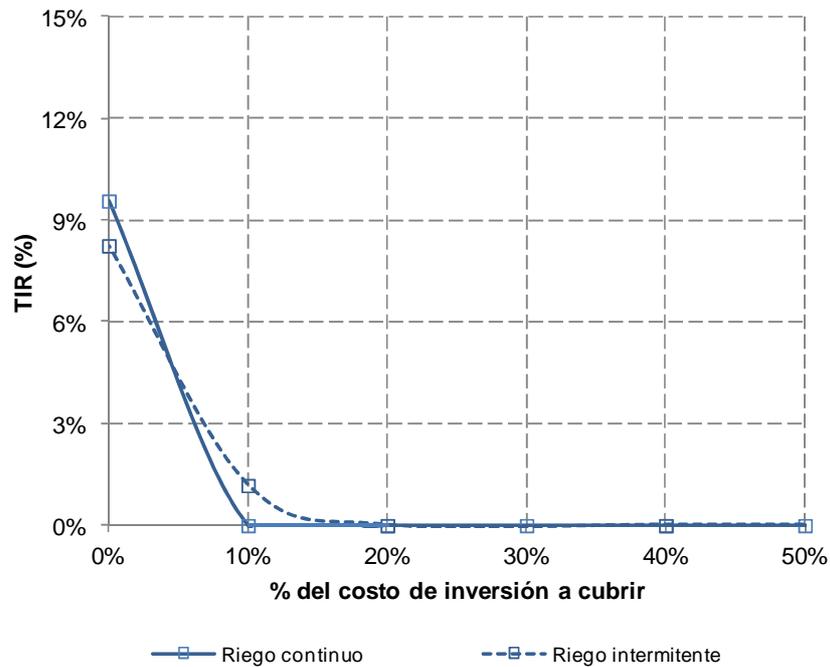
Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

**Tabla 7-158: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Arapey 07, cota 152 m**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	82 USD/MWh	89 USD/MWh
TIR = 10%	90 USD/MWh	99 USD/MWh
TIR = 12%	103 USD/MWh	110 USD/MWh
TIR = 14%	115 USD/MWh	122 USD/MWh
TIR = 16%	127 USD/MWh	134 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

<sup>10</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.



**Figura 7-62: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Arapey 07, cota 152 m**

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

**Tabla 7-159: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Arapey 07, cota 152 m**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	15.780.000	16.750.000
Ingresos totales (USD/año)	326.000	455.400
Costo de O&M (USD/año)	135.100	174.000
Ingresos netos (USD/año)	190.900	281.400
TIR para 20 años (%)	< 0,0%	< 0,0%

### **Análisis de sensibilidad al volumen del embalse**

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos considerando el embalse a cota 154 m, con un salto disponible de 19,0 m, un espejo de agua de 742 há y un volumen de almacenamiento de 34,4 Hm<sup>3</sup>.

Disponibilidad energética media

Tabla 7-160: Caracterización hidrológica - Arapey 07, cotas 152 y 154 m

Caracterización hidrológica	Arapey 07, cota 152 m	Arapey 07, cota 154 m
Altura máxima del embalse (m)	17,0	19,0
Superficie del lago (há)	666	742
Volumen de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	20,4	34,4
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	525	525
Relación Cuenca/Embalse	<b>25,8</b>	<b>15,2</b>
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	<b>0,45</b>	<b>0,43</b>

Tabla 7-161: Disponibilidad energética media - Arapey 07, cota 154 m

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	19,0	19,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	8,6	25,8
Potencia (kW)	<b>526</b>	<b>1.579</b>
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	1,00	
Energía Máx. <sub>(riego)</sub> (MWh)	1.516	
Energía <sub>(riego)</sub> (MWh)	<b>1.516</b>	<b>1.516</b>
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,43	0,43
Energía Máx. <sub>(llenado)</sub> (MWh)	3.031	9.094
Energía <sub>(llenado)</sub> (MWh)	<b>1.311</b>	<b>3.933</b>
Energía Media Anual (MWh)	<b>2.827</b>	<b>5.448</b>

Estimación del costo de inversión

Tabla 7-162: Costo de inversión - Arapey 07, cota 154 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la presa	3.700.000	3.700.000
Costo del vertedero	10.300.000	10.300.000
Costo de expropiación	1.500.000	1.500.000
Costo del equipo electromecánico	920.000	2.700.000
Costo del tendido eléctrico	540.000	540.000
Costo total	<b>17.000.000</b>	<b>18.800.000</b>

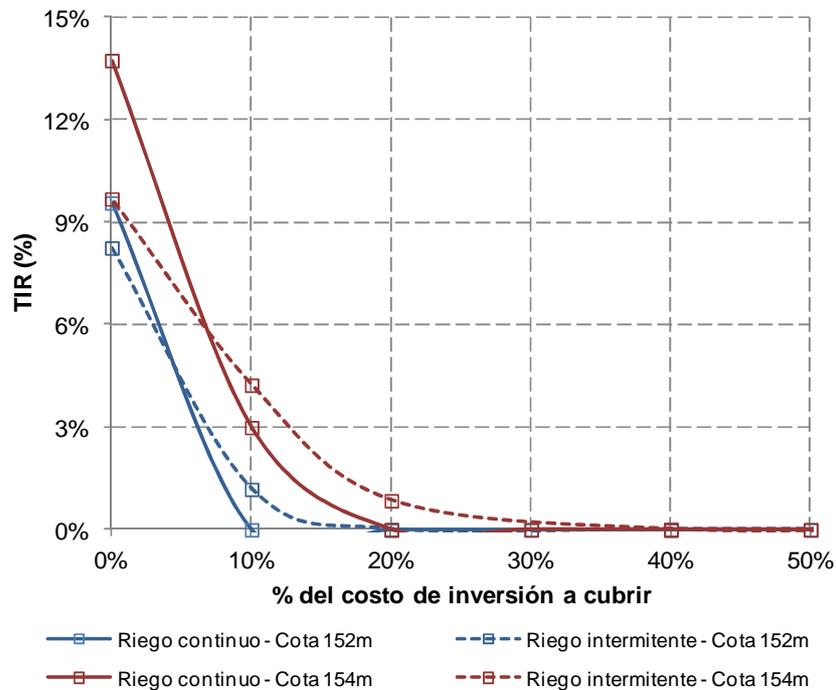
Análisis del retorno de la inversión

**Tabla 7-163: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh, Arapey 07, cota 154 m**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	1.460.000	3.240.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	250.000	490.000
Costo de O&M (USD/año)	30.000	110.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>220.000</b>	<b>380.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>13,7%</b>	<b>9,7%</b>

**Tabla 7-164: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Arapey 07, cota 154 m**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	66 USD/MWh	82 USD/MWh
TIR = 10%	74 USD/MWh	90 USD/MWh
TIR = 12%	82 USD/MWh	101 USD/MWh
TIR = 14%	90 USD/MWh	112 USD/MWh
TIR = 16%	100 USD/MWh	122 USD/MWh



**Figura 7-63: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Arapey 07, cota 152 y 154 m**

Tabla 7-165: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Arapey 07, cota 154 m

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	17.000.000	18.840.000
Ingresos totales (USD/año)	574.200	810.200
Costo de O&M (USD/año)	186.300	259.900
Ingresos netos (USD/año)	387.900	550.200
TIR para 20 años (%)	< 0,0%	< 0,0%

## 7.9 MATAOJO GDE.

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el arroyo Mataojo Grande con un salto disponible de 18 m, un área inundada de 827 há y un volumen almacenado de 43 Hm<sup>3</sup>.

En este caso, en vista de la elevada relación cuenca/embalse resultante, se realizó un análisis de sensibilidad al volumen del embalse considerando también una cota tal que el volumen embalsado sea aproximadamente el 150% del volumen original.

### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) a partir de un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m generado en base a las curvas de nivel cada 10 m del SGM.

Tabla 7-166: Características geométricas del embalse - Mataojo Gde.

Cota (m)	Altura (m)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Área (há)
123	18,0	44,1	922
125	20,0	63,9	1.080

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.

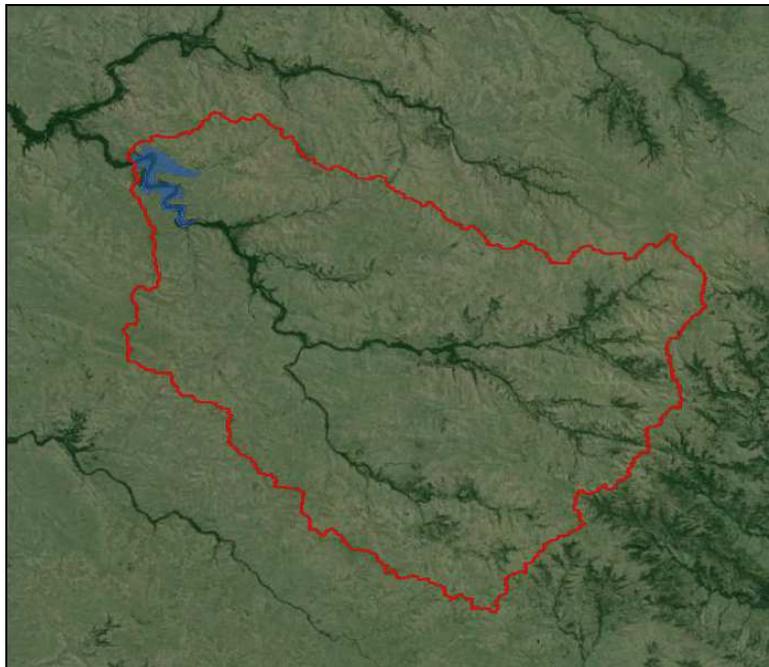


Figura 7-64: Cuenca de aporte - Mataojo Gde.

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el embalse a cota 123 m.

Tabla 7-167: Caracterización hidrológica - Mataojo Gde, cota 123 m

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	99.089
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	58
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	695
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	44,1
Relación cuenca/embalse	15,8
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	1,00
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,43

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

Tabla 7-168: Disponibilidad energética media - Mataojo Gde, cota 123 m

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	18,0	18,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	11,0	33,1
Potencia (kW)	639	1.916
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	1,00	
Energía Máx. <sub>(riego)</sub> (MWh)	1.839	
Energía <sub>(riego)</sub> (MWh)	1.839	1.839
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,43	0,43
Energía Máx. <sub>(llenado)</sub> (MWh)	3.678	11.033
Energía <sub>(llenado)</sub> (MWh)	1.595	4.785
Energía Media Anual (MWh)	3.434	6.624

#### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el índice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Salto se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados para la cota considerada (123 m, cota del embalse a nivel de vertedero).



**Tabla 7-169: Padrones inundados a cota 123 m - Mataojo Gde.**

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

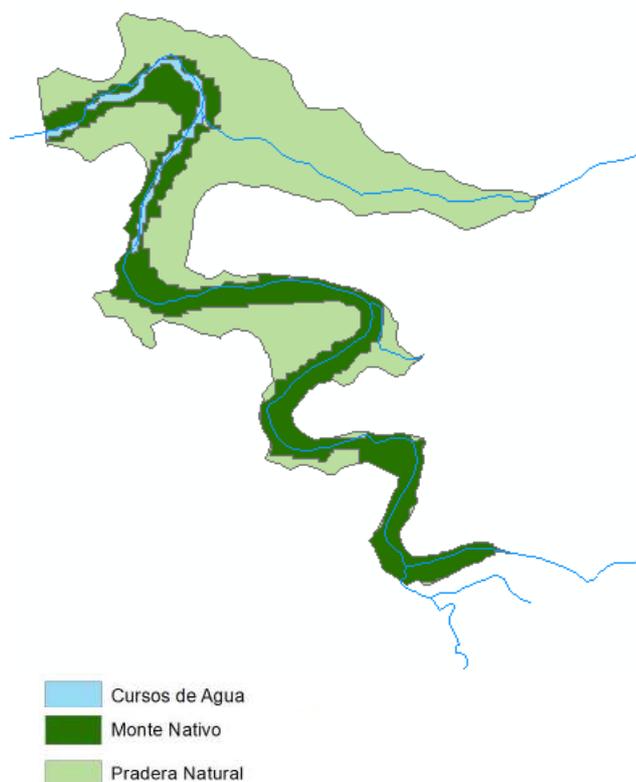
**Tabla 7-170: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - Mataojo Gde, cota 123 m**

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
3696	6	5,7	100%
876	5	5,4	100%
2269	1	0,6	100%
3696	33	33,0	100%
764	3	2,7	95%
883	310	247,4	80%
7024	245	124,3	51%
882	33	14,6	44%
2269	228	62,7	27%
764	239	54,5	23%
882	26	4,3	16%
2134	771	125,1	16%
3696	78	9,0	12%
785	117	12,3	11%
866	691	55,9	8%
866	318	11,3	4%
9324	543	20,1	4%
865	1.941	70,4	4%
2166	362	6,6	2%
883	530	4,3	1%
890	4.097	46,0	1%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

**Tabla 7-171: Áreas a inundar según usos del suelo - Mataojo Gde, cota 123 m**

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Cursos de Agua	25	3%
<b>Monte Nativo</b>	<b>302</b>	<b>33%</b>
<b>Pradera Natural</b>	<b>593</b>	<b>65%</b>



**Figura 7-65: Usos del suelo de las tierras a inundar - Mataojo Gde, cota 123 m**

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

**Tabla 7-172: Área a inundar en función del índice CONEAT - Mataojo Gde, cota 123 m**

Índice CONEAT	Área (há)
<b>30</b>	92
<b>40</b>	41
<b>86</b>	368
<b>88</b>	1
<b>153</b>	14
<b>158</b>	404
<b>Promedio ponderado</b>	<b>111</b>

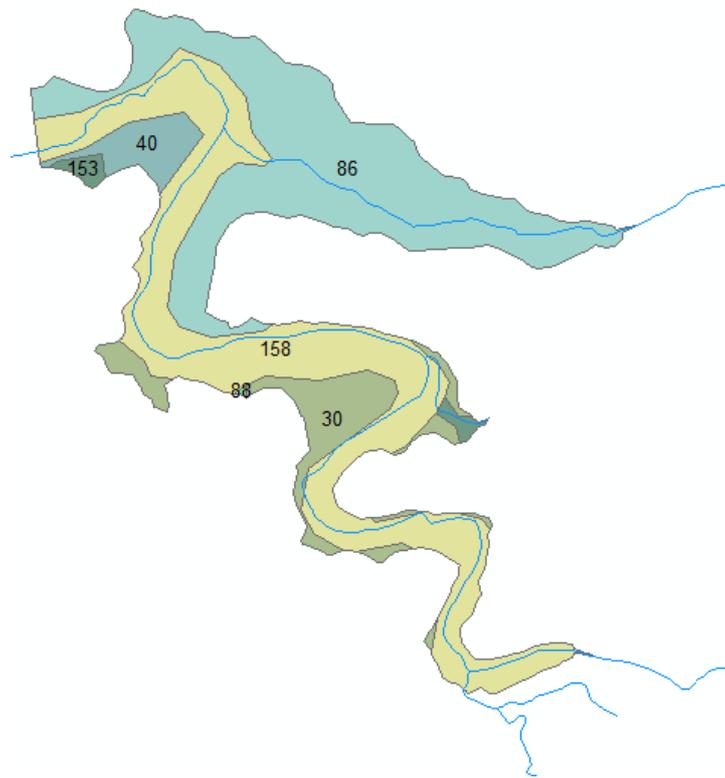


Figura 7-66: Índice CONEAT de las tierras a inundar - Mataojo Gde, cota 123 m

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago afecta a un establecimiento rural (indicados como ▲) y a un camino vecinal que permite el acceso al mismo. No inunda líneas de energía eléctrica de media tensión.



Figura 7-67: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Mataojo Gde, cota 123 m

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-173 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-173: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Mataojo Gde.**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	991
Longitud del cauce principal (km)	69
Desnivel geométrico (m)	294
Pendiente media (%)	0,43%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	14,40
Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	2.955

En este caso, debido al muy bajo tiempo de residencia del agua en el embalse (muy alta relación cuenca/embalse), para materializar un vertedero tipo canal que sea estable frente a la erosión del flujo se requieren anchos de canal y sobreelevaciones en el embalse excesivos. Por ello se descartó esta solución y se procedió a evaluar la alternativa de un vertedero de hormigón.

Se calculó, para cada ancho de vertedero considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 5 m/s para no comprometer la estructura). A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada ancho de vertedero considerado.

**Tabla 7-174: Laminación para diferentes anchos del vertedero de hormigón - Mataojo Gde, cota 123 m**

Ancho del vertedero (m)	100	200	250	300
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	2.955	2.955	2.955	2.955
Caudal máximo vertido (m <sup>3</sup> /s)	2.410	2.713	2.786	2.825
Capacidad de laminación	81,6%	91,8%	94,3%	95,6%
Sobreelevación (m)	5,6	3,8	3,4	3,0
Velocidad en la descarga (m/s)	6,41	5,29	4,96	4,69

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero de hormigón que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 3,5 m.

A los fines de estimar el costo del vertedero se seleccionó un ancho igual a 250 m.

**Tabla 7-175: Cota de coronamiento - Mataojo Gde, cota 123 m**

Cota de vertido (m)	123,0
Altura de revancha (m)	4,0
Cota de coronamiento (m)	127,0

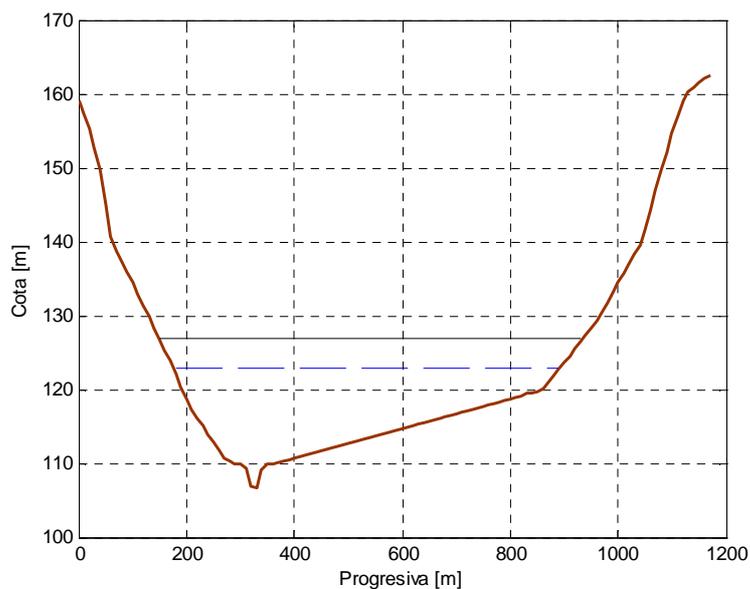
**Tabla 7-176: Altura de presa - Mataojo Gde, cota 123 m**

Altura máxima del embalse (m)	18,0
Altura de revancha (m)	4,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>22,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-68 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-177: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Mataojo Gde, 123 m**

Altura de presa (m)	22,0
Ancho de coronamiento (m)	7,0
Talud aguas arriba (1V:mH)	1V:3H
Talud aguas abajo (1V:mH)	1V:2,5H
Longitud del cierre (m)	790
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>392.400</b>



**Figura 7-68: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Mataojo Gde, cota 123 m**

Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-178: Costo de la obra civil - Mataojo Gde, cota 123 m**

Volumen de tierra (m <sup>3</sup> )	392.400
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>2.550.000</b>
Volumen de hormigón (m <sup>3</sup> )	18.500
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>11.100.000</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>13.650.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 1 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 1.725 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 1.600.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 1.120.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 3.350.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 7,5 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-69 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 420.000.



Figura 7-69: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Mataojo Gde.

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-179: Costo de inversión - Mataojo Gde, cota 123 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	13.650.000	13.650.000
Costo de expropiación	1.600.000	1.600.000
Costo del equipo electromecánico	1.120.000	3.350.000
Costo del tendido eléctrico	420.000	420.000
<b>Costo total</b>	<b>16.800.000</b>	<b>19.000.000</b>

Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>11</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

**Tabla 7-180: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh Mataojo Gde, cota 123 m**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	1.540.000	3.770.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	300.000	600.000
Costo de O&M (USD/año)	40.000	140.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>260.000</b>	<b>460.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>16,4%</b>	<b>10,6%</b>

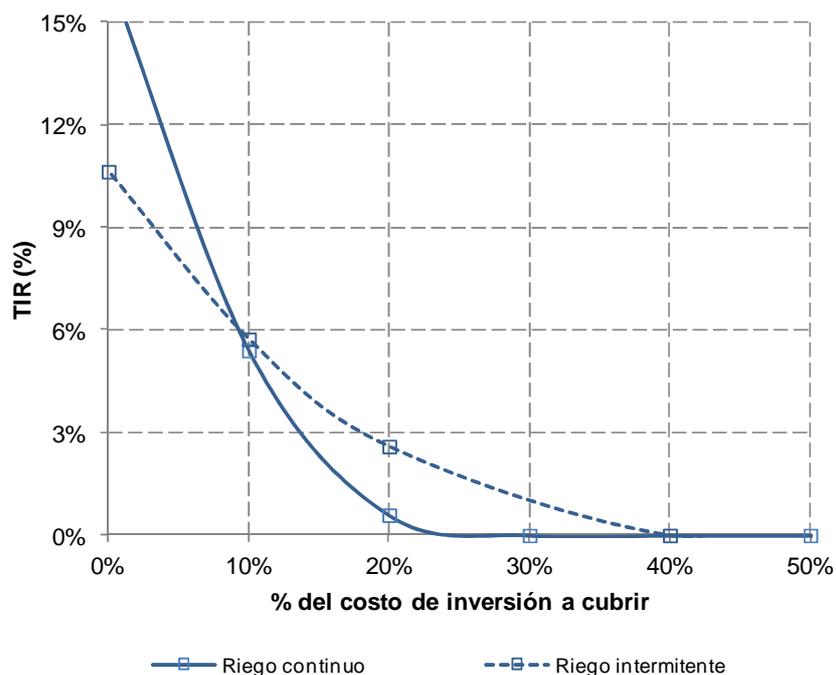
Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

**Tabla 7-181: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Mataojo Gde, cota 123 m**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	59 USD/MWh	78 USD/MWh
TIR = 10%	66 USD/MWh	87 USD/MWh
TIR = 12%	73 USD/MWh	96 USD/MWh
TIR = 14%	81 USD/MWh	106 USD/MWh
TIR = 16%	90 USD/MWh	116 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

<sup>11</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.



**Figura 7-70: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Mataojo Gde, cota 123 m**

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

**Tabla 7-182: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Mataojo Gde, cota 123 m**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	16.800.000	19.030.000
Ingresos totales (USD/año)	718.600	1.005.700
Costo de O&M (USD/año)	146.700	236.100
Ingresos netos (USD/año)	571.900	769.600
TIR para 20 años (%)	< 0,0%	< 0,0%

### **Análisis de sensibilidad al volumen del embalse**

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos considerando el embalse a cota 125 m, con un salto disponible de 20,0 m, un espejo de agua de 1080 há y un volumen de almacenamiento de 63,9 Hm<sup>3</sup>.

Disponibilidad energética media

Tabla 7-183: Caracterización hidrológica - Mataojo Gde, cotas 123 y 125 m

Caracterización hidrológica	Mataojo Gde, cota 123 m	Mataojo Gde, cota 125 m
Altura máxima del embalse (m)	18,0	20,0
Superficie del lago (há)	922	1.080
Volumen de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	44,1	63,9
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	695	695
Relación Cuenca/Embalse	<b>15,8</b>	<b>10,9</b>
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	<b>0,43</b>	<b>0,42</b>

Tabla 7-184: Disponibilidad energética media - Mataojo Gde, cota 125 m

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	20,0	20,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	16,0	48,0
Potencia (kW)	<b>1.029</b>	<b>3.086</b>
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	1,00	
Energía Máx. <sub>(riego)</sub> (MWh)	2.962	
Energía <sub>(riego)</sub> (MWh)	<b>2.962</b>	<b>2.962</b>
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,42	0,42
Energía Máx. <sub>(llenado)</sub> (MWh)	5.925	17.774
Energía <sub>(llenado)</sub> (MWh)	<b>2.467</b>	<b>7.402</b>
Energía Media Anual (MWh)	<b>5.430</b>	<b>10.364</b>

Estimación del costo de inversión

Tabla 7-185: Costo de inversión - Mataojo Gde, cota 125 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la presa	3.300.000	3.300.000
Costo del vertedero	10.800.000	10.800.000
Costo de expropiación	1.800.000	1.800.000
Costo del equipo electromecánico	1.800.000	5.400.000
Costo del tendido eléctrico	420.000	420.000
Costo total	<b>18.200.000</b>	<b>21.800.000</b>

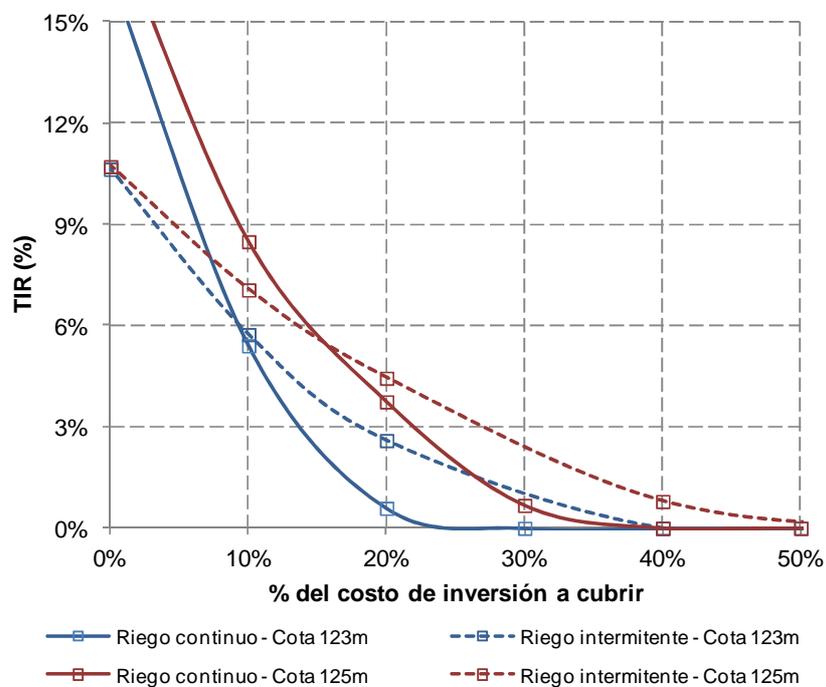
Análisis del retorno de la inversión

**Tabla 7-186: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh Mataojo Gde, cota 125 m**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	2.220.000	5.820.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	490.000	930.000
Costo de O&M (USD/año)	75.000	215.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>415.000</b>	<b>715.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>18,1%</b>	<b>10,7%</b>

**Tabla 7-187: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Mataojo Gde, cota 125 m**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	55 USD/MWh	78 USD/MWh
TIR = 10%	61 USD/MWh	87 USD/MWh
TIR = 12%	68 USD/MWh	96 USD/MWh
TIR = 14%	75 USD/MWh	105 USD/MWh
TIR = 16%	82 USD/MWh	115 USD/MWh



**Figura 7-71: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Mataojo Gde, cota 123 y 125 m**

**Tabla 7-188: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Mataojo Gde, cota 125 m**

<b>Análisis del retorno de la inversión global</b>		
<b>Escenario de operación del embalse</b>	<b>Continuo</b>	<b>Intermitente</b>
<b>Costo de inversión (USD)</b>	18.240.000	21.840.000
<b>Ingresos totales (USD/año)</b>	1.082.500	1.526.600
<b>Costo de O&amp;M (USD/año)</b>	205.000	349.000
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	877.400	1.177.500
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>&lt; 0,0%</b>	<b>0,7%</b>

## 7.10 ARERUNGUA 01

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el arroyo Arerungua con un salto disponible de 21 m, un área inundada de 522 há y un volumen almacenado de 34 Hm<sup>3</sup>.

### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) a partir de un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m generado en base a las curvas de nivel cada 10 m del SGM.

Para el lago a cota 165 m, resulta un salto disponible de 20,0 m, un área inundada de 485 há y un volumen almacenado de 34,0 Hm<sup>3</sup>.

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



Figura 7-72: Cuenca de aporte - Arerungua 01

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

Tabla 7-189: Caracterización hidrológica - Arerungua 01

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	40.337
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	50
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	240
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	34,0
Relación cuenca/embalse	7,1
Factor de Capacidad (riego)	0,97
Factor de Capacidad (llenado)	0,39

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

Tabla 7-190: Disponibilidad energética media - Arerungua 01

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
$H_{m\acute{a}x}$ (m)	20,0	20,0
Caudal de funcionamiento ( $Hm^3$ /mes)	8,5	25,5
Potencia (kW)	547	1.642
Factor de Capacidad (riego)	0,97	
Energía Máx. (riego) (MWh)	1.576	
Energía (riego) (MWh)	1.534	1.534
Factor de Capacidad (llenado)	0,39	0,39
Energía Máx. (llenado) (MWh)	3.152	9.456
Energía (llenado) (MWh)	1.217	3.651
Energía Media Anual (MWh)	2.751	5.185

### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el ndice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Salto se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que seran inundados para la cota considerada (165 m, cota del embalse a nivel de vertedero).



Tabla 7-191: Padrones inundados a cota 165 m - Arerungua 01

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

Tabla 7-192: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - Arerungua 01

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
3199	148	71,7	48%
5282	102	21,3	21%
3548	516	101,3	20%
7215	116	17,5	15%
3677	389	30,7	8%
7214	120	9,2	8%
996	3.124	156,2	5%
5373	353	10,7	3%
3677	192	5,8	3%
972	1.509	32,9	2%
973	2.316	41,9	2%
992	1.695	8,9	1%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-193: Áreas a inundar según usos del suelo - Arerungua 01

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Cursos de Agua	7	1%
Monte Nativo	186	36%
Pradera Natural	321	62%

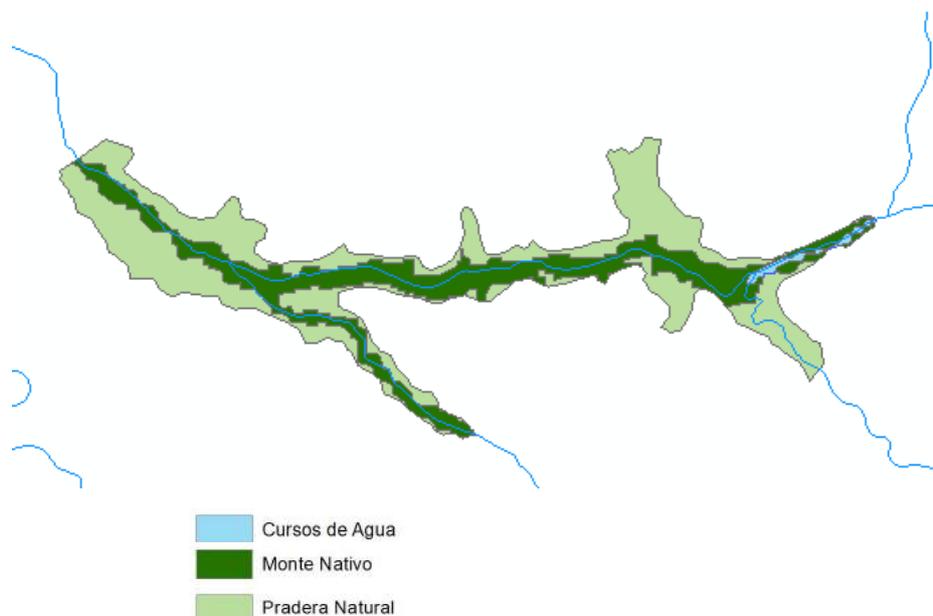


Figura 7-73: Usos del suelo de las tierras a inundar - Arerungua 01

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

Tabla 7-194: Área a inundar en función del índice CONEAT - Arerungua 01

Índice CONEAT	Área (há)
30	226
83	10
153	30
158	249
Promedio ponderado	100

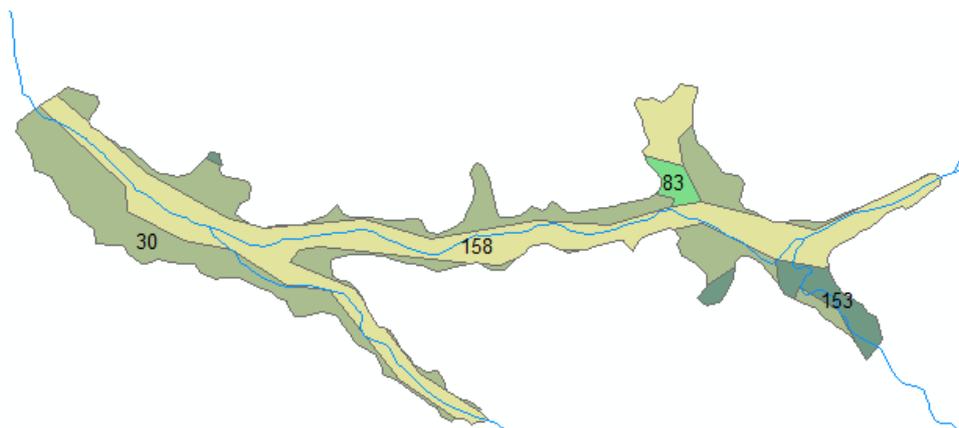


Figura 7-74: Índice CONEAT de las tierras a inundar - Arerungua 01

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago no afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲), sus accesos, ni a rutas o caminos vecinales, ni a líneas de energía eléctrica de media tensión.

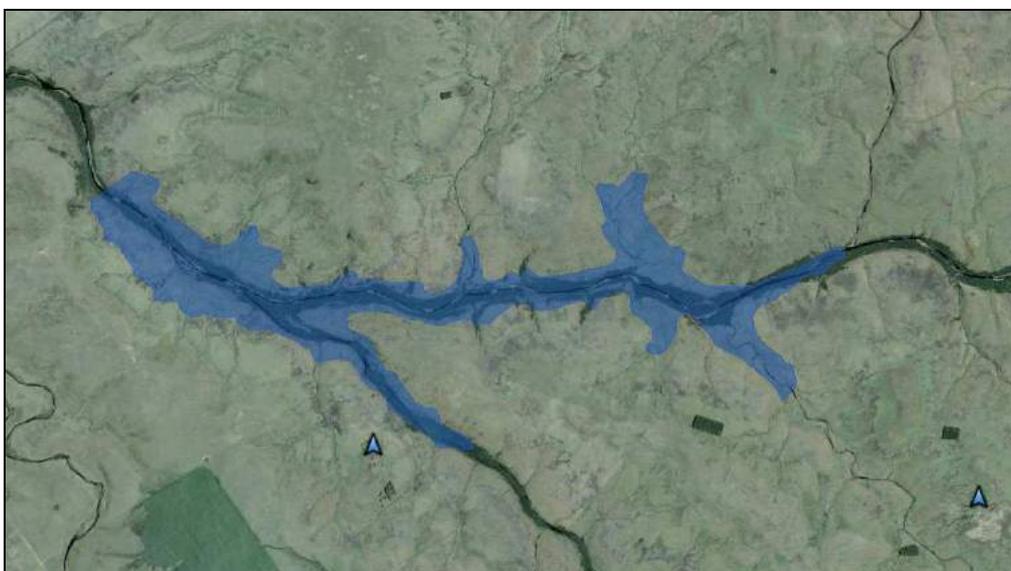


Figura 7-75: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Arerungua 01

### Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-195 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-195: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Arerungua 01**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	403
Longitud del cauce principal (km)	34
Desnivel geométrico (m)	176
Pendiente media (%)	0,52%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	7,75
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>1.905</b>

En este caso, debido al muy bajo tiempo de residencia del agua en el embalse (muy alta relación cuenca/embalse), para materializar un vertedero tipo canal que sea estable frente a la erosión del flujo se requieren anchos de canal y sobreelevaciones en el embalse excesivos. Por ello se descartó esta solución y se procedió a evaluar la alternativa de un vertedero de hormigón.

Se calculó, para cada ancho de vertedero considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 5 m/s para no comprometer la estructura). A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada ancho de vertedero considerado.

**Tabla 7-196: Laminación para diferentes anchos del vertedero de hormigón - Arerungua 01**

Ancho del vertedero (m)	100	120	150	180	200
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	1.905	1.905	1.905	1.905	1.905
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	1.357	1.442	1.526	1.603	1.641
Capacidad de laminación	71,2%	75,7%	80,1%	84,1%	86,2%
Sobreelevación (m)	3,8	3,5	3,2	2,9	2,7
Velocidad en la descarga (m/s)	5,29	5,08	4,81	4,60	4,48

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero de hormigón que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 3 m.

A los fines de estimar el costo del vertedero se seleccionó un ancho igual a 150 m.

**Tabla 7-197: Cota de coronamiento - Arerungua 01**

Cota de vertido (m)	165,0
Altura de revancha (m)	4,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>169,0</b>

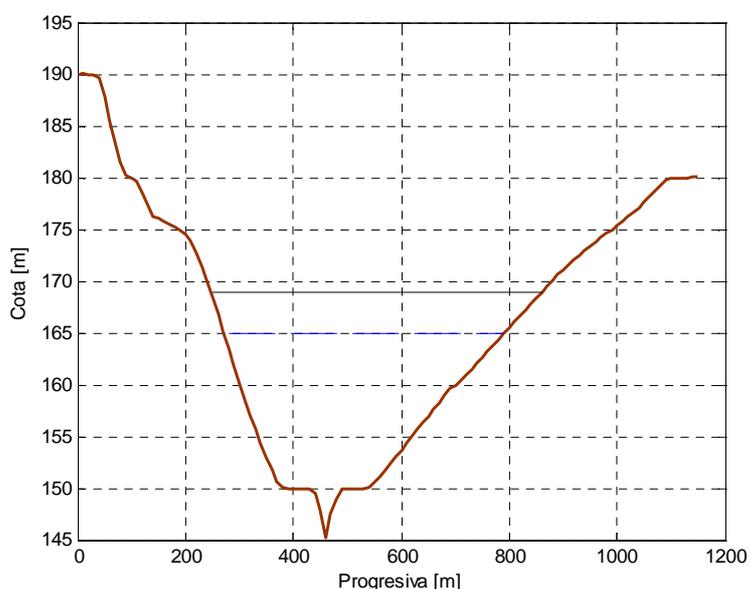
**Tabla 7-198: Altura de presa - Arerungua 01**

Altura máxima del embalse (m)	20,0
Altura de revancha (m)	4,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>24,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-76 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-199: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Arerungua 01**

<b>Altura de presa (m)</b>	24,0
<b>Ancho de coronamiento (m)</b>	7,0
<b>Talud aguas arriba (1V:mH)</b>	1V:3H
<b>Talud aguas abajo (1V:mH)</b>	1V:2,5H
<b>Longitud del cierre (m)</b>	620
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>380.000</b>



**Figura 7-76: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Arerungua 01**

Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-200: Costo de la obra civil - Arerungua 01**

<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	380.000
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>2.400.000</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	9.850
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>5.900.000</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>8.300.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 1 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 1.500 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 730.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 960.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 2.870.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 4 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-77 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 247.000.

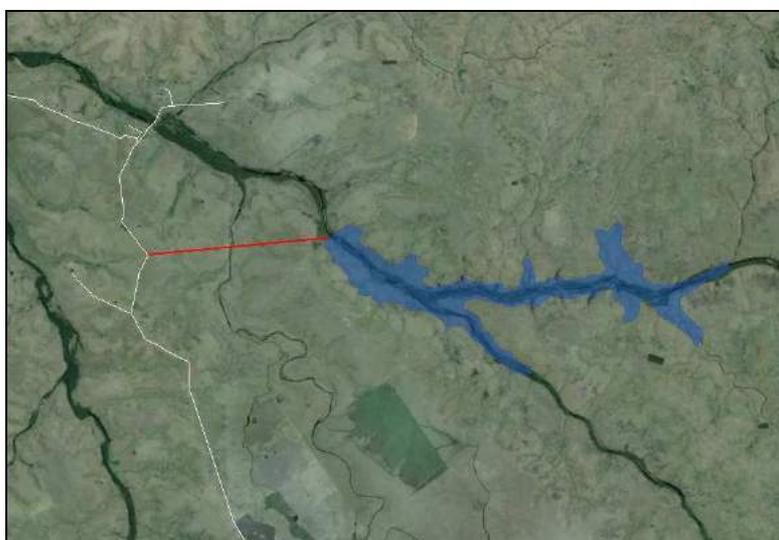


Figura 7-77: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Arerungua 01

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-201: Costo de inversión - Arerungua 01

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	8.300.000	8.300.000
Costo de expropiación	730.000	730.000
Costo del equipo electromecánico	960.000	2.870.000
Costo del tendido eléctrico	247.000	247.000
<b>Costo total</b>	<b>10.300.000</b>	<b>12.200.000</b>

Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>12</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

**Tabla 7-202: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Arerungua 01**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	1.210.000	3.117.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	250.000	465.000
Costo de O&M (USD/año)	40.000	115.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>210.000</b>	<b>350.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>16,6%</b>	<b>9,4%</b>

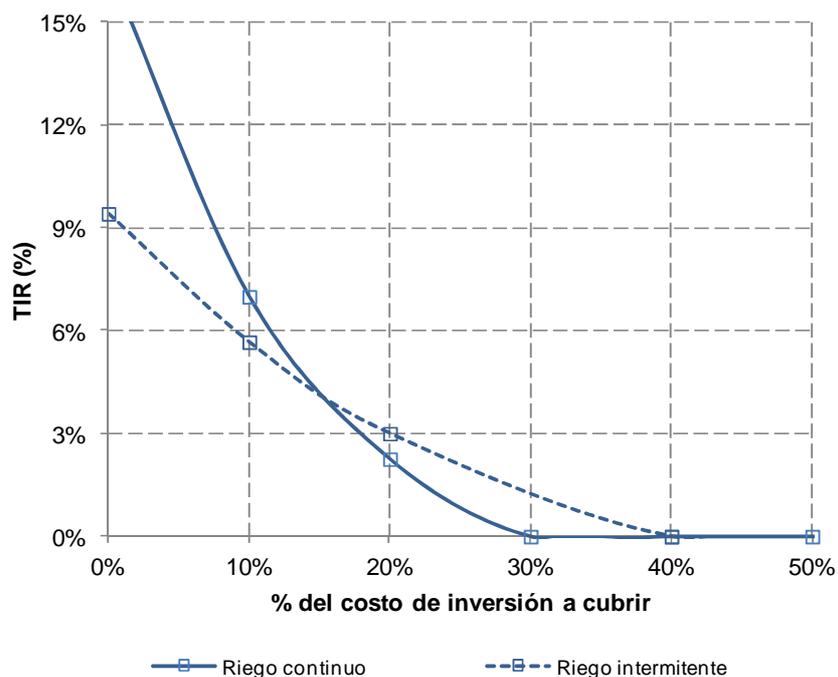
Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

**Tabla 7-203: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Arerungua 01**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	59 USD/MWh	83 USD/MWh
TIR = 10%	65 USD/MWh	93 USD/MWh
TIR = 12%	72 USD/MWh	103 USD/MWh
TIR = 14%	80 USD/MWh	113 USD/MWh
TIR = 16%	88 USD/MWh	124 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

<sup>12</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.



**Figura 7-78: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Arerungua 01**

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

**Tabla 7-204: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Arerungua 01**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	10.310.000	12.220.000
Ingresos totales (USD/año)	555.200	774.300
Costo de O&M (USD/año)	136.900	213.500
Ingresos netos (USD/año)	418.300	560.800
TIR para 20 años (%)	< 0,0%	< 0,0%

## 7.11 AO. ZAPUCAY

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el arroyo Zapucay con un salto disponible de 12 m, un área inundada de 805 há y un volumen almacenado de 40,8 Hm<sup>3</sup>.

### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) a partir de un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m generado en base a las curvas de nivel cada 10 m del SGM.

Para el lago a cota 150 m, resulta un salto disponible de 14,0 m, un área inundada de 851 há y un volumen almacenado de 39,6 Hm<sup>3</sup>.

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



Figura 7-79: Cuenca de aporte - Zapucay

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

Tabla 7-205: Caracterización hidrológica - Zapucay

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	11.379
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	45
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	62
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	39,6
Relación cuenca/embalse	1,6
Factor de Capacidad (riego)	0,72
Factor de Capacidad (llenado)	0,16

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

Tabla 7-206: Disponibilidad energética media - Zapucay

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
$H_{m\acute{a}x}$ (m)	14,0	14,0
Caudal de funcionamiento ( $Hm^3/mes$ )	9,9	29,7
Potencia (kW)	446	1.339
Factor de Capacidad (riego)	0,72	
Energía Máx. (riego) (MWh)	1.286	
Energía (riego) (MWh)	929	929
Factor de Capacidad (llenado)	0,16	0,16
Energía Máx. (llenado) (MWh)	2.571	7.714
Energía (llenado) (MWh)	399	1.196
Energía Media Anual (MWh)	1.328	2.125

#### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el ndice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Rivera se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que seran inundados para la cota considerada (150 m, cota del embalse a nivel de vertedero).

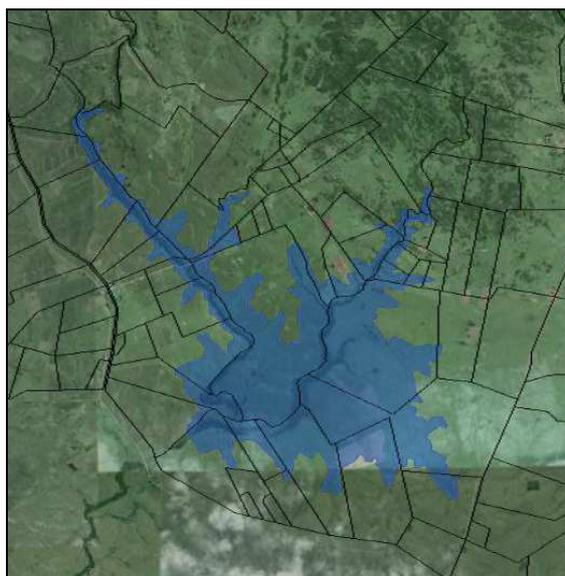


Tabla 7-207: Padrones inundados a cota 150 m - Zapucay

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

**Tabla 7-208: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - Zapucay**

<b>Padrón</b>	<b>Área del padrón (há)</b>	<b>Área inundada (há)</b>	<b>% Área inundada</b>
2376	10	8,4	88%
1517	9	8,0	86%
6591	240	170,3	71%
1516	310	200,4	65%
1489	111	56,7	51%
1488	33	16,4	50%
6590	239	108,5	45%
9094	86	38,8	45%
9486	34	13,5	39%
2428	12	4,2	36%
8011	8	2,9	36%
9004	28	10,1	35%
6304	58	20,0	34%
6585	17	5,7	34%
8836	127	41,4	33%
2864	25	8,0	32%
1469	32	9,9	31%
9093	49	15,0	30%
1483	100	28,1	28%
6198	83	21,5	26%
9249	37	8,8	24%
9005	66	8,2	12%
9250	116	14,0	12%
8009	9	1,0	11%
2564	71	7,3	10%
6856	62	5,2	8%
8010	10	0,6	7%
6197	181	8,7	5%
9247	75	3,3	4%
4683	44	1,5	3%
11878	113	3,3	3%
1487	33	0,8	2%
2461	25	0,4	2%
1453	34	0,4	1%
2552	70	0,7	1%
11879	160	2,0	1%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-209: Áreas a inundar según usos del suelo - Zapucay

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Arbustos y Pradera Natural	70	8%
Herbáceo Estacionalmente Inundado	165	19%
Monte Nativo	103	12%
Pradera Natural	503	59%
Pradera natural o mejorada o cultivo herbáceo de secano	17	2%

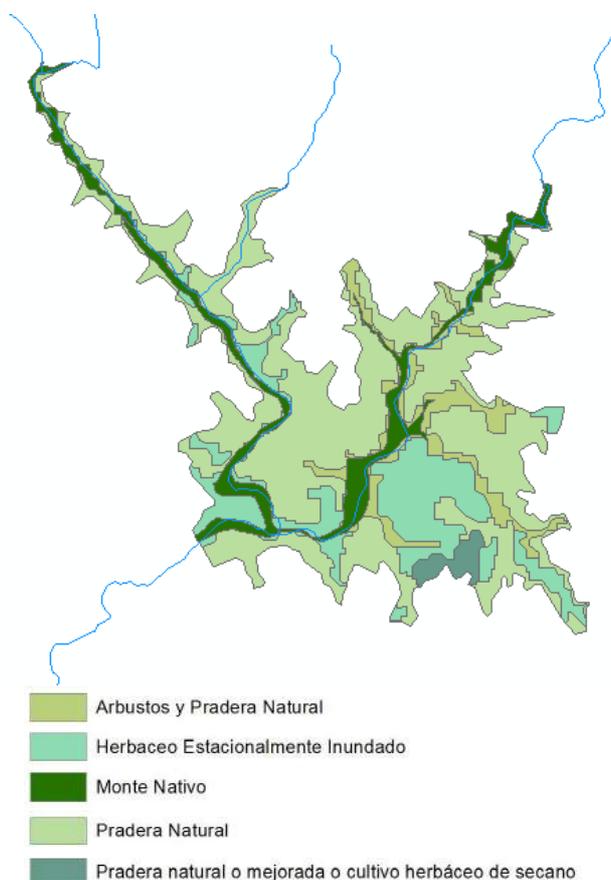


Figura 7-80: Usos del suelo de las tierras a inundar - Zapucay

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

Tabla 7-210: Área a inundar en función del índice CONEAT - Zapucay

Índice CONEAT	Área (há)
53	11
83	517
92	327
<b>Promedio ponderado</b>	<b>86</b>

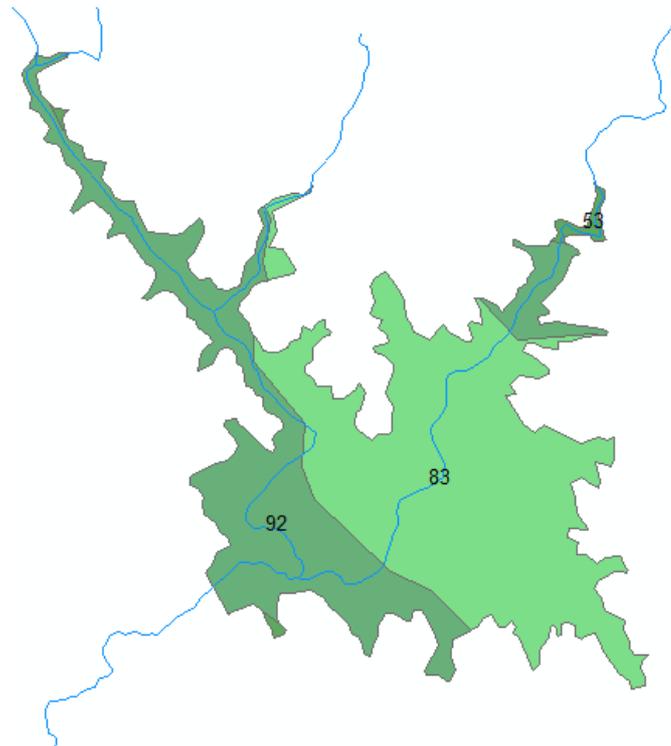


Figura 7-81: Índice CONEAT de las tierras a inundar - Zapucay

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago no afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲) aunque sí a un camino vecinal que permite el acceso a los mismos, tampoco inunda líneas de energía eléctrica de media tensión.

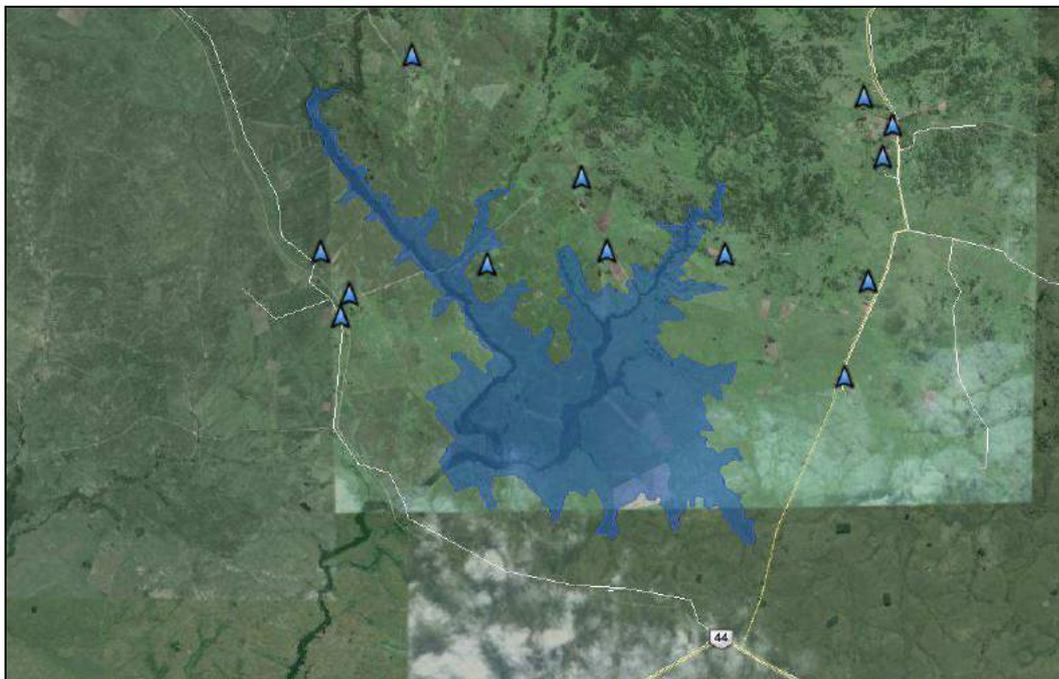


Figura 7-82: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Zapucay

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-211 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-211: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Zapucay**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	114
Longitud del cauce principal (km)	23
Desnivel geométrico (m)	170
Pendiente media (%)	0,73%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	5,07
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>530</b>

En este caso el aliviadero se diseñó como un vertedero tipo canal.

Se calculó, para cada ancho de canal considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 1,5 m/s para no erosionar el canal de tierra).

**Tabla 7-212: Laminación para diferentes anchos del vertedero tipo canal - Zapucay**

Ancho del vertedero (m)	25	50	75	100	125
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	530	530	530	530	530
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	31	57	80	100	119
Capacidad de laminación	5,8%	10,7%	15,0%	18,9%	22,6%
Sobreelevación (m)	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0
Velocidad en la descarga (m/s)	0,98	0,99	0,97	0,96	0,94

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero tipo canal que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 1 m.

**Tabla 7-213: Cota de coronamiento - Zapucay**

Cota de vertido (m)	150,0
Altura de revancha (m)	2,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>152,0</b>

**Tabla 7-214: Altura de presa - Zapucay**

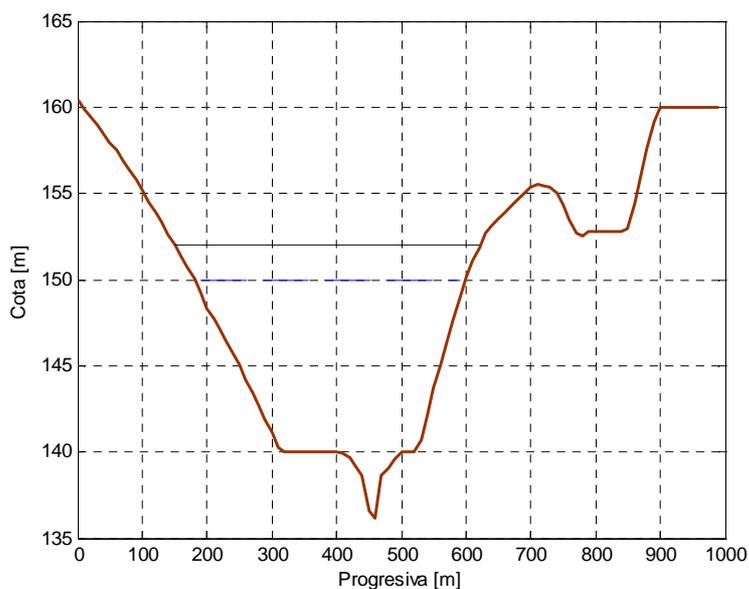
Altura máxima del embalse (m)	14,0
Altura de revancha (m)	2,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>16,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-83 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la

dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-215: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Zapucay**

<b>Altura de presa (m)</b>	16,0
<b>Ancho de coronamiento (m)</b>	6,0
<b>Talud aguas arriba (1V:mH)</b>	1V:3H
<b>Talud aguas abajo (1V:mH)</b>	1V:2,5H
<b>Longitud del cierre (m)</b>	480
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>149.200</b>



**Figura 7-83: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Zapucay**

### Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-216: Costo de la obra civil - Zapucay**

<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	149.200
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>970.000</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	0
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>0</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>970.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 9 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 2.250 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 1.900.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 780.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 2.300.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 0,8 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-84 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 90.000.

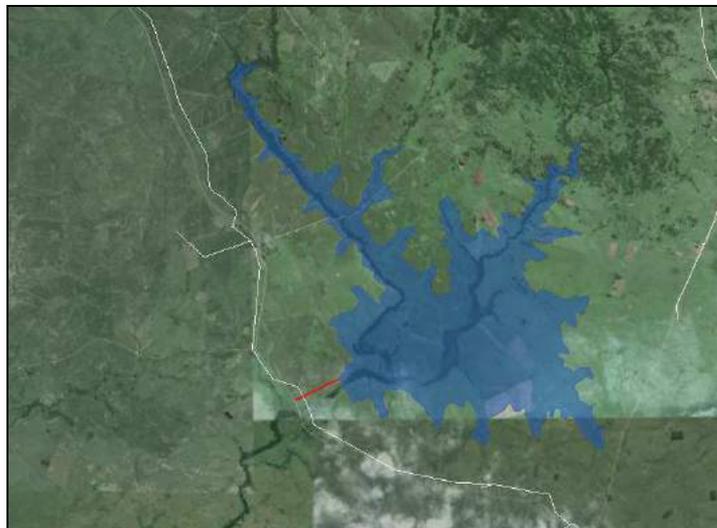


Figura 7-84: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Zapucay

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-217: Costo de inversión - Zapucay

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	970.000	970.000
Costo de expropiación	1.900.000	1.900.000
Costo del equipo electromecánico	780.000	2.300.000
Costo del tendido eléctrico	90.000	90.000
<b>Costo total</b>	<b>3.750.000</b>	<b>5.300.000</b>

#### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de

conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>13</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

**Tabla 7-218: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Zapucay**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	870.000	2.390.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	120.000	190.000
Costo de O&M (USD/año)	32.000	93.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>88.000</b>	<b>97.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>7,9%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

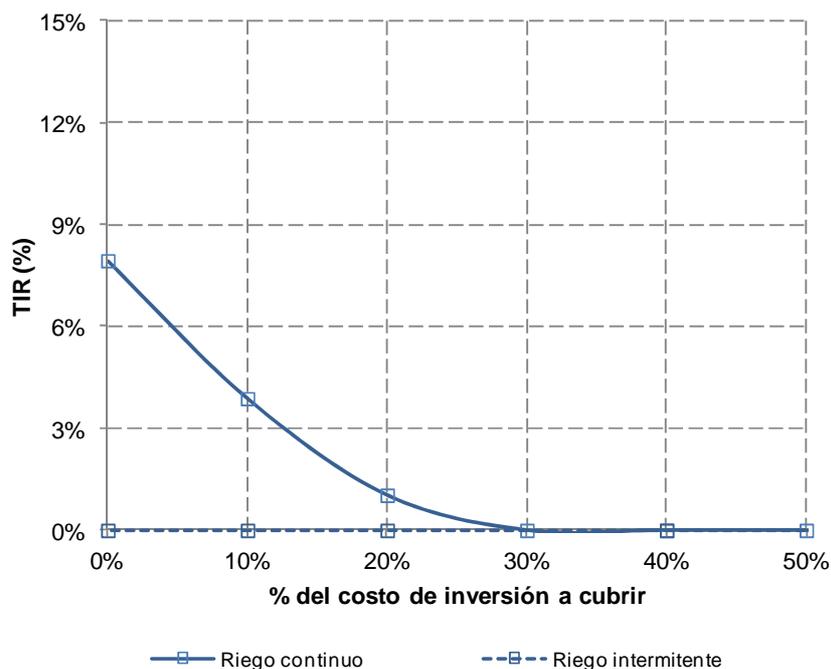
Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

**Tabla 7-219: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Zapucay**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	90 USD/MWh	160 USD/MWh
TIR = 10%	100 USD/MWh	179 USD/MWh
TIR = 12%	111 USD/MWh	197 USD/MWh
TIR = 14%	122 USD/MWh	216 USD/MWh
TIR = 16%	134 USD/MWh	236 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

<sup>13</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.



**Figura 7-85: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Zapucay**

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

**Tabla 7-220: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Zapucay**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	3.760.000	5.320.000
Ingresos totales (USD/año)	385.500	457.300
Costo de O&M (USD/año)	70.000	132.500
Ingresos netos (USD/año)	315.500	324.700
TIR para 20 años (%)	5,5%	2,0%

## 7.12 MATAOJO

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el arroyo Mataojo con un salto disponible de 20 m, un área inundada de 283 há y un volumen almacenado de 24 Hm<sup>3</sup>.

### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) a partir de un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m generado en base a las curvas de nivel cada 10 m del SGM.

Para el lago a cota 136 m, resulta un salto disponible de 21,0 m, un área inundada de 275 há y un volumen almacenado de 23,8 Hm<sup>3</sup>.

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



Figura 7-86: Cuenca de aporte - Mataojo

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

Tabla 7-221: Caracterización hidrológica - Mataojo

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	8.262
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	42
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	42
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	23.8
Relación cuenca/embalse	1,8
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	0,76
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,18

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

Tabla 7-222: Disponibilidad energética media - Mataojo

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
$H_{m\acute{a}x}$ (m)	21,0	21,0
Caudal de funcionamiento ( $Hm^3$ /mes)	6,0	17,9
Potencia (kW)	402	1.206
Factor de Capacidad (riego)	0,76	
Energía Máx. (riego) (MWh)	1.158	
Energía (riego) (MWh)	875	875
Factor de Capacidad (llenado)	0,18	0,18
Energía Máx. (llenado) (MWh)	2.315	6.946
Energía (llenado) (MWh)	413	1.238
Energía Media Anual (MWh)	1.288	2.113

Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el índice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Lavalleja se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados para la cota considerada (136 m, cota del embalse a nivel de vertedero).

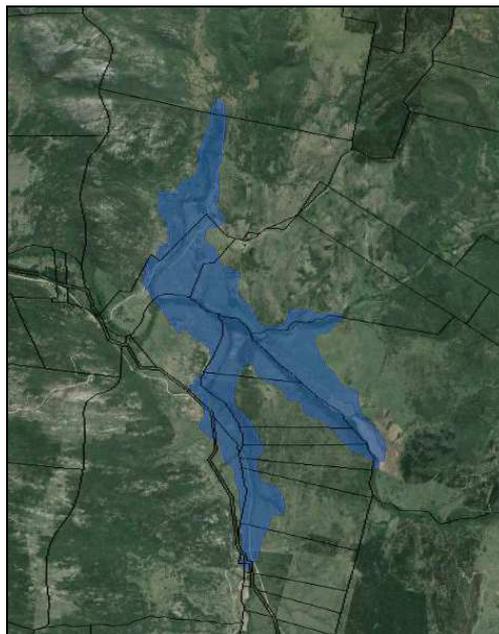


Tabla 7-223: Padrones inundados a cota 136 m - Mataojo

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

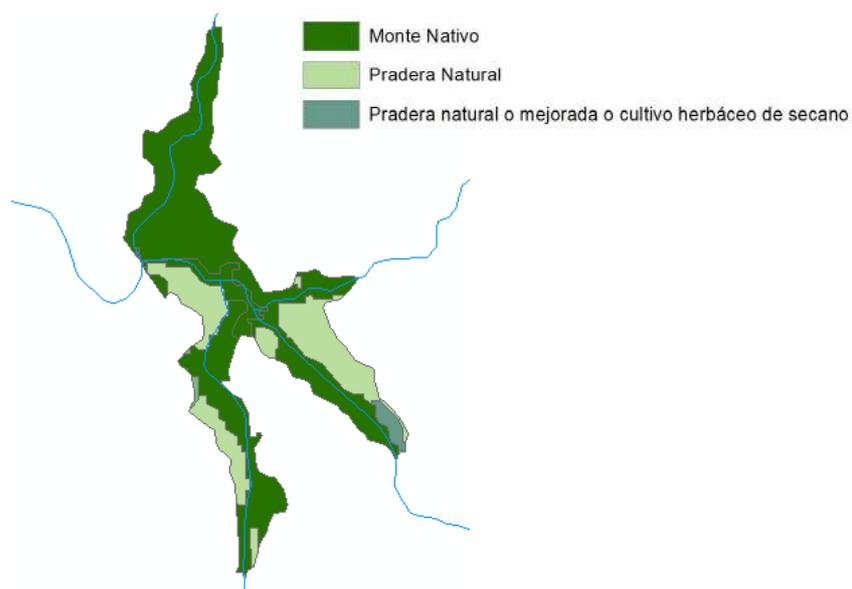
**Tabla 7-224: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - Mataojo**

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
5751	25	22,8	92%
3906	47	26,8	57%
3959	15	7,4	51%
9436	57	26,4	46%
5749	45	20,1	45%
5742	0	0,2	35%
5748	18	5,4	31%
7902	58	14,2	25%
5747	22	4,0	18%
3883	148	25,8	17%
3906	268	34,5	13%
5742	42	5,1	12%
3873	644	44,0	7%
5746	21	1,4	7%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

**Tabla 7-225: Áreas a inundar según usos del suelo - Mataojo**

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Monte Nativo	174	72%
Pradera Natural	61	25%
Pradera natural o mejorada o cultivo herbáceo de secano	4	3%



**Figura 7-87: Usos del suelo de las tierras a inundar - Mataojo**

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

Tabla 7-226: Área a inundar en función del índice CONEAT - Mataojo

Índice CONEAT	Área (há)
9	2
26	7
53	47
105	186
Promedio ponderado	92

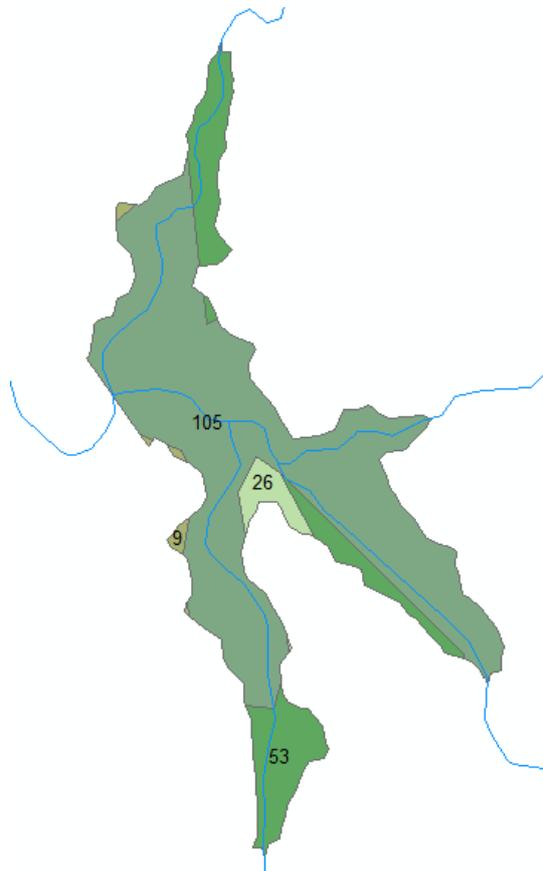


Figura 7-88: Índice CONEAT de las tierras a inundar - Mataojo

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲) y sus accesos, a caminos vecinales y líneas de energía eléctrica de media tensión, además de inundar un tramo de la Ruta 81 de aproximadamente 1,6 km m de longitud.

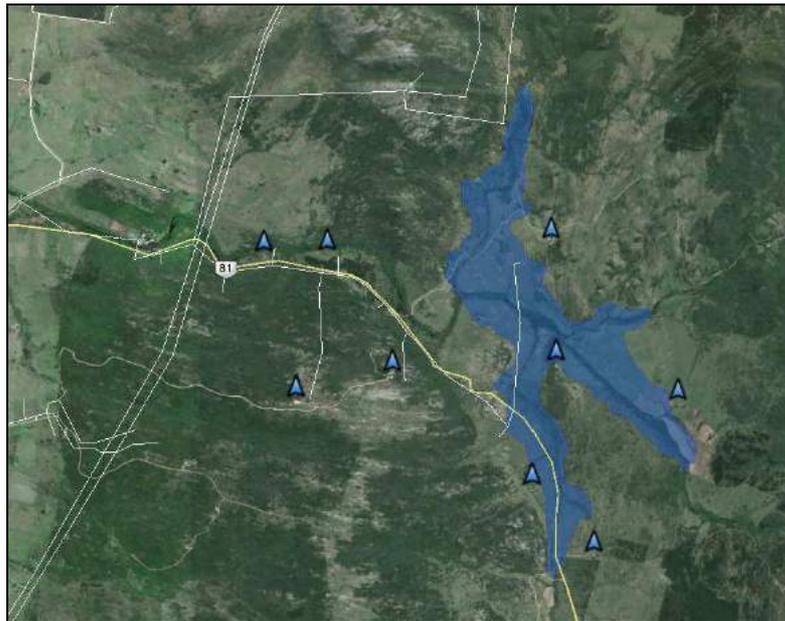


Figura 7-89: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Mataojo

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-227 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-227: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Mataojo**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	83
Longitud del cauce principal (km)	15
Desnivel geométrico (m)	219
Pendiente media (%)	1,44%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	2,84
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>479</b>

En este caso el aliviadero se diseñó como un vertedero tipo canal.

Se calculó, para cada ancho de canal considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 1,5 m/s para no erosionar el canal de tierra).

**Tabla 7-228: Laminación para diferentes anchos del vertedero tipo canal - Mataojo**

Ancho del vertedero (m)	25	50	75	100	125
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	479	479	479	479	479
Caudal máximo vertido (m <sup>3</sup> /s)	62	105	140	168	193
Capacidad de laminación	13,0%	22,0%	29,3%	35,1%	40,3%
Sobreelevación (m)	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4
Velocidad en la descarga (m/s)	1,26	1,24	1,21	1,17	1,14

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero tipo canal que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 2 m.

**Tabla 7-229: Cota de coronamiento - Mataojo**

Cota de vertido (m)	136,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>139,0</b>

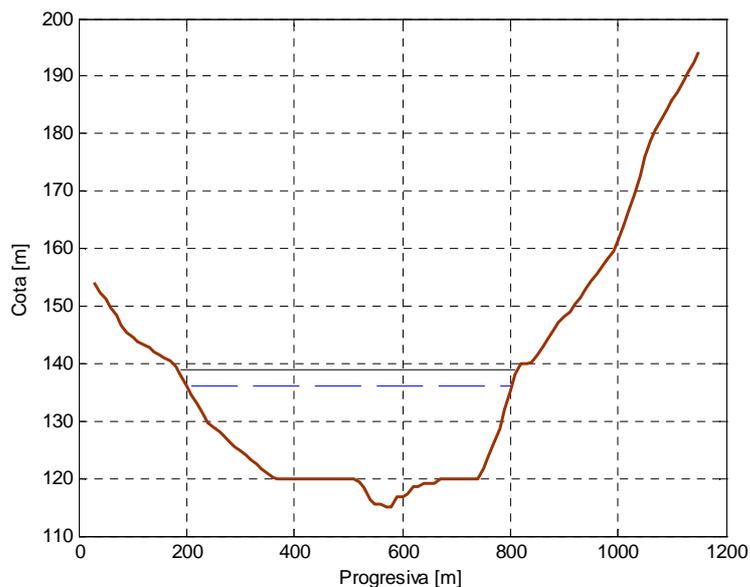
**Tabla 7-230: Altura de presa - Mataojo**

Altura máxima del embalse (m)	21,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>24,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-90 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-231: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Mataojo**

Altura de presa (m)	24,0
Ancho de coronamiento (m)	7,0
Talud aguas arriba (1V:mH)	1V:3H
Talud aguas abajo (1V:mH)	1V:2,5H
Longitud del cierre (m)	630
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>596.700</b>



**Figura 7-90: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) – Mataojo**

Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-232: Costo de la obra civil - Mataajo**

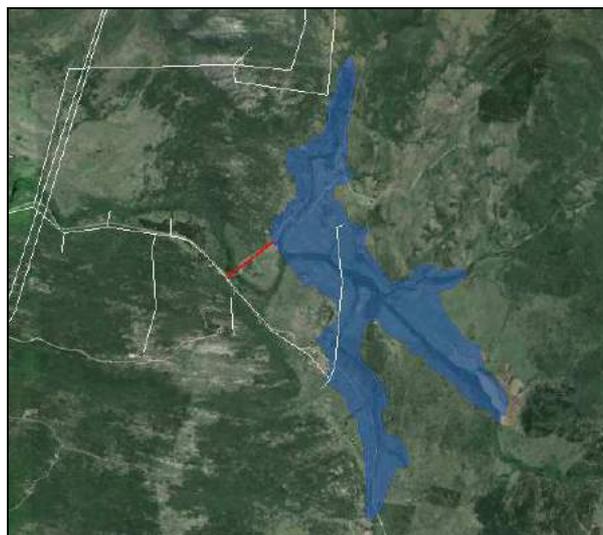
<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	596.700
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>3.900.000</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	0
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>0</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>3.900.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 6A (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 4.000 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 1.100.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 700.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 2.100.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 0,6 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-91 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 80.000.



**Figura 7-91: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Mataajo**

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

**Tabla 7-233: Costo de inversión - Matajojo**

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	3.900.000	3.900.000
Costo de expropiación	1.100.000	1.100.000
Costo del equipo electromecánico	700.000	2.100.000
Costo del tendido eléctrico	80.000	80.000
<b>Costo total</b>	<b>5.700.000</b>	<b>7.100.000</b>

### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>14</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

**Tabla 7-234: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Matajojo**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	780.000	2.180.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	115.000	190.000
Costo de O&M (USD/año)	28.000	85.000
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	<b>87.000</b>	<b>105.000</b>
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>9,3%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

<sup>14</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.

Tabla 7-235: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Mataojo

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	84 USD/MWh	145 USD/MWh
TIR = 10%	93 USD/MWh	161 USD/MWh
TIR = 12%	103 USD/MWh	179 USD/MWh
TIR = 14%	114 USD/MWh	196 USD/MWh
TIR = 16%	124 USD/MWh	214 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

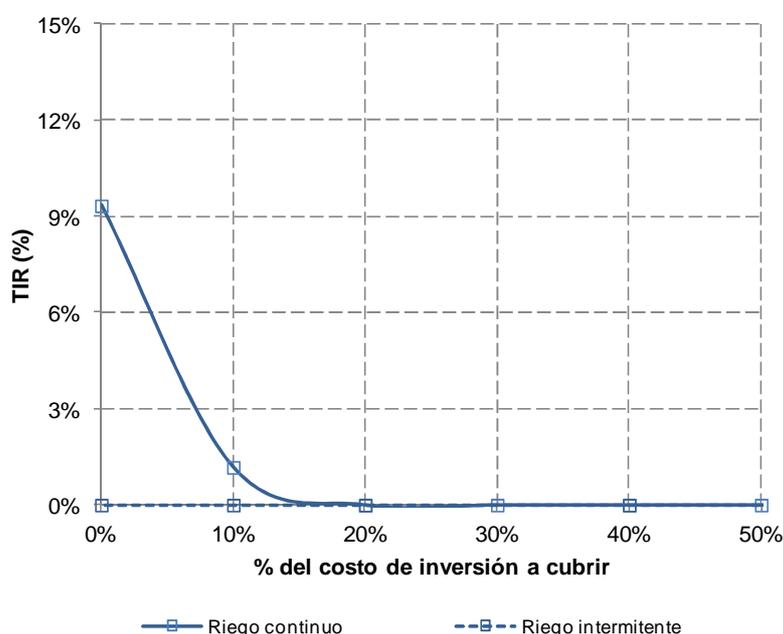


Figura 7-92: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Mataojo

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

Tabla 7-236: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Mataojo

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	5.760.000	7.170.000
Ingresos totales (USD/año)	283.000	357.200
Costo de O&M (USD/año)	183.300	239.600
Ingresos netos (USD/año)	99.700	117.700
TIR para 20 años (%)	< 0,0%	< 0,0%

### 7.13 RÍO SAN JOSÉ 04

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el río San José con un salto disponible de 30 m, un área inundada de 3270 há y un volumen almacenado de 213 Hm<sup>3</sup>.

Dada la magnitud del embalse propuesto, en este caso se realizó un análisis de sensibilidad al volumen del embalse, considerando también una cota tal que el volumen embalsado sea aproximadamente el 70% del volumen original.

#### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) para las dos cotas consideradas. Para ello se construyó, a partir de las curvas de nivel cada 10 m del SGM, un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7-237.

**Tabla 7-237: Características geométricas del embalse - San José 04**

Cota (m)	Altura (m)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Área (há)
93	24,0	160,4	2.696
95	26,0	217,3	3.357

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



**Figura 7-93: Cuenca de aporte - San José 04**

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el embalse a cota 95 m.

**Tabla 7-238: Caracterización hidrológica - San José 04, cota 95 m**

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	54.787
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	31
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	<b>205</b>
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	217,3
Relación cuenca/embalse	<b>0,9</b>
Factor de Capacidad (riego)	<b>0,57</b>
Factor de Capacidad (llenado)	<b>0,07</b>

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

**Tabla 7-239: Disponibilidad energética media - San José 04, cota 95 m**

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	26,0	26,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	54,3	163,0
Potencia (kW)	<b>4.545</b>	<b>13.635</b>
Factor de Capacidad (riego)	0,57	
Energía Máx. (riego) (MWh)	13.089	
Energía (riego) (MWh)	<b>7.440</b>	<b>7.440</b>
Factor de Capacidad (llenado)	0,07	0,07
Energía Máx. (llenado) (MWh)	26.178	78.535
Energía (llenado) (MWh)	<b>1.942</b>	<b>5.825</b>
Energía Media Anual (MWh)	<b>9.381</b>	<b>13.265</b>

### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el índice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de San José y Flores se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados para la cota considerada (95 m, cota del embalse a nivel de vertido).

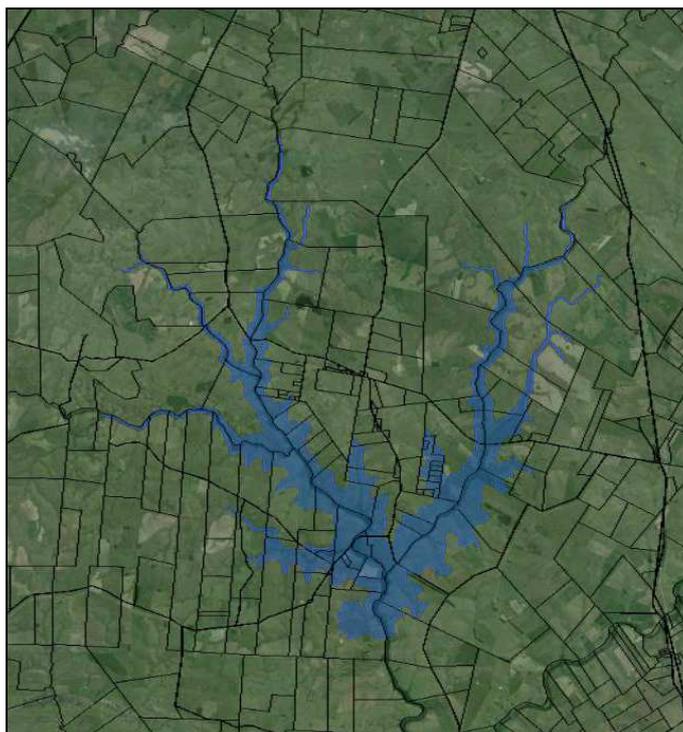


Tabla 7-240: Padrones inundados a cota 95 m - San José 04

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

Tabla 7-241: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - San José 04, cota 95 m

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
35	16	16,2	100,0%
1901	7	6,7	100,0%
2182	4	4,4	100,0%
253	29	28,7	100,0%
2101	116	115,5	100,0%
108	42	42,0	100,0%
1429	8	8,3	100,0%
110	31	31,0	100,0%
1428	7	7,1	100,0%
1431	6	6,3	99,5%
34	2	1,5	96,4%
2097	5	5,1	95,8%
2185	69	65,1	93,9%
1430	4	3,6	91,2%
1433	6	5,7	91,1%
3238	108	89,3	82,8%
2184	77	60,9	78,8%
2195	53	40,4	76,3%
231	51	38,2	75,5%

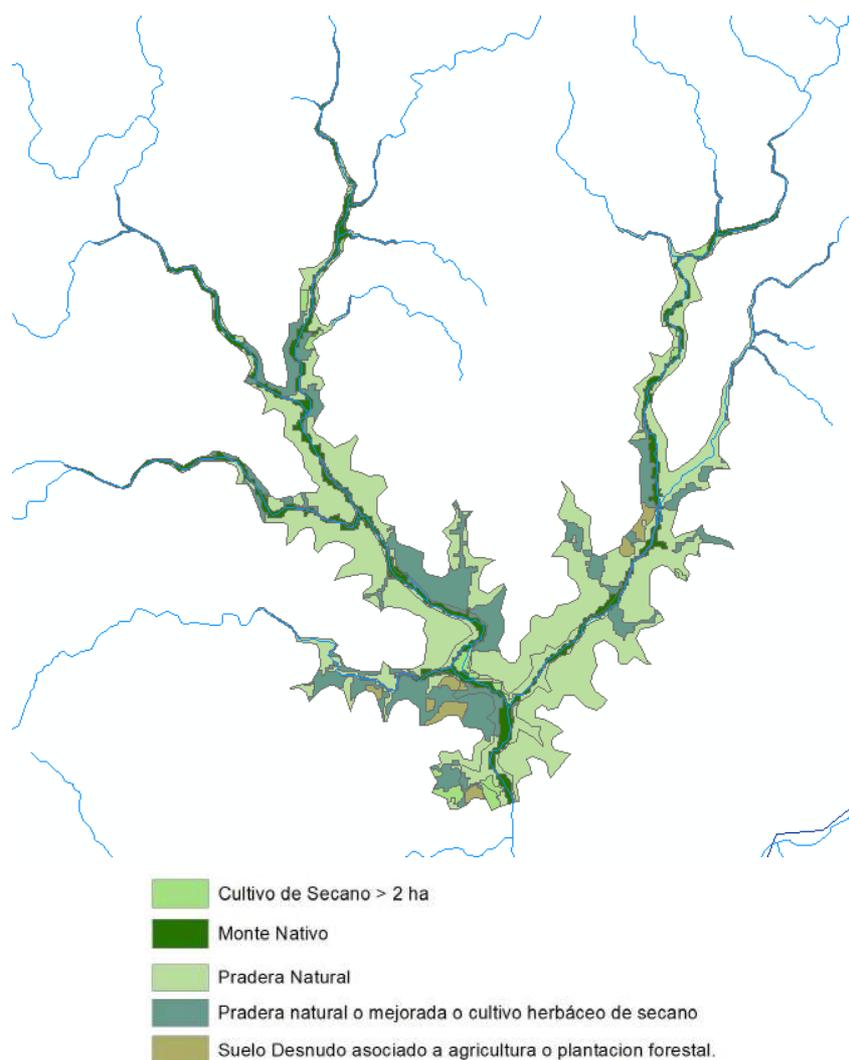
<b>Padrón</b>	<b>Área del padrón (há)</b>	<b>Área inundada (há)</b>	<b>% Área inundada</b>
3046	47	35,8	75,4%
34	71	53,7	75,2%
3211	64	46,5	73,1%
232	208	147,5	71,0%
1435	53	35,0	65,9%
3749	240	137,1	57,2%
1723	73	41,4	56,8%
2007	85	44,3	52,0%
3240	49	24,2	49,9%
3748	500	247,2	49,5%
250	19	9,4	48,6%
241	36	17,4	48,5%
259	161	76,2	47,3%
2190	122	55,8	45,7%
2159	124	56,2	45,4%
1445	76	34,1	45,0%
3514	430	193,4	44,9%
2007	338	146,4	43,3%
2181	72	30,1	41,7%
249	368	139,4	37,8%
37	396	146,0	36,9%
1605	315	114,1	36,2%
230	19	6,6	35,2%
95	178	61,9	34,8%
271	2	0,6	33,7%
2664	106	32,4	30,6%
3239	120	34,3	28,7%
1895	203	56,0	27,6%
1885	59	16,1	27,1%
228	85	22,4	26,4%
272	117	30,9	26,3%
95	118	30,4	25,7%
28	260	66,3	25,5%
254	240	57,8	24,1%
1727	55	12,8	23,2%
2007	42	9,7	23,1%
2661	7	1,5	21,6%
3453	126	26,2	20,7%
35	78	13,6	17,4%
274	525	90,1	17,2%
3498	305	48,7	16,0%

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
1666	233	34,5	14,8%
38	182	25,7	14,1%
95	82	10,9	13,3%
228	349	40,8	11,7%
3237	106	10,7	10,1%
1921	198	18,4	9,3%
43	87	6,5	7,5%
148	114	7,9	7,0%
41	85	5,1	6,0%
30	81	4,8	6,0%
278	676	39,8	5,9%
96	114	6,2	5,4%
23	183	9,9	5,4%
275	708	34,7	4,9%
96	110	5,2	4,7%
248	42	1,9	4,5%
30	24	1,0	4,3%
1669	111	4,0	3,6%
4153	673	19,8	2,9%
3085	1.028	25,4	2,5%
48	56	1,1	2,0%
4152	934	18,0	1,9%
199	73	1,2	1,6%
225	11	0,2	1,5%
4071	158	1,8	1,2%
3495	945	9,9	1,0%
97	335	3,5	1,0%
2214	491	4,9	1,0%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-242: Áreas a inundar según usos del suelo - San José 04, cota 95 m

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Cultivo de Secano > 2 há	97	3%
Monte Nativo	510	15%
Pradera Natural	2.034	59%
Pradera natural o mejorada o cultivo herbáceo de secano	709	21%
Suelo Desnudo asociado a agricultura o plantación forestal	80	2%



**Figura 7-94: Usos del suelo de las tierras a inundar - San José 04, cota 95 m**

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

**Tabla 7-243: Área a inundar en función del índice CONEAT - San José 04, cota 95 m**

Índice CONEAT	Área (há)
53	42
61	1
88	2.624
114	316
127	3
140	417
193	27
<b>Promedio ponderado</b>	<b>97</b>

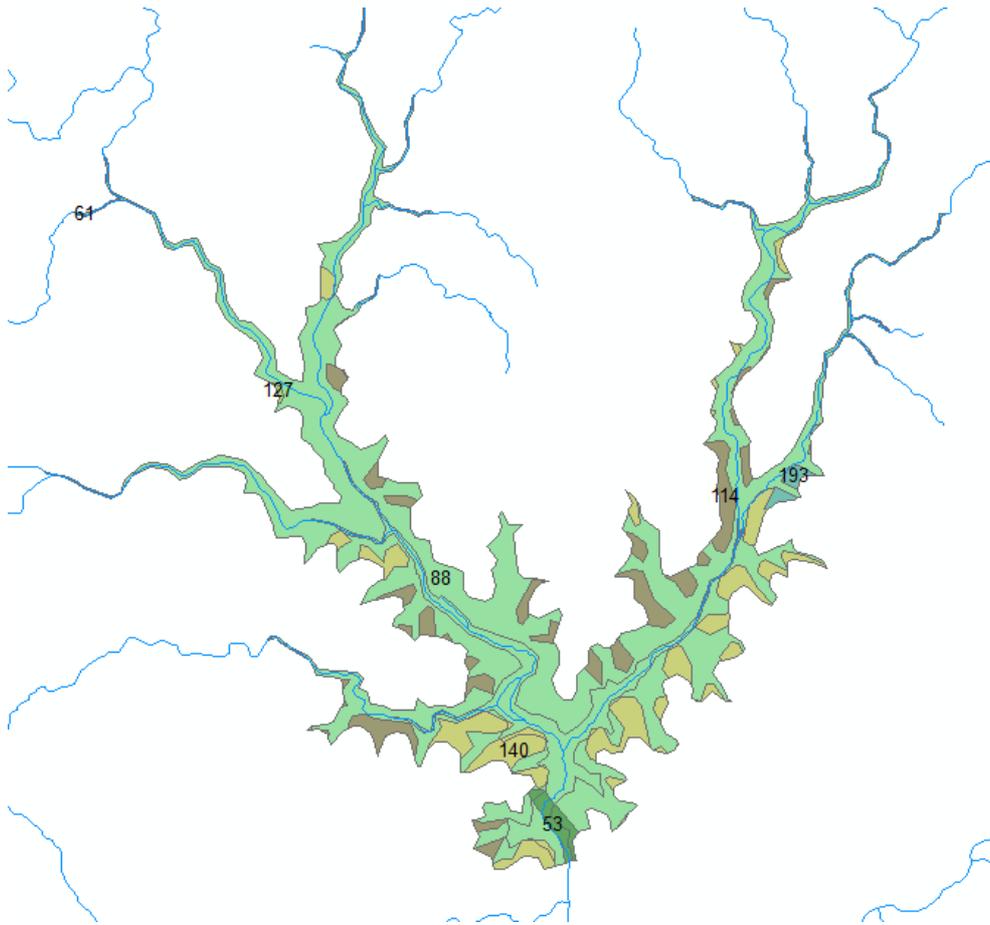


Figura 7-95: Índice CONEAT de las tierras a inundar - San José 04, cota 95 m

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago afecta a viviendas, establecimientos rurales (indicados como ▲), sus accesos y a caminos vecinales y líneas de energía eléctrica de media tensión.

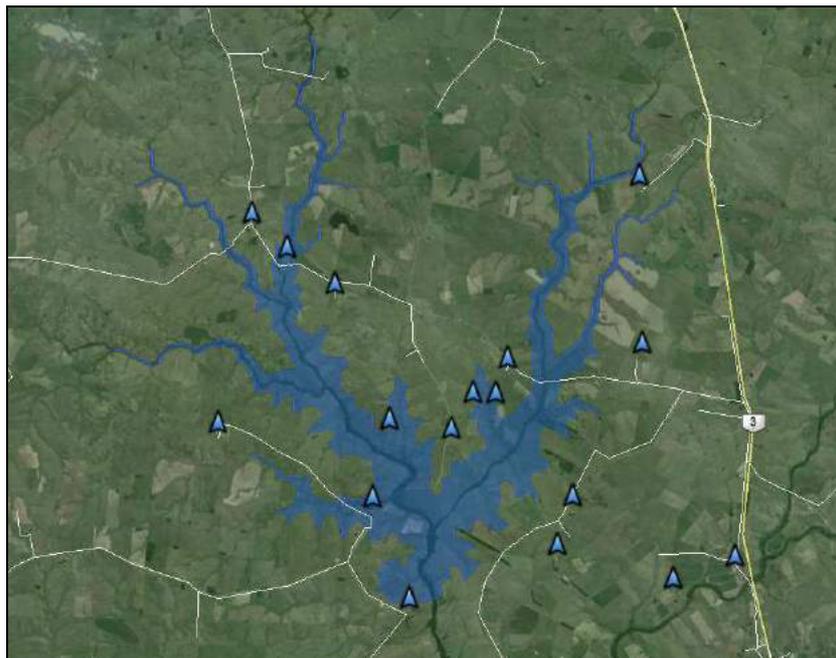


Figura 7-96: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - San José 04, cota 95 m

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-244 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-244: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - San José 04**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	548
Longitud del cauce principal (km)	34
Desnivel geométrico (m)	98
Pendiente media (%)	0,29%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	9,68
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>1.842</b>

En este caso el aliviadero se diseñó como un vertedero tipo canal.

Se calculó, para cada ancho de canal considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 1,5 m/s para no erosionar el canal de tierra).

**Tabla 7-245: Laminación para diferentes anchos del vertedero tipo canal - San José 04, cota 95 m**

Ancho del vertedero (m)	50	100	150	160	180
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	1.842	1.842	1.842	1.842	1.842
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	186	327	440	461	501
Capacidad de laminación	10,1%	17,7%	23,9%	25,0%	27,2%
Sobreelevación (m)	2,4	2,2	2,1	2,0	2,0
Velocidad en la descarga (m/s)	1,53	1,51	1,47	1,46	1,44

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero tipo canal que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 2 m.

**Tabla 7-246: Cota de coronamiento - San José 04, cota 95 m**

Cota de vertido (m)	95,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>98,0</b>

**Tabla 7-247: Altura de presa - San José 04, cota 95 m**

Altura máxima del embalse (m)	26,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>29,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-97 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la

dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

Tabla 7-248: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - San José 04, cota 95 m

<b>Altura de presa (m)</b>	29,0
<b>Ancho de coronamiento (m)</b>	8,0
<b>Talud aguas arriba (1V:mH)</b>	1V:3H
<b>Talud aguas abajo (1V:mH)</b>	1V:2,5H
<b>Longitud del cierre (m)</b>	790
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>764.900</b>

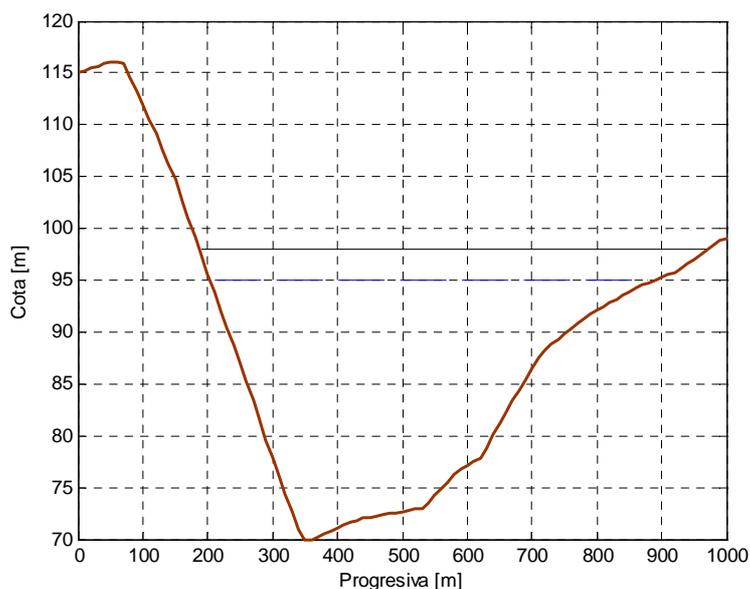


Figura 7-97: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - San José 04, cota 95 m

#### Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

Tabla 7-249: Costo de la obra civil - San José 04, cota 95 m

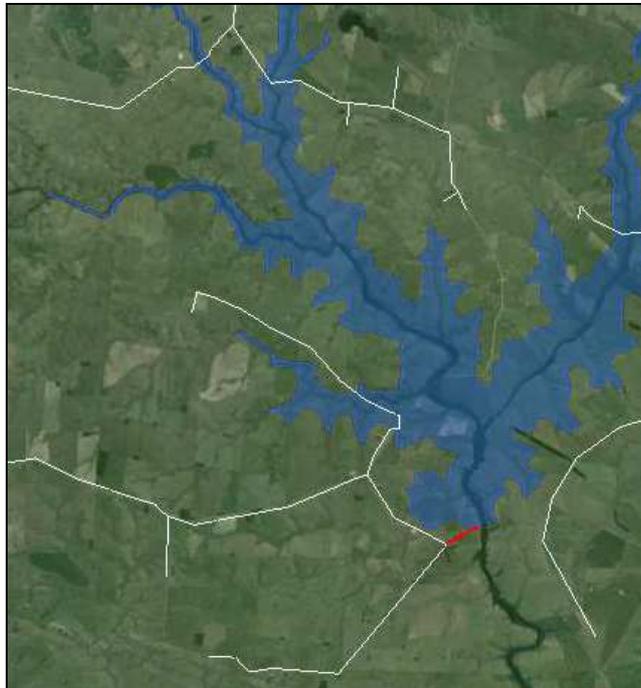
<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	764.900
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>4.970.000</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	0
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>0</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>4.970.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 2 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 3.500 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 11.750.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 8.000.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 23.860.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea ACSR-50/8) para el escenario de riego continuo, y de 31,5 kV con una sección 95/15 mm<sup>2</sup> (línea ACSR-95/15) para el escenario de riego intermitente.

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 1 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-98 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco).



**Figura 7-98: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - San José 04**

Dado que en las proximidades de la represa no se encontró ninguna línea existente de 31,5 kV, en este caso se asumió una longitud de 10 km para el tendido eléctrico (que coincide con la distancia desde la presa hasta la Ruta 3).

A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión en cada caso, resultando un total de USD 99.300 y USD 1.000.000 en uno y otro escenario de operación del embalse.

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-250: Costo de inversión - San José 04, cota 95 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	4.970.000	4.970.000
Costo de expropiación	11.750.000	11.750.000
Costo del equipo electromecánico	8.000.000	23.860.000
Costo del tendido eléctrico	99.300	1.000.000
<b>Costo total</b>	<b>24.800.000</b>	<b>41.600.000</b>

### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>15</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

Tabla 7-251: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh, San José 04, cota 95 m

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	8.100.000	24.860.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	850.000	1.200.000
Costo de O&M (USD/año)	325.000	950.000
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	<b>525.000</b>	<b>250.000</b>
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>2,7%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

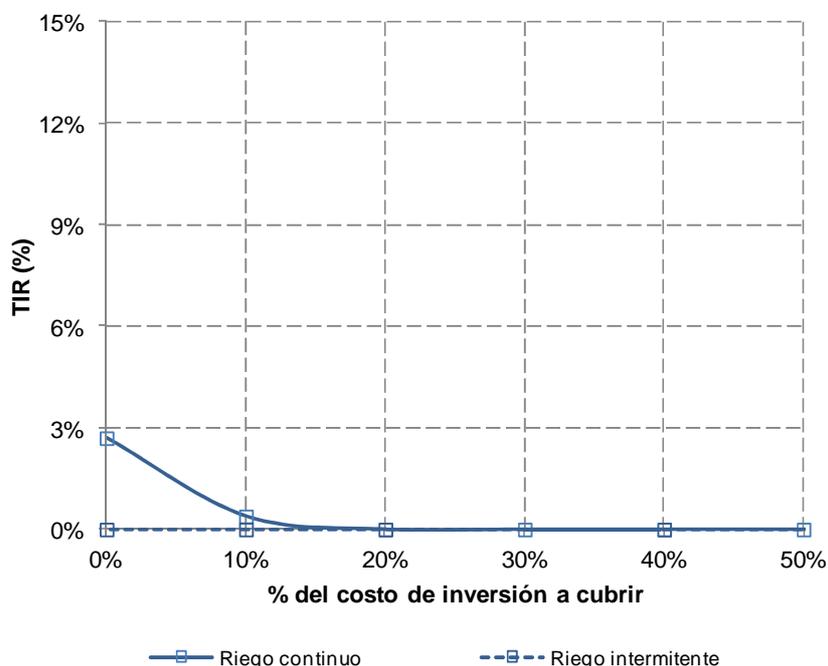
Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

Tabla 7-252: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - San José 04, cota 95 m

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
<b>TIR = 8%</b>	121 USD/MWh	262 USD/MWh
<b>TIR = 10%</b>	134 USD/MWh	292 USD/MWh
<b>TIR = 12%</b>	149 USD/MWh	323 USD/MWh
<b>TIR = 14%</b>	163 USD/MWh	355 USD/MWh
<b>TIR = 16%</b>	178 USD/MWh	388 USD/MWh

<sup>15</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.



**Figura 7-99: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - San José 04, cota 95 m**

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

**Tabla 7-253: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - San José 04, cota 95 m**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	24.780.000	41.600.000
Ingresos totales (USD/año)	1.991.400	2.341.000
Costo de O&M (USD/año)	517.000	1.153.300
Ingresos netos (USD/año)	1.474.400	1.187.700
TIR para 20 años (%)	1,7%	< 0,0%

### **Análisis de sensibilidad al volumen del embalse**

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el segundo caso, considerando el embalse a cota 93 m, con un salto disponible de 24,0 m, un área inundada de 2696 há y un volumen almacenado de 160,4 Hm<sup>3</sup>.

Disponibilidad energética media

Tabla 7-254: Caracterización hidrológica - San José 04, cotas 93 y 95 m

Caracterización hidrológica	Cota 93 m	Cota 95 m
Altura máxima del embalse (m)	24,0	26,0
Superficie del lago (há)	2.696	3.357
Volumen de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	160,4	271,3
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	205	205
Relación Cuenca/Embalse	<b>1,3</b>	<b>0,90</b>
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	<b>0,67</b>	<b>0,57</b>
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	<b>0,12</b>	<b>0,07</b>

Tabla 7-255: Disponibilidad energética media - San José 04, cota 93 m

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	24,0	24,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	40,1	120,3
Potencia (kW)	<b>3.095</b>	<b>9.286</b>
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	0,67	
Energía Máx. <sub>(riego)</sub> (MWh)	8.914	
Energía <sub>(riego)</sub> (MWh)	<b>5.938</b>	<b>5.938</b>
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,12	0,12
Energía Máx. <sub>(llenado)</sub> (MWh)	17.828	53.485
Energía <sub>(llenado)</sub> (MWh)	<b>2.159</b>	<b>6.477</b>
Energía Media Anual (MWh)	<b>8.097</b>	<b>12.415</b>

Evaluación de aspectos socio-ambientales

Tabla 7-256: Usos del suelo de las tierras a inundar - San José 04, cotas 93 y 95 m

Cobertura del suelo	Área (há)	
	Cota 95 m	Cota 93 m
Cultivo de Secano > 2 há	97	69
Monte Nativo	510	404
Pradera Natural	2.034	1.591
Pradera natural o mejorada o cultivo herbáceo de secano	709	566
Suelo Desnudo asociado a agricultura o plantación forestal	80	54

Estimación del costo de inversión

Tabla 7-257: Costo de inversión - San José 04, cota 93 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la presa	4.100.000	4.100.000
Costo del vertedero	0	0
Costo de expropiación	9.400.000	9.400.000
Costo del equipo electromecánico	5.400.000	16.200.000
Costo del tendido eléctrico	99.300	1.000.000
<b>Costo total</b>	<b>19.000.000</b>	<b>30.800.000</b>

Análisis del retorno de la inversión

Tabla 7-258: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh, San José 04, cota 93 m

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	5.500.000	17.200.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	730.000	1.100.000
Costo de O&M (USD/año)	220.000	650.000
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	<b>510.000</b>	<b>450.000</b>
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>6,8%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

Tabla 7-259: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - San José 04, cota 93 m

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
<b>TIR = 8%</b>	96 USD/MWh	193 USD/MWh
<b>TIR = 10%</b>	106 USD/MWh	216 USD/MWh
<b>TIR = 12%</b>	118 USD/MWh	238 USD/MWh
<b>TIR = 14%</b>	130 USD/MWh	262 USD/MWh
<b>TIR = 16%</b>	141 USD/MWh	286 USD/MWh

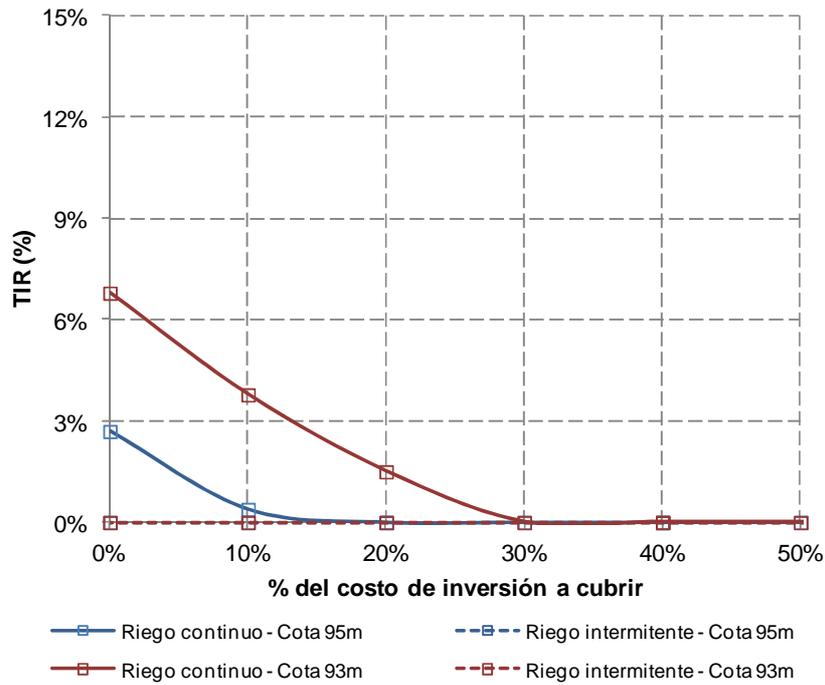


Figura 7-100: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - San José 04, cota 93 y 95 m

Tabla 7-260: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - San José 04, cota 93 m

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	19.060.000	30.810.000
Ingresos totales (USD/año)	1.720.600	2.109.200
Costo de O&M (USD/año)	380.900	814.300
Ingresos netos (USD/año)	1.339.600	1.295.000
TIR para 20 años (%)	3,5%	< 0,0%

## 7.14 RÍO SAN JOSÉ 05

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el río San José con un salto disponible de 27 m, un área inundada de 5870 há y un volumen almacenado de 403 Hm<sup>3</sup>.

Dada la magnitud del embalse propuesto, en este caso se realizó un análisis de sensibilidad al volumen del embalse, considerando también una cota tal que el volumen embalsado sea aproximadamente el 70% del volumen original.

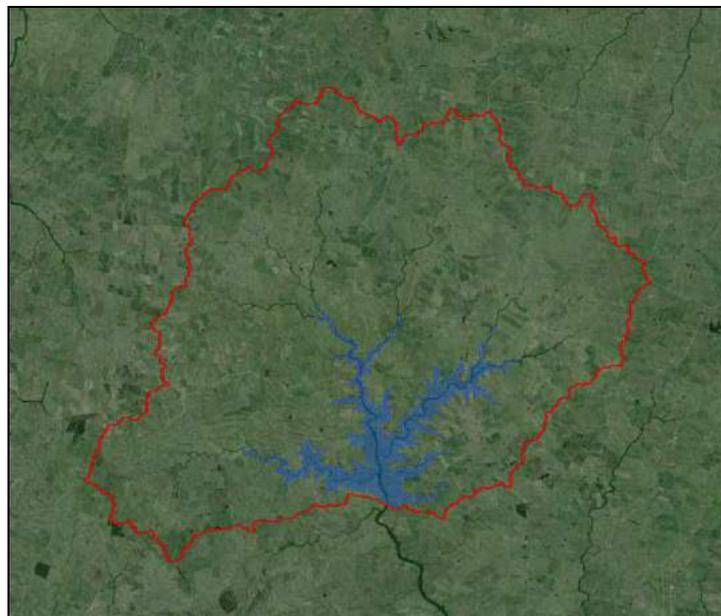
### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) para las dos cotas consideradas. Para ello se construyó, a partir de las curvas de nivel cada 10 m del SGM, un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7-261.

**Tabla 7-261: Características geométricas del embalse - San José 05**

Cota (m)	Altura (m)	Volumen (Hm <sup>3</sup> )	Área (há)
78	25,0	271,7	3.980
81	28,0	404,4	5.387

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



**Figura 7-101: Cuenca de aporte - San José 05**

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el embalse a cota 81 m.

**Tabla 7-262: Caracterización hidrológica - San José 05, cota 81 m**

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	118.405
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	32
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	449
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	404,4
Relación cuenca/embalse	1,1
Factor de Capacidad (riego)	0,62
Factor de Capacidad (llenado)	0,10

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

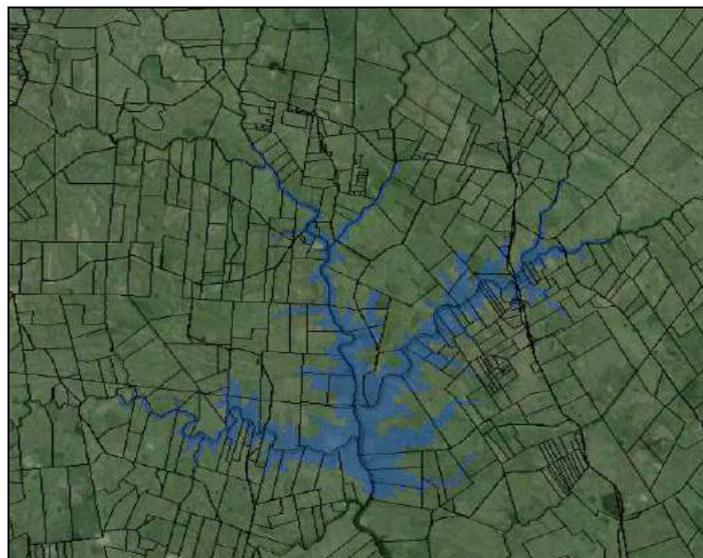
**Tabla 7-263: Disponibilidad energética media - San José 05, cota 81 m**

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	28,0	28,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	101,1	303,3
Potencia (kW)	9.106	27.317
Factor de Capacidad (riego)	0,62	
Energía Máx. (riego) (MWh)	26.225	
Energía (riego) (MWh)	16.286	16.286
Factor de Capacidad (llenado)	0,10	0,10
Energía Máx. (llenado) (MWh)	52.449	157.348
Energía (llenado) (MWh)	5.130	15.390
Energía Media Anual (MWh)	21.416	31.676

### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el índice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de San José y Flores se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados para la cota considerada (81 m, cota del embalse a nivel de vertido).



**Tabla 7-264: Padrones inundados a cota 81 m - San José 05**

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

**Tabla 7-265: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - San José 05, cota 81 m**

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
4112	25	25,1	100,0%
4125	4	3,8	100,0%
13127	3	2,7	100,0%
13504	68	67,7	100,0%
2182	4	4,2	96,5%
1589	11	10,0	91,7%
4124	16	14,4	91,7%
1583	101	92,7	91,5%
3522	187	148,1	79,4%
257	150	112,0	74,9%
13503	58	42,7	73,6%
5041	205	150,5	73,3%
1579	75	54,5	72,4%
255	703	475,2	67,6%
253	29	18,8	65,7%
1199	305	199,2	65,3%
1691	112	72,3	64,3%
14234	57	35,8	62,7%
1580	93	58,2	62,5%
8598	1.116	686,0	61,5%
2426	160	95,5	59,6%
4004	62	36,9	59,2%
4219	2	1,0	58,1%

<b>Padrón</b>	<b>Área del padrón (há)</b>	<b>Área inundada (há)</b>	<b>% Área inundada</b>
12124	35	19,9	57,5%
4123	28	16,3	57,3%
1357	102	58,0	56,9%
110	31	17,2	55,5%
1150	592	325,9	55,1%
4770	48	26,3	54,5%
13670	37	20,0	54,3%
1570	225	122,2	54,2%
1577	56	28,6	50,6%
1576	2	0,9	49,4%
3794	18	8,6	47,6%
3202	167	77,8	46,5%
1192	94	42,4	45,1%
15573	43	19,5	45,0%
3822	94	41,3	43,7%
3889	38	16,7	43,7%
12125	35	14,9	42,7%
29	216	90,8	42,0%
108	42	16,7	39,7%
1148	324	126,6	39,1%
3521	189	69,3	36,7%
262	325	115,9	35,7%
4715	124	44,0	35,4%
5040	225	77,6	34,4%
1934	4	1,4	34,3%
1572	15	5,0	34,2%
5841	4	1,5	33,7%
1586	141	46,2	32,8%
27	533	169,7	31,8%
3200	208	64,2	30,9%
1198	222	67,3	30,4%
2185	69	20,5	29,6%
5511	186	54,9	29,5%
1195	181	51,9	28,7%
2101	116	33,2	28,7%
15557	223	63,0	28,2%
3322	203	52,3	25,8%
3046	47	11,9	25,1%
2184	77	18,4	23,8%
1197	276	61,7	22,4%
254	240	52,3	21,8%

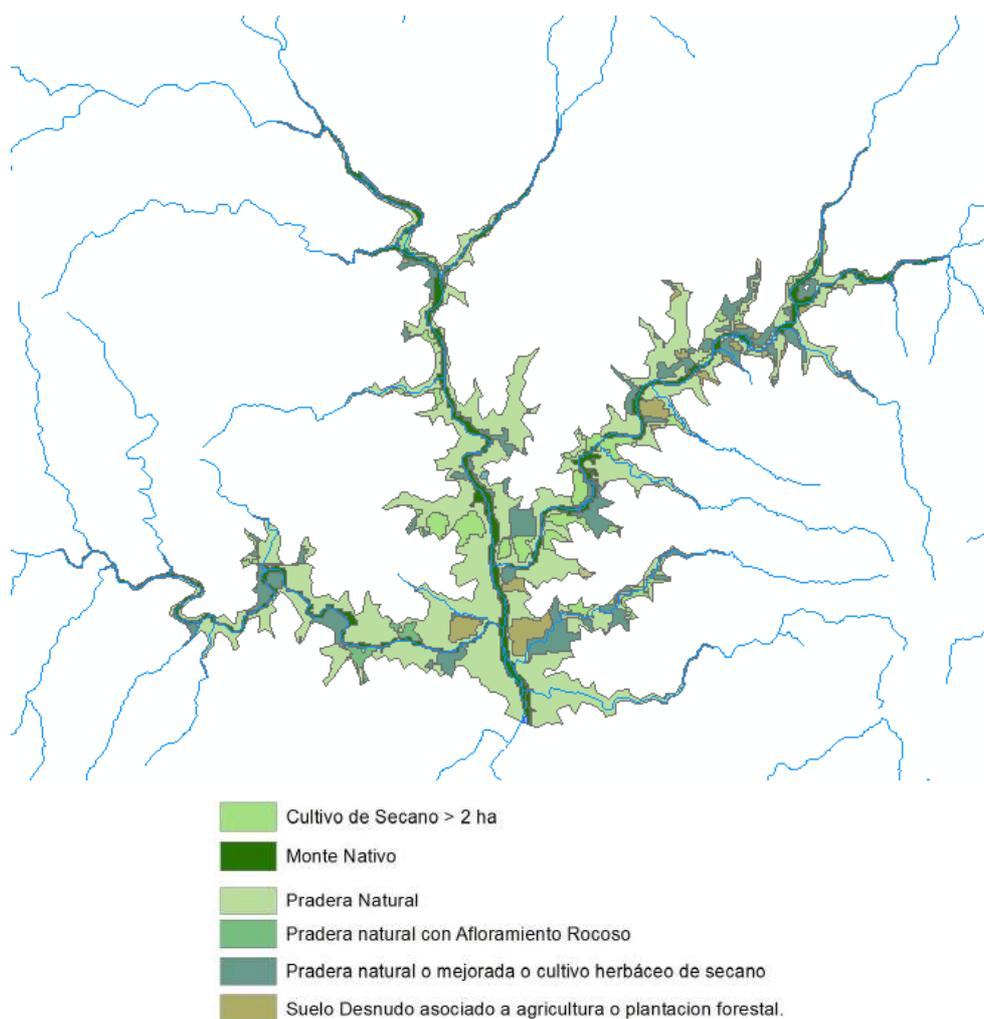
Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
1220	178	38,2	21,5%
1154	108	21,9	20,2%
1671	249	49,3	19,8%
4011	1	0,2	19,8%
2424	160	31,0	19,3%
1571	1.041	196,1	18,8%
3749	240	44,0	18,4%
256	607	109,6	18,0%
1493	69	11,5	16,7%
260	198	31,7	16,0%
8652	103	16,0	15,4%
13502	90	13,1	14,5%
3084	11	1,6	14,3%
1188	177	24,4	13,8%
37	396	54,1	13,7%
16587	60	7,8	13,0%
2195	53	5,3	10,1%
1837	100	9,9	9,9%
3201	204	19,0	9,3%
14686	204	18,3	9,0%
13369	159	14,0	8,8%
232	208	17,9	8,6%
3748	500	39,8	8,0%
1588	39	2,9	7,4%
15915	177	12,8	7,3%
6166	68	4,4	6,5%
2007	423	26,3	6,2%
1291	238	14,6	6,1%
261	382	21,2	5,5%
296	473	26,0	5,5%
2159	124	6,7	5,4%
1485	386	19,8	5,1%
5956	134	6,7	5,0%
1578	115	5,7	4,9%
35	95	4,4	4,7%
34	71	3,2	4,4%
8604	239	10,4	4,3%
15548	56	2,0	3,6%
1173	377	11,7	3,1%
1726	279	8,4	3,0%
4814	54	1,3	2,5%

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
259	161	3,9	2,4%
249	368	8,3	2,3%
15913	180	3,7	2,1%
8603	147	3,0	2,0%
13501	49	1,0	2,0%
1727	55	1,0	1,9%
1723	73	1,3	1,8%
3514	430	7,3	1,7%
1445	76	1,1	1,5%
1200	366	5,0	1,4%
1885	59	0,8	1,4%
1942	70	1,0	1,4%
3199	321	4,6	1,4%
1157	116	1,4	1,2%
1155	198	2,2	1,1%
6021	75	0,8	1,1%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-266: Áreas a inundar según usos del suelo - San José 05, cota 81 m

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Cultivo de Secano > 2 há	422	8%
<b>Monte Nativo</b>	<b>800</b>	<b>14%</b>
Pradera Natural	3311	59%
Pradera natural con Afloramiento Rocoso	51	1%
Pradera natural o mejorada o cultivo herbáceo de secano	776	14%
Suelo Desnudo asociado a agricultura o plantación forestal	236	4%



**Figura 7-102: Usos del suelo de las tierras a inundar - San José 05, cota 81 m**

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

**Tabla 7-267: Área a inundar en función del índice CONEAT - San José 05, cota 81 m**

Índice CONEAT	Área (há)
53	90
61	2
88	4.111
114	549
140	359
158	296
193	211
<b>Promedio ponderado</b>	<b>101</b>

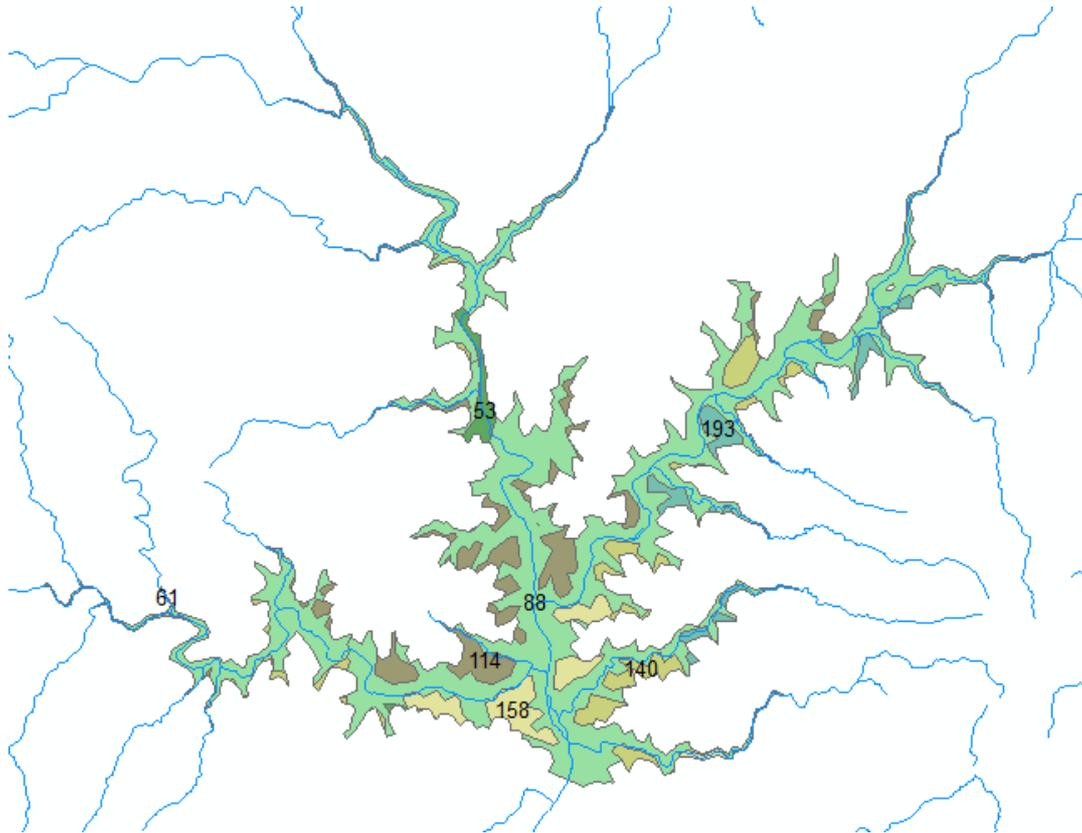


Figura 7-103: Índice CONEAT de las tierras a inundar - San José 05, cota 81 m

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲), sus accesos, y a caminos vecinales y líneas de energía eléctrica de media tensión. Además inunda un tramo de la Ruta 3 de aproximadamente 1.000 m de longitud y otros embalses menores.

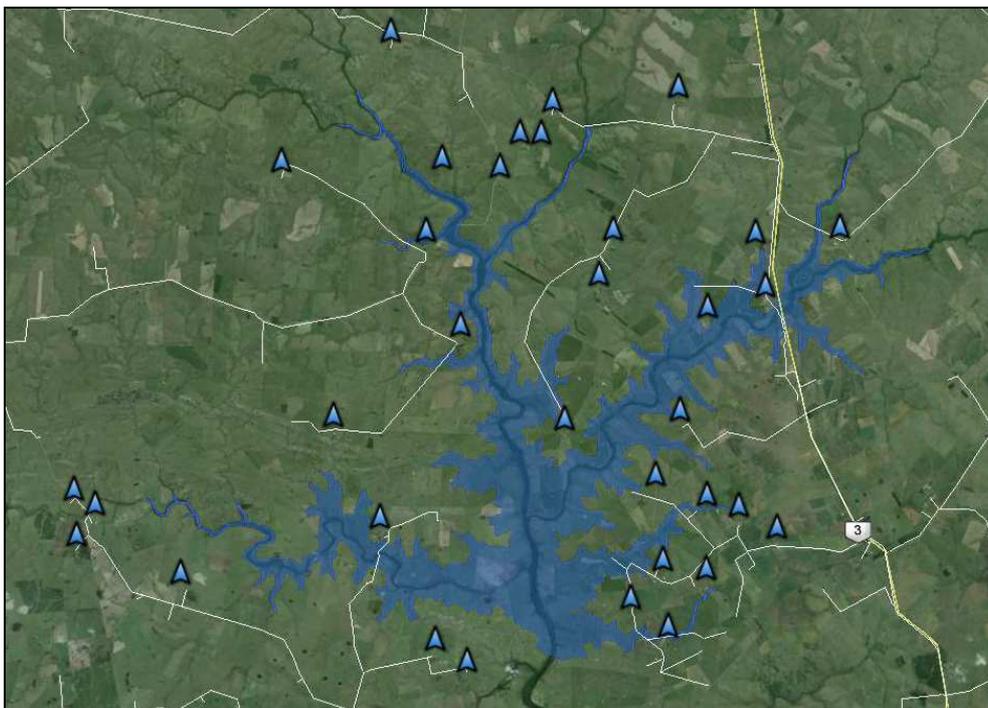


Figura 7-104: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - San José 05, cota 81 m

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-268 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-268: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - San José 05**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	1.184
Longitud del cauce principal (km)	46
Desnivel geométrico (m)	114
Pendiente media (%)	0,25%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	13,09
Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	3.269

En este caso, debido al muy bajo tiempo de residencia del agua en el embalse (muy alta relación cuenca/embalse), para materializar un vertedero tipo canal que sea estable frente a la erosión del flujo se requieren anchos de canal y sobreelevaciones en el embalse excesivos. Por ello se descartó esta solución y se procedió a evaluar la alternativa de un vertedero de hormigón.

Se calculó, para cada ancho de vertedero considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 5 m/s para no comprometer la estructura). A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada ancho de vertedero considerado.

**Tabla 7-269: Laminación para diferentes anchos del vertedero de hormigón - San José 05, cota 81 m**

Ancho del vertedero (m)	20	30	50	60	100
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	3.269	3.269	3.269	3.269	3.269
Caudal máximo vertido (m <sup>3</sup> /s)	200	290	456	532	800
Capacidad de laminación	6,1%	8,9%	13,9%	16,3%	24,5%
Sobreelevación (m)	3,1	3,1	2,9	2,9	2,7
Velocidad en la descarga (m/s)	4,78	4,73	4,64	4,59	4,44

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero de hormigón que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 3 m.

A los fines de estimar el costo del vertedero se seleccionó un ancho igual a 20 m.

**Tabla 7-270: Cota de coronamiento - San José 05, cota 81 m**

Cota de vertido (m)	81,0
Altura de revancha (m)	4,0
Cota de coronamiento (m)	85,0

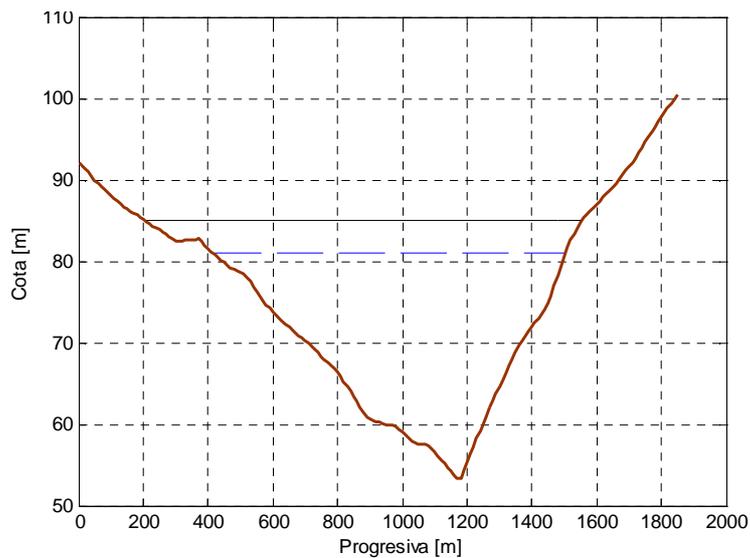
**Tabla 7-271: Altura de presa - San José 05, cota 81 m**

<b>Altura máxima del embalse (m)</b>	28,0
<b>Altura de revancha (m)</b>	4,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>32,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-105 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-272: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - San José 05, cota 81 m**

<b>Altura de presa (m)</b>	32,0
<b>Ancho de coronamiento (m)</b>	9,0
<b>Talud aguas arriba (1V:mH)</b>	1V:3H
<b>Talud aguas abajo (1V:mH)</b>	1V:2,5H
<b>Longitud del cierre (m)</b>	1.350
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>1.350.000</b>



**Figura 7-105: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - San José 05, cota 81 m**

Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-273: Costo de la obra civil - San José 05, cota 81 m**

<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	1.350.000
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>8.800.000</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	1.500
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>900.000</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>9.700.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 2 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 3.500 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 18.800.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 16.000.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 47.800.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 31,5 kV, con una sección de 95/15 mm<sup>2</sup> (línea ACSR-95/15) bajo la hipótesis de riego continuo y de 240/40 mm<sup>2</sup> (línea ACSR-240/40) para el escenario de riego intermitente.

Dado que en las proximidades de la represa no se encontró ninguna línea existente de 31,5 kV, en este caso se asumió una longitud de 10 km para el tendido eléctrico (que coincide con la distancia desde la presa hasta la Ruta 3).

A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 1.000.000 y USD 1.200.000 bajo el escenario de riego continuo e intermitente respectivamente.

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

**Tabla 7-274: Costo de inversión - San José 05, cota 81 m**

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de obra civil	9.700.000	9.700.000
Costo de expropiación	18.800.000	18.800.000
Costo del equipo electromecánico	16.000.000	47.800.000
Costo del tendido eléctrico	1.000.000	1.200.000
<b>Costo total</b>	<b>45.500.000</b>	<b>77.500.000</b>

### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>16</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a

<sup>16</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.

partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

Tabla 7-275: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh, San José 05, cota 81 m

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	17.000.000	49.000.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	2.000.000	2.850.000
Costo de O&M (USD/año)	700.000	1.900.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>1.300.000</b>	<b>950.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>4,4%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

Tabla 7-276: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - San José 05, cota 81 m

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	110 USD/MWh	218 USD/MWh
TIR = 10%	123 USD/MWh	241 USD/MWh
TIR = 12%	136 USD/MWh	267 USD/MWh
TIR = 14%	149 USD/MWh	294 USD/MWh
TIR = 16%	163 USD/MWh	321 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

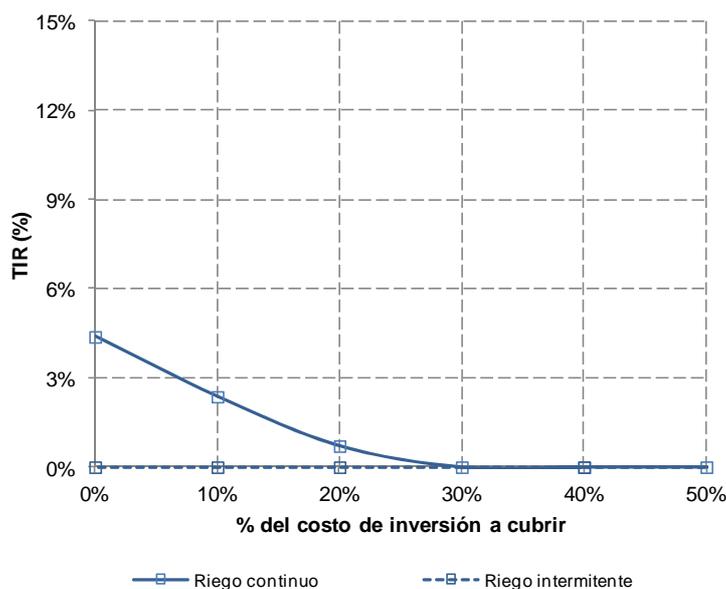


Figura 7-106: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - San José 05, cota 81 m

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

Tabla 7-277: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - San José 05, cota 81 m

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	45.500.000	77.530.000
Ingresos totales (USD/año)	4.259.200	5.182.600
Costo de O&M (USD/año)	989.000	2.263.800
Ingresos netos (USD/año)	3.270.200	2.918.800
TIR para 20 años (%)	3,7%	< 0,0%

### Análisis de sensibilidad al volumen del embalse

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el segundo caso, considerando el embalse a cota 78 m, con un salto disponible de 25,0 m, un área inundada de 3980 há y un volumen almacenado de 271,7 Hm<sup>3</sup>.

### Disponibilidad energética media

Tabla 7-278: Caracterización hidrológica - San José 05, cotas 78 y 81 m

Caracterización hidrológica	Cota 78 m	Cota 81 m
Altura máxima del embalse (m)	25,0	28,0
Superficie del lago (há)	3.980	5.387
Volumen de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	271,7	404,4
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	449	449
Relación Cuenca/Embalse	1,7	1,1
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	0,74	0,62
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,17	0,10

Tabla 7-279: Disponibilidad energética media - San José 05, cota 78 m

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
H <sub>máx</sub> (m)	25,0	25,0
Caudal de funcionamiento (Hm <sup>3</sup> /mes)	67,93	203,80
Potencia (kW)	5.464	16.391
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	0,74	
Energía Máx. <sub>(riego)</sub> (MWh)	15.735	
Energía <sub>(riego)</sub> (MWh)	11.635	11.635
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,17	0,17
Energía Máx. <sub>(llenado)</sub> (MWh)	31.470	94.410
Energía <sub>(llenado)</sub> (MWh)	5.239	15.716
Energía Media Anual (MWh)	16.873	27.351

## Evaluación de aspectos socio-ambientales

Tabla 7-280: Usos del suelo de las tierras a inundar - San José 05, cotas 78 y 81 m

Cobertura del suelo	Área (há)	
	Cota 81 m	Cota 78 m
Cultivo de Secano > 2 há	422	277
Monte Nativo	800	557
Pradera Natural	3311	2348
Pradera natural con Afloramiento Rocoso	51	40
Pradera natural o mejorada o cultivo herbáceo de secano	776	557
Suelo Desnudo asociado a agricultura o plantación forestal	236	159

## Estimación del costo de inversión

Tabla 7-281: Costo de inversión - San José 05, cota 78 m

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la presa	6.500.000	6.500.000
Costo del vertedero	2.300.000	2.300.000
Costo de expropiación	14.000.000	14.000.000
Costo del equipo electromecánico	9.500.000	28.600.000
Costo del tendido eléctrico (*)	200.000	1.100.000
<b>Costo total</b>	<b>32.500.000</b>	<b>52.500.000</b>

(\*) En este caso, a partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas, para el escenario de riego continuo se requiere de una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea ACSR-50/8), mientras que bajo el escenario de riego intermitente se necesita una tensión de 31,5 kV y una sección 95/15 mm<sup>2</sup> (línea ACSR-95/15). En la Figura 7-107 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco).

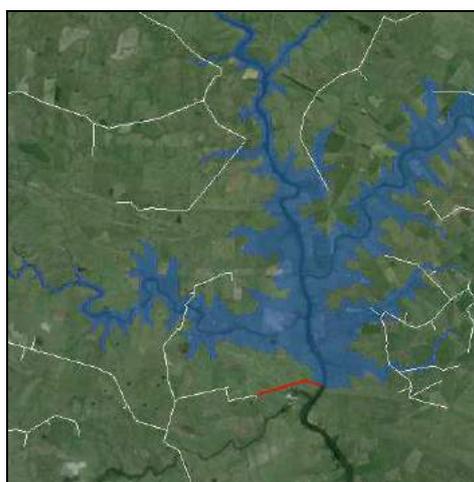


Figura 7-107: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - San José 05

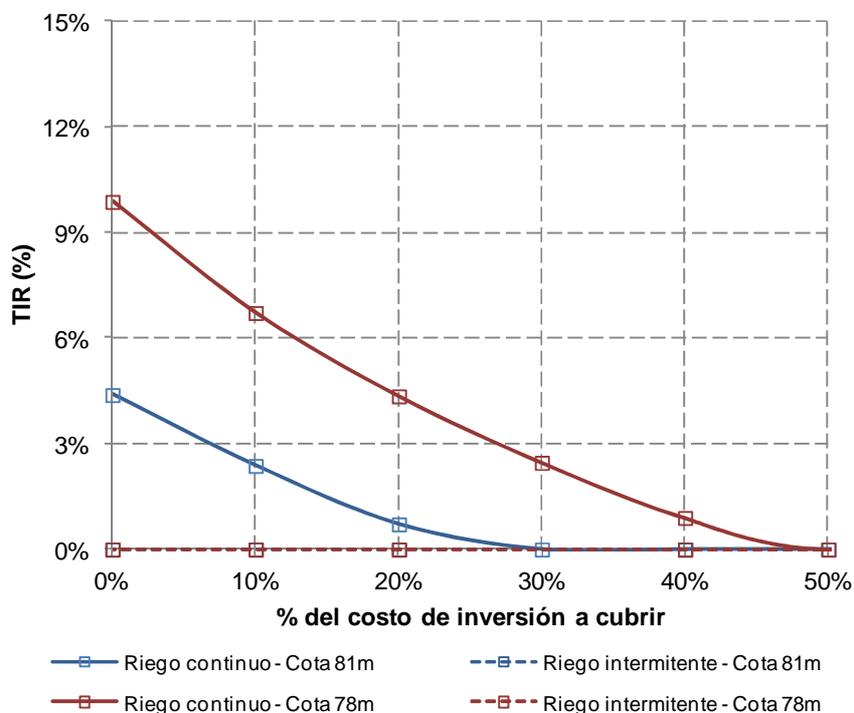
Análisis del retorno de la inversión

**Tabla 7-282: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh, San José 05, cota 78 m**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	9.700.000	29.700.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	1.500.000	2.400.000
Costo de O&M (USD/año)	380.000	1.150.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>1.120.000</b>	<b>1.250.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>9,9%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

**Tabla 7-283: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - San José 05, cota 78 m**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	82 USD/MWh	153 USD/MWh
TIR = 10%	90 USD/MWh	169 USD/MWh
TIR = 12%	100 USD/MWh	188 USD/MWh
TIR = 14%	110 USD/MWh	206 USD/MWh
TIR = 16%	120 USD/MWh	225 USD/MWh



**Figura 7-108: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - San José 05, cota 78 y 81 m**

Tabla 7-284: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - San José 05, cota 78 m

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	32.460.000	52.480.000
Ingresos totales (USD/año)	3.384.300	4.327.300
Costo de O&M (USD/año)	640.600	1.405.500
Ingresos netos (USD/año)	2.743.700	2.921.800
TIR para 20 años (%)	5,6%	1,0%

## 7.15 AO. DEL POTRERO

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el arroyo del Potrero con un salto disponible de 18 m, un área inundada de 1010 há y un volumen almacenado de 56 Hm<sup>3</sup>.

### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) a partir de un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m generado en base a las curvas de nivel cada 10 m del SGM.

Para el lago a cota 169 m, resulta un salto disponible de 14,0 m, un área inundada de 941 há y un volumen almacenado de 58,5 Hm<sup>3</sup>.

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.



Figura 7-109: Cuenca de aporte - Del Potrero

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

Tabla 7-285: Caracterización hidrológica - Del Potrero

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	15.404
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	40
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	74
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	58,8
Relación cuenca/embalse	1,3
Factor de Capacidad (riego)	0,66
Factor de Capacidad (llenado)	0,12

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

Tabla 7-286: Disponibilidad energética media - Del Potrero

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
$H_{m\acute{a}x}$ (m)	14,0	14,0
Caudal de funcionamiento ( $Hm^3$ /mes)	14,6	43,8
Potencia (kW)	658	1.974
Factor de Capacidad (riego)	0,66	
Energía Máx. (riego) (MWh)	1.895	
Energía (riego) (MWh)	1.258	1.258
Factor de Capacidad (llenado)	0,12	0,12
Energía Máx. (llenado) (MWh)	3.791	11.373
Energía (llenado) (MWh)	454	1.363
Energía Media Anual (MWh)	1.712	2.621

#### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el índice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Florida se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados para la cota considerada (169 m, cota del embalse a nivel de vertedero).



Tabla 7-287: Padrones inundados a cota 169 m - Del Potrero

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

**Tabla 7-288: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - Del Potrero**

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
11894	866	424,2	49%
2295	965	208,1	22%
12907	245	46,3	19%
8874	820	134,3	16%
16899	259	38,4	15%
15070	341	45,9	13%
11894	449	43,3	10%
15549	352	30,2	9%
16899	1.387	114,3	8%
18561	796	12,2	2%
12836	2.389	41,5	2%
15548	370	3,8	1%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

**Tabla 7-289: Áreas a inundar según usos del suelo - Del Potrero**

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Monte Nativo	97	8%
Plantación de Eucaliptus > 5 há	739	65%
Pradera Natural	118	10%
Pradera natural o mejorada o cultivo herbáceo de secano	123	11%
Suelo desnudo asociado a agricultura o plantación forestal	65	6%

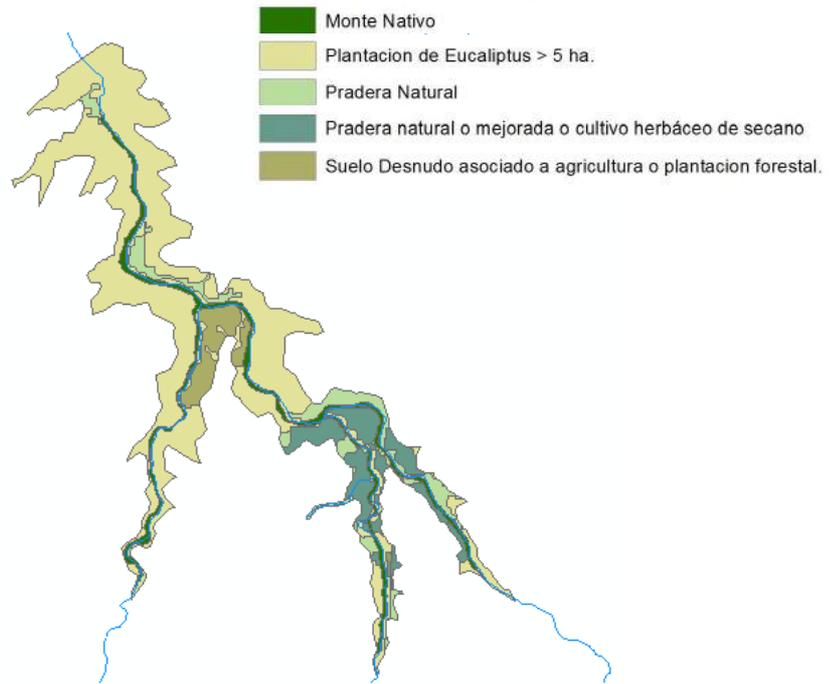


Figura 7-110: Usos del suelo de las tierras a inundar - Del Potrero

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

Tabla 7-290: Área a inundar en función del índice CONEAT - Del Potrero

Índice CONEAT	Área (há)
53	47
83	905
105	193
<b>Promedio ponderado</b>	<b>85</b>

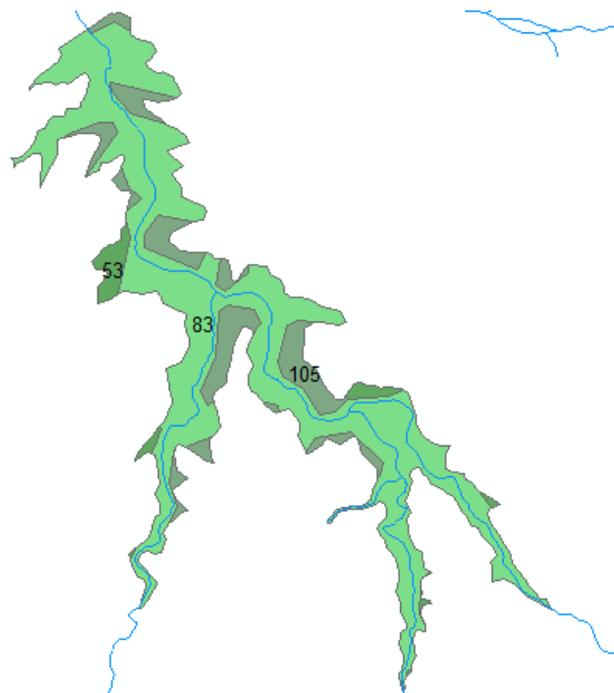


Figura 7-111: Índice CONEAT de las tierras a inundar - Del Potrero

En la siguiente figura se observa que en este caso la presencia del lago afecta a 97 há de monte nativo y 739 há de plantaciones de eucaliptus, además de inundar un tramo de la Ruta 7 de aproximadamente 600 m de longitud, algunos caminos vecinales y líneas de energía eléctrica de media tensión.

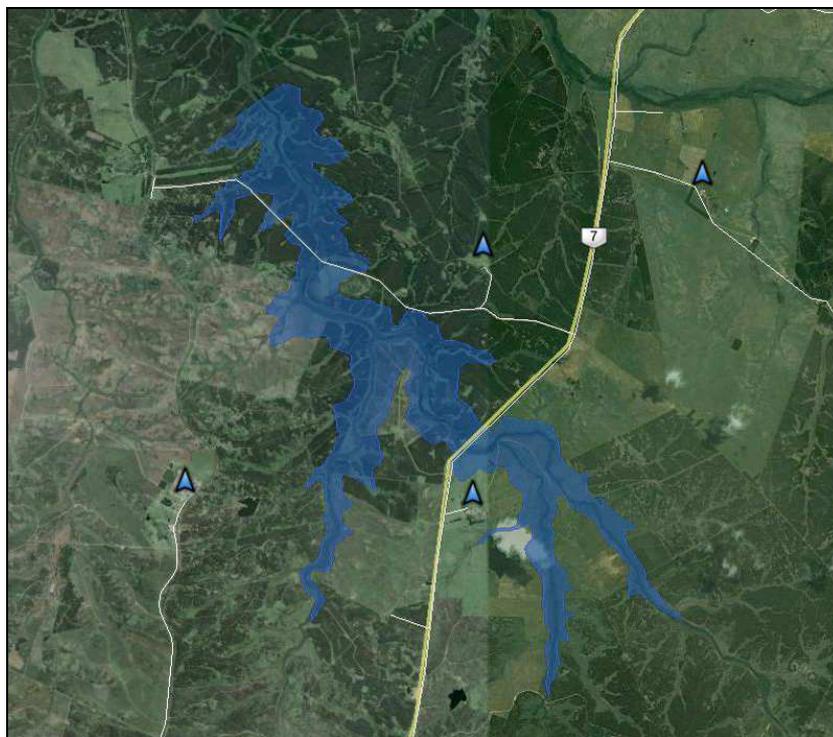


Figura 7-112: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Del Potrero

#### Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-291 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-291: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Del Potrero**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	154
Longitud del cauce principal (km)	26
Desnivel geométrico (m)	109
Pendiente media (%)	0,42%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	6,80
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>437</b>

En este caso el aliviadero se diseñó como un vertedero tipo canal.

Se calculó, para cada ancho de canal considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 1,5 m/s para no erosionar el canal de tierra).

**Tabla 7-292: Laminación para diferentes anchos del vertedero tipo canal - Del Potrero**

Ancho del vertedero (m)	20	25	50	75	100
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	437	437	437	437	437
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	21	26	47	67	84
Capacidad de laminación	4,8%	5,9%	10,9%	15,3%	19,3%
Sobreelevación (m)	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
Velocidad en la descarga (m/s)	0,92	0,92	0,92	0,91	0,90

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero tipo canal que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 1 m.

**Tabla 7-293: Cota de coronamiento - Del Potrero**

Cota de vertido (m)	169,0
Altura de revancha (m)	2,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>171,0</b>

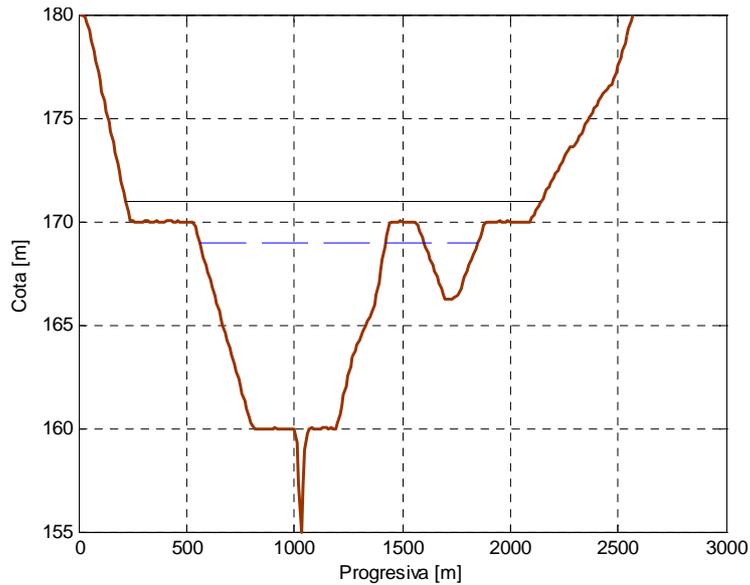
**Tabla 7-294: Altura de presa - Del Potrero**

Altura máxima del embalse (m)	14,0
Altura de revancha (m)	2,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>16,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-113 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-295: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Del Potrero**

Altura de presa (m)	16,0
Ancho de coronamiento (m)	6,0
Talud aguas arriba (1V:mH)	1V:3H
Talud aguas abajo (1V:mH)	1V:2,5H
Longitud del cierre (m)	1.930
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>270.300</b>



**Figura 7-113: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Del Potrero**

#### Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-296: Costo de la obra civil - Del Potrero**

<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	270.300
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>1.750.000</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	0
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>0</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>1.750.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 8 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 2.000 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 1.900.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 1.150.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 3.000.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 2,5 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-114 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE

(Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 173.250.



Figura 7-114: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Del Potrero

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-297: Costo de inversión - Del Potrero

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	1.750.000	1.750.000
Costo de expropiación	1.900.000	1.900.000
Costo del equipo electromecánico	1.150.000	3.500.000
Costo del tendido eléctrico	173.250	173.250
<b>Costo total</b>	<b>5.000.000</b>	<b>7.300.000</b>

### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>17</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

<sup>17</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.

**Tabla 7-298: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Del Potrero**

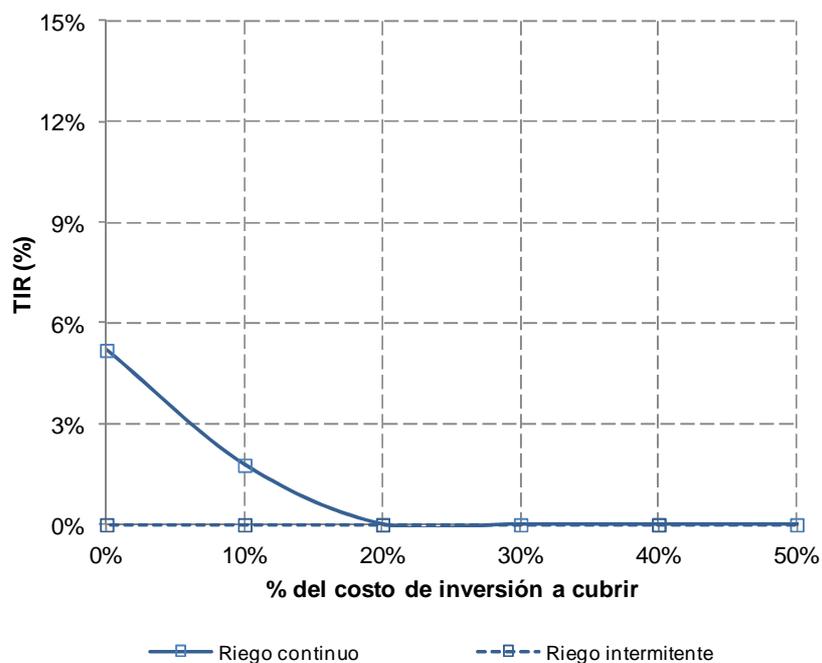
Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	1.320.000	3.670.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	155.000	235.000
Costo de O&M (USD/año)	45.000	135.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>110.000</b>	<b>100.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>5,2%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

**Tabla 7-299: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Del Potrero**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	105 USD/MWh	193 USD/MWh
TIR = 10%	117 USD/MWh	215 USD/MWh
TIR = 12%	130 USD/MWh	238 USD/MWh
TIR = 14%	143 USD/MWh	261 USD/MWh
TIR = 16%	163 USD/MWh	285 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.



**Figura 7-115: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Del Potrero**

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

**Tabla 7-300: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Del Potrero**

<b>Análisis del retorno de la inversión global</b>		
<b>Escenario de operación del embalse</b>	<b>Continuo</b>	<b>Intermitente</b>
<b>Costo de inversión (USD)</b>	4.960.000	7.270.000
<b>Ingresos totales (USD/año)</b>	514.400	596.200
<b>Costo de O&amp;M (USD/año)</b>	116.300	208.500
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	398.100	387.700
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>5,0%</b>	<b>0,6%</b>

## 7.16 AO. ILLESCAS

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el arroyo Illescas con un salto disponible de 27,3 m, un área inundada de 1490 há y un volumen almacenado de 115 Hm<sup>3</sup>.

### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) a partir de un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m generado en base a las curvas de nivel cada 10 m del SGM.

Para el lago a cota 161 m, resulta un salto disponible de 26,0 m, un área inundada de 1805 há y un volumen almacenado de 115,9 Hm<sup>3</sup>.

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.

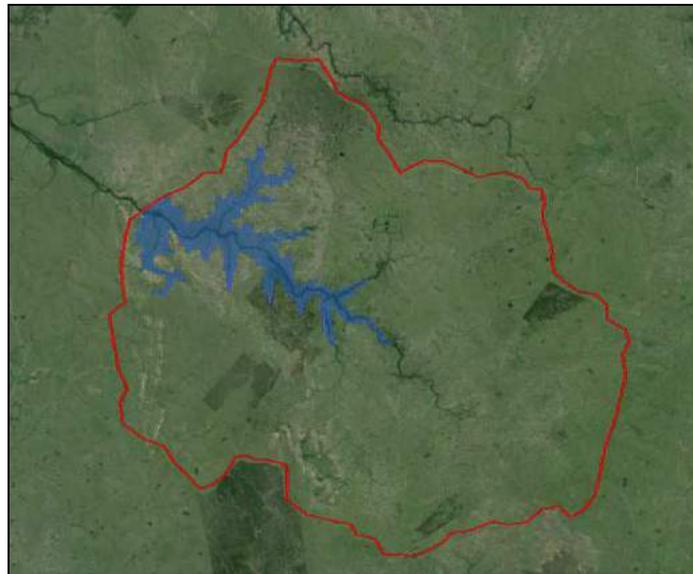


Figura 7-116: Cuenca de aporte - Illescas

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

Tabla 7-301: Caracterización hidrológica - Illescas

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	31.789
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	43
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	165
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	115,9
Relación cuenca/embalse	1,4
Factor de Capacidad <sub>(riego)</sub>	0,70
Factor de Capacidad <sub>(llenado)</sub>	0,14

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

Tabla 7-302: Disponibilidad energética media - Illescas

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
$H_{m\acute{a}x}$ (m)	26,0	26,0
Caudal de funcionamiento ( $Hm^3$ /mes)	29,0	86,9
Potencia (kW)	2.424	7.272
Factor de Capacidad (riego)	0,70	
Energía Máx. (riego) (MWh)	6.981	
Energía (riego) (MWh)	4.876	4.876
Factor de Capacidad (llenado)	0,14	0,14
Energía Máx. (llenado) (MWh)	13.962	41.887
Energía (llenado) (MWh)	1.952	5.857
Energía Media Anual (MWh)	6.828	10.733

### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el ndice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Florida se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que seran inundados para la cota considerada (161 m, cota del embalse a nivel de vertedero).



Tabla 7-303: Padrones inundados a cota 161 m - Illescas

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

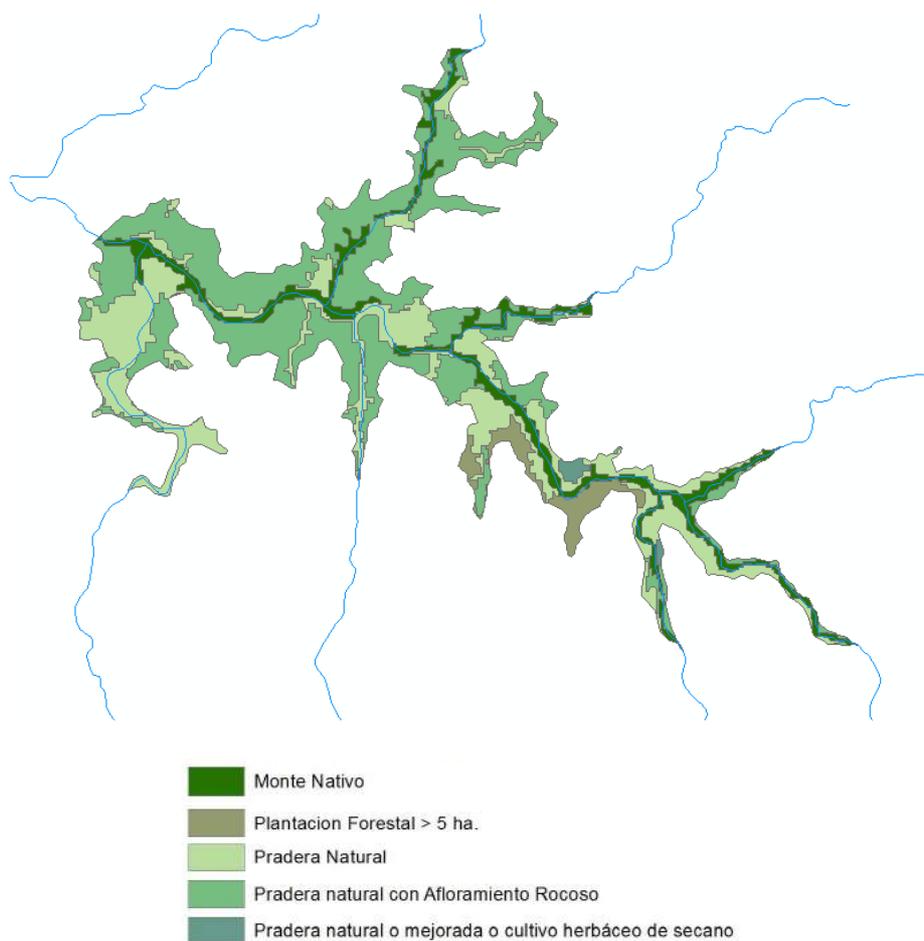
Tabla 7-304: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - Illescas

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
18139	60	36,2	61%
1692	216	132,3	61%
1924	282	148,9	53%
12834	34	16,0	47%
16245	245	112,2	46%
1924	179	81,3	45%
5771	298	119,8	40%
18141	48	18,7	39%
5371	80	26,5	33%
1725	1.925	558,5	29%
8683	222	59,5	27%
18141	13	3,2	25%
1635	345	84,3	24%
5160	274	58,9	21%
18151	576	111,9	19%
12833	41	7,2	18%
5779	414	73,2	18%
1684	157	24,7	16%
14806	121	11,1	9%
5090	301	23,1	8%
12485	161	13,3	8%
8654	176	11,3	6%
18737	206	13,4	6%
15256	80	4,0	5%
9691	75	4,1	5%
11881	143	7,2	5%
5781	219	8,7	4%
13782	488	11,5	2%
1636	384	5,3	1%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-305: Áreas a inundar según usos del suelo – Illescas

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Monte Nativo	263	15%
Plantación Forestal > 5 há	81	5%
Pradera Natural	557	31%
Pradera natural con Afloramiento Rocoso	875	49%
Pradera natural o mejorada o cultivo herbáceo de secano	14	1%



**Figura 7-117: Usos del suelo de las tierras a inundar - Illescas**

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

**Tabla 7-306: Área a inundar en función del índice CONEAT - Illescas**

Índice CONEAT	Área (há)
9	266
26	388
53	663
83	428
105	45
<b>Promedio ponderado</b>	<b>49</b>

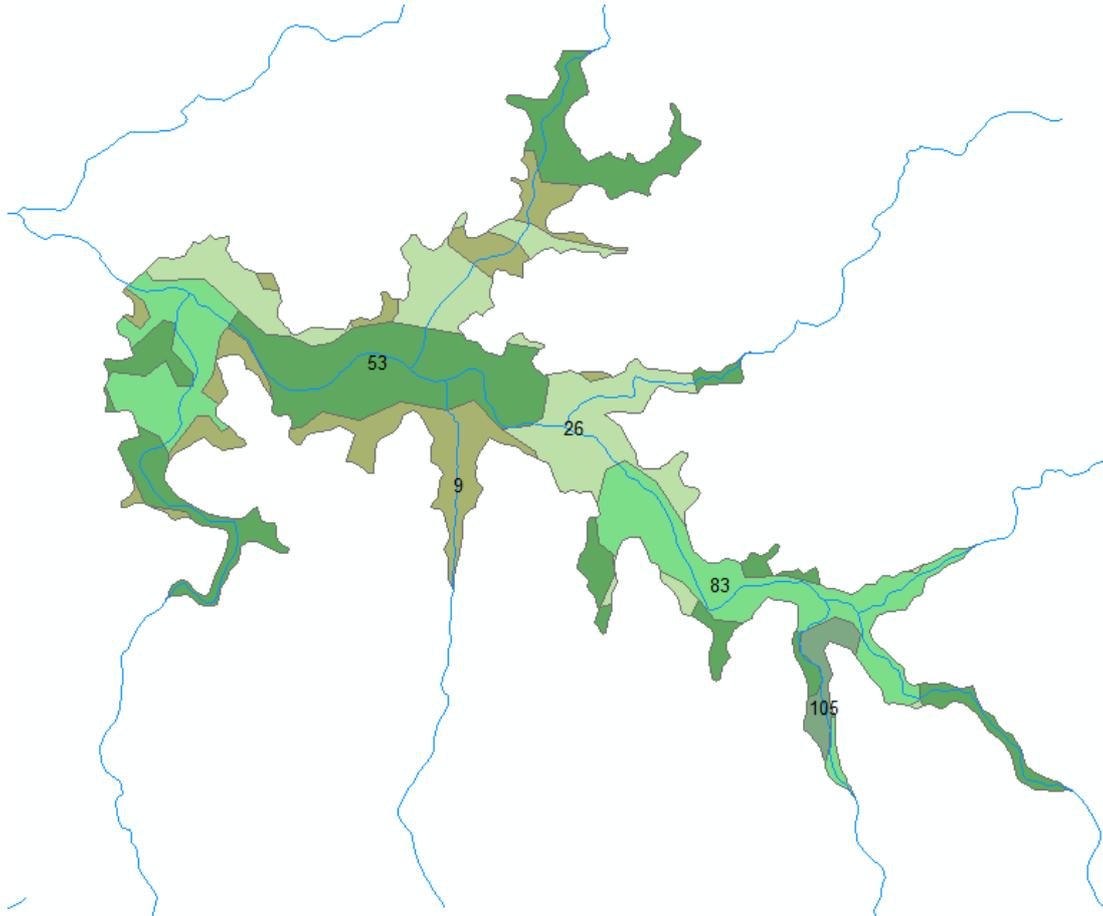


Figura 7-118: Índice CONEAT de las tierras a inundar - Illescas

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago no afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲), sus accesos, ni a rutas o caminos vecinales, aunque sí inunda una línea de energía eléctrica de 15 kV.

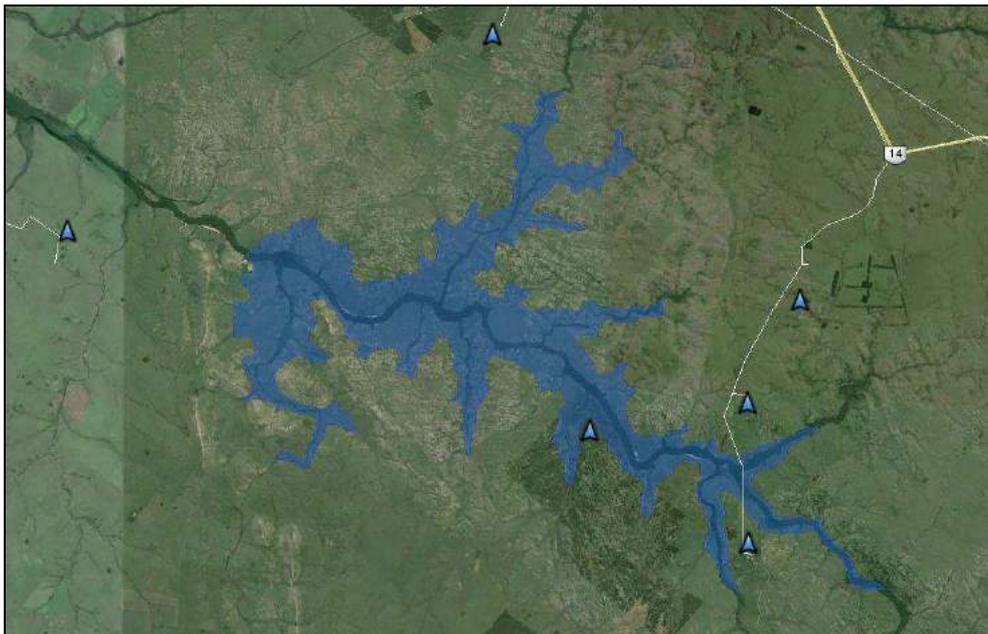


Figura 7-119: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Illescas

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-307 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-307: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Illescas**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	318
Longitud del cauce principal (km)	31
Desnivel geométrico (m)	137
Pendiente media (%)	0,44%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	7,71
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>789</b>

En este caso el aliviadero se diseñó como un vertedero tipo canal.

Se calculó, para cada ancho de canal considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 1,5 m/s para no erosionar el canal de tierra).

**Tabla 7-308: Laminación para diferentes anchos del vertedero tipo canal - Illescas**

Ancho del vertedero (m)	20	25	50	75	100
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	789	789	789	789	789
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	78	93	157	211	254
Capacidad de laminación	9,9%	11,7%	19,9%	26,7%	32,2%
Sobreelevación (m)	2,3	2,3	2,1	2,0	1,9
Velocidad en la descarga (m/s)	1,43	1,44	1,44	1,41	1,37

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero tipo canal que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 2 m.

**Tabla 7-309: Cota de coronamiento - Illescas**

Cota de vertido (m)	161,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>164,0</b>

**Tabla 7-310: Altura de presa - Illescas**

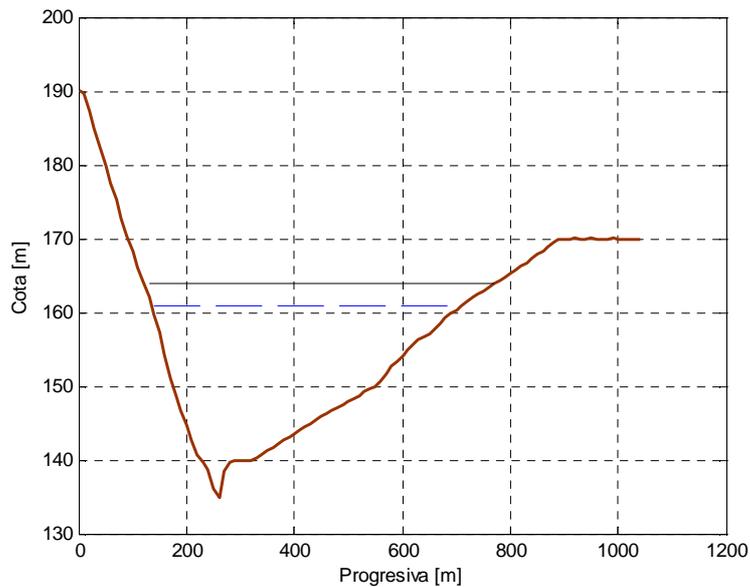
Altura máxima del embalse (m)	26,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>29,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-120 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la

dirección de la traza propuesta para la presa, la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

**Tabla 7-311: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Illescas**

<b>Altura de presa (m)</b>	29,0
<b>Ancho de coronamiento (m)</b>	8,0
<b>Talud aguas arriba (1V:mH)</b>	1V:3H
<b>Talud aguas abajo (1V:mH)</b>	1V:2,5H
<b>Longitud del cierre (m)</b>	650
<b>Volumen de material (m<sup>3</sup>)</b>	<b>571.000</b>



**Figura 7-120: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Illescas**

Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-312: Costo de la obra civil - Illescas**

<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	571.000
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>3.700.000</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	0
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>0</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>3.700.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 8/10 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 1.500 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 2.700.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 4.200.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 12.700.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea ACSR-50/8) para el escenario de riego continuo, y de 31,5 kV con una sección 95/15 mm<sup>2</sup> (línea ACSR-95/15) para el escenario de riego intermitente.

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificaron las líneas de 15 kV y 31,5 kV existentes más cercanas y se propuso un trazado tentativo de 3,5 km y 9,0 km de longitud respectivamente (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-121 se presentan los trazados propuestos para el tendido de las líneas eléctricas aéreas (en color rojo) hasta las líneas existentes (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión en cada caso, resultando un total de USD 220.000 y USD 940.00 en uno y otro escenario de operación del embalse.

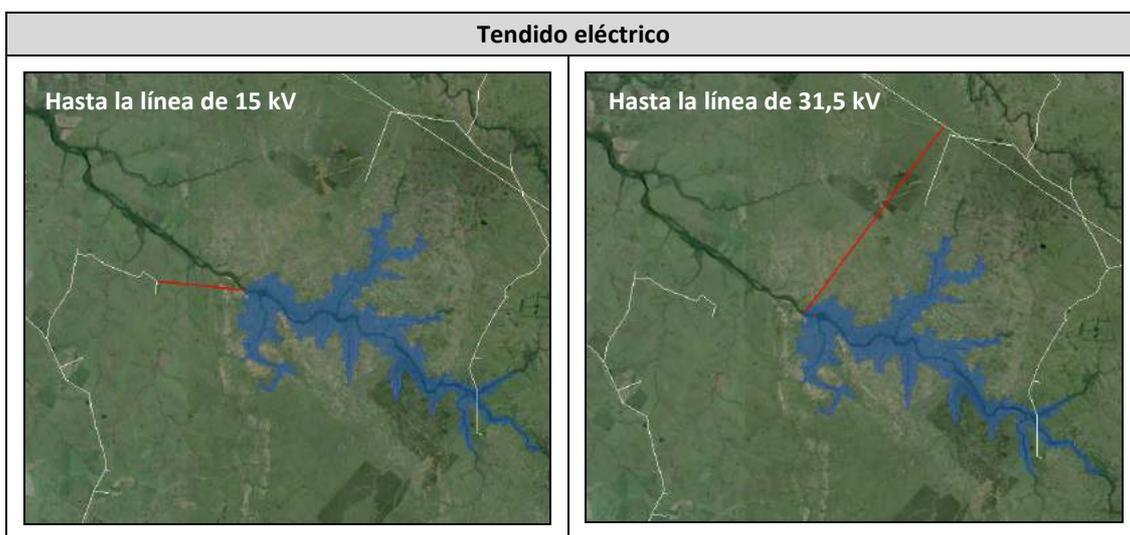


Figura 7-121: Tendido eléctrico hasta las líneas de 15 y 31,5 kV - Illescas

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

Tabla 7-313: Costo de inversión - Illescas

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	3.700.000	3.700.000
Costo de expropiación	2.700.000	2.700.000
Costo del equipo electromecánico	4.200.000	12.700.000
Costo del tendido eléctrico	220.000	940.000
<b>Costo total</b>	<b>10.800.000</b>	<b>20.000.000</b>

### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>18</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

**Tabla 7-314: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Illescas**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	4.420.000	13.640.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	615.000	970.000
Costo de O&M (USD/año)	170.000	510.000
Ingresos netos (USD/año)	<b>445.000</b>	<b>460.000</b>
TIR para 20 años (%)	<b>7,7%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

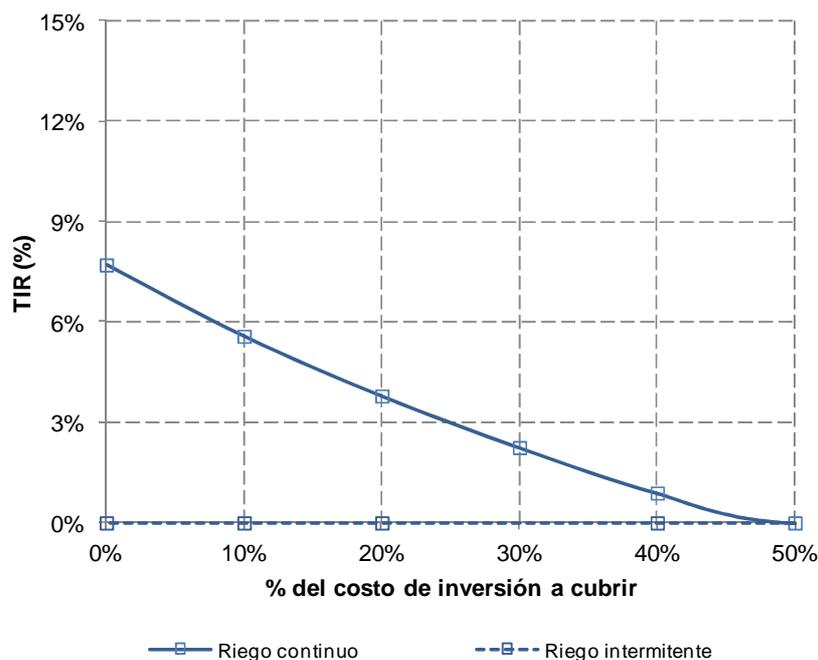
Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

**Tabla 7-315: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Illescas**

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	91 USD/MWh	177 USD/MWh
TIR = 10%	102 USD/MWh	197 USD/MWh
TIR = 12%	112 USD/MWh	217 USD/MWh
TIR = 14%	124 USD/MWh	240 USD/MWh
TIR = 16%	135 USD/MWh	262 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

<sup>18</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.



**Figura 7-122: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Illescas**

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

**Tabla 7-316: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Illescas**

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	10.880.000	20.090.000
Ingresos totales (USD/año)	1.366.300	1.717.800
Costo de O&M (USD/año)	318.100	657.500
Ingresos netos (USD/año)	1.048.200	1.060.300
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>7,3%</b>	<b>0,5%</b>

## 7.17 AO. MOLLES DEL PESCADO

En la iniciativa original se propone un embalse sobre el arroyo Molles del Pescado con un salto disponible de 39,5 m, un área inundada de 510 há y un volumen almacenado de 52 Hm<sup>3</sup>.

### Disponibilidad energética media

En primer lugar se hallaron las características geométricas del embalse (altura máxima, volumen almacenado y área inundada) a partir de un MDE con un tamaño de celda de 10x10 m generado en base a las curvas de nivel cada 10 m del SGM.

Para el lago a cota 200 m, resulta un salto disponible de 35,0 m, un área inundada de 498 há y un volumen almacenado de 45,1 Hm<sup>3</sup>.

Por otro lado, se estimó el volumen medio anual de aporte al embalse a partir del área de la cuenca y del escurrimiento medio mensual en la misma.

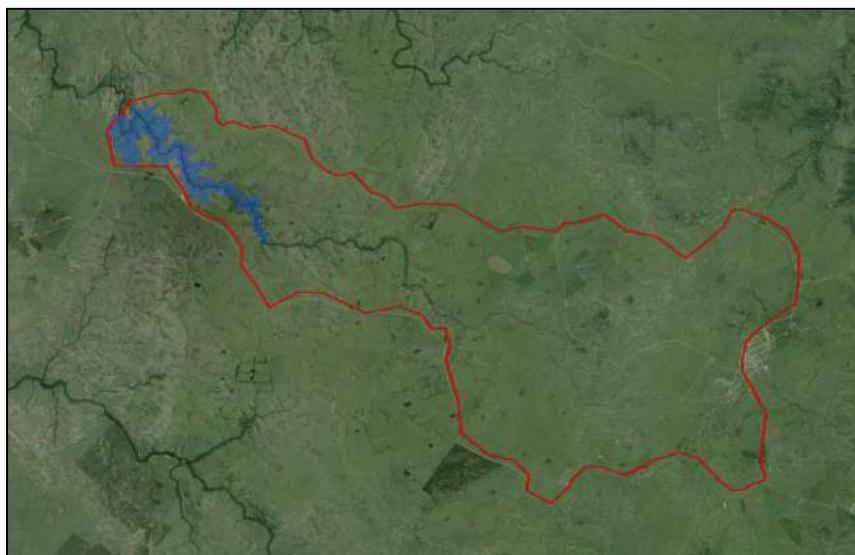


Figura 7-123: Cuenca de aporte - Molles del Pescado

Luego se determinó la relación entre el volumen medio anual de aporte al embalse y el volumen máximo de almacenamiento del mismo (relación cuenca/embalse), a partir de la cual se estimó el factor de capacidad del embalse en la temporada de riego y en la temporada de llenado (según la Figura 4-1).

Tabla 7-317: Caracterización hidrológica - Molles del Pescado

Caracterización hidrológica	
Área de la cuenca (há)	14.304
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	43
Volumen medio de aporte anual (Hm <sup>3</sup> )	74
Volumen máximo de almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	45,1
Relación cuenca/embalse	1,6
Factor de Capacidad (riego)	0,74
Factor de Capacidad (llenado)	0,16

A partir del peso específico del agua, el caudal de funcionamiento (sobre el cual se hacen dos hipótesis de operación, ver punto 4.1-2) y la altura máxima del embalse, se calculó la potencia nominal de la turbina. Luego, empleando el factor de capacidad calculado anteriormente, se determinó la energía media generada en el embalse para cada temporada. Finalmente para calcular la energía media anual se sumaron las energías a generar en cada temporada.

**Tabla 7-318: Disponibilidad energética media - Molles del Pescado**

Disponibilidad energética media		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
$H_{m\acute{a}x}$ (m)	35,0	35,0
Caudal de funcionamiento ( $Hm^3/mes$ )	11,3	33,8
<b>Potencia (kW)</b>	<b>1.270</b>	<b>3.811</b>
Factor de Capacidad (riego)	0,74	
Energía Máx. (riego) (MWh)	3.658	
<b>Energía (riego) (MWh)</b>	<b>2.695</b>	<b>2.695</b>
Factor de Capacidad (llenado)	0,16	0,16
Energía Máx. (llenado) (MWh)	7.316	21.949
<b>Energía (llenado) (MWh)</b>	<b>1.204</b>	<b>3.611</b>
<b>Energía Media Anual (MWh)</b>	<b>3.898</b>	<b>6.305</b>

### Evaluación de aspectos socio-ambientales

Se analizaron varios indicadores que permiten valorar la afectación del lago, como ser los padrones inundados, los usos del suelo y el índice CONEAT de las tierras a inundar.

A partir del parcelario rural de Artigas se analizó la afectación del lago en cuanto a los padrones que serían inundados para la cota considerada (200 m, cota del embalse a nivel de vertedero).



**Tabla 7-319: Padrones inundados a cota 200 m - Molles del Pescado**

Se determinó el área inundada para cada padrón y su relación con el total del área de cada uno de éstos.

Tabla 7-320: Área total y porcentaje de área inundada para cada padrón - Molles del Pescado

Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
5179	19	17,6	94%
13874	35	22,1	63%
8697	33	17,9	54%
13873	30	14,8	50%
8706	48	23,4	49%
9242	291	111,1	38%
18739	107	38,5	36%
8748	204	59,8	29%
15413	47	11,7	25%
1842	227	51,2	23%
18738	357	55,1	15%
1724	203	23,4	12%
11925	209	24,4	12%
11924	234	21,5	9%
14948	49	1,7	3%
5432	375	8,0	2%
10985	48	1,0	2%

Luego, tomando como base la información disponible en RENARE y GoogleEarth, se relevaron los usos del suelo de las tierras a inundar y el área asociada en cada caso; en particular interesó conocer la extensión del monte nativo a ser inundado.

Tabla 7-321: Áreas a inundar según usos del suelo - Molles del Pescado

Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Monte Nativo	94	19%
Pradera Natural	81	16%
Pradera natural con Afloramiento Rocoso	328	65%

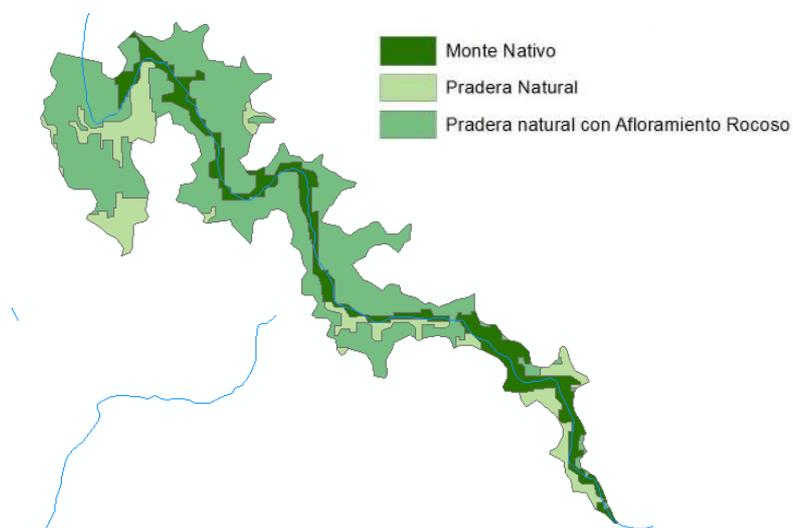


Figura 7-124: Usos del suelo de las tierras a inundar - Molles del Pescado

A continuación se presenta la superficie a inundar en función del índice de productividad CONEAT y el promedio ponderado en el área.

Tabla 7-322: Área a inundar en función del índice CONEAT - Molles del Pescado

Índice CONEAT	Área (há)
26	184
53	292
83	27
<b>Promedio ponderado</b>	<b>45</b>

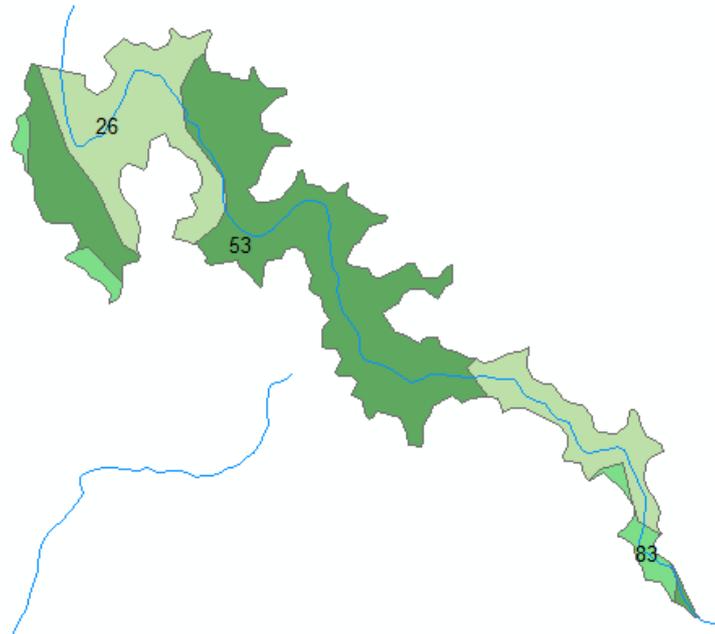


Figura 7-125: Índice CONEAT de las tierras a inundar - Molles del Pescado

En la siguiente figura se puede observar que la presencia del lago no afecta a establecimientos rurales (indicados como ▲), aunque sí inunda un camino vecinal y una línea de energía eléctrica de 15 kV.



Figura 7-126: Extensión del lago e infraestructuras cercanas - Molles del Pescado

Prediseño de la obra civil

En la Tabla 7-323 se presentan los parámetros característicos de la cuenca de aporte y el hidrograma de crecida asociado a un evento de 100 años de período de retorno, determinado a partir del Método del NRCS.

**Tabla 7-323: Parámetros de la cuenca de aporte y avenida de proyecto para 100 años de período de retorno - Molles del Pescado**

Parámetro	Valor
Área (km <sup>2</sup> )	143
Longitud del cauce principal (km)	35
Desnivel geométrico (m)	126
Pendiente media (%)	0,36%
Tiempo de concentración según Kirpich (hrs)	9,02
<b>Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>351</b>

En este caso el aliviadero se diseñó como un vertedero tipo canal.

Se calculó, para cada ancho de canal considerado, el hidrograma de salida, la capacidad de laminación (definida como la relación entre el caudal máximo vertido y el caudal máximo de entrada), la sobreelevación en el embalse y la velocidad en la descarga (que debe ser menor a 1,5 m/s para no erosionar el canal de tierra).

**Tabla 7-324: Laminación para diferentes anchos del vertedero tipo canal - Molles del Pescado**

Ancho del vertedero (m)	50	75	80	90	100
Caudal máximo de entrada (m <sup>3</sup> /s)	351	351	351	351	351
Caudal máximo vertido(m <sup>3</sup> /s)	228	256	259	267	274
Capacidad de laminación	65,1%	72,9%	73,9%	76,1%	78,1%
Sobreelevación (m)	2,7	2,2	2,2	2,1	2,0
Velocidad en la descarga (m/s)	1,65	1,52	1,49	1,45	1,41

De estos resultados se desprende que para materializar el vertedero tipo canal que asegure la estabilidad de la presa frente al sobrepasamiento es necesaria una revancha del orden de 1,5 m.

**Tabla 7-325: Cota de coronamiento - Molles del Pescado**

Cota de vertido (m)	200,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Cota de coronamiento (m)</b>	<b>203,0</b>

**Tabla 7-326: Altura de presa - Molles del Pescado**

Altura máxima del embalse (m)	35,0
Altura de revancha (m)	3,0
<b>Altura de la presa (m)</b>	<b>38,0</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la altura de presa considerada y en la Figura 7-127 se presenta el perfil del terreno (en marrón) en la

dirección de la traza propuesta para la presa (según la Figura 7-128), la cota de coronamiento (en negro) y la cota de vertido de la misma (en trazo discontinuo).

Tabla 7-327: Volumen de material requerido para la construcción de la presa - Molles del Pescado

Altura de presa (m)	38,0
Ancho de coronamiento (m)	10,0
Talud aguas arriba (1V:mH)	1V:3H
Talud aguas abajo (1V:mH)	1V:2,5H
Longitud del cierre (m)	740
Volumen de material (m <sup>3</sup> )	837.400

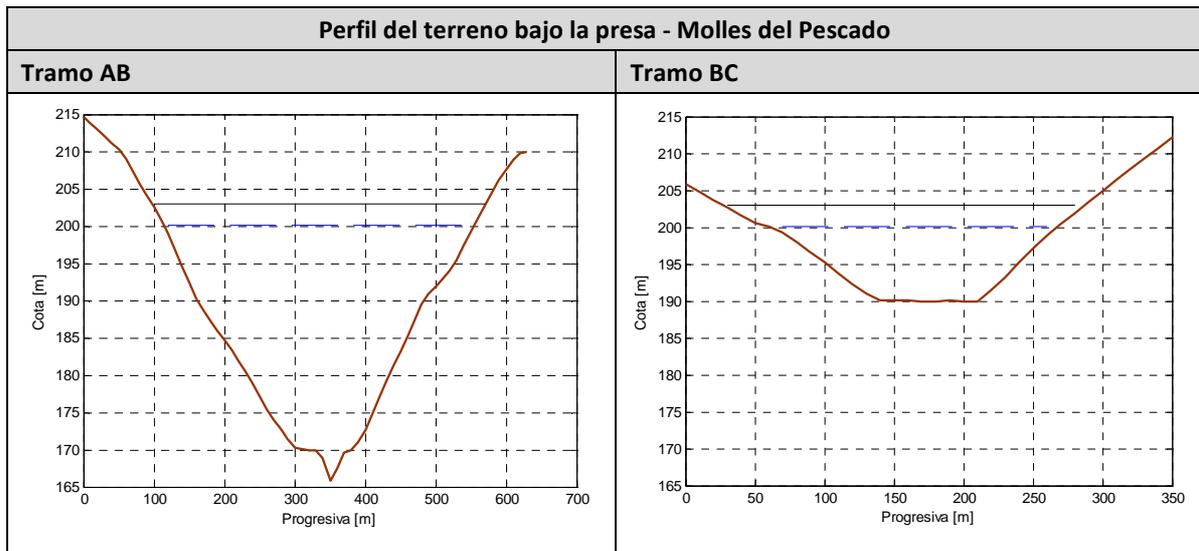


Figura 7-127: Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba hacia aguas abajo) - Molles del Pescado

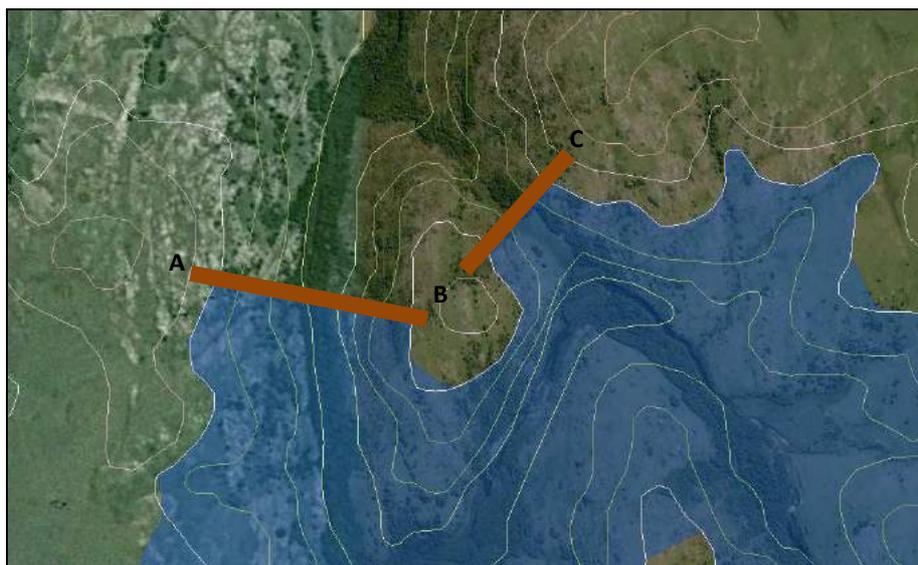


Figura 7-128: Cierre propuesto para la presa a cota 200 m - Molles del Pescado

Estimación del costo de inversión

En base al volumen de materiales sueltos requerido para la presa y del volumen de hormigón necesario para el vertedero se estimó el costo de la obra civil.

**Tabla 7-328: Costo de la obra civil - Molles del Pescado**

<b>Volumen de tierra (m<sup>3</sup>)</b>	837.400
<b>Costo de la presa (USD)</b>	<b>5.400.000</b>
<b>Volumen de hormigón (m<sup>3</sup>)</b>	0
<b>Costo del vertedero (USD)</b>	<b>0</b>
<b>Costo de la obra civil (USD)</b>	<b>5.400.000</b>

Dado que las tierras a inundar pertenecen a la zona 10 (según la Figura 4-2 con las zonas de similar aptitud y uso del suelo) y, en función de su índice CONEAT, se adoptó un precio de la tierra de 1.800 USD/há. Multiplicando dicho valor por la superficie a inundar, resulta un costo de expropiación de USD 900.000.

Con respecto al costo del equipo electromecánico, en base a la potencia instalada y suponiendo un costo unitario de 1.750 USD/kW instalado, resulta un costo de USD 2.200.000 bajo la hipótesis de riego continuo y de USD 6.700.000 en el escenario de riego intermitente.

A partir de la potencia instalada y de las intensidades toleradas por las líneas eléctricas aéreas se seleccionó la tensión y la sección del cable necesarias, resultando una tensión de 15 kV y una sección de 50/8 mm<sup>2</sup> (línea denominada ACSR-50/8).

Para estimar el costo del tendido eléctrico, se identificó la línea de 15 kV existente más cercana y se propuso un trazado tentativo de 2 km de longitud (evitando atravesar predios y bordeando caminos y/o alambrados). En la Figura 7-129 se presenta el trazado propuesto para el tendido de la línea eléctrica aérea (en color rojo) hasta la línea de 15 kV existente (en color blanco). A partir de la información brindada por UTE (Tabla 4-3), se calculó el costo del tendido eléctrico y el puesto de conexión, resultando un total de USD 148.600.



**Figura 7-129: Tendido eléctrico hasta línea de 15 kV - Molles del Pescado**

A continuación se presenta el costo de inversión resultante bajo cada hipótesis de operación del embalse, desglosado en sus principales rubros.

**Tabla 7-329: Costo de inversión - Molles del Pescado**

Costo de inversión (USD)		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de la obra civil	5.400.000	5.400.000
Costo de expropiación	900.000	900.000
Costo del equipo electromecánico	2.200.000	6.700.000
Costo del tendido eléctrico	148.600	148.600
<b>Costo total</b>	<b>8.700.000</b>	<b>13.100.000</b>

### Análisis del retorno de la inversión

Se comenzó por analizar la rentabilidad de la inversión en las instalaciones necesarias para la generación hidroeléctrica (equipo electromecánico y tendido eléctrico de conexión), sin considerar la inversión en la obra civil de la presa; si ésta tiene como uso prioritario el riego, debería amortizarse con la actividad agropecuaria.

Para ello se tomó un precio de venta de la energía de 90 USD/MWh en contrato a 20 años<sup>19</sup>. Se determinó el ingreso neto anual calculado como la diferencia entre los ingresos por venta de energía y el costo de O&M del equipo electromecánico. Luego, a partir del costo de inversión asociado a la generación (sin incluir la presa ni la expropiación del terreno) se calculó la TIR para un período de amortización de 20 años.

**Tabla 7-330: Análisis del retorno de la inversión asociada a la generación hidroeléctrica para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Molles del Pescado**

Análisis del retorno de la inversión		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	2.350.000	6.850.000
Ingresos por venta de energía (USD/año)	350.000	570.000
Costo de O&M (USD/año)	90.000	270.000
<b>Ingresos netos (USD/año)</b>	<b>260.000</b>	<b>300.000</b>
<b>TIR para 20 años (%)</b>	<b>9,1%</b>	<b>&lt; 0,0%</b>

Además, se calcularon los precios que debería pagarse la energía generada para que, con idénticas condiciones de generación y costos, se obtenga una TIR a 20 años de 8, 10, 12, 14 y 16%.

<sup>19</sup> Valor tentativo que tiene como antecedente la resolución 12.-1056 del Directorio de UTE referida a un caso particular que le fue sometido.

Tabla 7-331: Precios de la energía para TIR dado a 20 años - Molles del Pescado

Precio de la energía según TIR a 20 años		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
TIR = 8%	85 USD/MWh	152 USD/MWh
TIR = 10%	94 USD/MWh	169 USD/MWh
TIR = 12%	104 USD/MWh	187 USD/MWh
TIR = 14%	115 USD/MWh	205 USD/MWh
TIR = 16%	125 USD/MWh	224 USD/MWh

Se volvió a calcular la TIR adjudicando al emprendimiento de generación hidroeléctrica, además de las inversiones y los costos inherentes a la generación ya considerados, distintos porcentajes de la inversión en la expropiación de la tierra y obra civil y los costos de O&M asociados.

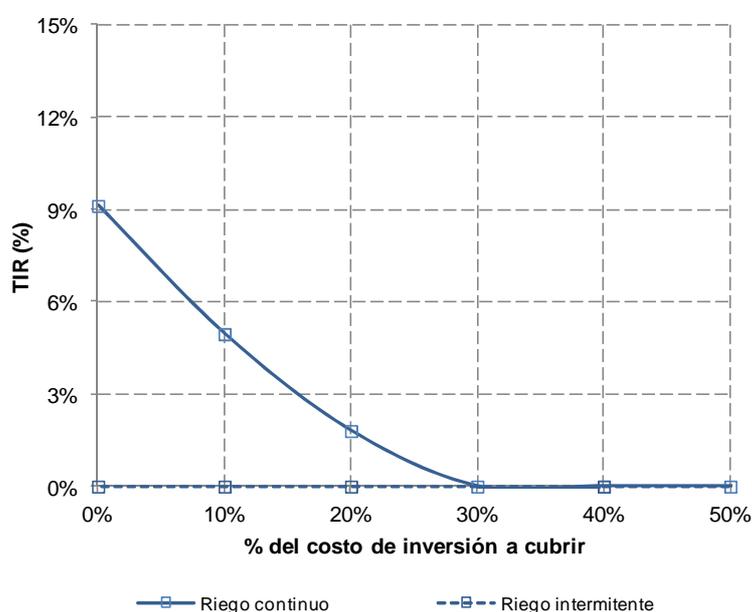


Figura 7-130: TIR para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh en función del porcentaje del costo de la obra civil y de expropiación adjudicado al emprendimiento de generación hidroeléctrica - Molles del Pescado

A los efectos de calcular la rentabilidad global de la inversión es necesario estimar un valor asociado a la disponibilidad del agua para riego (equivalencia en arroz). Para ello se asumió un rendimiento de 500 kg por hectárea, una dotación de 14.000 m<sup>3</sup>/há/año y un valor de USD 13 los 50 kg (“la bolsa”) (fuente: <http://www.aca.com.uy>).

Tabla 7-332: Análisis del retorno de la inversión global (riego+energía) para un período de amortización de 20 años y un precio de la energía de 90 USD/MWh - Molles del Pescado

Análisis del retorno de la inversión global		
Escenario de operación del embalse	Continuo	Intermitente
Costo de inversión (USD)	8.710.000	13.160.000
Ingresos totales (USD/año)	659.500	876.100
Costo de O&M (USD/año)	306.600	484.500
Ingresos netos (USD/año)	352.800	391.600
TIR para 20 años (%)	< 0,0%	< 0,0%