

QUINTA SESIÓN DEL CONSEJO REGIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA CUENCA DEL RÍO URUGUAY

16 de octubre de 2014 | Sala Lavalleja - Durazno

Presentación del estudio para la instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas en Uruguay

Rafael Terra | Daniel Schenzer

Alejandra de Vera, Nicolás Rezzano, Magdalena Crisci

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

Organizan:



Apoyan:



**Disponibilidad
energética de PCH**

Manual y Guía simple de cálculo

**Aspectos
Ambientales**

Manual y Guía Ambiental, Guía GEI

**Riego + Generación
Presas Existentes**



**Riego + Generación
Presas Nuevas**

**Sólo Generación
Presas Nuevas**



Estudio de pre-factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)

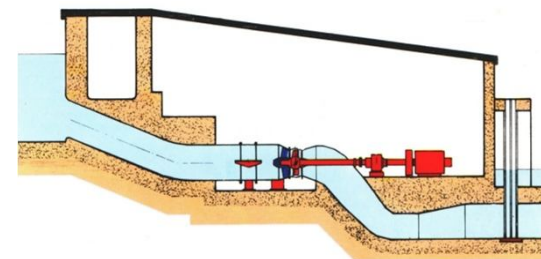
Riego + Generación hidroeléctrica



Metodología

Presas Existentes

Presas Nuevas

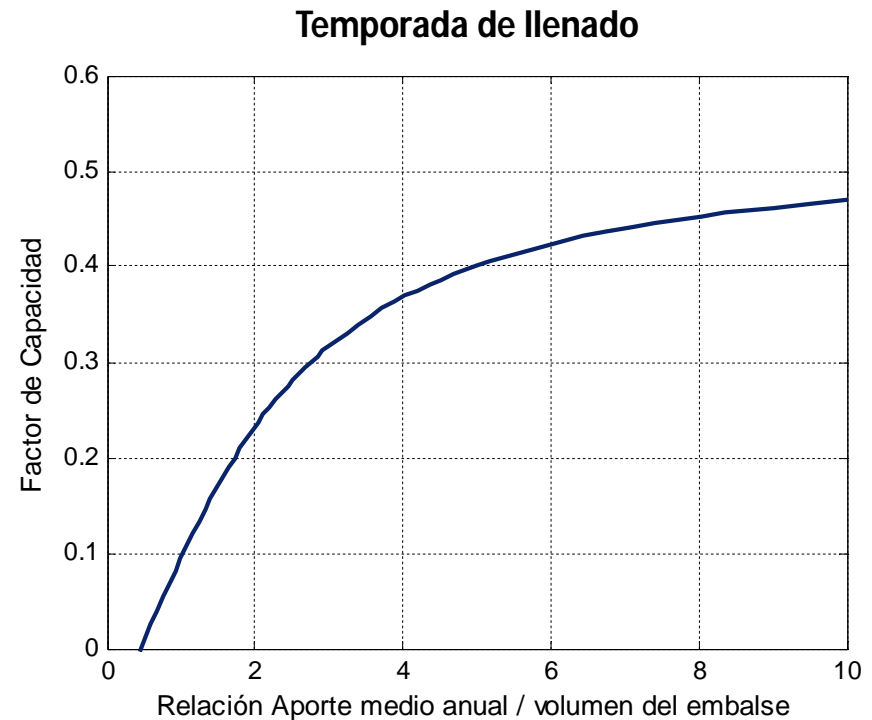
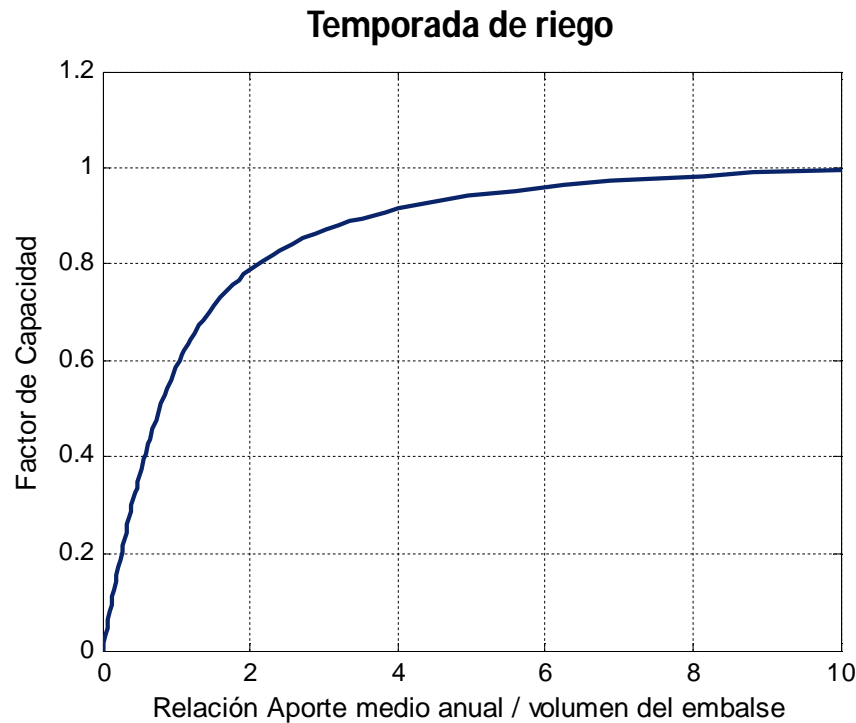


Pasos



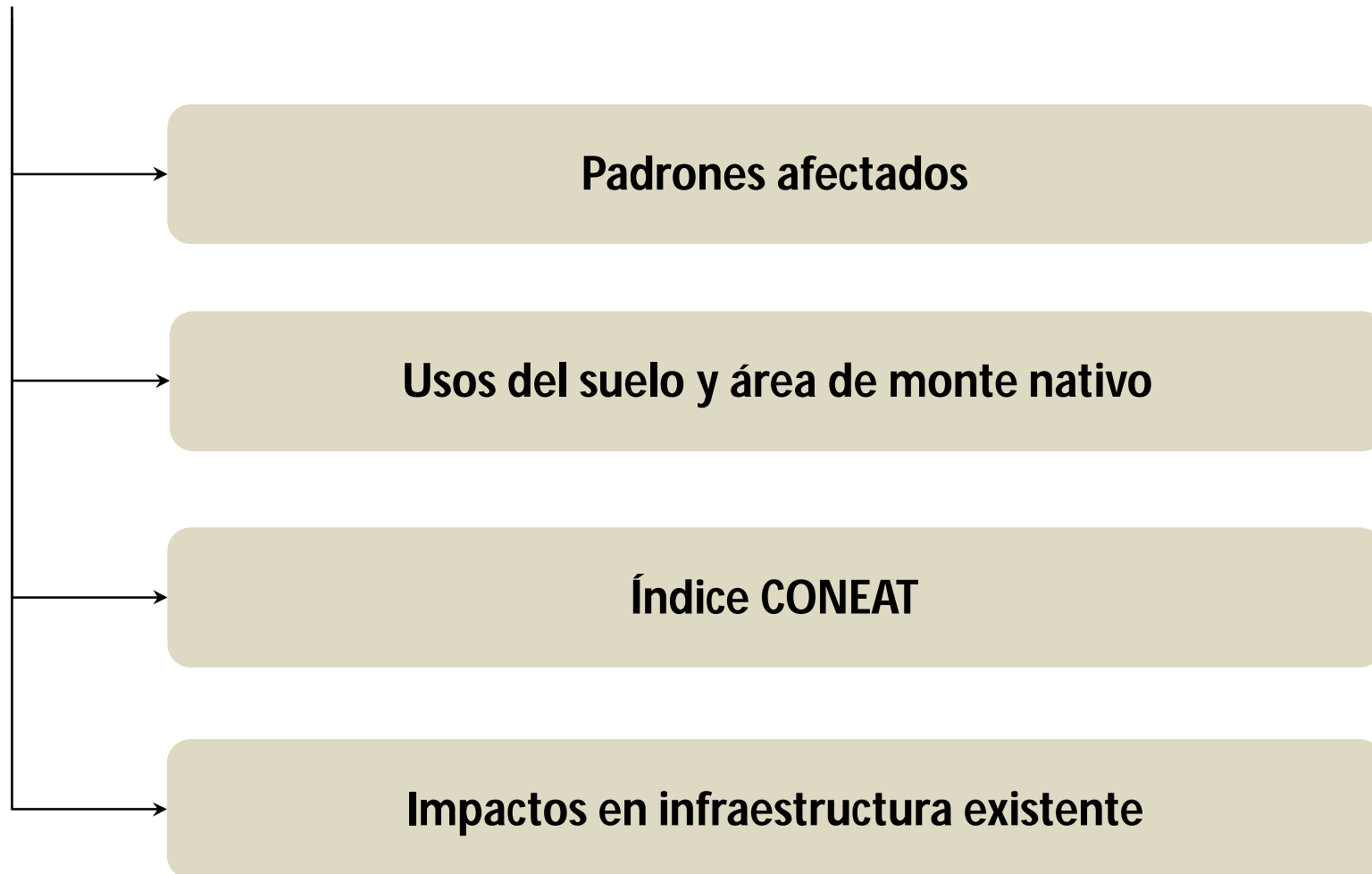
Disponibilidad energética media

Factor de Capacidad



Desarrollado en ***“Guía para estimar la disponibilidad energética de pequeñas centrales hidroeléctricas”***.

Evaluación de aspectos socio-ambientales



(Sólo para presas nuevas)

Pre-diseño de la obra civil

Vertedero y seguridad de la obra

- Evento hidrológico de diseño (período de retorno).
- Tipología del aliviadero (canal o vertedero de hormigón).
- Selección del ancho del vertedero.

Dimensiones básicas de la presa

- Cota de coronamiento.
- Altura y longitud de presa.
- Ancho de coronamiento.
- Taludes laterales.
- Volumen de material requerido.

(Sólo para presas nuevas)

Análisis del retorno de la inversión

Costos de inversión (I_0)

Ingresos netos (V_t)

Remuneración por la energía generada
(90 U\$/MWh durante los primeros 20 años)

Costos de O&M

Cálculo de TIR para un período de amortización de 20 años

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

(Se calculó con *ind*: PPI, media histórica 2,5%)

Sensibilidad de la TIR al precio de la energía.

Estudio de pre-factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)

Riego + Generación hidroeléctrica

Metodología

Presas Existentes

Presas Nuevas

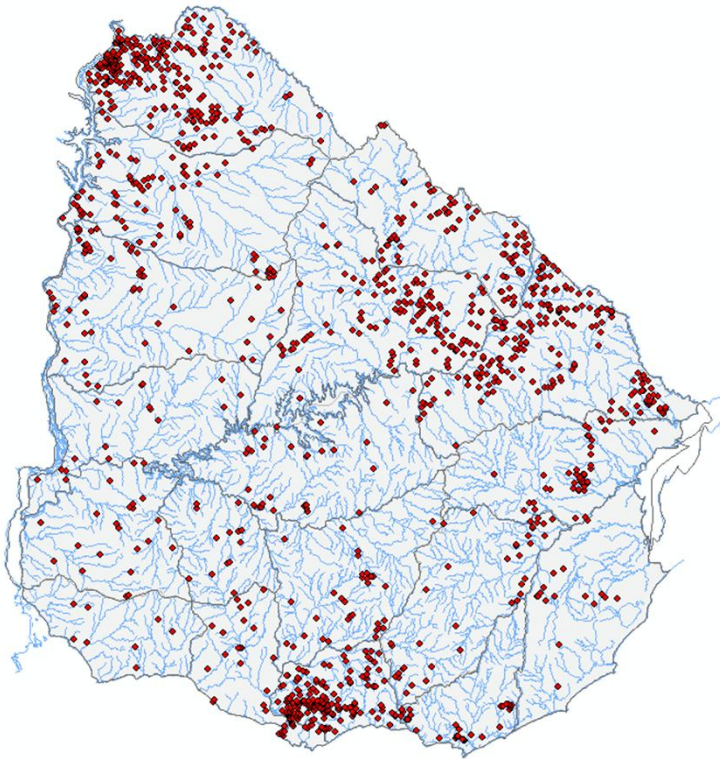


PCH multipropósito en represas ya construidas

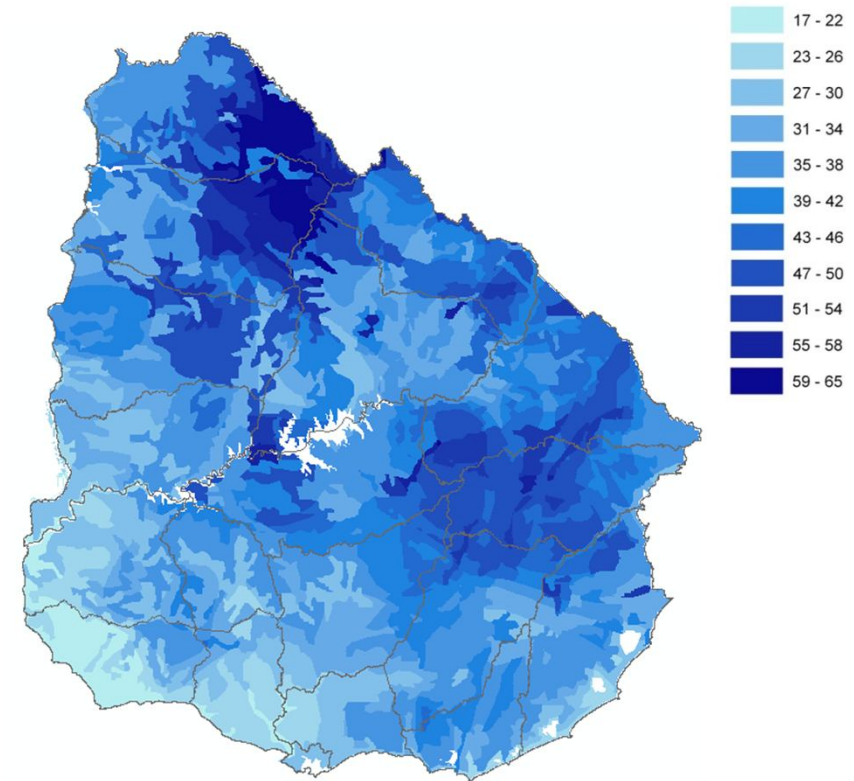
Evaluación preliminar del potencial de generación hidroeléctrica

Base de datos de DINAGUA

1331 embalses registrados (a nov. de 2011)



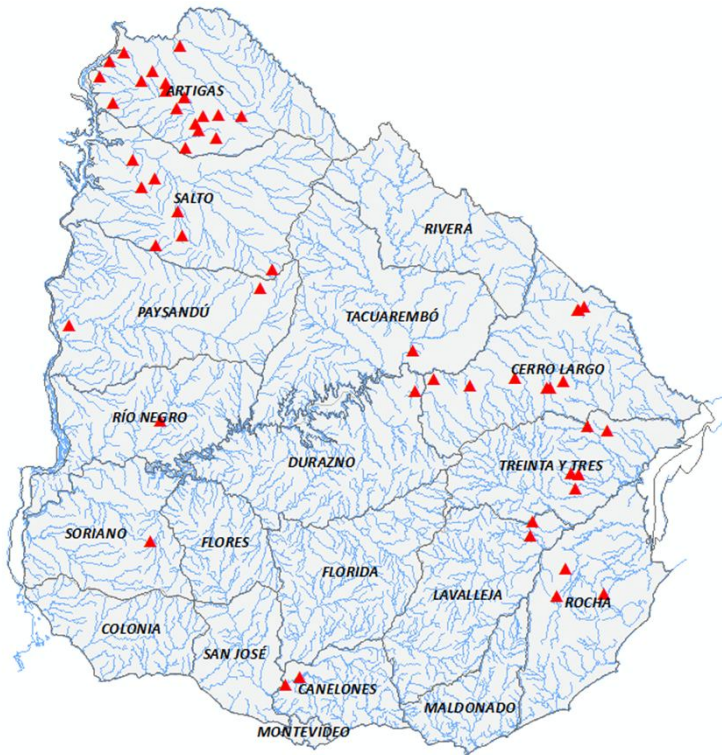
Mapa de escurrimiento medio (mm/mes)



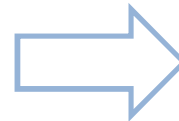
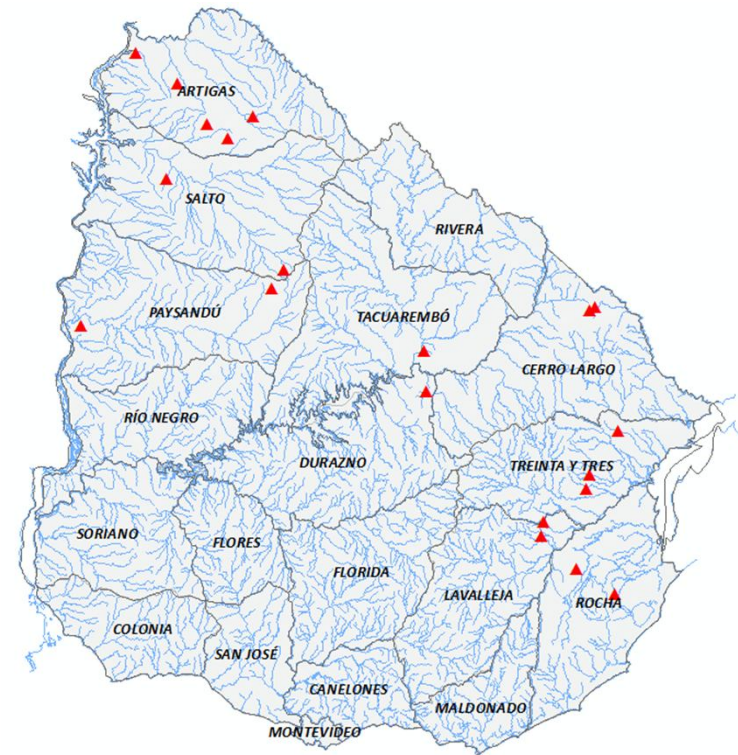
PCH multipropósito en represas ya construidas

Selección de 20 casos (MGAP)

50 primeros embalses según criterios energéticos preliminares



20 embalses seleccionados por MGAP



PCH multipropósito en represas ya construidas

Aplicación a un caso: A°. del Estado (Durazno)

Disponibilidad energética



Área de la cuenca (há)	9.375
Esc. medio ponderado en la cuenca (mm/mes)	41,0
Volumen medio de aporte anual (Hm³)	46,1
Volumen máximo de almacenamiento (Hm³)	9,27
Relación cuenca/embalse	4,98
Factor de Capacidad _(riego)	0,94
Factor de Capacidad _(llenado)	0,35

Escenario de operación del embalse	Continuo
H _{máx} (m)	12,5
Caudal de funcionamiento (Hm ³ /mes)	2,32
Potencia (kW)	93
Factor de Capacidad _(riego)	0,94
Energía Máx. _(riego) (MWh)	268
Energía _(riego) (MWh)	252
Factor de Capacidad _(llenado)	0,35
Energía Máx. _(llenado) (MWh)	537
Energía _(llenado) (MWh)	188
Energía Media Anual (MWh)	441

PCH multipropósito en represas ya construidas

Aplicación a un caso: A°. del Estado (Durazno)

Análisis del retorno de la inversión

Retorno de la inversión - 90 U\$/MWh durante 20 años	
Escenario de operación del embalse	Continuo
Potencia (kW)	93
Distancia a la red (km)	1,9
Costo de inversión (U\$)	307.000
Ingresos por venta de energía (U\$/año)	39.600
Costo de O&M (U\$/año)	6.500
Ingresos netos (U\$/año)	33.000
TIR para 20 años (%)	11,3%

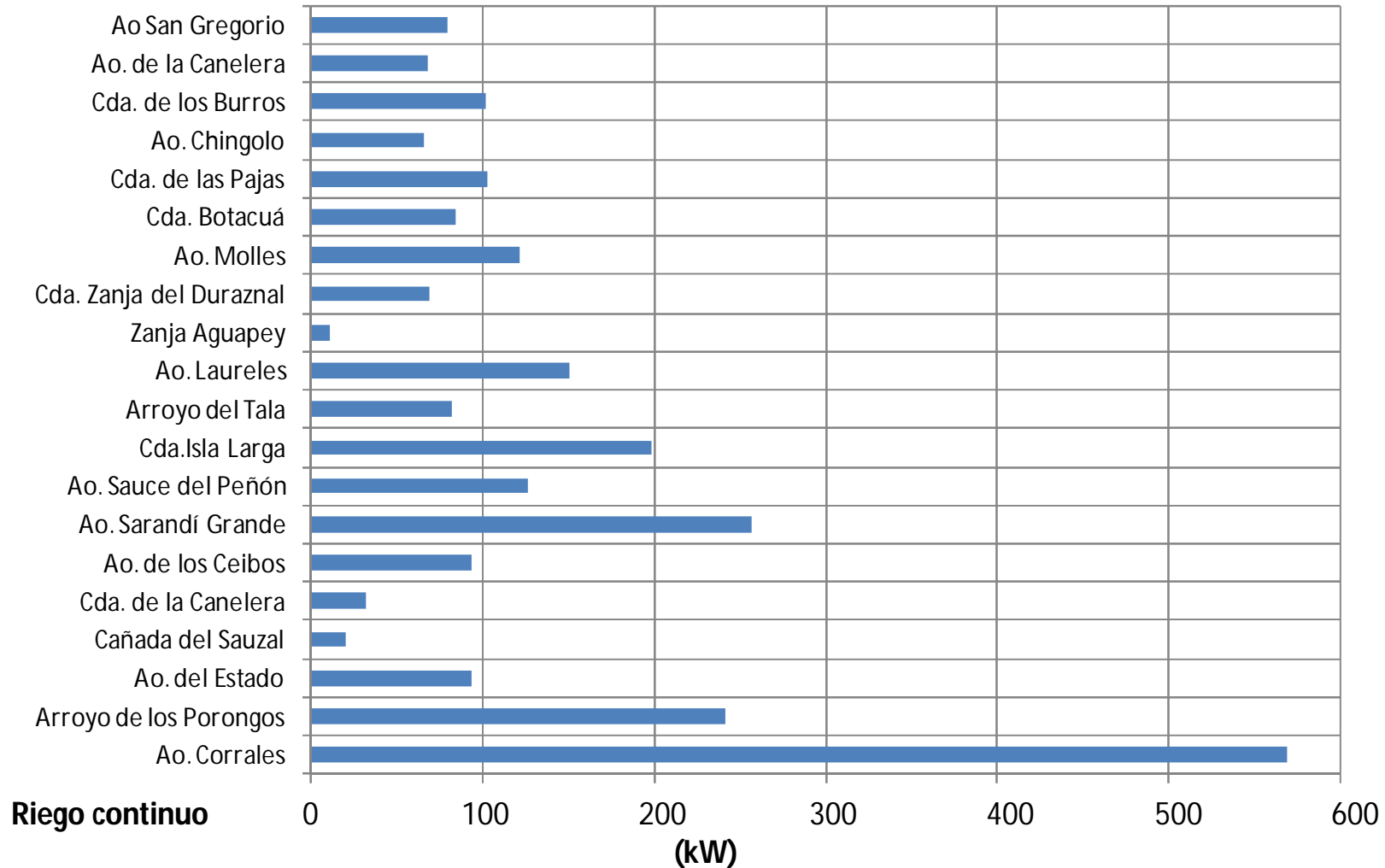


Tendido de la línea de energía eléctrica

Precio de la energía según TIR a 20 años	
Escenario de operación del embalse	Continuo
TIR = 8%	73 USD/MWh
TIR = 10%	83 USD/MWh
TIR = 12%	94 USD/MWh
TIR = 14%	105 USD/MWh
TIR = 16%	117 USD/MWh

PCH multipropósito en represas ya construidas

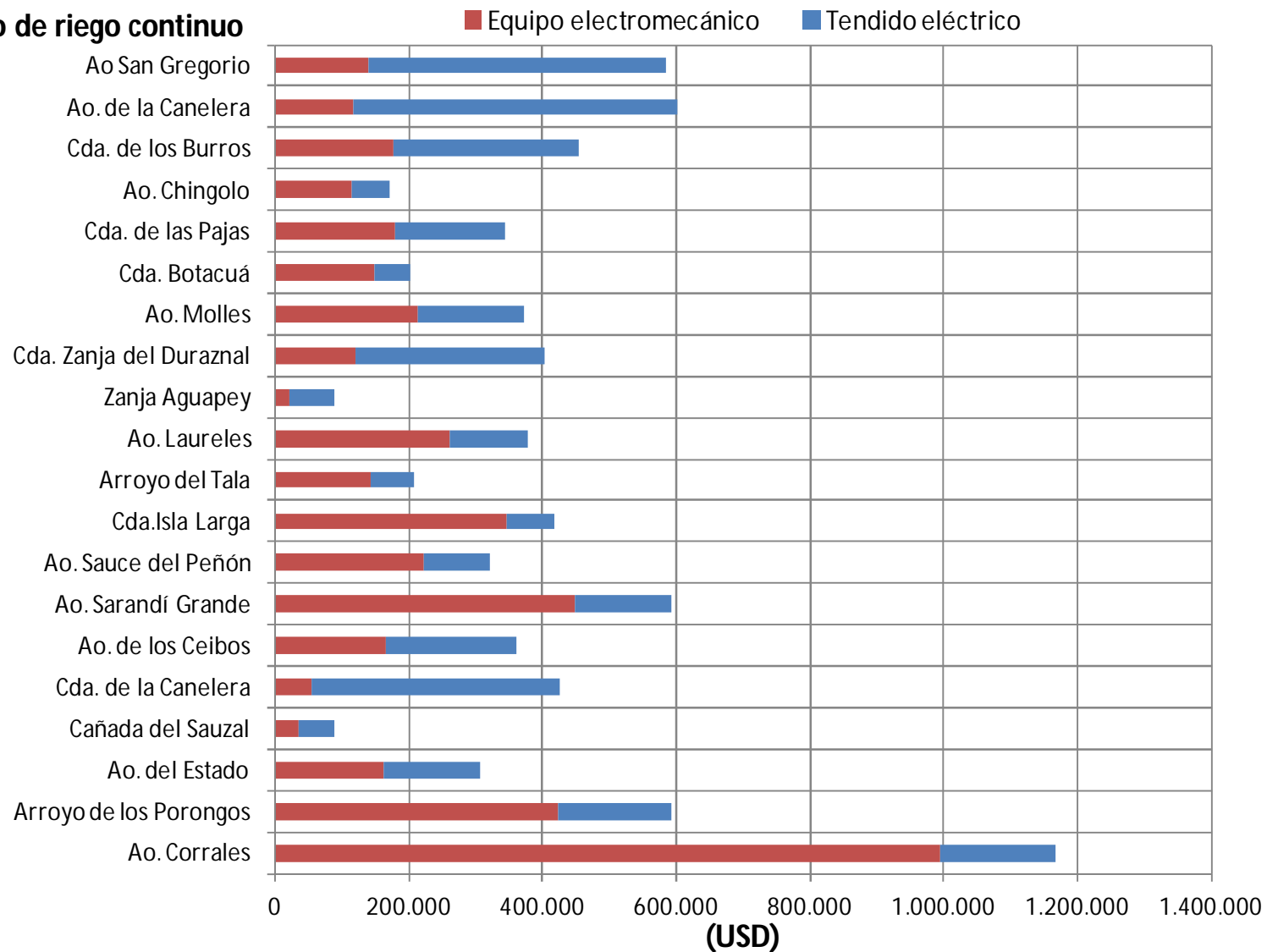
Potencia nominal



PCH multipropósito en represas ya construidas

Costo de inversión

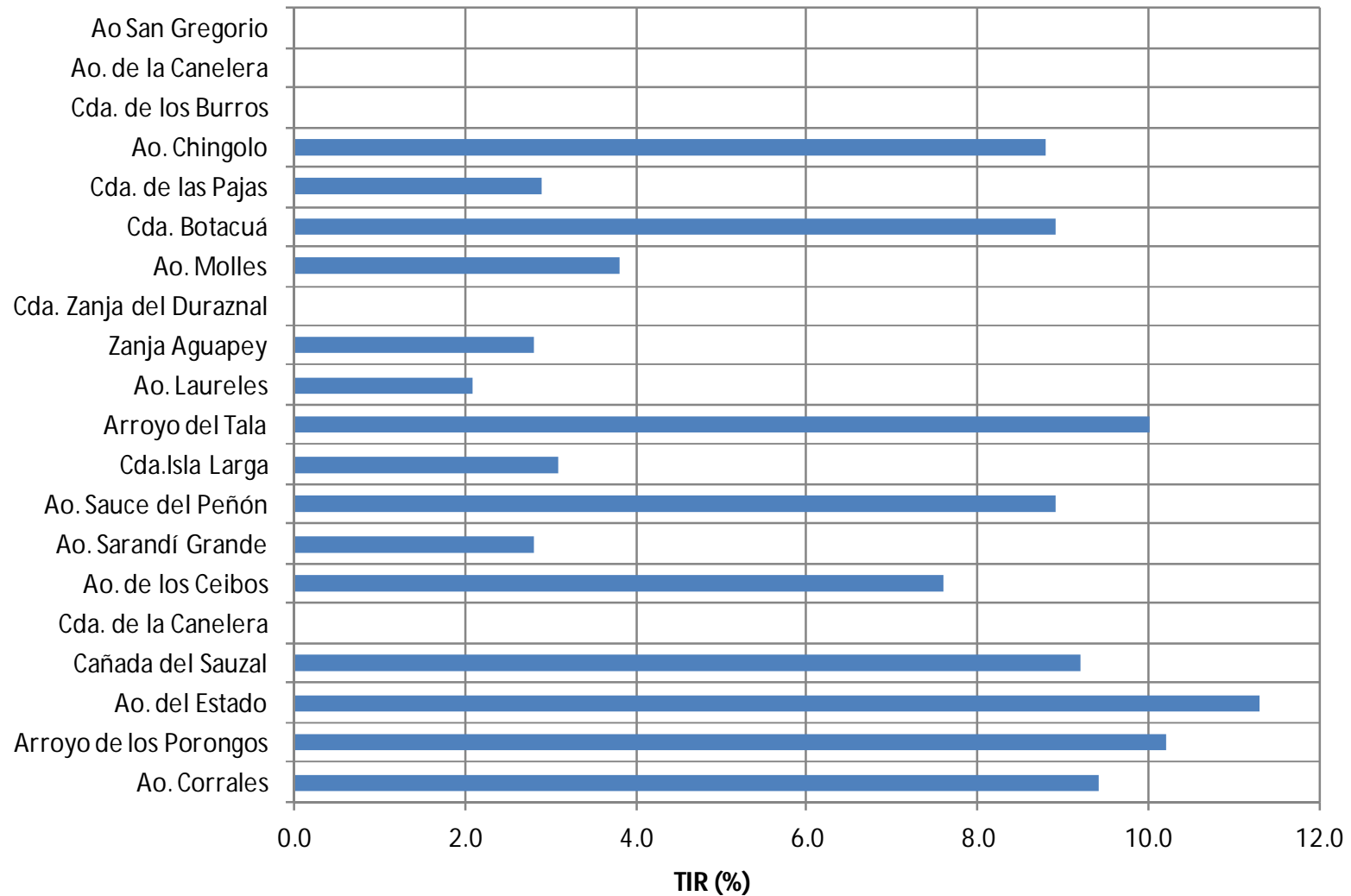
Escenario de riego continuo



PCH multipropósito en represas ya construidas

Tasa interna de retorno a 20 años

Escenario de riego continuo



PCH multipropósito en represas ya construidas

Se seleccionaron 3 casos para profundizar estudio:

Información detallada de operación del embalse y cota de restitución en los canales de riego.

Detalle de conexión a la red.

Selección de maquinaria electromecánica y cotización.

Análisis más detallado de rentabilidad (beneficio fiscales por Ley de Promoción de Inversiones, etc).

.....

Estudio de pre-factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)

Riego + Generación hidroeléctrica

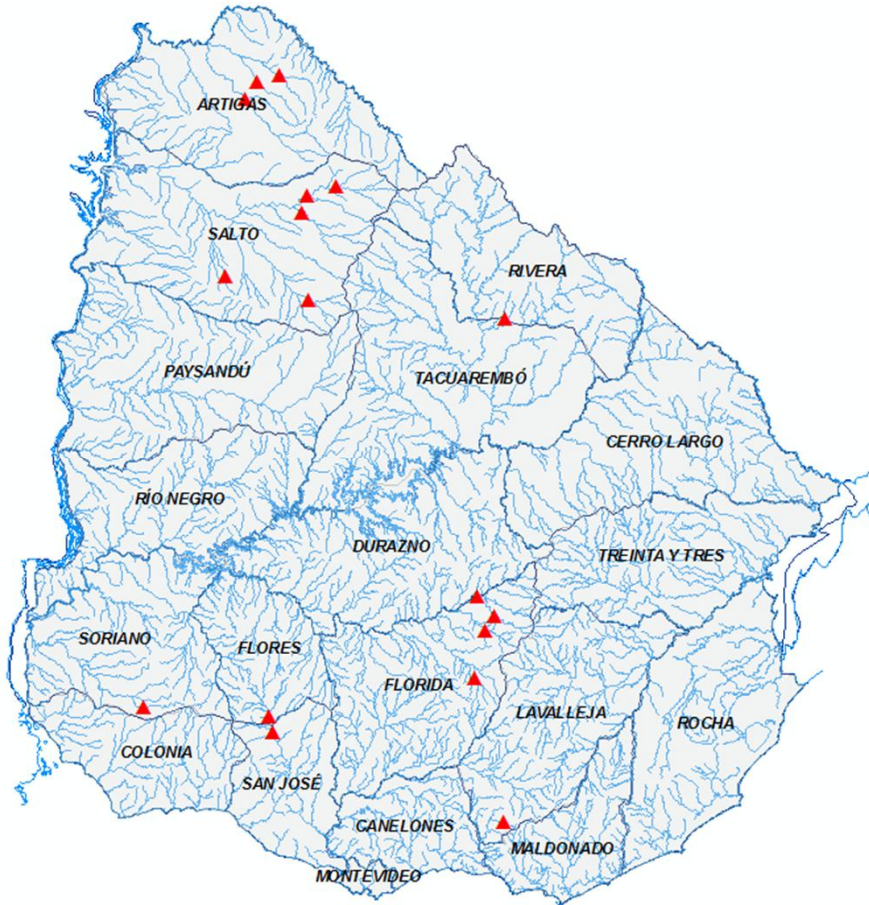
Metodología

Presas Existentes

Presas Nuevas



PCHs multipropósito nuevas



Selección de 17 sitios por el
MGAP en base a iniciativas de
riego multipredial a nivel local

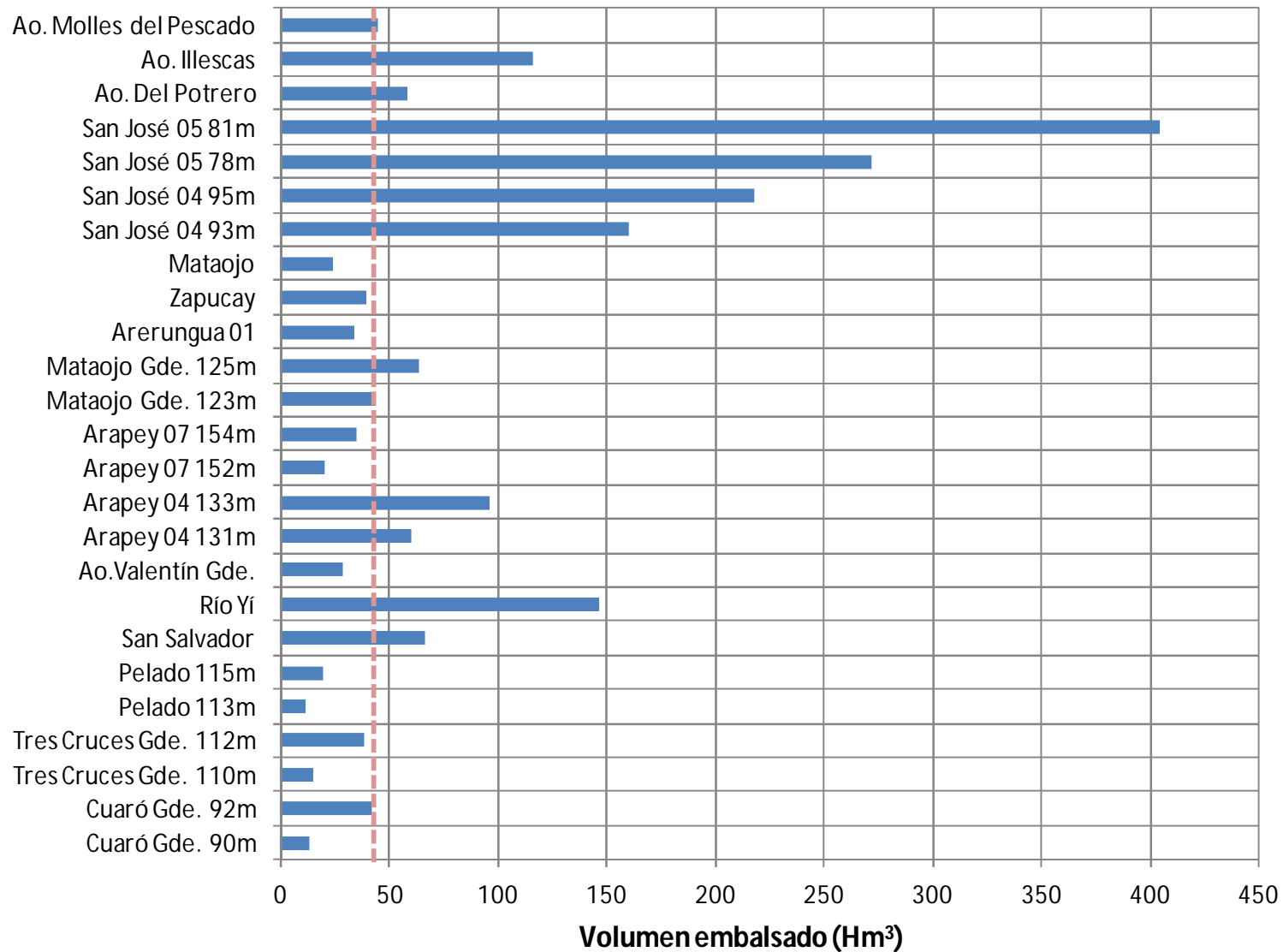
+

Sensibilidad a parámetros de
diseño en algunos casos

25 estudios de pre-factibilidad

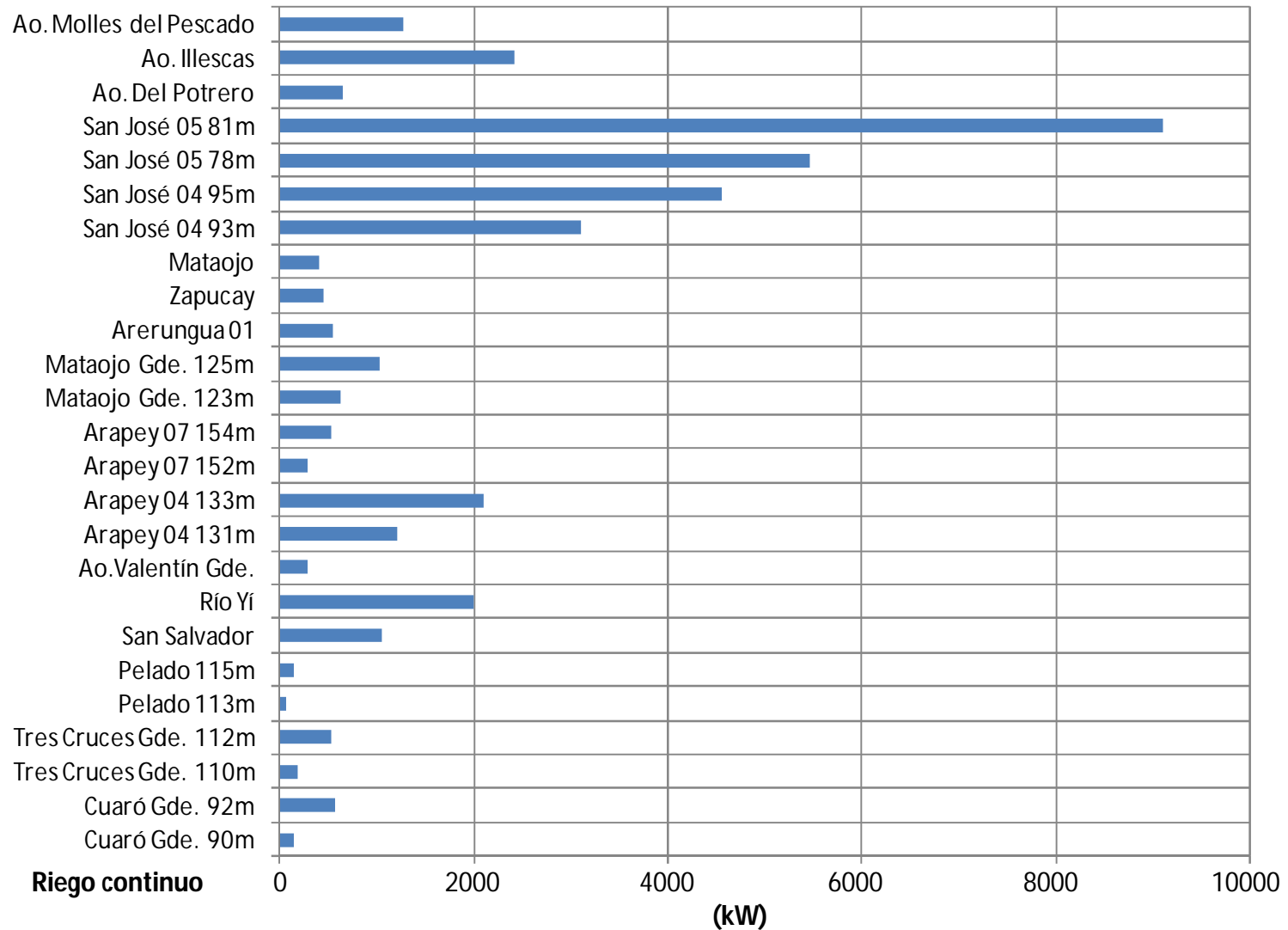
PCHs multipropósito nuevas

Volumen máximo de almacenamiento del embalse



PCHs multipropósito nuevas

Potencia nominal a instalar

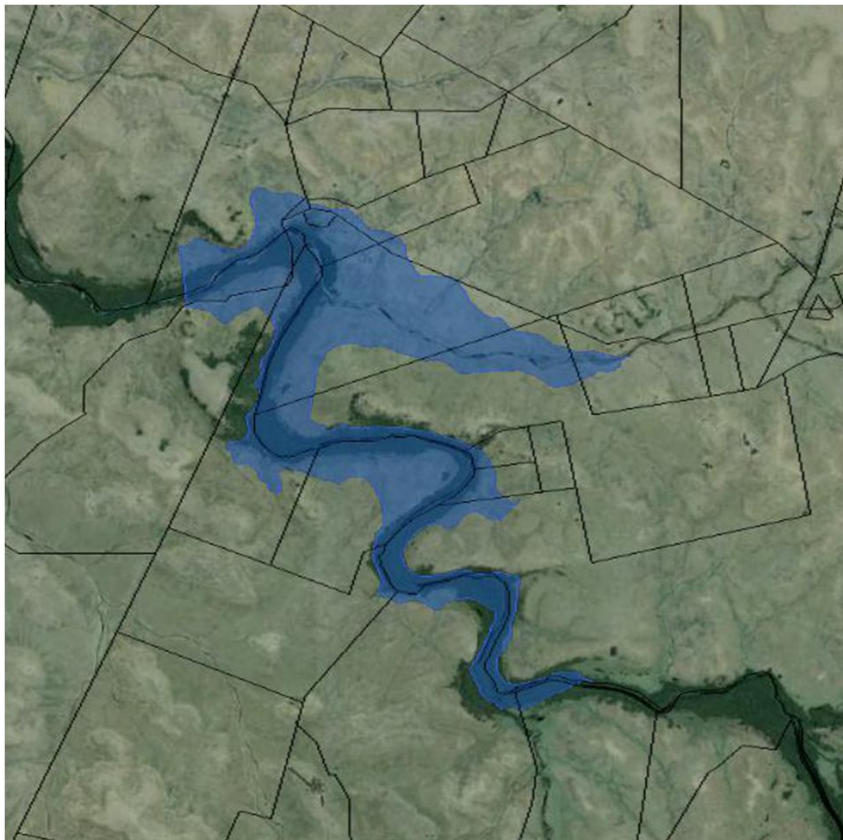


PCHs multipropósito nuevas

Aplicación a un caso: Ao. Mataojo Gde, cota 123 m (Salto)

Evaluación de aspectos socio-ambientales

Padrones inundados



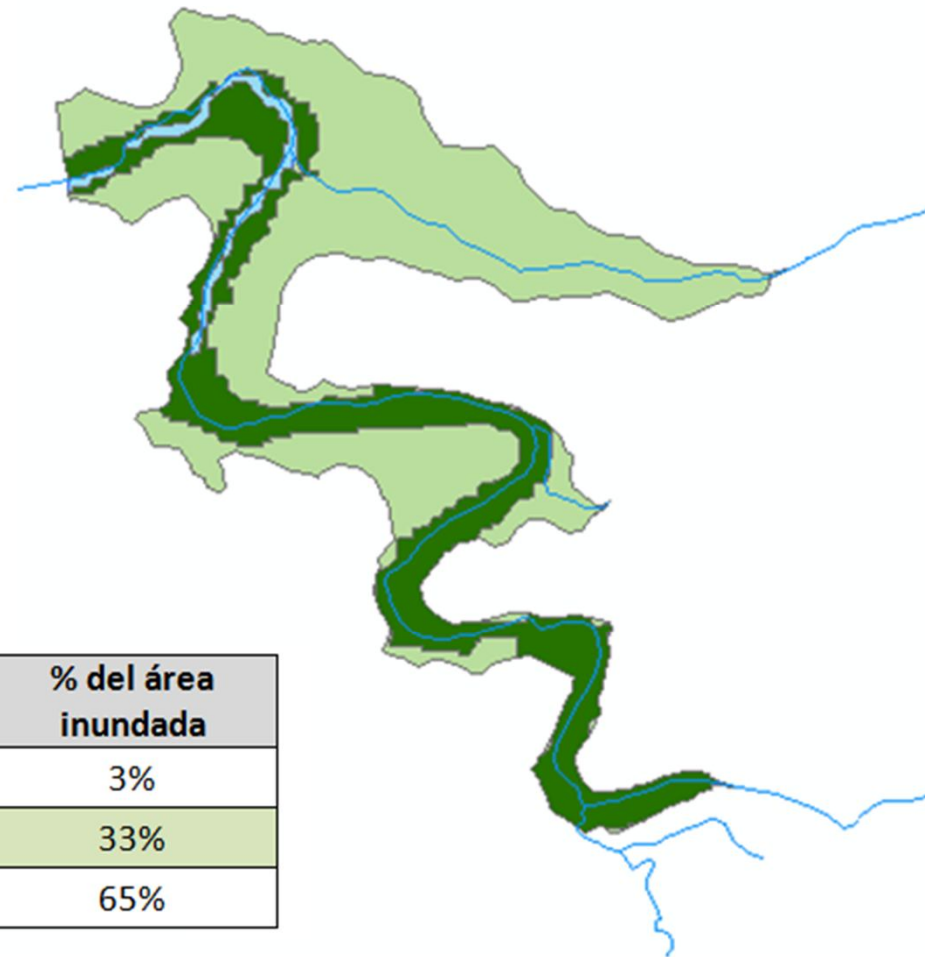
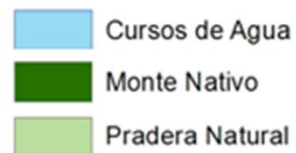
Padrón	Área del padrón (há)	Área inundada (há)	% Área inundada
3696	6	5,7	100%
876	5	5,4	100%
2269	1	0,6	100%
3696	33	33,0	100%
764	3	2,7	95%
883	310	247,4	80%
7024	245	124,3	51%
.....

PCHs multipropósito nuevas

Aplicación a un caso: Ao. Mataojo Gde, cota 123 m (Salto)

Evaluación de aspectos socio-ambientales

Usos del suelo y área de monte nativo



Cobertura del suelo	Área (há)	% del área inundada
Cursos de Agua	25	3%
Monte Nativo	302	33%
Pradera Natural	593	65%

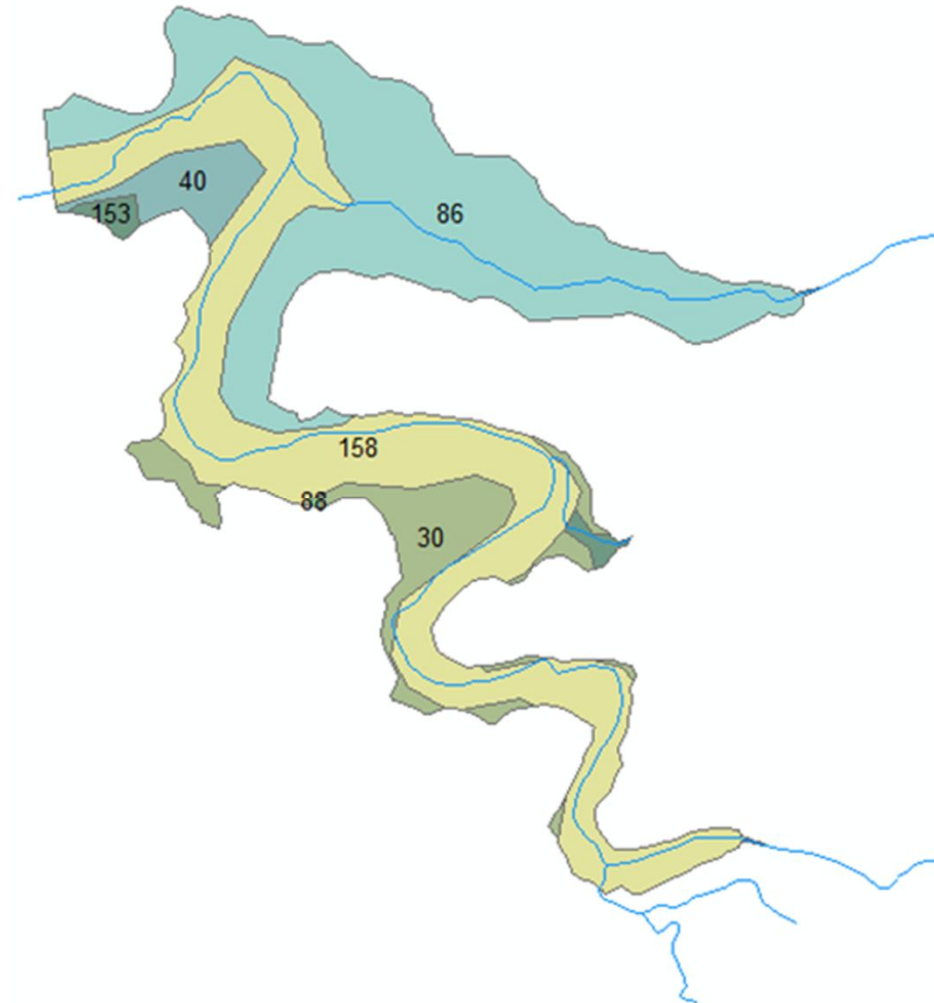
PCHs multipropósito nuevas

Aplicación a un caso: Ao. Mataojo Gde, cota 123 m (Salto)

Evaluación de aspectos socio-ambientales

Índice CONEAT

Índice CONEAT	Área (há)
30	92
40	41
86	368
88	1
153	14
158	404
Promedio ponderado	111

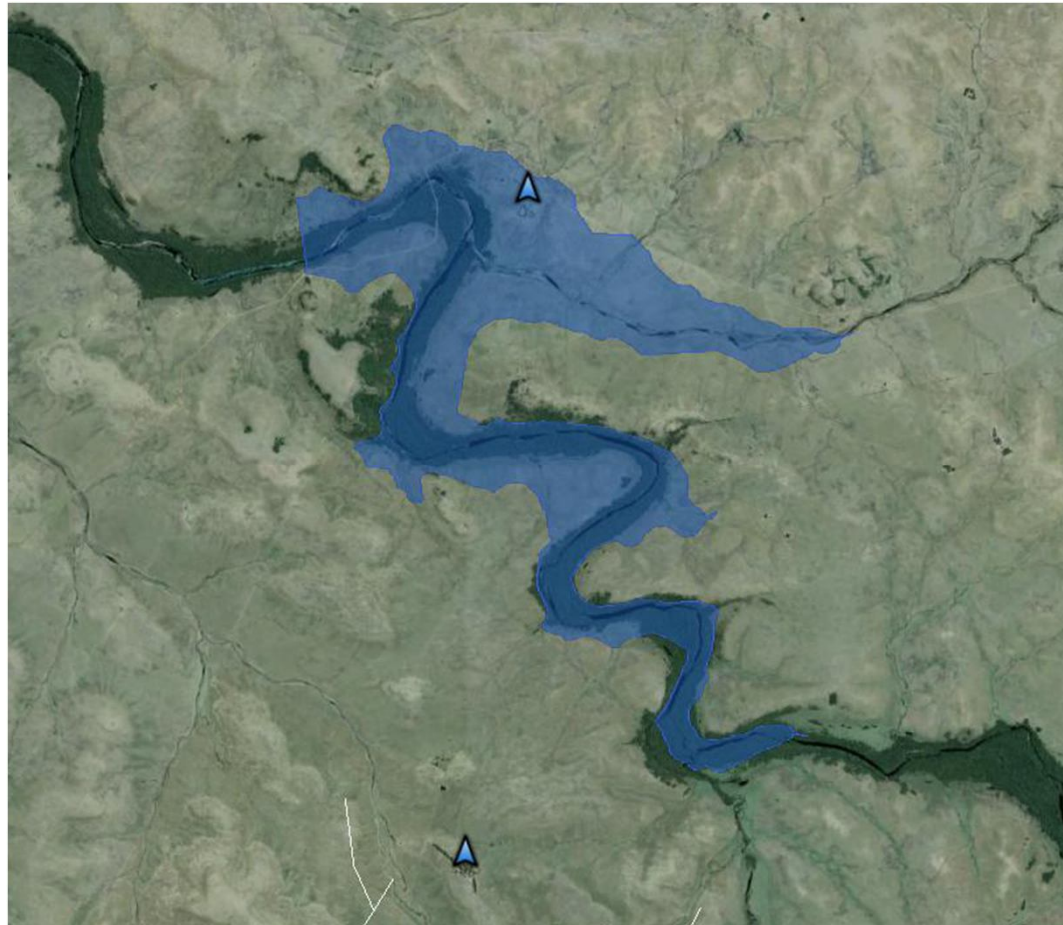


PCHs multipropósito nuevas

Aplicación a un caso: Ao. Mataojo Gde, cota 123 m (Salto)

Evaluación de aspectos socio-ambientales

Impactos en infraestructura existente



PCHs multipropósito nuevas

Aplicación a un caso: Ao. Mataojo Gde, cota 123 m (Salto)

Pre-diseño de la obra civil

Cota de coronamiento y altura de presa

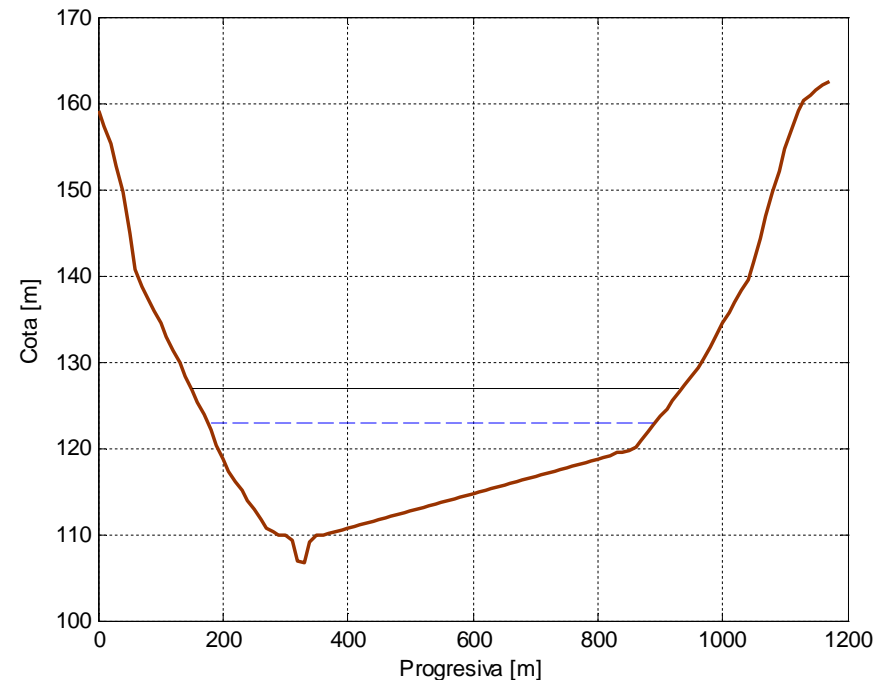
Cota de vertido (m)	123,0
Altura de revancha (m)	4,0
Cota de coronamiento (m)	127,0

Altura máxima del embalse (m)	18,0
Altura de revancha (m)	4,0
Altura de la presa (m)	22,0

Volumen de material para construcción de la presa

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
Volumen de material (m ³)	392.400

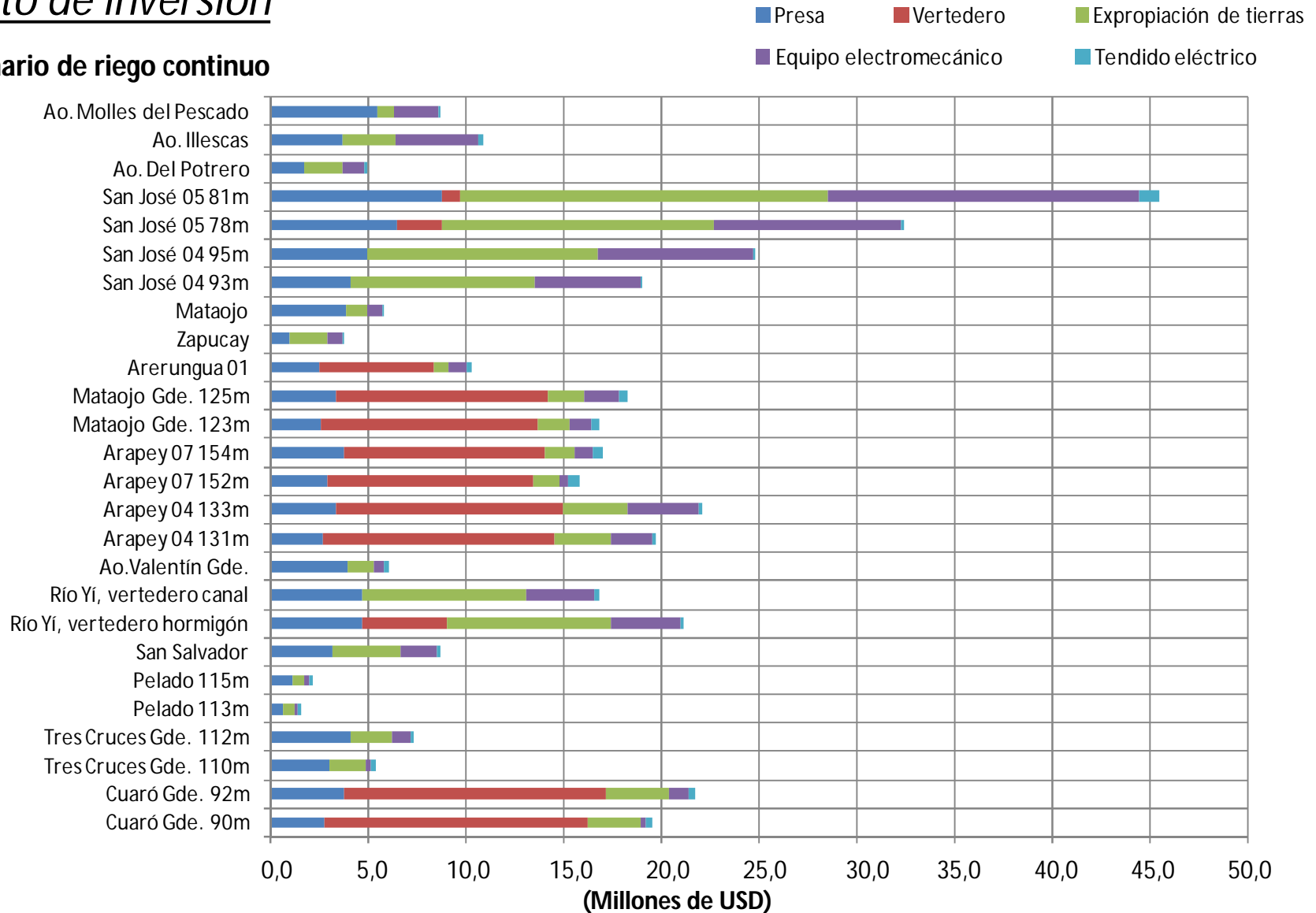
Esquema del perfil del terreno bajo la presa (visto desde aguas arriba)



PCHs multipropósito nuevas

Costo de inversión

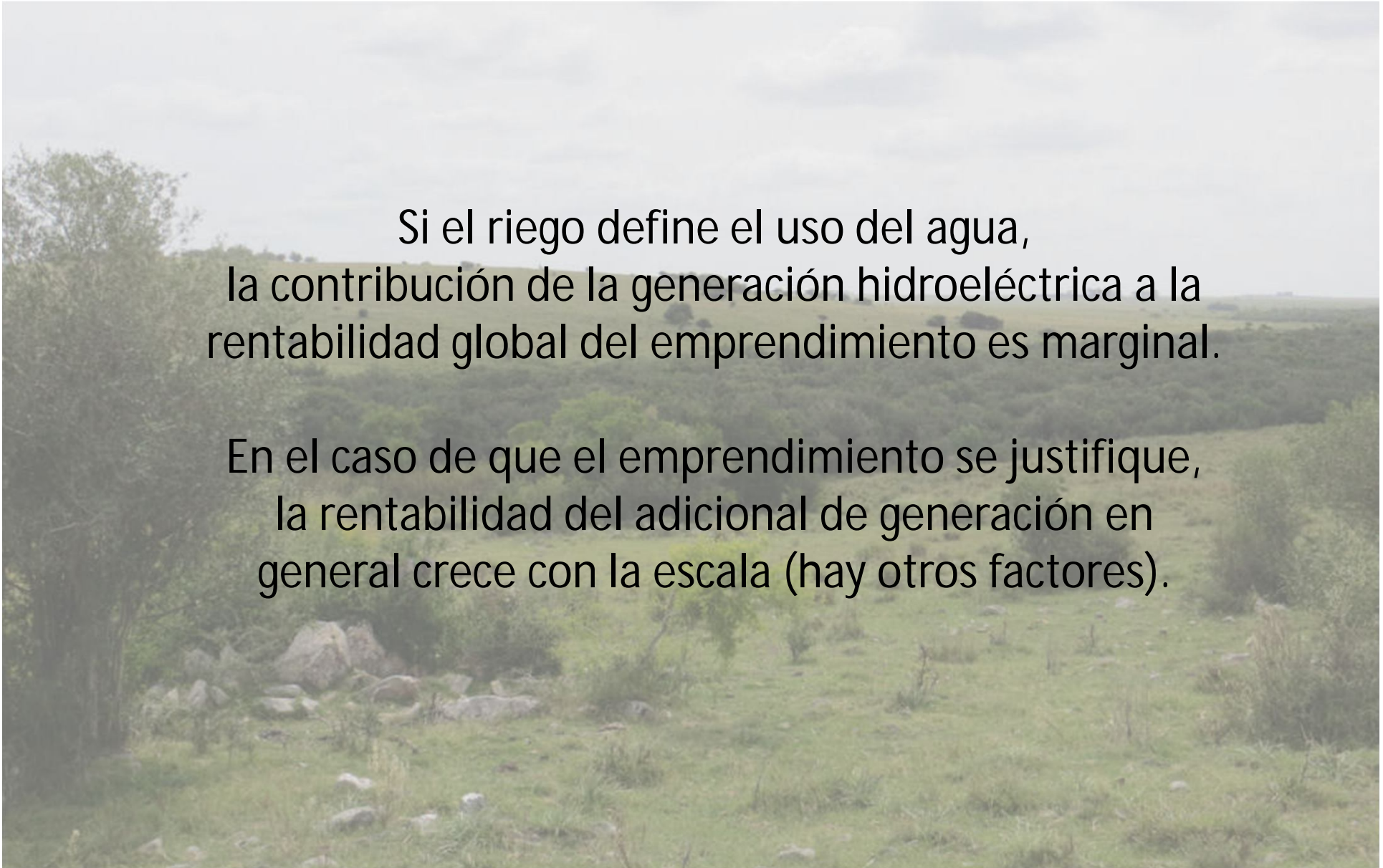
Escenario de riego continuo



PCHs multipropósito nuevas

Si el riego define el uso del agua,
la contribución de la generación hidroeléctrica a la
rentabilidad global del emprendimiento es marginal.

En el caso de que el emprendimiento se justifique,
la rentabilidad del adicional de generación en
general crece con la escala (hay otros factores).



Generación hidroeléctrica en pequeña escala

Proyecto ANII: PR_FSE_2010_08

Responsable: Ing. Daniel Schenzer

Rodolfo Pienika, Laura Rovira, Chirstian Chreties, Pablo Pais

Luis Teixeira | José Cataldo



Objetivos

- Seleccionar y estudiar sitios que presenten mejores condiciones para aprovechamiento hidroeléctrico (entre 1 MW y 50 MW).
- Detectar posibilidades de desarrollos nacionales.
- Generar un grupo de trabajo multidisciplinario.

Etapa 1

- Relevamiento exhaustivo de cursos de agua en carta 1:500.000
- Resultado: 462 cursos
- 1^a estimación:
199 sitios con $P > 600$ kW



Etapa 2

Modelo Digital Terreno

+

SIG

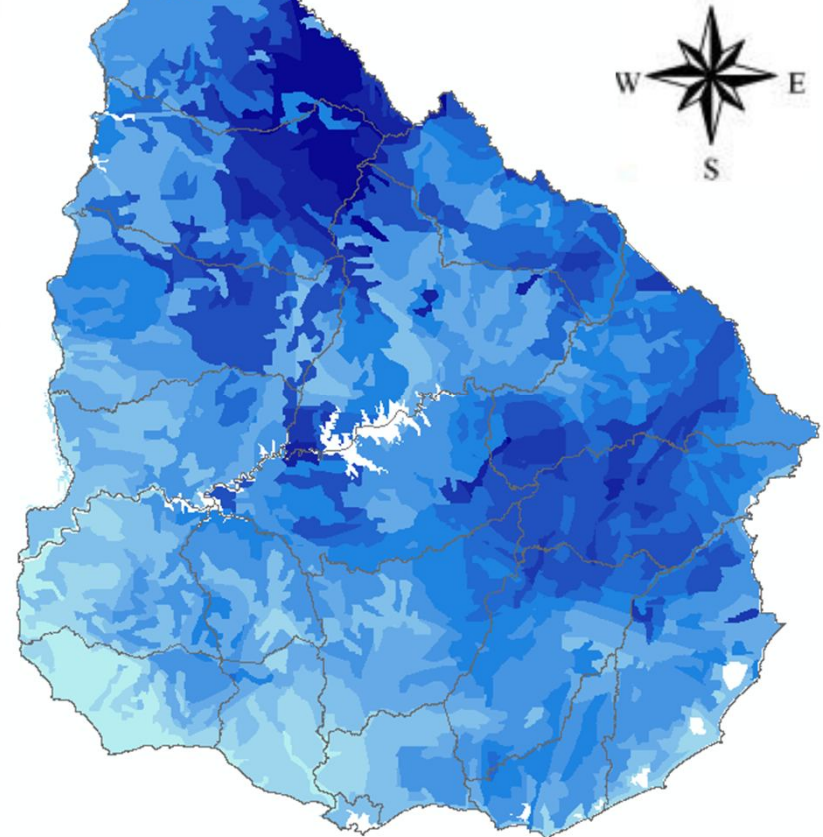
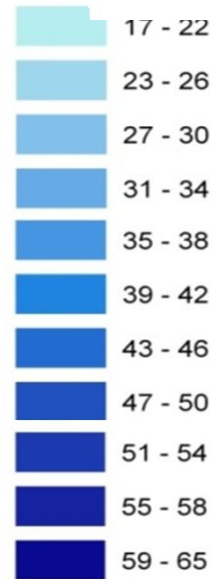
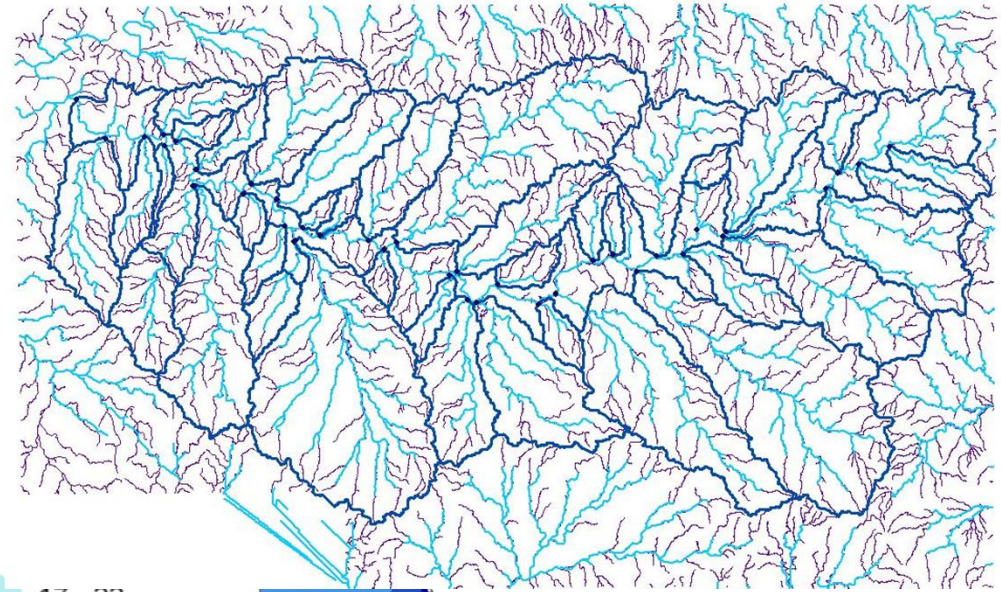
+

Escorrentamiento medio
(mm/mes)

Fuente: DINAGUA

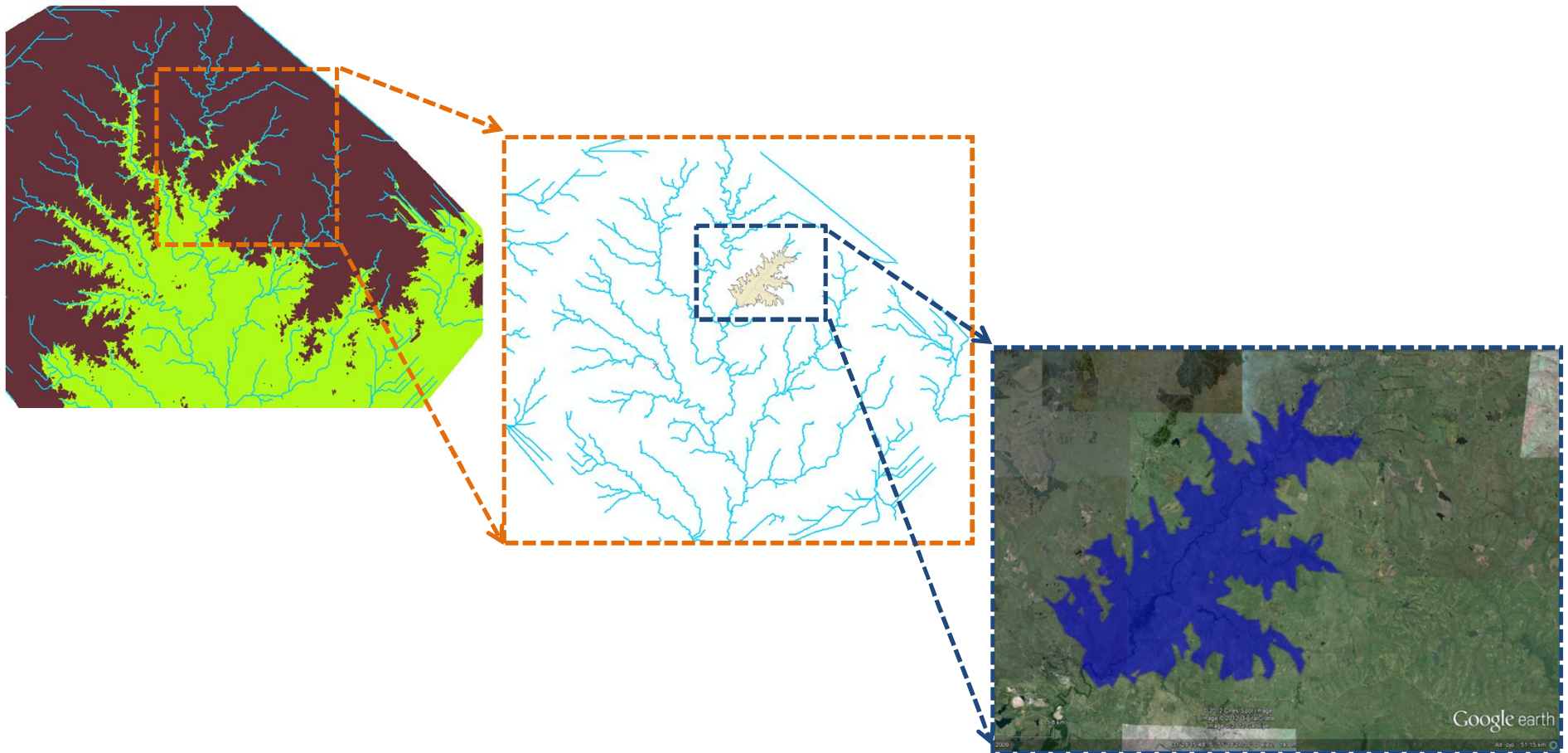
$$Q_{turb} = \text{Área cuenca} * \text{Esc. Medio}$$

$$\text{Potencia} = 9,81 * Q * H * \text{Rend}$$



Etapa 2

- 160 sitios prometedores (más de 600 kW)
- 129 de ellos: más de 1 MW



Etapa 3

Criterios de eliminación:

- Inundación de centros poblados
- Corte de rutas
- Inundación de zonas incluidas en el SNAP

 **70 sitios donde hay mejores condiciones y menos impactos negativos, y permitiría más de 1 MW**

Potencia total en ellos **y energía anual** (factor de capacidad en función del tiempo de residencia)

Etapa 3

70 sitios

SITIOS DE POSIBLES APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS

Nombre del cierre	Departamento	latitud			longitud			Á_lago (Km ²)	L_presa (m)	Salto (m)	Volumen presa (miles de m ³)	Á_cuenca (km ²)	Q (m ³ /s)	Volumen Embalse (hm ³)	P (kW)	indice CONEAT medio	Energía generable anual (MWh)
		grad	min	seg	grad	min	seg										
Yi2_85m	Durazno	33	25	33	56	23	17	94	1280	16	583	7379	102	548	12,864	77	71,023
arapey_110m	Salto	31	10	58	56	43	17	18	729	24	525	2700	57	76	10,787	141	59,555
arerunguá_110m	Salto	31	21	55	56	58	56	84	2144	34	2,578	1780	37	675	9,890	103	65,504
arerunguá_90m	Salto	31	19	43	57	4	15	49	1049	24	148	2391	50	261	9,378	127	55,836
arapey_120m	Salto	31	10	46	56	41	59	40	1082	20	277	2766	59	269	9,209	146	50,843
tacuari_70m	Cerro Largo	32	37	7	54	0	28	49	1409	26	1,886	2467	38	601	7,645	72	50,028
arapey_80m	Salto	31	12	2	57	1	6	31	1416	14	86	3435	69	58	7,569	136	41,351
olimar_60m	Tr y Tres	33	13	31	54	39	57	87	375	21	298	2013	37	355	6,140	79	38,429
queguay_ch_60m	Paysandú	32	6	15	57	24	1	54	1514	24	1,047	1390	27	181	5,050	133	30,680
sumas:															231,455		1,431,160

Potencia total instalable: 231 MW

Energía Anual Generable: 1:430.000 MWh

Factor de capacidad medio: 71%

(Anexo 6)

Etapa 3

70 sitios



Etapa 4

Criterios de selección de sitios a estudiar con mayor detalle:

- Potencia instalable
- Energía anual generable
- Relación Potencia vs. Área inundada
- Relación Potencia vs. Dimensión obra civil
- Distancia a la red de distribución en MT
- Índice CONEAT de padrones inundados

Etapa 4

Factores de ponderación

Coeficientes de ponderación			
Criterio	Énfasis potencia y energía	Énfasis impacto	Énfasis rentabilidad
Potencia instalada	10	3	4
Energía anual	10	4	10
Potencia / área de lago	5	9	7
Potencia / (CONEAT x área lago)	8	10	9
Potencia / volumen presa	2	3	4
Potencia / km línea	1	1	3
Período de repago de equipos	4	2	10

Etapa 4

Criterio de ponderación

Potencia y energía

arapey_110m
Yi2_85m
arerunguá_110m
arerunguá_90m
arapey_120m
tacuari_70m
arapey_80m
arapey_130m
olimar_60m
olimar_50m
yerbal_90m
.....

Impacto

arapey_110m
Yi2_85m
olimar_50m
arapey_130m
arapey_80m
arapey_120m
yerbal_90m
tacuari_70m
arerunguá_90m
arerunguá_110m
mataojogde_120m
.....

Rentabilidad

arapey_110m
Yi2_85m
arerunguá_110m
tacuari_70m
arerunguá_90m
arapey_120m
arapey_80m
olimar_50m
Yerbal_90m
Arapey_130m
olimar_60m
.....

Etapa 4

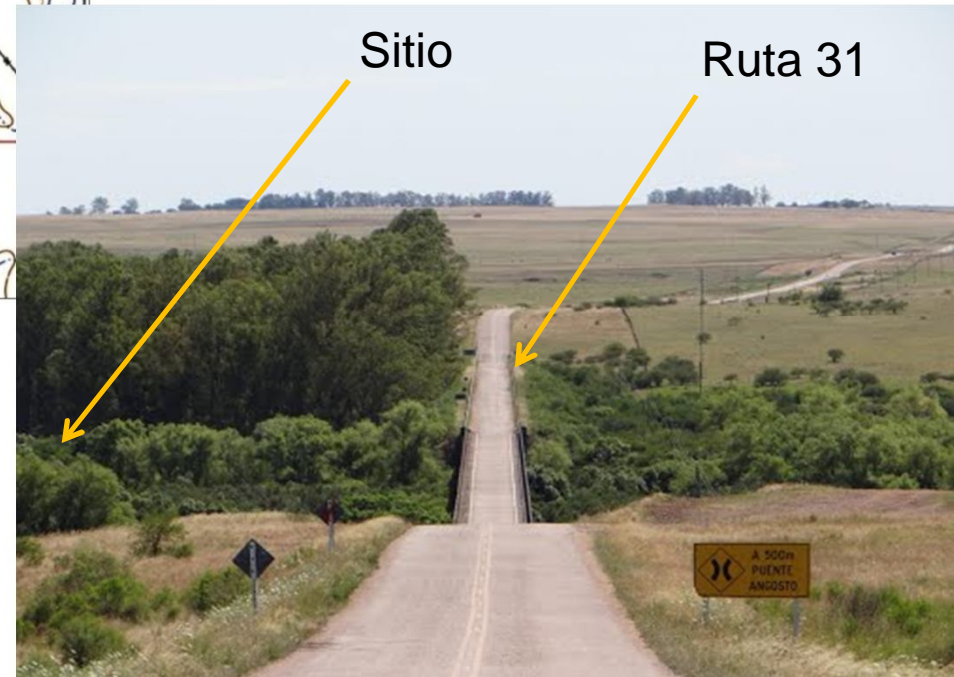
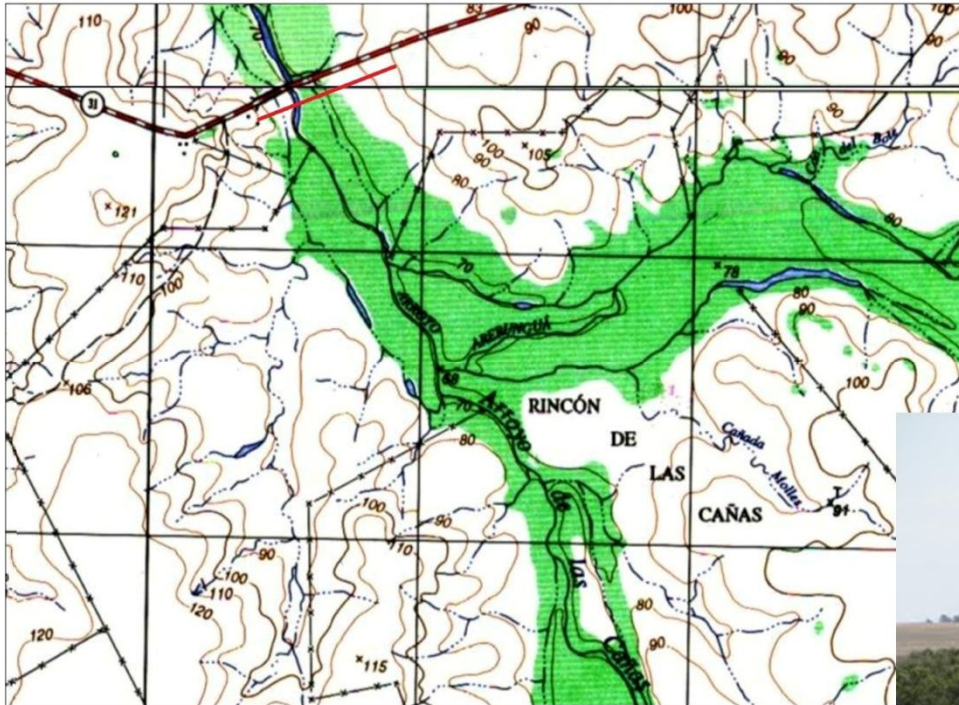
- Selección de 15 sitios más prometedores, de acuerdo a cada criterio.
- Selección de los 5 mejores según los tres criterios:
 - Arapey 80m
 - Arapey 130 m
 - Yerbal 90m
 - Arerunguá 90m
 - Yí 85 m

En ellos, **estudio a nivel de anteproyecto:**

- Cálculo más preciso de caudales y potencia.
- Caudal reservado.
- Diseño preliminar de presa .
- Selección de turbina(s).
- Evaluación de impactos sociales – económicos – ambientales.
- Internalización de costos sociales y ambientales.

Resumen de uno de los anteproyectos

Arerunguá 90



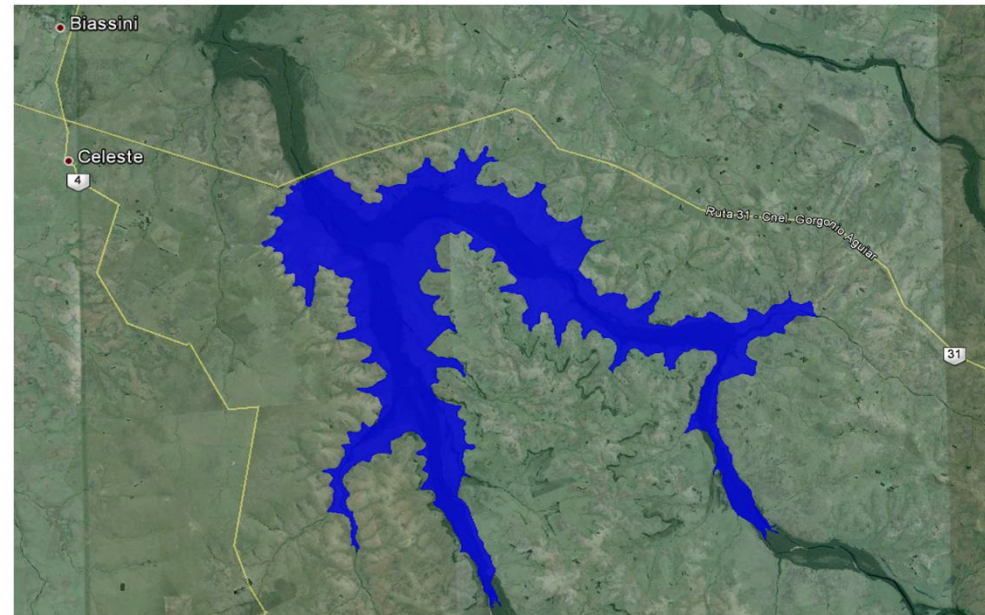
Resumen de uno de los anteproyectos Arerunguá 90

Datos generales

Salto neto : 21,1 m
Área de cuenca: 2391 km²

Caudal medio: 50 m³/s
Avenida de proyecto para
Tr = 500 años: 7056 m³/s
Caudal reservado: 1,1 m³/s

Factor de capacidad: 0,68
Potencia: 8,8 MW (3 x 2865 + 193)
Energía media anual: 52.350 MWh



Resumen de uno de los anteproyectos

Arerunguá 90

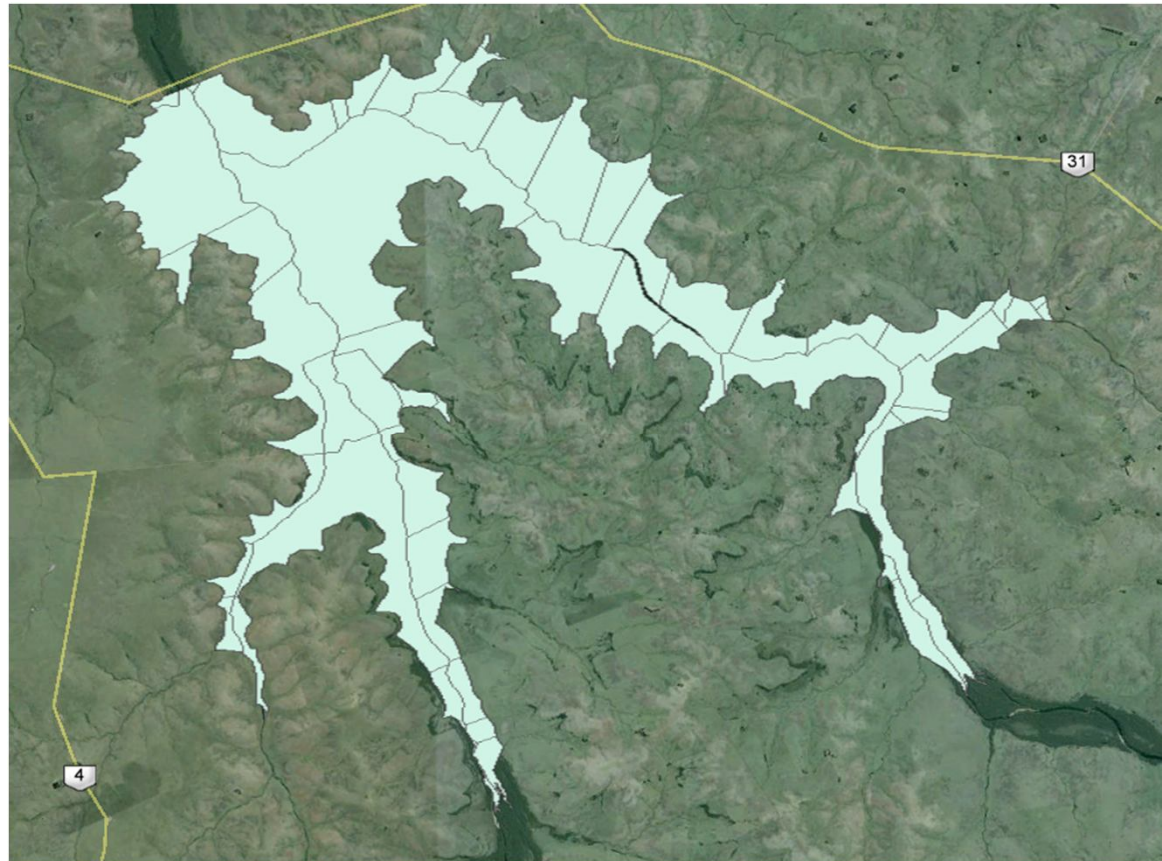
Padrones afectados

(a la cota de vertido)

Total: 55

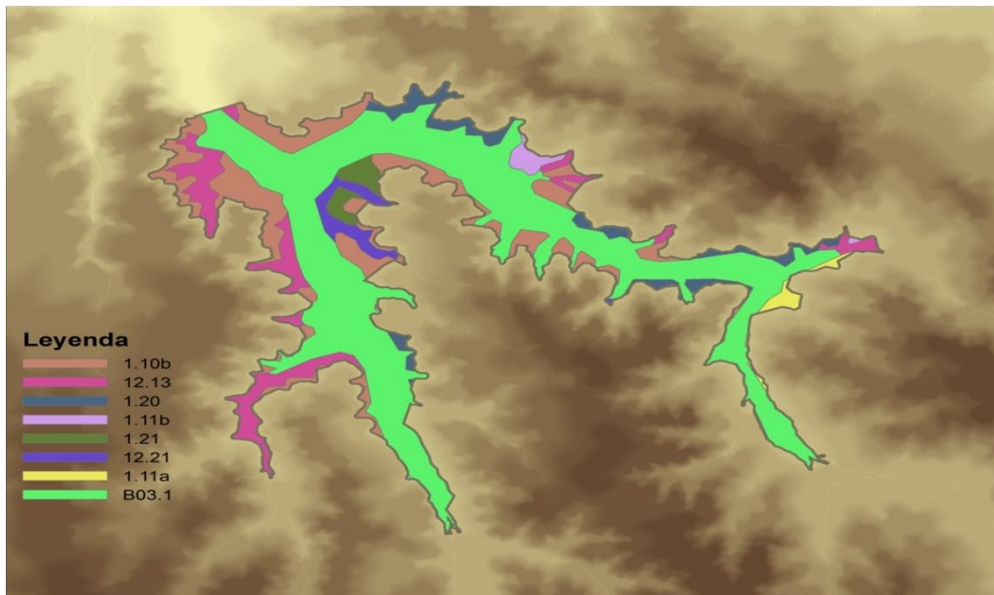
2 en más del 90%

11 en más del 50%

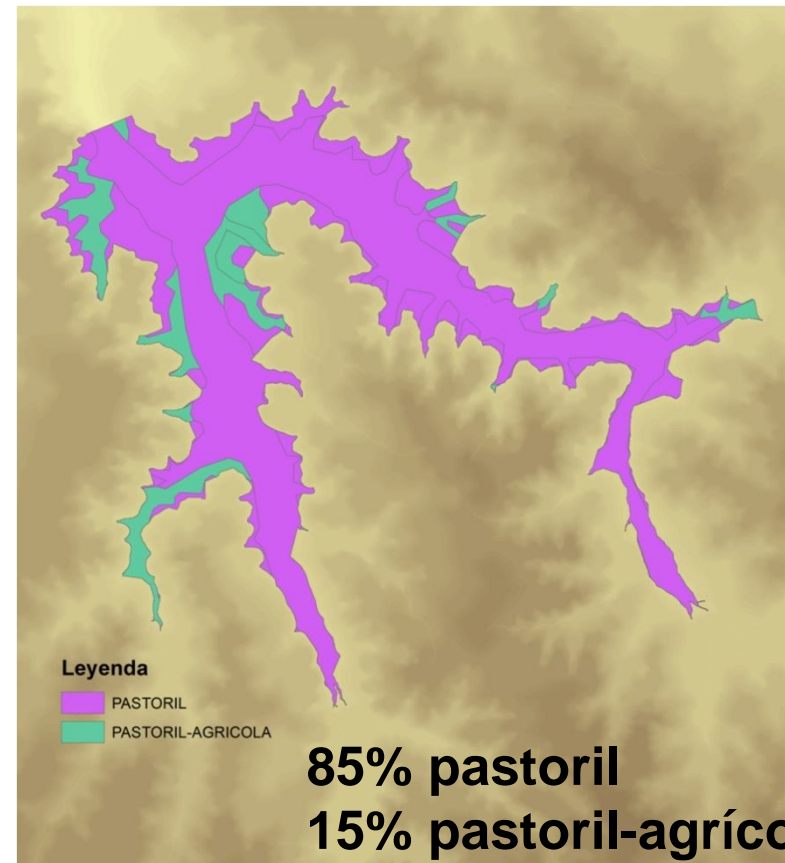


Resumen de uno de los anteproyectos Arerunguá 90

Índice CONEAT y usos actuales de áreas inundadas



Índice medio: 127



Resumen de uno de los anteproyectos Arerunguá 90

Presas

Vertedero de hormigón, 70 m, a cota +90m

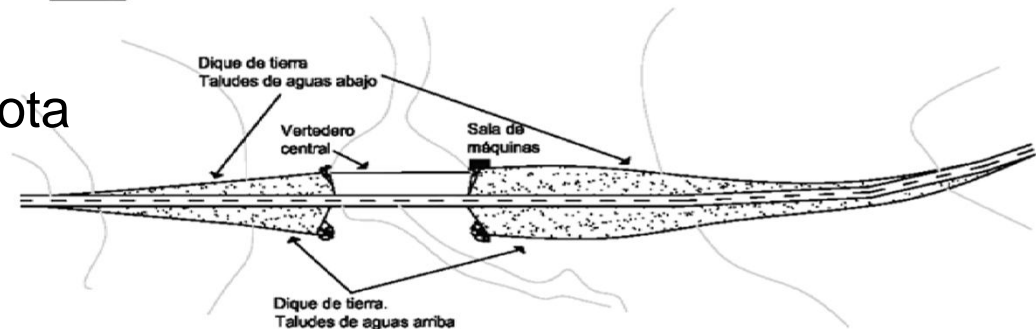
Aliviadero 180 m

Altura: 38 m sobre la fundación

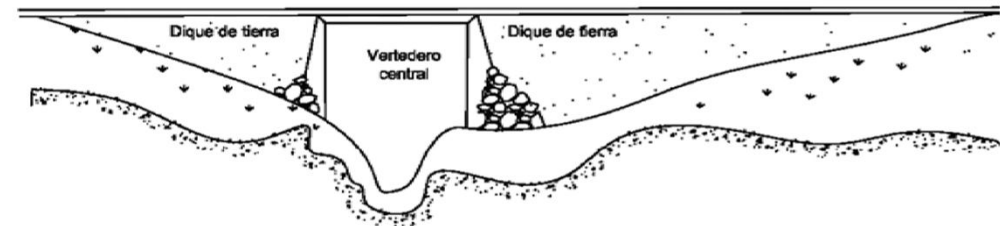
Movimiento de tierra: 2:800.000 m³

Volumen hormigón: 35.000 m³

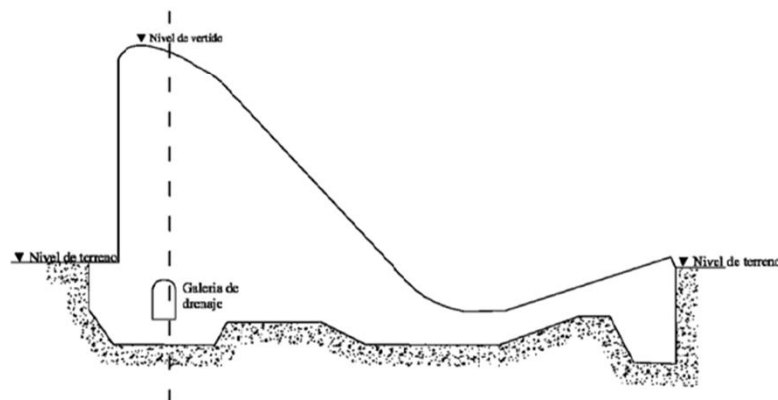
Planta:



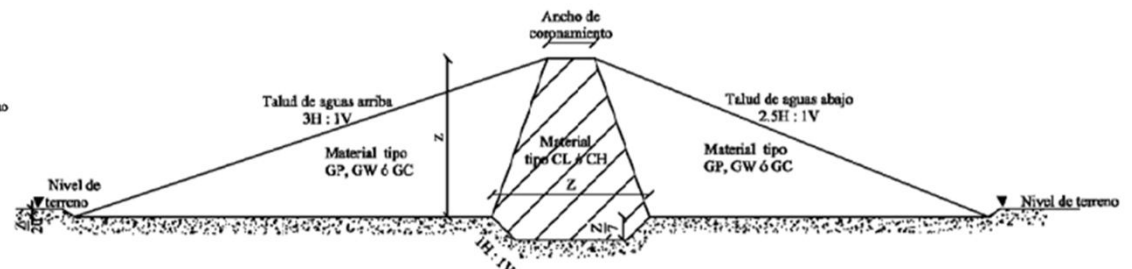
Vista desde aguas arriba:



Corte transversal del vertedero central:



Corte transversal del terraplen de la presa:



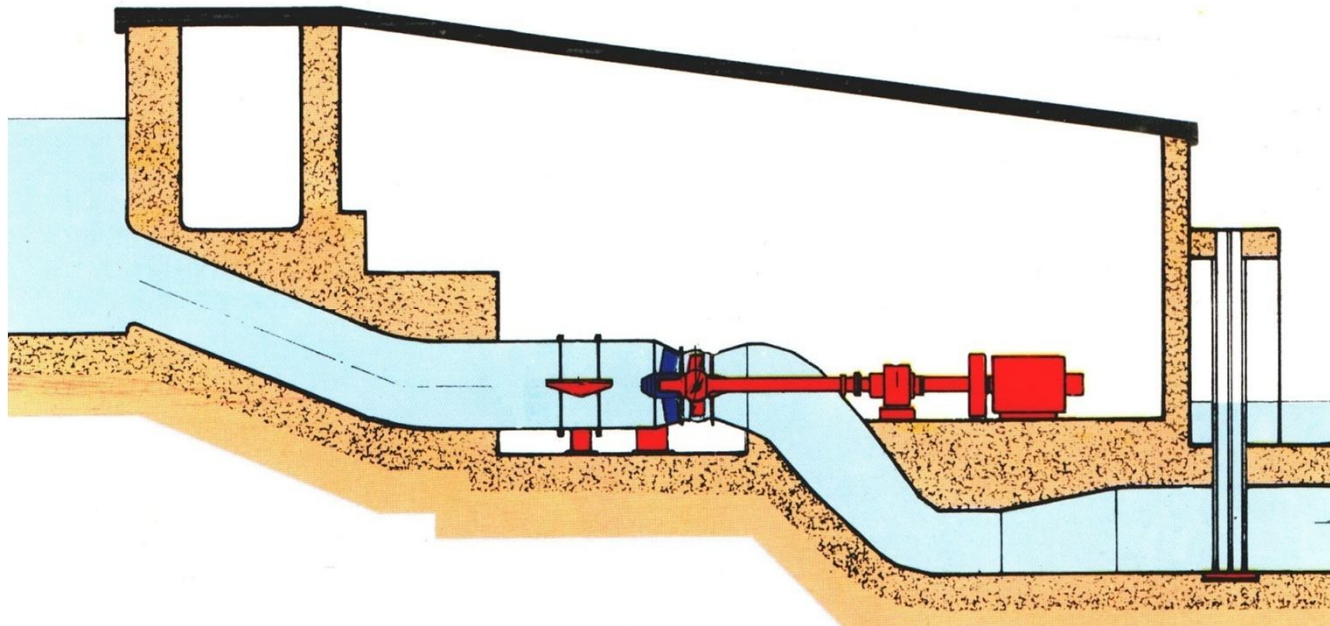
Resumen de uno de los anteproyectos

Arerunguá 90

Turbinas propuestas

Axiales, eje horizontal (generador horizontal o vertical)

Diámetros: 3 x 1,90 m, 1 x 0.40 m



Resumen de uno de los anteproyectos

Arerunguá 90

Estimación de costos

Obra civil (incl. caminería, accesos, etc.): U\$S 31:500.000

Equipos electromecánicos: U\$S 13:300.000

Proyecto, estudios de impacto, fondo de reserva: U\$S 2:100.000

Total: U\$S 47:000.000

(U\$S 5330 / kW)

(A U\$S 90/MWh, 20 años: TIR \approx 4,9%)

(No se incluye expropiaciones o servidumbres)

Aportes

- Relevamiento exhaustivo de cursos que permiten 1 MW ó más.
- Listado exhaustivo de aspectos descalificadores.
- Selección de 70 lugares posibles.
- Elaboración de criterios de selección de sitios.
- Tipología general de represas (categorización, tipo según avenida de proyecto, posibilidades de sangrador).
- Elaboración de un listado de etapas y cuestiones a estudiar para realizar un aprovechamiento.
- Anteproyectos tipo para situaciones distintas.

**Disponibilidad
energética de PCH**

Manual y Guía simple de cálculo

**Aspectos
Ambientales**

Manual y Guía Ambiental, Guía GEI

**Riego + Generación
Presas Existentes**



**Riego + Generación
Presas Nuevas**

**Sólo Generación
Presas Nuevas**

