

Sostenibilidad: aprovechamiento perdurable de recursos persistentes



Pescadores en la ciénaga de Zambrano <http://www.panoramio.com/photo/8687629> © Álvaro Esparragoza Mejía, 2008

Evaluación y plan de aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos del municipio de Zambrano



Evaluación y plan de aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos del municipio de Zambrano

1. estudios básicos:

- topografía, batimetría, cartografía, DEM
- limnología, análisis hidrológico e hidráulico
- geología, geomorfología
- evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgos

2. plan de manejo de recursos hídricos (RR HH)

- obras de control de avenidas, avulsión y desbordes
- evaluación de potencial hidroeléctrico y usos complementarios
- plan de aprovechamiento
- restauración de sistema cenagoso Zambrano y depuración de aguas residuales

3. evaluación económica y financiera

- análisis económico de plan
- modelo y cierre financiero
- fuentes de financiación

2

6 de julio de 2017



neotrópicos

RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)



1. antecedentes

- alta susceptibilidad de Colombia y de región Caribe a cambio climático: 3
Δ en patrones espaciales y temporales de lluvias → caudales → niveles erosión litoral, reactivación de paleocauces, avulsión → nuevos brazos...
- graves consecuencias de evento La Niña de 2010 - 2011:
 - *deterioro infraestructura pública y privada de vivienda, servicios, transporte...*
 - *pérdida tierra agrícola y pecuaria, pérdida cultivos y producción*
 - *deterioro / inhabilitación infraestructura de protección contra inundaciones*
- Alcaldía de Zambrano: interés en actualizar *estudios de riesgo de inundación: evaluación amenaza + evaluación vulnerabilidad = evaluación riesgo*

RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

2. justificación

- inundación de territorio de Zambrano es función de: *a. niveles esperados y b. interacción hidráulica* entre arroyo Alférez, ciénaga Zambrano y río Magdalena
- *información requerida para evaluar riesgo* es básicamente la misma para *evaluar y planificar aprovechamiento sostenible de recursos hídricos* de Zambrano:
 - energía hidroeléctrica
 - depuración de aguas residuales
 - riego
 - agua potable
 - protección contra la inundación por avenidas y desbordes
 - reposición y utilización de recursos asociados a sistema hídrico: paisaje, bosques y fauna silvestre, pesca, caza, recreación, turismo...
- análisis preliminar con base en información existente sugiere:
 - recursos son abundantes, están en deterioro pero son recuperables
 - aprovechamiento de RRHH con múltiples propósitos son viables
 - planificación (definición de prioridades y precedencias) permiten *sostenibilidad* financiera a largo plazo

RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

3. estudios básicos:

- eventos de inundación que afectan casco urbano y rural nucleado derivan de interacción limnológica, hidrológica e hidráulica de tres componentes:
 - 1. arroyo Alférez
 - 2. complejo cenagoso Zambrano (playón de desborde ↔ ciénaga ↔ caño)
 - 3. frente litoral sobre río Magdalena

- evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgos requiere:
 - cartografía (IGAC) + topografía + batimetría → DEM
 - limnología (estratificación térmica/química y circulación diferencial de masas de agua)
 - factores determinantes calidad del agua de sistema Alférez – Zambrano y de río Magdalena
 - análisis hidrológico (series eventos extremos de creciente/sequía, componentes 1. – 3.)
 - predicción niveles para varios intervalos de recurrencia (IR medio, 10, 50 y 100 años)
 - análisis hidráulico: interacciones a° Alférez ↔ cga Zambrano ↔ río Magdalena
 - mapas de inundabilidad para varios IR y condiciones de interacción hidráulica:
 - (a) y (b) $nivel\ ciénaga \leq nivel\ río$
 - (c) y (d) $nivel\ arroyo \leq nivel\ ciénaga$
 - geología, geomorfología
 - ° fotointerpretación → estratigrafía, morfología y drenaje
 - ° secciones, cortes, muestras (roca y suelo) → cartografía detallada
 - ° descripción de paleo-ambientes
 - ° identificación de sectores vulnerables (geotécnica)
 - ° geología subsuelo (métodos geofísicos) + perforaciones tricónicas + recuperación núcleos

- mapa de riesgos
 - según tipo y probabilidad de amenaza
 - según magnitud de vulnerabilidad

RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

Ejemplo de evaluación de amenaza de inundación, Zambrano:

A. Condiciones y limitantes del ejemplo:

1. análisis sólo contempla aumento de nivel en ***sistema arroyo - Zambrano - río***, gobernado hidrológicamente por niveles del río
2. superficies de inundación generadas con base en datos de 4 estaciones de IDEAM, hasta 2012:
 - Magangué-Esperanza
 - Tacamocho
 - Plato
 - Calamar
3. ni ciénaga Zambrano ni a° Alférez están instrumentados
4. cartografía base tomada de [IGAC](#), escala 1:100.000
5. DEM imágenes ASTER, [Global Data Explorer](#), pixel de 30 m

RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

Datos para cálculo de superficies de inundación

intervalo de recurrencia → estación ↓	cota de creciente ¹ (m snm)				
	2,33	10	50	100	La Niña 2010-2011
Magangué - La Esperanza	16,76	17,66	18,22	18,40	18,50
Tacamocho (inactiva desde 2012)	13,76	15,07	16,36	16,90	15,65
Plato	12,01	13,77	14,98	15,41	14,81
Calamar	7,68	9,02	10,35	10,91	9,29

Datos para cálculo de superficies de inundación

7

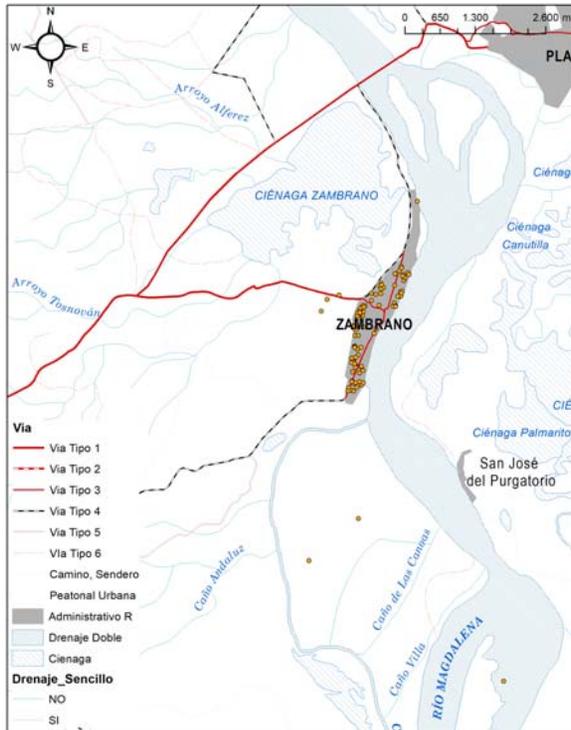
intervalo de recurrencia → estación ↓	pendiente (‰ m/km)					cota 0,0 de mira (m snm)	distancia (km)
	2,33	10	50	100	La Niña 2010-2011		
Magangué - La Esperanza						8,54	0,00
Tacamocho (inactiva desde 2012)	0,105	0,091	0,065	0,053	0,100	5,63	28,50
Plato	0,039	0,029	0,031	0,033	0,019	-0,04	44,90
Calamar	0,055	0,061	0,059	0,058	0,071	-0,21	78,10

¹ Cotas calculadas a partir de serie de valores máximos mensuales multianuales de cada estación. Valor extremo probable de cada estación calculado según varios métodos (normal, Gumbel, Pearson, log Pearson, EV3, etc.). Se selecciona aquel resultado cuyo valor probable es el más significativo estadísticamente mediante prueba de χ^2 .

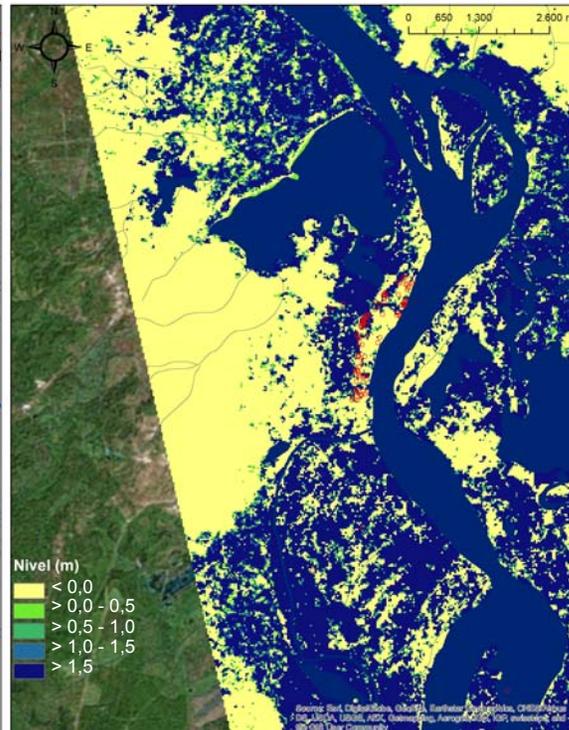
RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

Ejemplo de evaluación de amenaza de inundación, Zambrano:

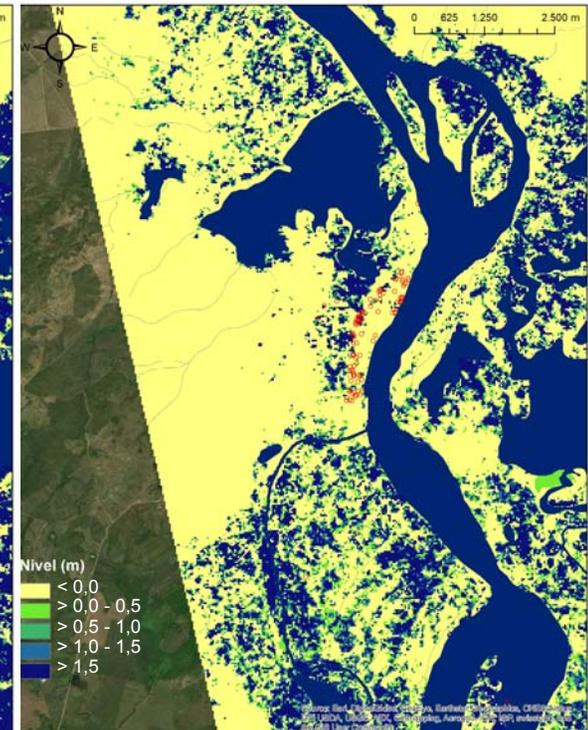
C. Resultados



Zambrano, ciénaga, a° Alférez
© IGAC 1:100.000 www.igac.gov.co



Creciente real La Niña 2010-2011



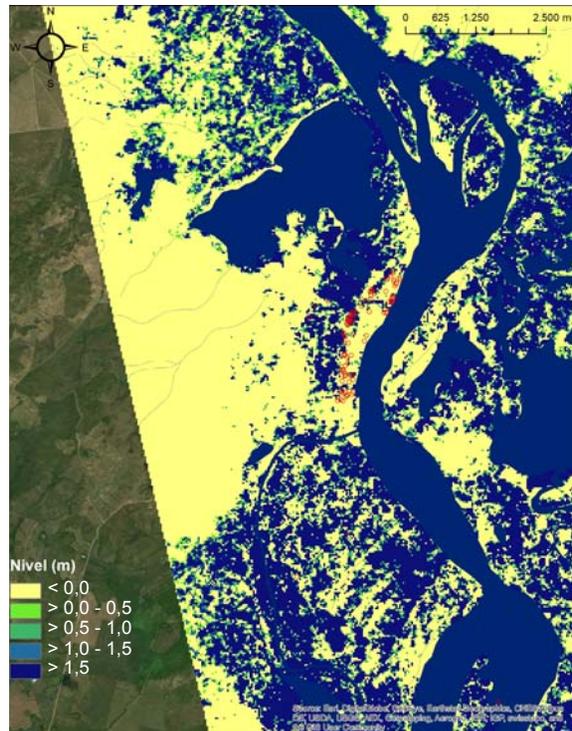
Creciente media, IR = 2,33 años

Los puntos rojos son las viviendas de damnificados según censo REUNIDOS del FONDO ADAPTACIÓN y verificados por el operador de vivienda (COMFENALCO-Cartagena)

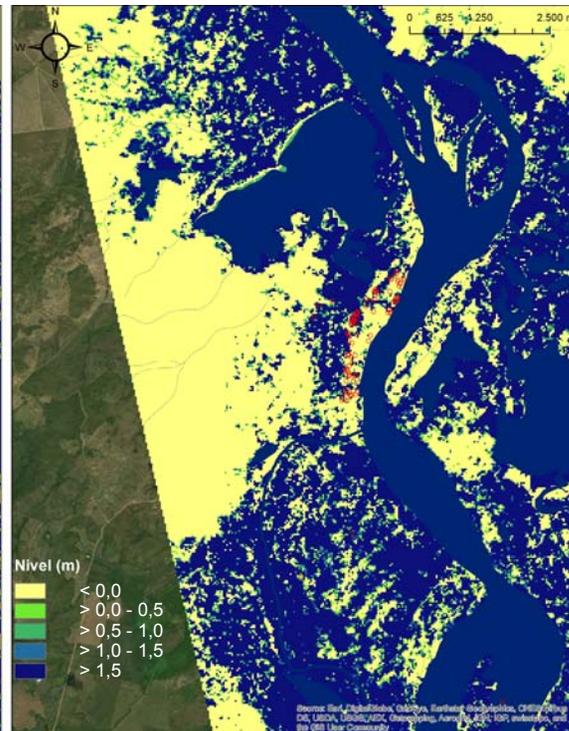
RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

Ejemplo de evaluación de amenaza de inundación, Zambrano:

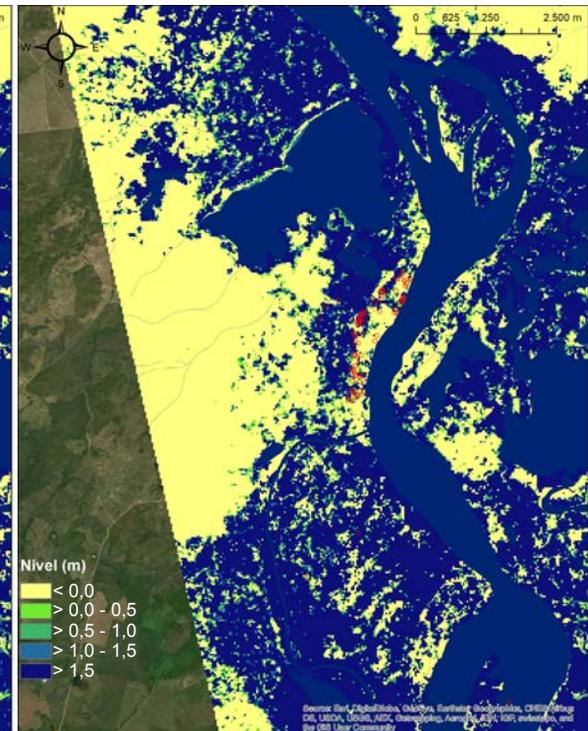
C. Resultados (continuación)



Creciente decadal, IR = 10 años



Creciente cincuentenaria,
IR = 50 años



Creciente centenaria, IR = 100 años

RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

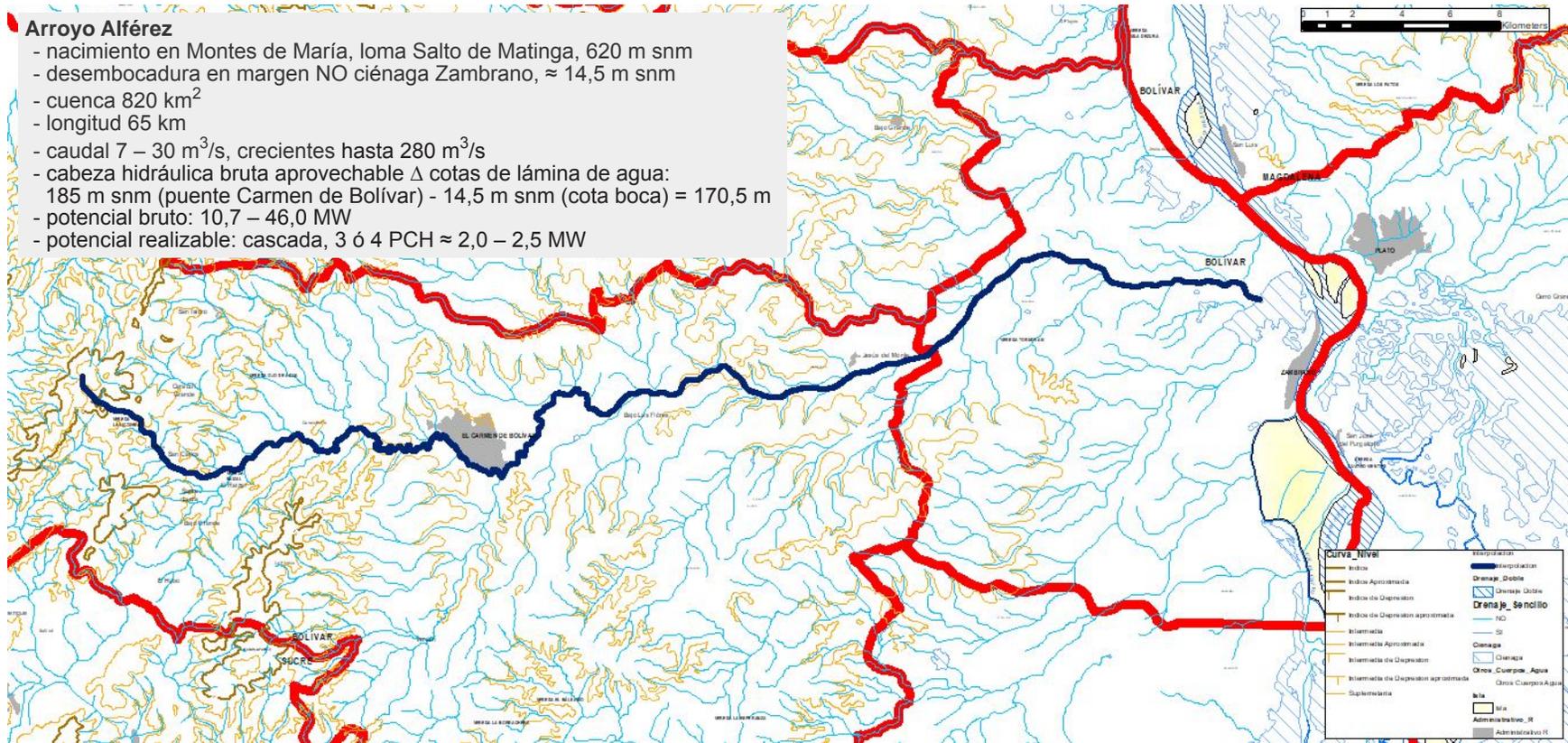
3. plan de manejo de recursos hídricos

- procesos y obras de control de avenidas, avulsión y desbordes (ejemplos):
 - reglamentación de *aprovechamiento de recursos agua y suelo* de complejo Zambrano
 - restauración de *ciclo creciente - estiaje* en sistema Alférez-Zambrano-Magdalena
 - revegetalización de orillares expuestos a erosión/rompientes + obras complementarias
 - recuperación de vaso de ciénaga Zambrano (playones, espejo de agua...)
 - diques de protección contra desbordes y avenidas
- evaluación de potencial hidroeléctrico y plan de aprovechamiento
 - topografía + geología + hidrología → potencia (MW) + energía (MWh) potenciales
 - condicionantes y restricciones ambientales y sociales
 - usos complementarios de aguas turbinadas (riego, agua potable...)
 - análisis multiobjetivo (técnicos, económicos, financieros, ambientales, sociales...) de cascadas alternativas, transmisión y usos asociados de agua turbinada
 - selección de cascada óptima (abscisas, cabezas, número y tipo de turbinas, caudales...) sistema complementario de transmisión; plan de comercialización de energía, de CRE...
 - presupuestos (terrenos y servidumbres, obras civiles, equipos, transmisión...)
 - evaluación financiera, modelo financiero, TIR, VPN, C/B, ROE... cierre financiero
- restauración de sistema cenagoso Zambrano y depuración de aguas residuales
 - status de "**manejo**" de residuos sólidos y de aguas servidas en Zambrano
 - calidad de aguas de sistema Alférez – Zambrano y río Magdalena
 - reglamentación de aprovechamiento de recursos agua y suelo de complejo Zambrano
 - análisis de factibilidad de habilitación de humedal artificial para complementar plan maestro de alcantarillado de muy incipiente desarrollo

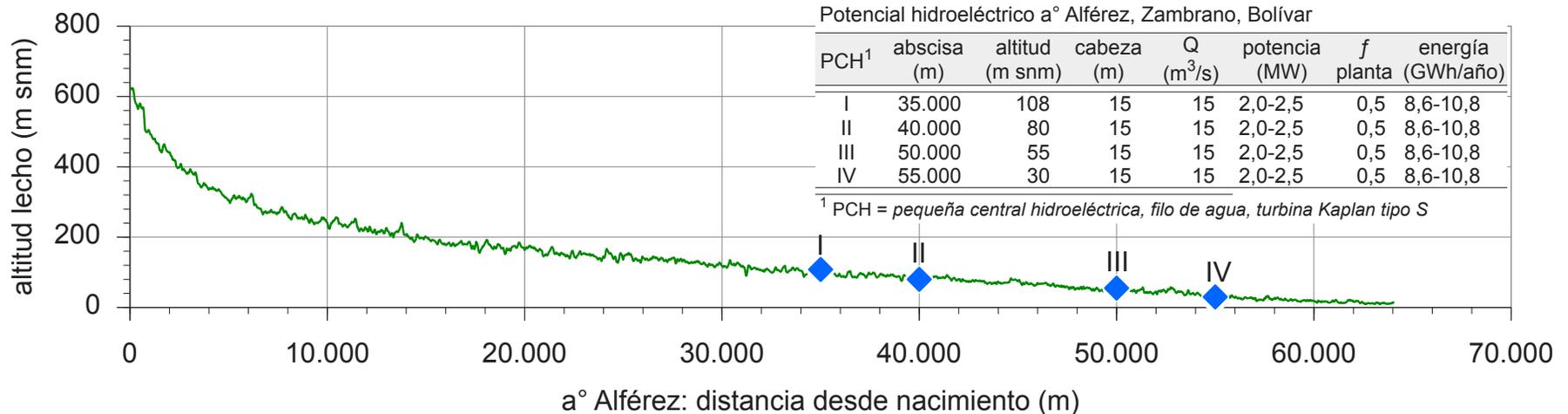
RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

Arroyo Alférez

- nacimiento en Montes de María, loma Salto de Matinga, 620 m snm
- desembocadura en margen NO ciénaga Zambrano, ≈ 14,5 m snm
- cuenca 820 km²
- longitud 65 km
- caudal 7 – 30 m³/s, crecientes hasta 280 m³/s
- cabeza hidráulica bruta aprovechable Δ cotas de lámina de agua:
185 m snm (puente Carmen de Bolívar) - 14,5 m snm (cota boca) = 170,5 m
- potencial bruto: 10,7 – 46,0 MW
- potencial realizable: cascada, 3 ó 4 PCH ≈ 2,0 – 2,5 MW



11



RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

Arroyo Alférez¹

- nacimiento en Montes de María, loma Salto de Matinga, 620 m snm
- desembocadura en margen NO ciénaga Zambrano, $\approx 14,5$ m snm
- cuenca 820 km²
- longitud 65 km
- caudal 7 – 30 m³/s, crecientes hasta 280 m³/s
- cabeza hidráulica bruta aprovechable Δ cotas de lámina de agua:
185 m snm (puente Carmen de Bolívar) - 14,5 m snm (cota boca) = 170,5 m
- potencial bruto: 10,7 – 46,0 MW
- potencial realizable: cascada, 3 ó 4 PCH (pequeña central hidroeléctrica) $\approx 2,0$ – 2,5 MW

Ciénaga Zambrano¹

- área 522,6 – 690,1 ha
- elasticidad (*área de playones*) = área máxima - área mínima (históricas) = 167,5 ha
- perímetro 18,1 – 22,5 km
- profundidad media 3,5 (estiaje) – 8,7 m (aguas altas)
- volumen 27,2 - 35,9 Mm³

Caño Zambrano¹

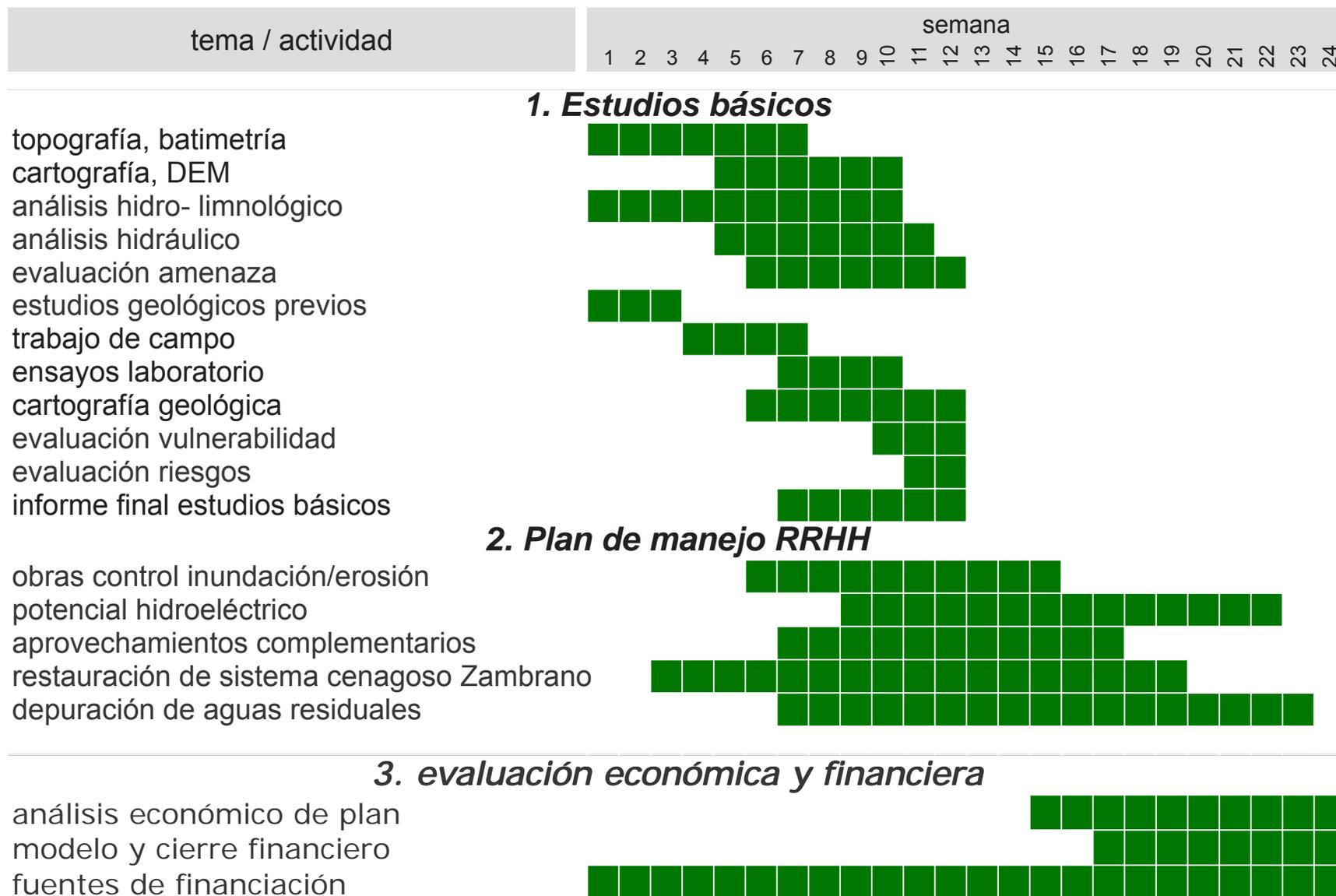
- canal meándrico dirección N, subparalelo al río Magdalena
- longitud 2 km, sección \approx trapezoidal, anchura base 10 m, hombro 28 m
- cota fondo 9,15 m snm, profundidad variable
- permite intercambios agua entre ciénaga Zambrano y río Magdalena
- si nivel río > nivel ciénaga, flujo hacia la ciénaga
- si nivel ciénaga > nivel río, flujo hacia el río

12

¹ EIA + PMA puente Zambrano - Plato, 1994. Neotrópicos para INCOPLÁN, CONSORCIO PUENTE PLATO e INVÍAS

RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

Cronograma *tentativo*



RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

Costos *tentativos*

rubro	unidad	costo unitario (\$1·10 ³)	cantidad	Σ (\$1·10 ³)
1. Estudios básicos				
personal	semanas·hombre			
<i>coordinación</i>		4.500	8	36.000
<i>topografía, batimetría, cartografía, DEM</i>		4.000	10	40.000
<i>limnología</i>		4.000	6	24.000
<i>hidrología-hidráulica</i>		4.000	9	36.000
<i>geología</i>		4.000	6	24.000
viáticos	días·hombre	150	75	11.250
transporte en campo	días·vehículo	280	52	14.560
análisis laboratorio (aguas/suelos/rocas...)	muestras	358	36	12.888
perforaciones / análisis geoelectricos	global	35.000	1	35.000
Σ				233.698
Administración	15,0 %			35.055
Imprevistos	5,0 %			11.685
Utilidades	6,0 %			14.022
$\Sigma\Sigma$				294.459

RR HH - Zambrano evaluación + plan (06.07.2017)

Costos *tentativos*

rubro	unidad	costo unitario (\$1·10 ³)	cantidad	Σ (\$1·10 ³)
2. Plan de manejo RRHH y 3. evaluación económica y financiera				
personal	semanas·hombre			
<i>coordinación</i>		4.500	8	36.000
<i>obras control inundación/erosión potencial hidroeléctrico</i>		4.000	8	32.000
<i>aprovechamientos complementarios</i>		4.000	10	40.000
<i>restauración sistema cenagoso Zambrano</i>		3.500	8	28.000
<i>depuración de aguas residuales presupuestos</i>		4.000	9	36.000
<i>análisis económico de plan modelo y cierre financiero</i>		4.000	10	40.000
<i>fuentes de financiación</i>		3.500	4	14.000
viáticos	días·hombre	4.000	5	20.000
transporte en campo	días·vehículo	4.000	5	20.000
servicios externos	global	4.000	4	16.000
Σ				335.710
Administración	15,0 %			50.357
Imprevistos	5,0 %			11.685
Utilidades	6,0 %			14.022
ΣΣ				411.773