

Caudal Ecológico

**Aprovechamiento del Embalse Nacaome
para Agua Potable de Tegucigalpa**

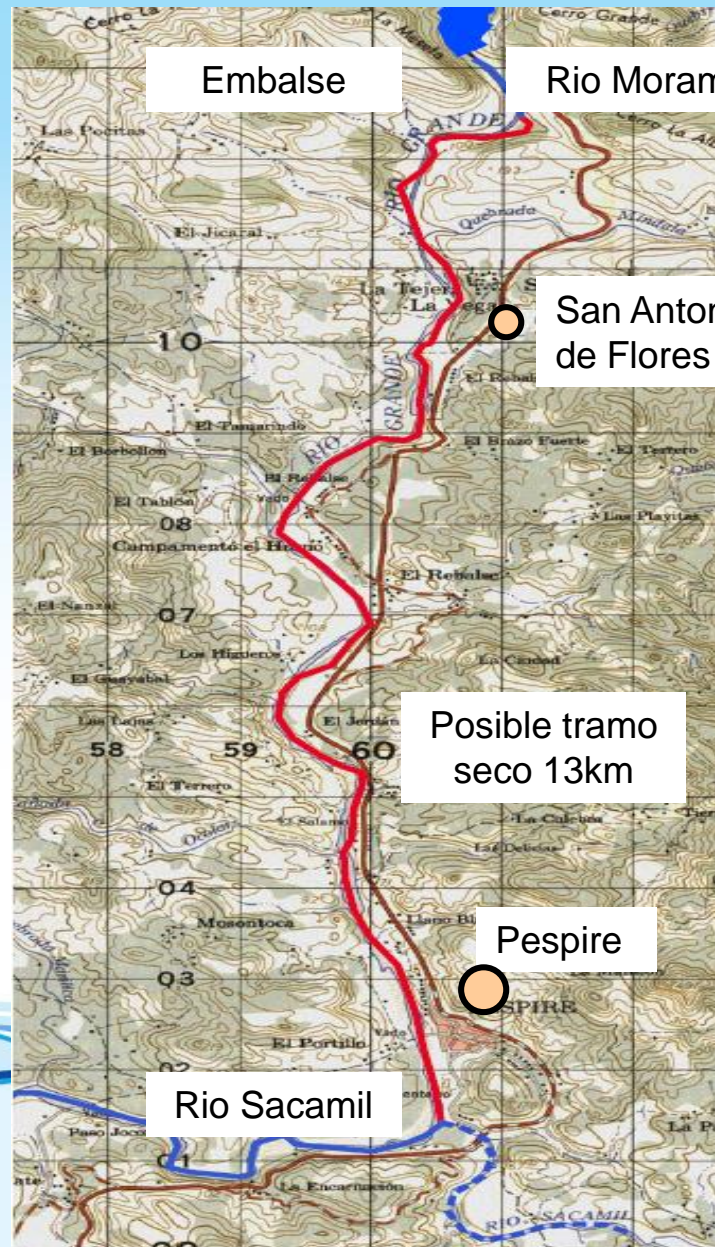


Caudal Ecológico

Antecedentes



Mapa de Ubicación



Embalse

Rio Moramulca

San Antonio de Flores

Posible tramo seco 13km

Pespire

Rio Sacamil

Oferta Hídrica Natural

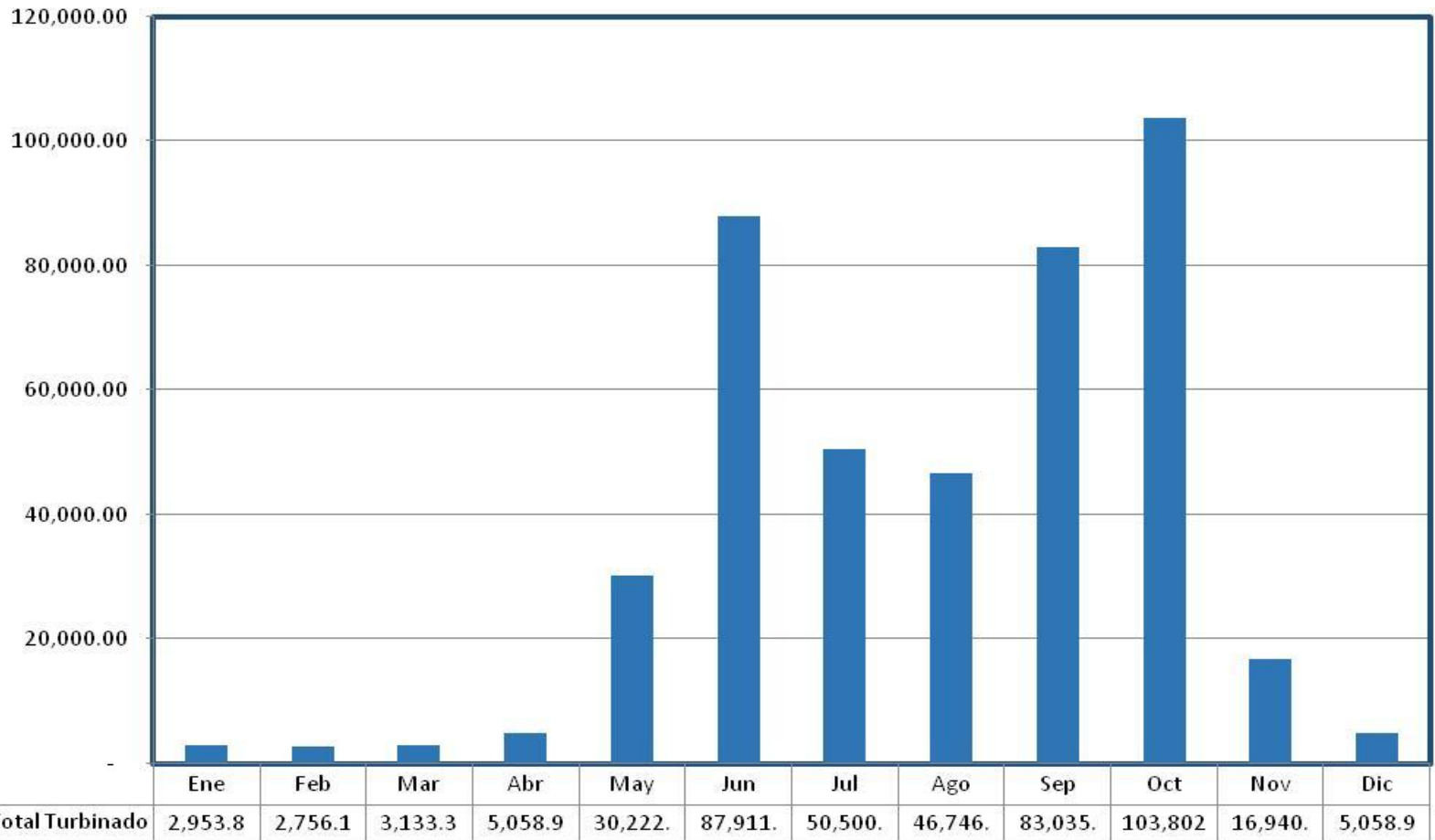
- Rio Nacaome
 - Efluente turbinado de la Represa J.C. del Valle (Nacaome)
 - Efluente es despachado en pulsos de descarga diarios con duración de 0h, 4h y hasta 18h según disponibilidad
- Rio Moramulca

En Función de

- Ciclo hidrológico de la vertiente del pacifico de Honduras
- Capacidad de almacenamiento de la represa
- Objetivos de creación de la represa

Oferta Hídrica por mes

Oferta Hidrica - Volumen Turbinado, milles de m³



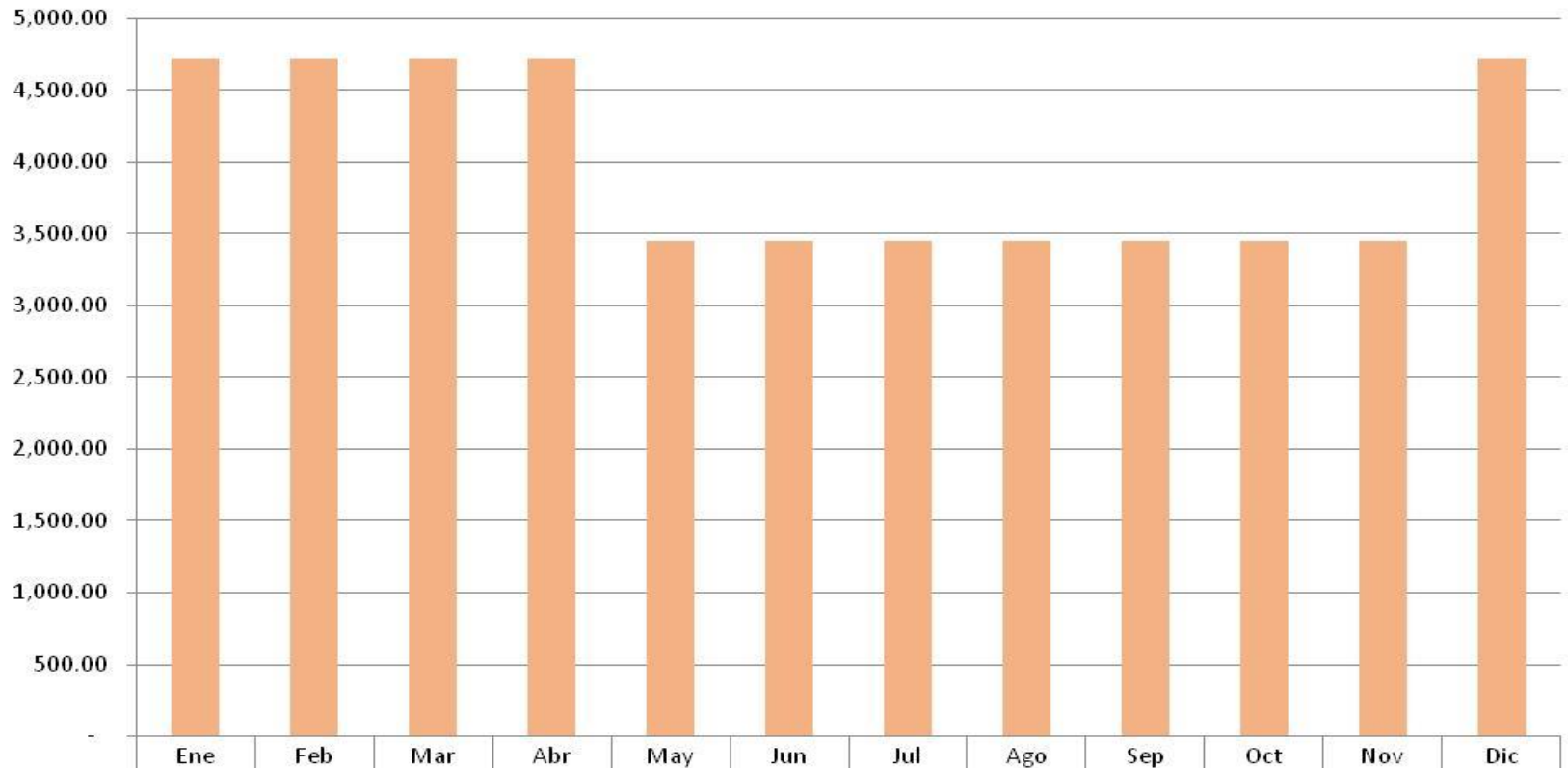
Demanda de Agua Potable

- Fuerte déficit en oferta de agua potable en Tegucigalpa
- Demanda actual no satisfecha
 - Época de lluvias: **1.3 m³/s, 3.4 millones m³/mes, 7 meses**
 - Época de estiaje: **1.8 m³/s, 4.7 millones m³/mes, 5 meses**
 - Drásticos racionamientos



Demanda insatisfecha de Agua Potable por mes

Volumen demandado para trasvase, miles de m³

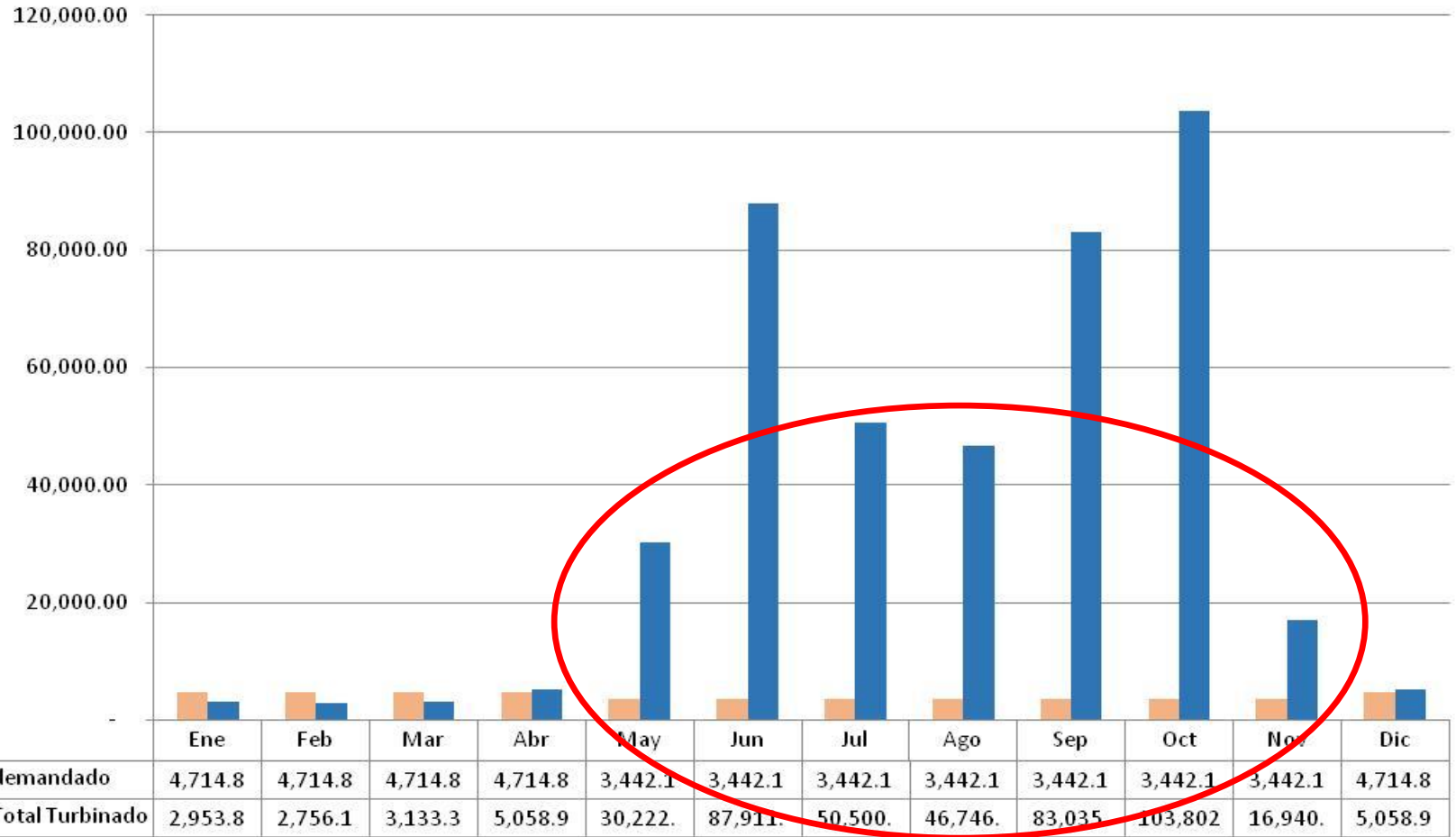


Volumen demandado	4,714.8	4,714.8	4,714.8	4,714.8	3,442.1	3,442.1	3,442.1	3,442.1	3,442.1	3,442.1	3,442.1	4,714.8
-------------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------



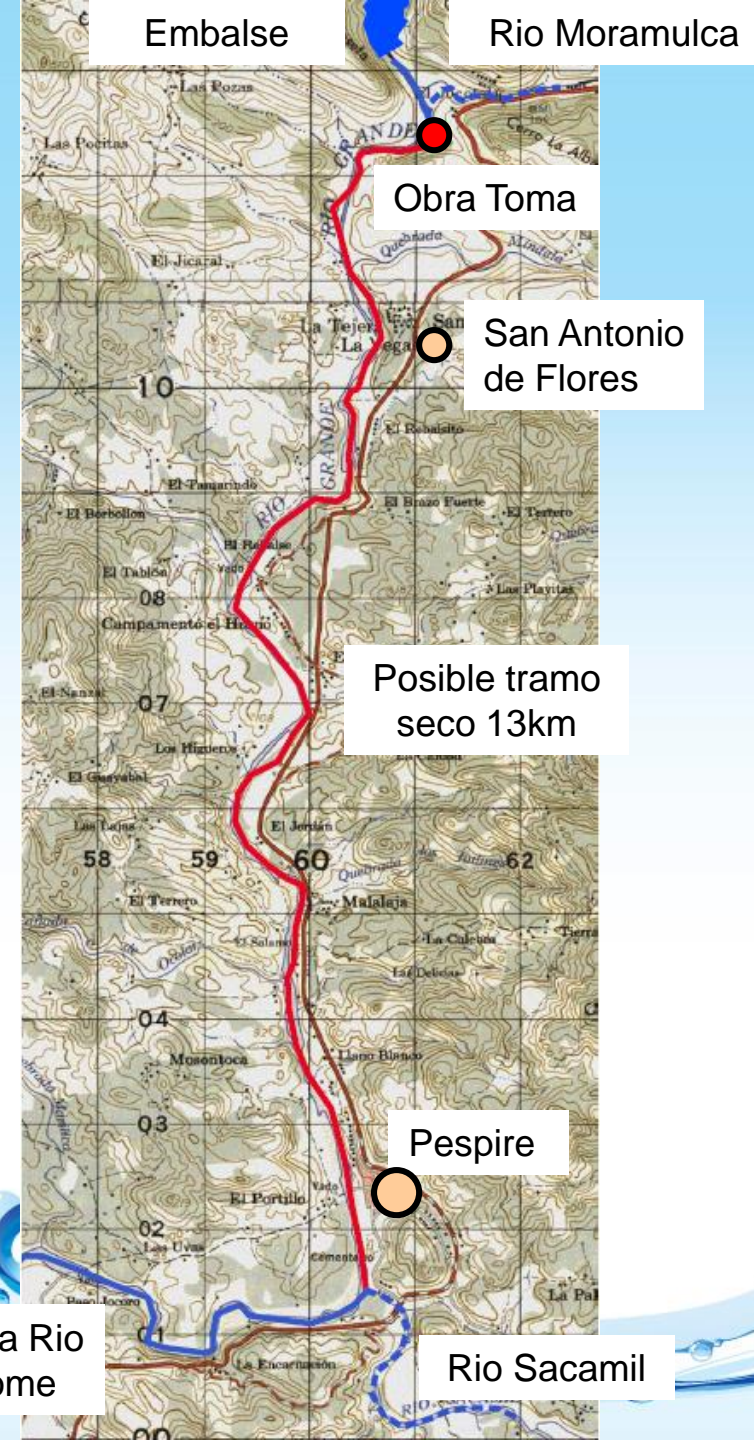
Oferta y Demanda

Oferta y Demanda - Volumen en miles de m³



Posible Tramo Seco

- Ubicado entre:
 - Obra toma para el trasvase de agua
 - Confluencia de los Ríos Nacaome y Sacamil
 - Longitud aproximada de 13 kilómetros



Caudal Ecológico

Estimación



Definición

Es la cantidad, calidad y variación del gasto y de los niveles de agua, reservada para preservar servicios ambientales y la resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de procesos hidrológicos, ecológicos y sociales



Elementos para estimar el caudal ecológico

Aspecto Social

Usos en tramo seco

Cuales son usos insustituibles

Caudal para satisfacer usos

Objetos de Conservación, Biodiversidad

Especies en el tramo seco

Biología de especies

Caudal para conservar especies

Aspecto Hidráulico

Caudales Históricos tramo seco

Modelación Hidráulica, tramo seco

Caudal Conectivo



Aspecto Social

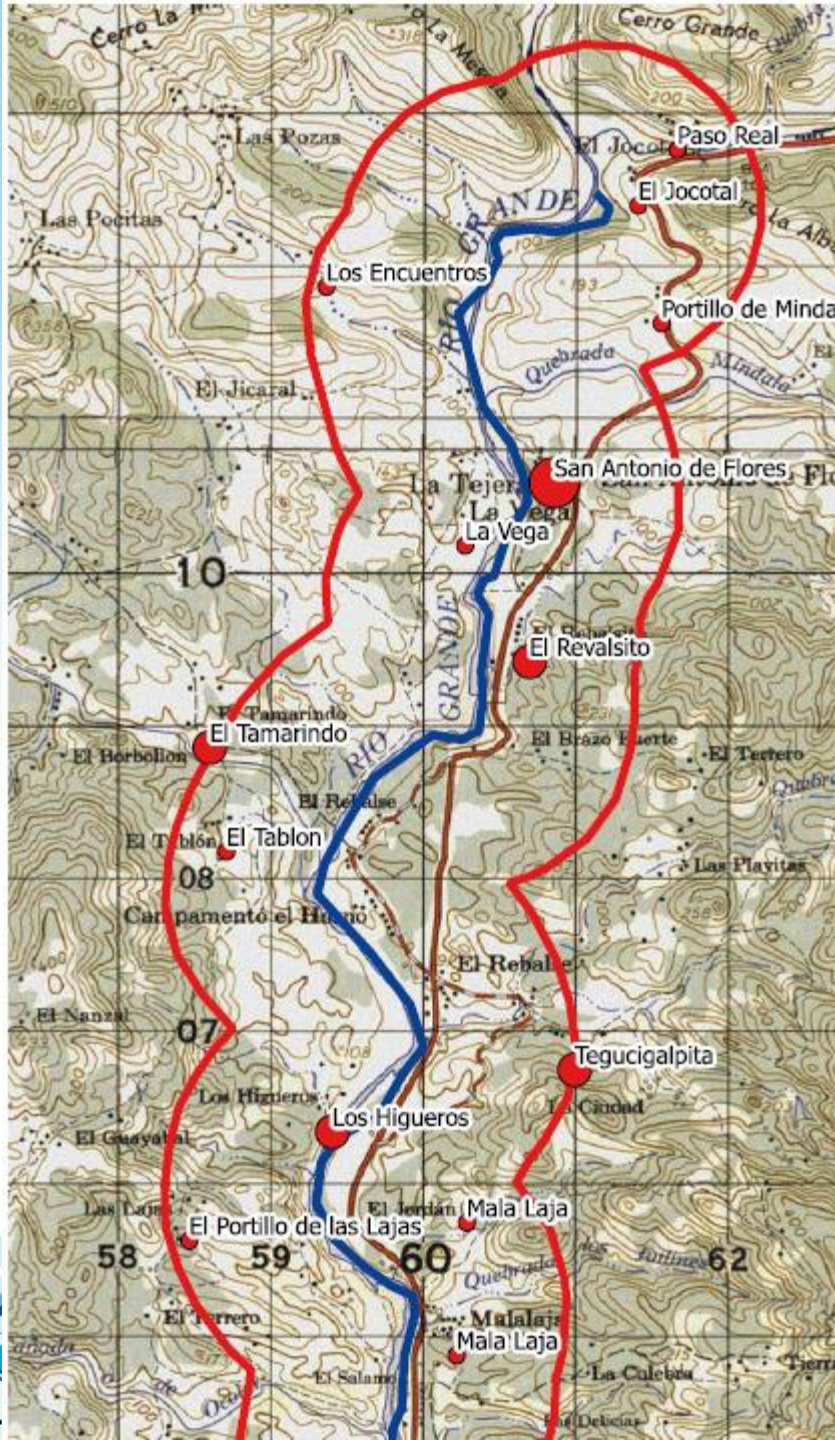
- Objetivo
 - Observar el uso del Río Nacaome entre poblaciones ubicadas aguas abajo del sitio de toma, actualmente beneficiadas por la Represa Nacaome
- Metodología
 - Mapeo de comunidades afectadas
 - Entrevistas abiertas no estructuradas
 - A usuarios del rio, dueños de negocios, amas de casa y otros
 - Identificación de las actividades principales



Aspecto Social

Población del posible tramo seco:
5,267 personas en
16 comunidades

id	Codigo	Nombre	Pob
	8080517	Paso Real	58
	6110324	Los Encuentros	94
	6120103	El Jocotal	22
	6120107	Portillo de Mindala	33
	6110116	Mala Laja	41
	6110707	Portillo Centro	167
	6110311	El Portillo de las Lajas	44
	6110325	Los Higueros	113
	6111314	El Tablon	57
	6110317	El Tamarindo	209
	6110320	La Vega	12
	6120104	El Revalsito	214
	6120308	Mala Laja	89
	6120311	Tegucigalpita	216
	6110101	Pespire	3354
	6120101	San Antonio de Flores	544



Aspecto Social

Principales actividades alrededor del tramo seco

Actividad	Temporalidad
Lavado de ropa y utensilios de cocina	Diario
Agua para consumo	Diario
Aseo personal	Diario
Pesca - domestica	Diario

Guapote, congo, mojarra, ilama, sardina, guabina, robalo, chacalín y talapia

Actividad	Temporalidad
Aguar ganado	Diario
Turismo	Semana Santa
Extracción de áridos	Verano
Irrigación cultivos	Estacionario

Frijol, ayote y maíz



Aspecto Social

- La operación actual de represa hidroeléctrica
 - Principalmente a la generación de energía
 - Erráticamente
 - Irrigación, libera agua cuando lo demandan grandes fincas
 - Abastecimiento de agua para las comunidades
 - Se desconoce volúmenes para:
 - Riego,
 - Consumo domestico,
 - Uso turístico, etc.



Aspecto Social

- **Conclusiones**

- Entrevistados señalan la importancia del río en sus vidas cotidianas, considerándolo la principal fuente de agua de la región.
- Manifiestan espontáneamente su preocupación sobre las declaraciones públicas de la Alcaldía del DC sobre un proyecto “que busca llevar el agua a la ciudad capital”



Caudal Ecológico

Objetos de Conservación



Biodiversidad acuática y su biología

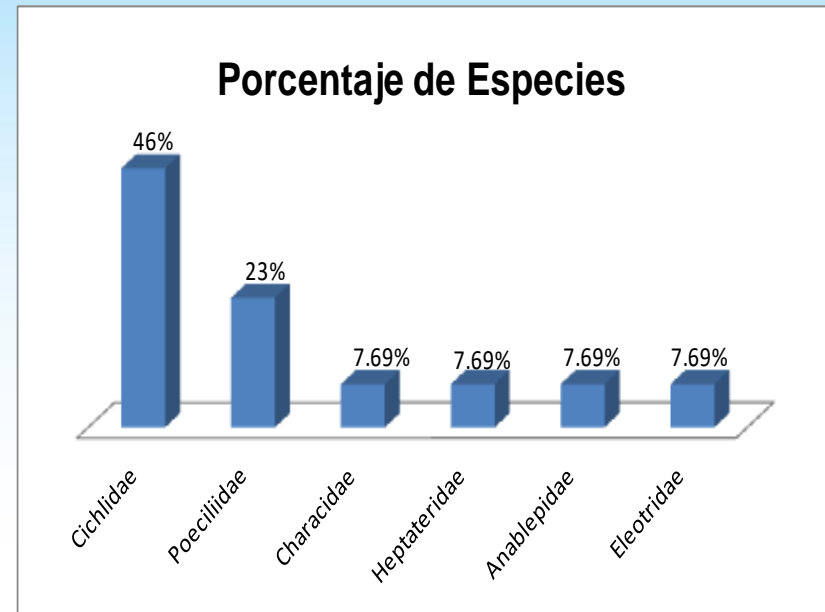
- Objetivo
 - Conocer la ictiofauna del posible tramo seco
- Metodología
 - Gira de campo
 - 4 Estaciones de muestreo: corrientes rápidas y angostas
 - 4 Estaciones de muestreo: corrientes lentas (pozas)
 - Mediciones de OD y pH
 - Análisis estadístico



Biodiversidad acuática y su biología

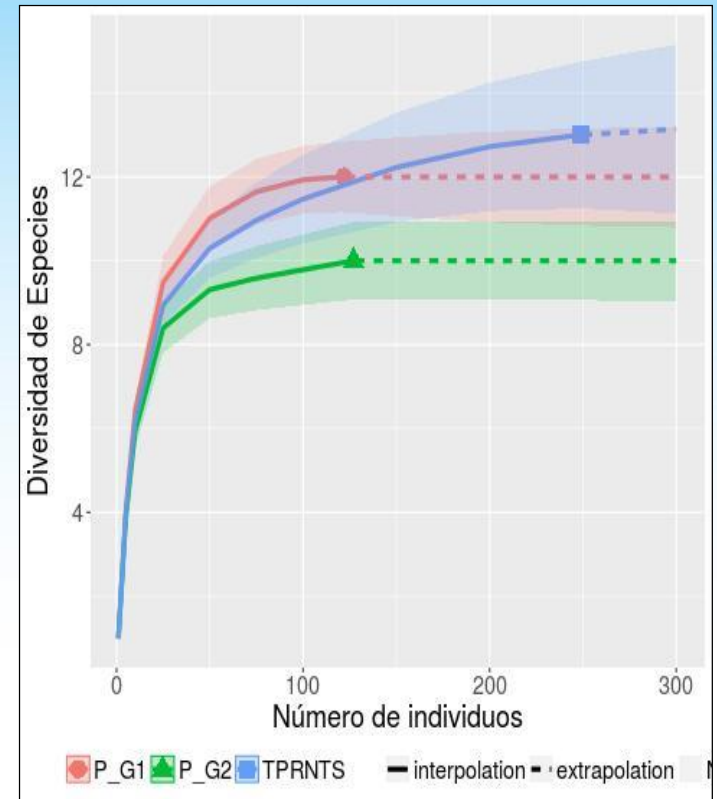
- Resultados

- 13 de 26 especies (Matamoros 2009) reportadas para todo el río
- Especies distribuidas en 6 familias
 - 2 especies no toleran salinidad (primaria)
 - 10 toleran cierto grado de salinidad (secundaria)
 - 1 tolera salinidad (periférica)
- OD y pH disminuyen al acercarse a Pespire



Biodiversidad acuática y su biología

- Se encontraron 13 de 15 especies predecibles con muestreo
- Buen muestreo según:
 - Índice riqueza (Chao1-bc)
 - Coeficiente de variación
 - Índices de biodiversidad (Shannon y Simmson)
 - Bajos errores estándar en todas las pruebas
 - Curvas de rarefacción alcanzan la asíntota



Biología de algunas especies encontradas

- **Sardinita:** Forma escuelas, se distribuye a lo largo de un río, principalmente en rápidos de aguas oxigenadas. Especie Primaria
 - Algas, semillas, hojas, insectos acuáticos y alevines de cualquier especie
- **Chunte, filín:** Se distribuye desde la parte media a la alta de los ríos en aguas oxigenadas. Vive en fondos de arena y bajo las piedra. Especie Primaria
 - Insectos acuáticos y carroña
- **Babucha:** Abundante en aguas lentas. Se distribuye desde parte baja hasta parte alta del río. Forma escuelas de 20 a cientos de individuos, tolerara bajas de O₂. Especie Secundaria.
 - Habita en el sustrato alimentándose de algas filamentosas



Biología de algunas especies encontradas

- **Dormilón:** Habita ríos con corrientes de velocidad de baja a alta. Adultos se adentran en los ríos. Especie periférica
 - Especie bentónica que espera a sus presas escondido bajo piedras
 - Se alimenta de camarones y peces
- **Guapote:** Vive en parte media de los ríos principalmente, en el fondo de ríos y lagos de aguas turbias y lentas sobre arena y detrito, pero puede encontrarse cerca de los rápidos escondido bajo piedras donde acecha a sus presas. Territoriales. Especie secundaria
 - Se alimenta de otros peces e insectos acuáticos
 - Desova en sustratos duros, cuidado de ambos padres de huevos y alevines



Biodiversidad acuática y su biología

Conclusiones

- Los puntos tomados en corrientes rápidas y lentas comparten especies
 - Según estimador de Bray-Curtis de disimilaridad (89%), indica una interdependencia fuerte
- Disminuir el flujo de agua posiblemente provocaría
 - Pérdida de intercomunicación
 - Apreciable disminución de hábitat disponible en el río
 - Afectaría las poblaciones de cada una de las especies



Biodiversidad acuática y su biología

Conclusiones

- Construcción de obra toma puede generar caudales menores
 - Discontinuidad del río
 - Estrés fuerte en algunas especies
 - Reducción de áreas de desove y cuidado parental
 - Depleción de OD - mortandad de peces
- Obra toma – podría ser aislador genético
- ¿Cual es el Q demandado por estas especies?
 - No hay estudios que definan umbrales ecológicos



Biodiversidad acuática y su biología

- **Recomendaciones**

- Dada la alta diversidad de especies, y la presencia de especies territoriales (Cichlidae), así como la interdependencia de las especies que componen el tramo seco, se debe de analizar la dinámica fluvial histórica resultante de la operación de la represa hidroeléctrica Nacaome.
- Esta dinámica debe ser considerada como la base del caudal ecológico, en función de buscar mantener la conectividad entre las secciones del río (secciones rápidas y lentas).



Caudal Ecológico

Aspecto Hidráulico



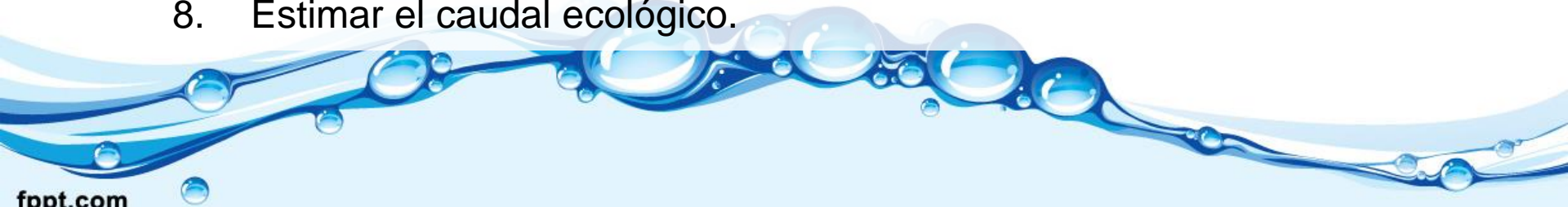
Modelación Hidráulica

- **Objetivo**

- Proponer un caudal de referencia que propicie conectividad en el posible tramo seco

- **Metodología**

1. Definir secciones transversales y tirante de agua en fecha conocida
2. Caudales promedios históricos para la fecha en que se definieron las secciones y tirantes
3. Estimar y calibrar el valor de rugosidad (n) en el tramo seco
4. Estimar el caudal mínimo histórico más representativo del tramo seco (meses de diciembre a abril, 5)
5. Estimar secciones hidráulicas del tramo seco con el n calibrado y el caudal crítico
6. Identificar las secciones hidráulicas más críticas
7. Conocer la dinámica fluvial histórica del tramo seco a través del año
8. Estimar el caudal ecológico.



Modelación Hidráulica

Resultados

- **10 secciones** transversales en 1.9km del posible tramo seco, incluyen nivel del agua (15% longitud)
- Caudal turbinado mínimo histórico mas frecuente: **4.68m³/s (14 años)**
 - Clase estadística de 4.5 y 5.5 m³/s que agrupa el 75% de los datos de Diciembre a Abril
 - 6 horas de operación de 7am a 1pm
- Caudal Moramulca en verano **0.37m³/s**
 - Único dato disponible



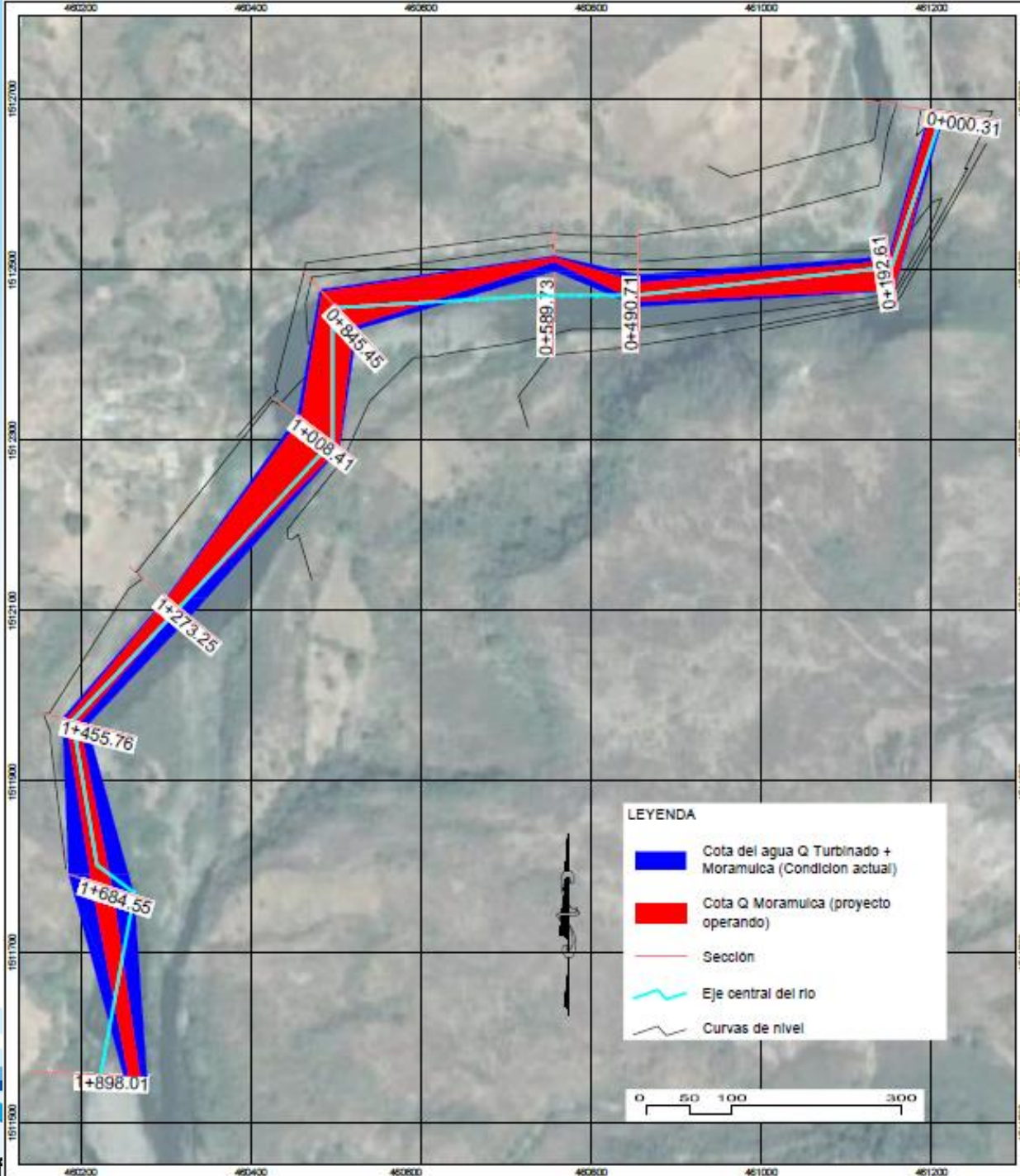
Modelación Hidráulica

- Modelación utilizando programa HecRAS
- 2 escenarios
 1. $Q = 5.05 \text{ m}^3/\text{s}$ (Turbinado mas frecuente = $4.68 + \text{Moramulca} = 0.37$)
 - Sin operación del proyecto
 - Q presente durante caracterización ictiológica y social
 - Calibración de n (modelación vs. levantamiento)
 2. $Q = 0.37 \text{ m}^3/\text{s}$ (Solo Moramulca)
 - Proyecto operando de diciembre a abril
 - Tomando el 100% del volumen turbinado



Modelación Hidráulica

- **Escenario 1**
 - Mantiene la riqueza Ictiológica encontrada
 - Conectividad ecológica
- **Escenario 2**
 - Tirantes de 6 y 9cm
 - Provocaría falta de conectividad



Modelación Hidráulica

Cuadro de Salida - Modelación Hec RAS								
Sección		Q Total	Elev. Fondo Cauce	Elevación de agua	Altura de agua	Vel. del flujo	Área de flujo	Ancho de flujo
#	Est.	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)
10	0+000.31	5.05	99.41	99.77	0.36	1.40	3.58	18.90
10	0+000.31	0.37	99.41	99.56	0.15	0.73	0.51	9.71
9	0+192.61	5.05	97.66	98.88	1.22	0.14	37.30	40.37
9	0+192.61	0.37	97.66	98.14	0.48	0.04	9.84	31.58
8	0+490.71	5.05	97.34	98.73	1.39	0.19	26.64	36.45
8	0+490.71	0.37	97.34	98.10	0.76	0.05	8.13	21.31
7	0+589.73	5.05	97.84	98.31	0.47	1.55	3.21	13.51
7	0+589.73	0.37	97.84	98.00	0.16	0.92	0.40	4.78
6	0+845.45	5.05	96.29	97.80	1.51	0.10	49.04	63.53
6	0+845.45	0.37	96.29	97.54	1.25	0.01	33.39	53.77
5	1+008.41	5.05	95.54	97.78	2.24	0.08	70.55	62.23
5	1+008.41	0.37	95.54	97.53	1.99	0.01	55.90	55.44
4	1+273.25	5.05	97.45	97.65	0.20	1.15	4.44	34.84
4	1+273.25	0.37	97.45	97.51	0.06	0.59	0.63	18.02
3	1+455.76	5.05	95.28	96.53	1.25	0.29	21.58	30.06
3	1+455.76	0.37	95.28	95.82	0.54	0.07	5.46	15.22
2	1+684.55	5.05	95.36	96.23	0.87	0.18	27.53	61.21
2	1+684.55	0.37	95.36	95.71	0.35	0.08	4.55	25.71
1	1+898.01	5.05	94.73	94.98	0.25	0.90	4.10	27.70
1	1+898.01	0.37	94.73	94.82	0.09	0.66	0.56	12.78

Dinámica fluvial por periodo Seco

- Características

- Poca variación de Q
- Menor número de horas de operación de la represa

- Clases estadísticas

- Rangos de Q turbinados diarios 2003-2016 (14 años)

Febrero (Volumen en miles de m ³)						
Clase m ³ /s	Frecuencia			Volumen		Acum
	Valor	%	%Acum	Valor	%	%Acum
1.5 - 2.5	0	0.0%	0.0%	-	0.0%	0.0%
2.5 - 3.5	21	5.5%	5.5%	-	0.0%	0.0%
3.5 - 4.5	27	7.1%	12.6%	57.8	7.5%	7.5%
4.5 - 5.5	300	78.5%	91.1%	600.3	78.4%	86.0%
5.5 - 6.5	6	1.6%	92.7%	26.5	3.5%	89.4%
6.5 - 7.5	28	7.3%	100.0%	81.0	10.6%	100.0%
Totales	382	100.0%		765.6	100.0%	



Dinámica Fluvial periodo Lluvioso

- Características

- Mucha variación de Q turbinados
- Variación de horas de operación de la represa

- Promedios

- Mensuales de los promedios de los Q turbinados de cada día

Promedios Diarios de la serie de datos (2003 a 2016) m ³ /s							
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
1	15.21	47.17	41.61	36.72	49.60	56.72	45.54
2	16.30	45.23	40.12	34.98	48.12	54.87	41.66
3	21.06	49.64	42.07	41.90	46.20	54.62	38.25
4	15.72	49.62	37.41	38.40	48.08	54.24	45.63



27	30.30	41.07	31.32	30.19	32.33	41.31	18.19
28	40.26	39.53	23.87	39.40	57.74	47.01	17.48
29	39.91	36.62	24.98	43.20	60.70	50.53	12.96
30	42.82	37.28	35.30	45.44	60.99	42.28	14.24
31	48.43		39.10	50.98		47.25	
Promedio	21.61	47.67	35.12	36.39	52.39	54.04	26.78

$$CE_L = CE_E + (10\% * X \text{ mes} - CE_E)$$



Caudal Ecológico

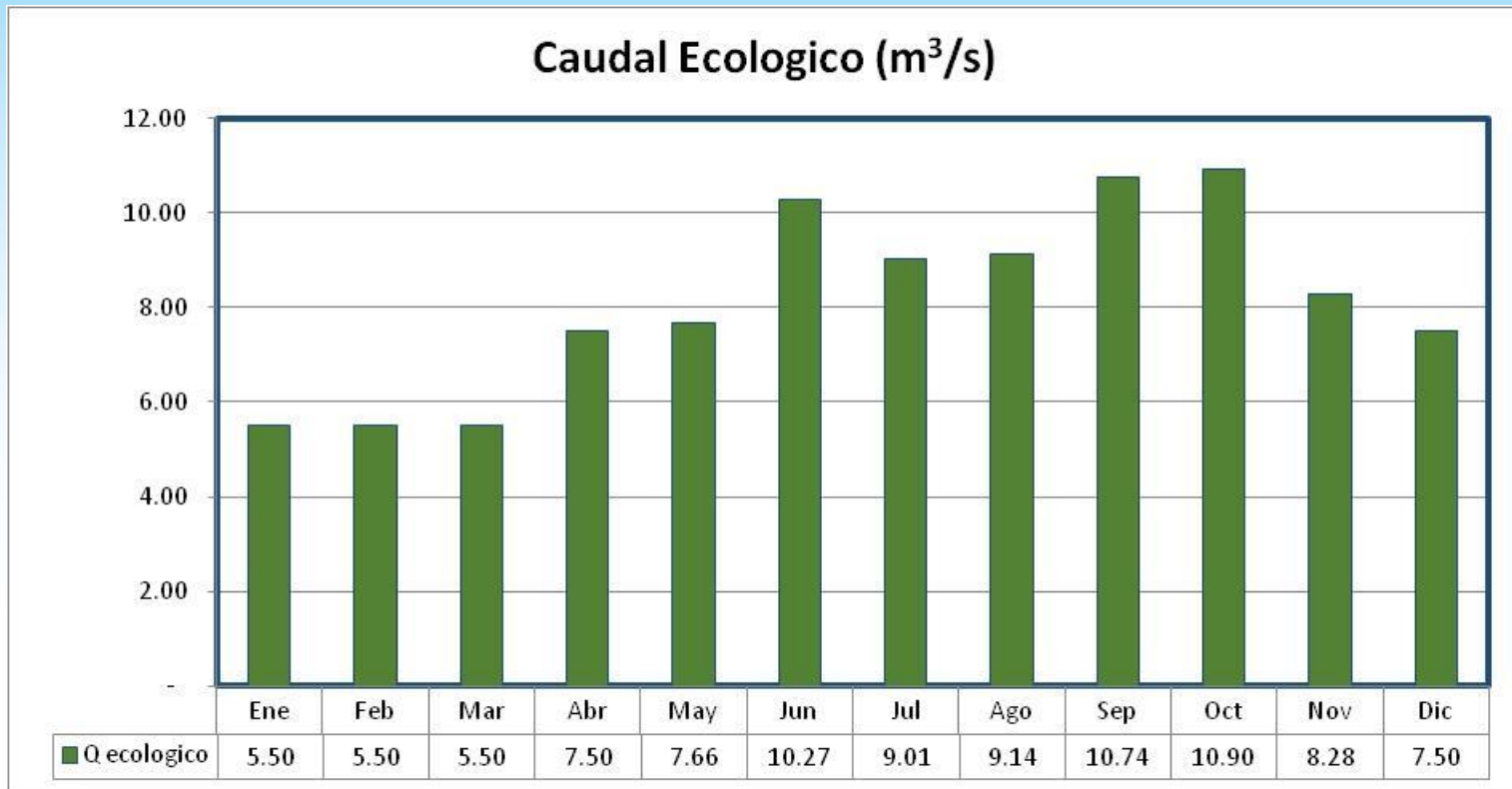
Propuesta



Propuesta de Caudal Ecológico

Caudal (m ³ /s) y volumen ecologico (miles de m ³ / mes)						
Mes	Clases Q's periodo seco mas represent.	Promedio Q's periodo lluvioso (m ³ /s)	Q ecologico Periodo seco (m ³ /s)	Q ecologico Periodo lluvioso, CE _L = C _R + 10% (Prom mes)	Resumen de Q ecologico (m ³ /s)	Volumen Ecologico
Ene	4.5 - 5.5		5.50		5.50	1,995.05
Feb	4.5 - 5.5		5.50		5.50	2,368.97
Mar	4.5 - 5.5		5.50		5.50	2,227.52
Abr	6.5 - 7.5		7.50		7.50	3,565.49
May		21.61		7.66	7.66	7,978.38
Jun		47.67		10.27	10.27	17,709.69
Jul		35.12		9.01	9.01	9,832.61
Ago		36.39		9.14	9.14	9,092.26
Sep		52.39		10.74	10.74	18,015.75
Oct		54.04		10.90	10.90	20,333.78
Nov		27.78		8.28	8.28	3,993.31
Dic	6.5 - 7.5		7.50		7.50	2,515.02
Total						99,627.82

Propuesta de Caudal Ecológico



Caudal Ecológico

- Este caudal ecológico propuesto
 - No ha considerado los usos consuntivos
 - Turismo y recreación, pesca artesanal, abastecimiento de agua in situ, consumo domestico y riego
 - Esta información cuantitativa no fue considerada debido a que no se tuvo acceso a la misma
 - Considera Hidráulicamente el caudal necesario para preservación de especies
 - No hay umbrales ecológicos para definir mas específicamente este componente del Q_e



Qe y la operación del proyecto, Diseñador Volumen en miles de m³ al mes

Mes	Volumen de demanda insatisfecha	Propuesto a extraer según Diseñador
Ene	4,714.85	1,810.70
Feb	4,714.85	1,566.31
Mar	4,714.85	1,999.54
Abr	4,714.85	2,417.97
May	3,442.18	3,469.58
Jun	3,442.18	4,299.02
Jul	3,442.18	3,862.08
Ago	3,442.18	3,828.75
Sep	3,442.18	4,339.75
Oct	3,442.18	4,602.65
Nov	3,442.18	3,732.48
Dic	4,714.85	2,573.49
Totales	47,669.47	38,502.31

- La propuesta de operación del diseñador
 - Satisface demanda de mayo a noviembre
 - No satisface la demanda en los meses de Diciembre a Abril
 - Deficit anual de 9.2 millones de m³
- Propuesta no considera caudal ecológico



Qe y la operación del proyecto, Propuesto Volumen en miles de m³ al mes

Mes	Volumen Ecologico	Disponible para extracción	A extraer	A extraer + reserva para verano
Ene	1,995.05	958.78	-	-
Feb	2,368.97	387.22	-	-
Mar	2,227.52	905.83	-	-
Abr	3,565.49	1,493.41	-	-
May	7,978.38	22,244.14	3,469.58	5,183.86
Jun	17,709.69	70,201.98	4,299.02	6,013.30
Jul	9,832.61	40,667.94	3,862.08	5,576.37
Ago	9,092.26	37,654.45	3,828.75	5,543.04
Sep	18,015.75	65,020.19	4,339.75	6,054.03
Oct	20,333.78	83,469.04	4,602.65	6,316.94
Nov	3,993.31	12,947.57	3,732.48	5,446.77
Dic	2,515.02	2,543.88	-	-
Totales	99,627.82	338,494.42	28,134.31	40,134.31

- Considerando el Qe
 - Durante invierno
 - Se satisface demanda
 - Hay caudal remanente
 - Durante Estiaje
 - Hay disponibilidad para extracción pero, no se recomienda operación intermitente
- Se recomienda almacenar en Concepción
 - En invierno extraer un volumen adicional de reserva de 1.7 Millones m³/mes, para el verano, y
 - Almacenar en Represa Concepción
 - **12 millones m³ no se llenan en invierno**
 - Otro embalse – 7 millones m³

Que y la operación del proyecto

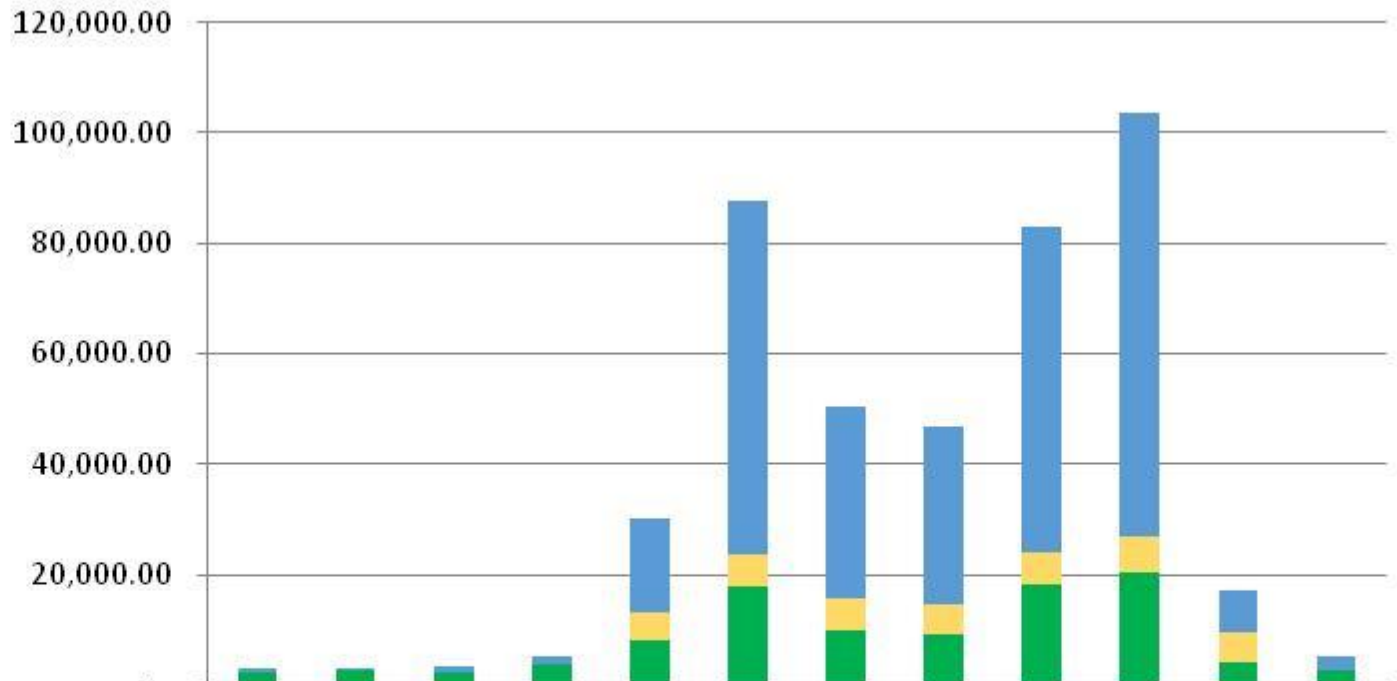
Resultados de la propuesta / Diseño

1. Beneficio: **Mayor volumen de venta**
 - 1.6 millones de m³ anuales
2. Proyecto no operaria de Diciembre a Abril
3. Costos constructivos adicionales:
 - Mayor diámetro de tubería
 - Mas bombas elevadoras
 - Interconexión de acueductos
4. Es posible amortizar estos costos con:
 - Mayor volumen disponible para venta



Qe y la operación del proyecto ,

Volumen en miles de m3 al mes



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
■ Volumen remanente	958.7	387.2	905.8	1,493	17,06	64,18	35,09	32,11	58,96	77,15	7,500	2,543
■ A extraer + reserva para verano	-	-	-	-	5,183	6,013	5,576	5,543	6,054	6,316	5,446	-
■ Volumen Ecologico	1,995	2,368	2,227	3,565	7,978	17,70	9,832	9,092	18,01	20,33	3,993	2,515

Conclusiones

1. El equipo de diseño general del proyecto debe
 - Incluir al personal interdisciplinario que establece el Qe desde etapas de pre factibilidad para
 - Mejorar el análisis antes de pasar a etapas de diseño
2. Realizar 1 año de estudios de:
 - Hidrología
 - Ictiología
 - Calidad de Agua
 - Caudal consuntivo detallado



Conclusiones

3. La dinámica fluvial del posible tramo seco durante estiaje es generada por:
 - Flujos en pulsos diarios del caudal turbinado + caudal base del Rio Moramulca
 - Proveen estabilidad del hábitat y la conectividad ecológica.
4. En el periodo lluvioso
 - Comportamiento similar + un aporte adicional del canal de demasías de la represa
5. El operador de la represa debe mantener esta dinámica fluvial
 - Todos los días debe generarse efluente = Q_e



**Muchas Gracias por su
Atención**

