

Pronóstico de Escenarios bajo
condiciones Hidrometeorológicas
adversas y de contaminación en la
Presa de Jales, en la Cuenca La
Muela, B.C.S.

Para: Paredones Amarillos

Por: CICIMAR - IPN

Dr. Angel R. Jiménez Illescas

Dr. Sergio Troyo Diéguez

Ing. Martín Ortiz Perez

Ing. Ezequiel López Bautista

Ing. Jorge González Godínez

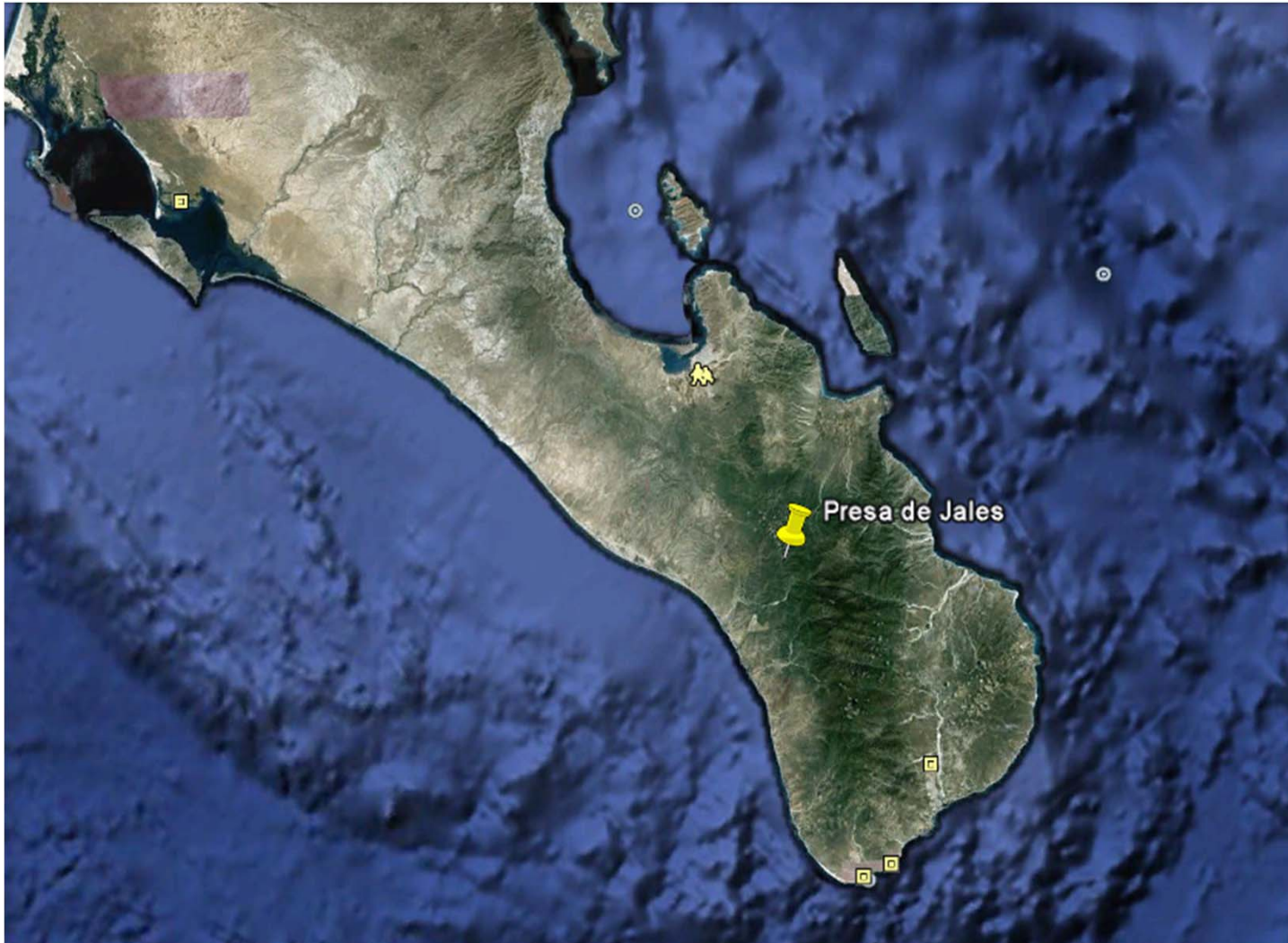
Modelo HEC–HMS

Software auxiliar en el análisis y diseño de cuencas y subcuencas.

Se divide el área de estudio en 21 subcuencas, de las cuales solo 14 descargan hacia el arroyo La Muela.

El proyecto se encuentra en la Subcuenca 1, es decir, en la parte más alta, cerca del parteaguas.

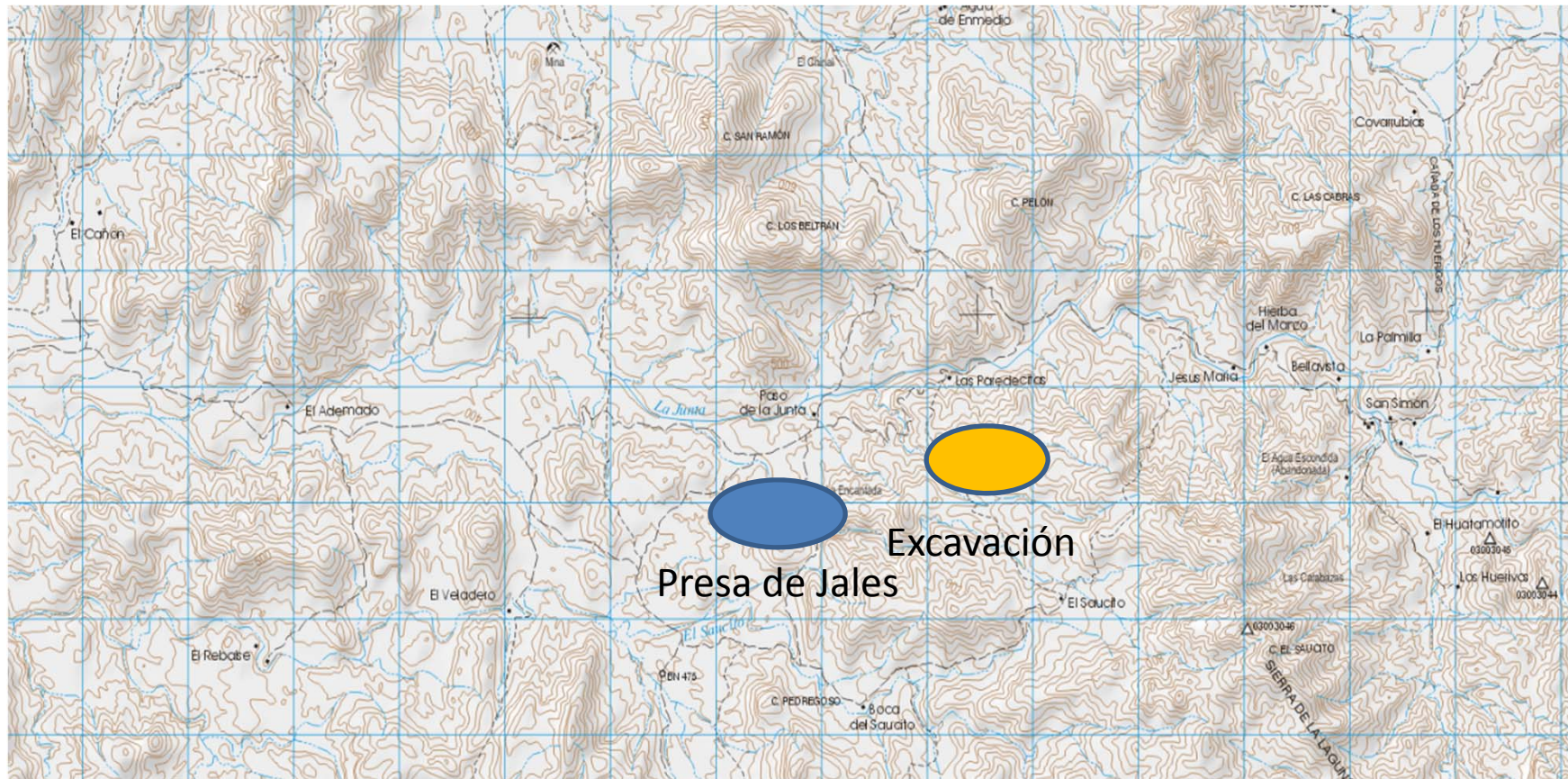
Ubicación Paredones Amarillos



Visa 3D hacia desembocadura



Plano INEGI Arroyo La Junta



CUENCA

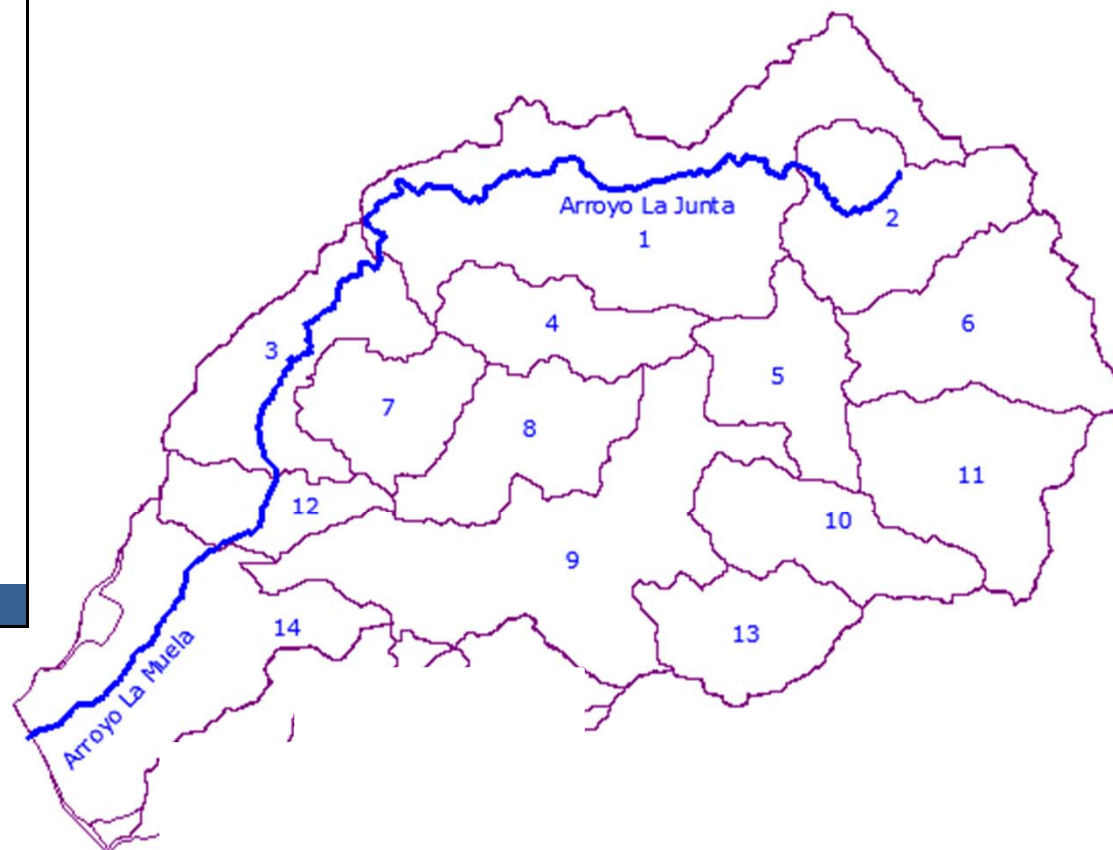
Para hacer un estudio hidrológico, la unidad es la cuenca.

Las cuencas son unidades independientes y en este caso, están separadas por sus parteaguas y por el mar.



CUENCA LA MUELA

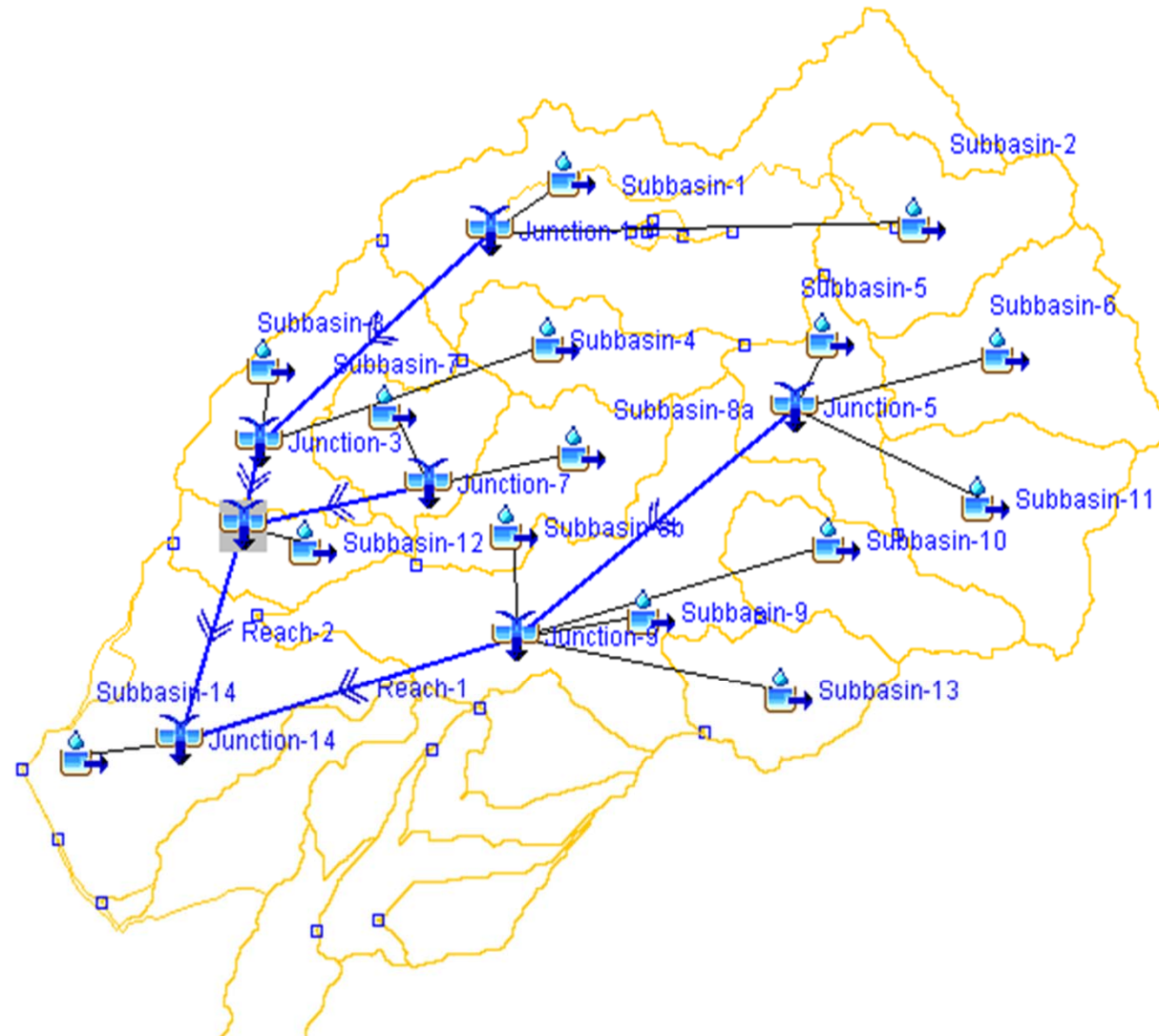
Subcuenca	Área (km ²)
1	76.838
2	28.274
3	18.053
4	19.839
5	32.974
6	28.542
7	17.717
8a	19.507
8b	3.343
9	30.567
10	13.789
11	60.908
12	22.591
13	19.342
14	48.441
SUMA	440.723



Cuenca La Muela

Es muy importante resaltar que el escurrimiento superficial de esta cuenca (con sus 14 subcuencas) no está en comunicación ni con El Carrizal, ni con Todos Santos, ni con El Triunfo, ni con San Antonio – Los Planes, sino que la Cuenca La Muela tiene sus parteaguas al norte y sur muy bien delimitados por estructuras de roca sólida formada por granitos y rocas metamórficas.

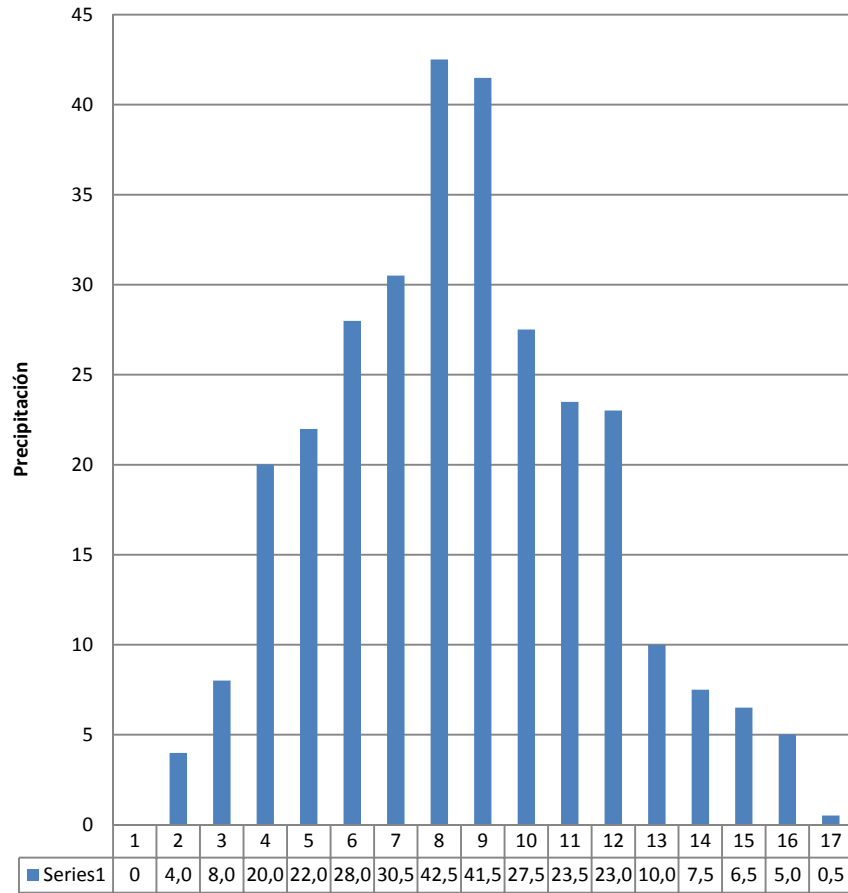
DESARROLLO DEL PROGRAMA HEC HMS y RAS



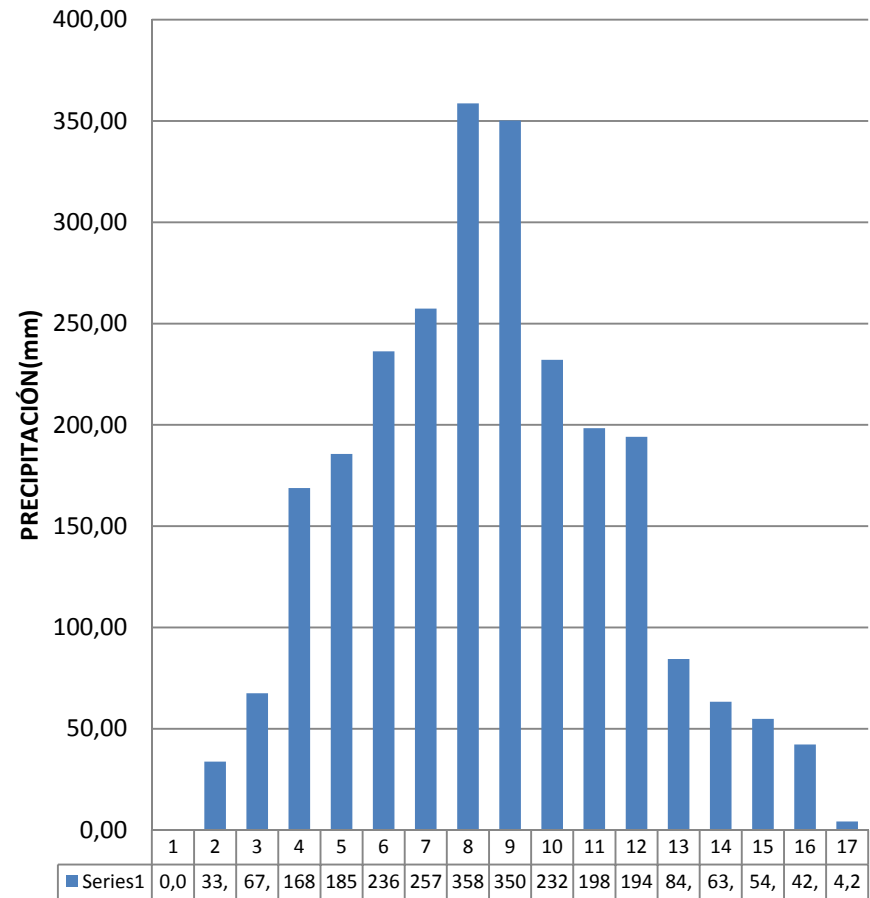
Tributarios de la Cuenca La Muela



Hietograma 300 mm

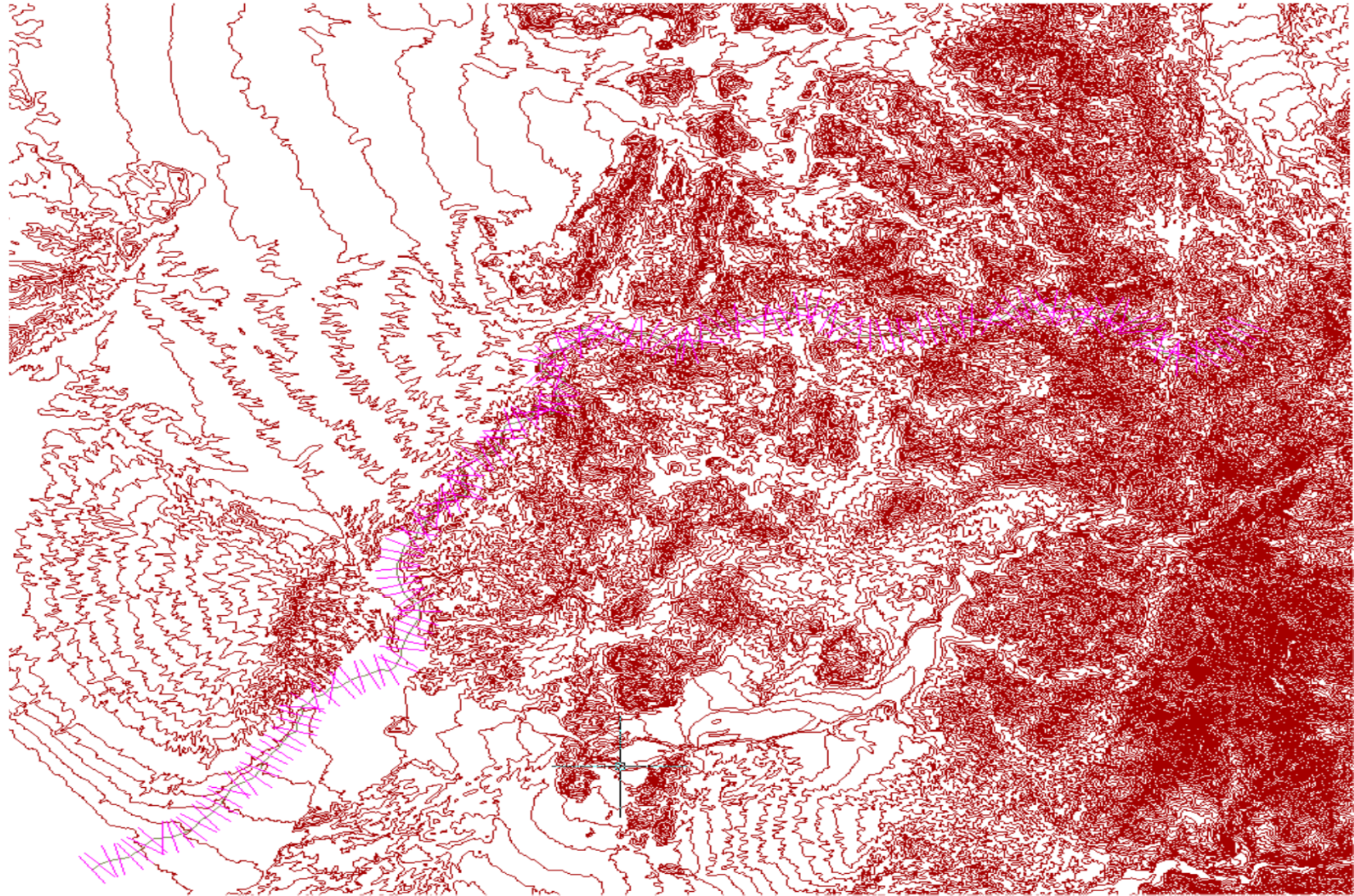


Hietograma 2532 mm



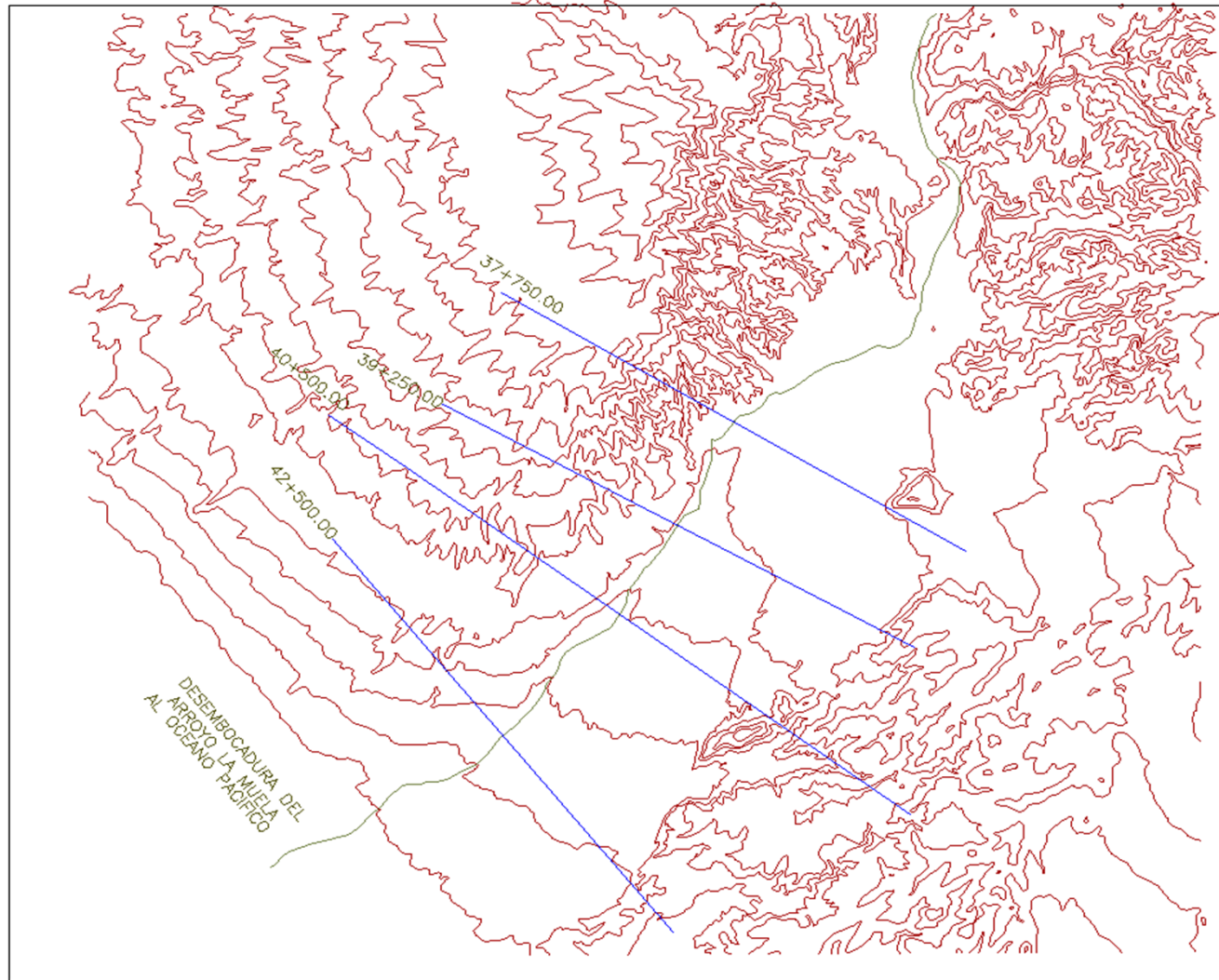
1.DATOS DE ENTRADA PARA EL PROGRAMA HEC.RAS 4.0, PARA UNA LLUVIA DE 2532 MM. CONSIDERANDO EL FLUJO TOTAL PARA LA DESEMBOCADURA DEL ARROYO HACIA EL OCÉANO PACIFICO

SUBCUENCA	FLUJO (m ³ /s)	NÚMERO DE MANNING
1	10920.50	0.011
2	4018.40	0.011
3	2565.80	0.011
4	2819.60	0.011
5	4686.40	0.011
6	4056.50	0.011
7	2518.00	0.011
8a	2772.40	0.011
8b	475.10	0.011
9	4344.30	0.011
10	1959.80	0.011
11	8656.50	0.011
12	3210.70	0.011
13	2749.00	0.011
14	6884.60	0.011
TOTAL	62637.60	0.011

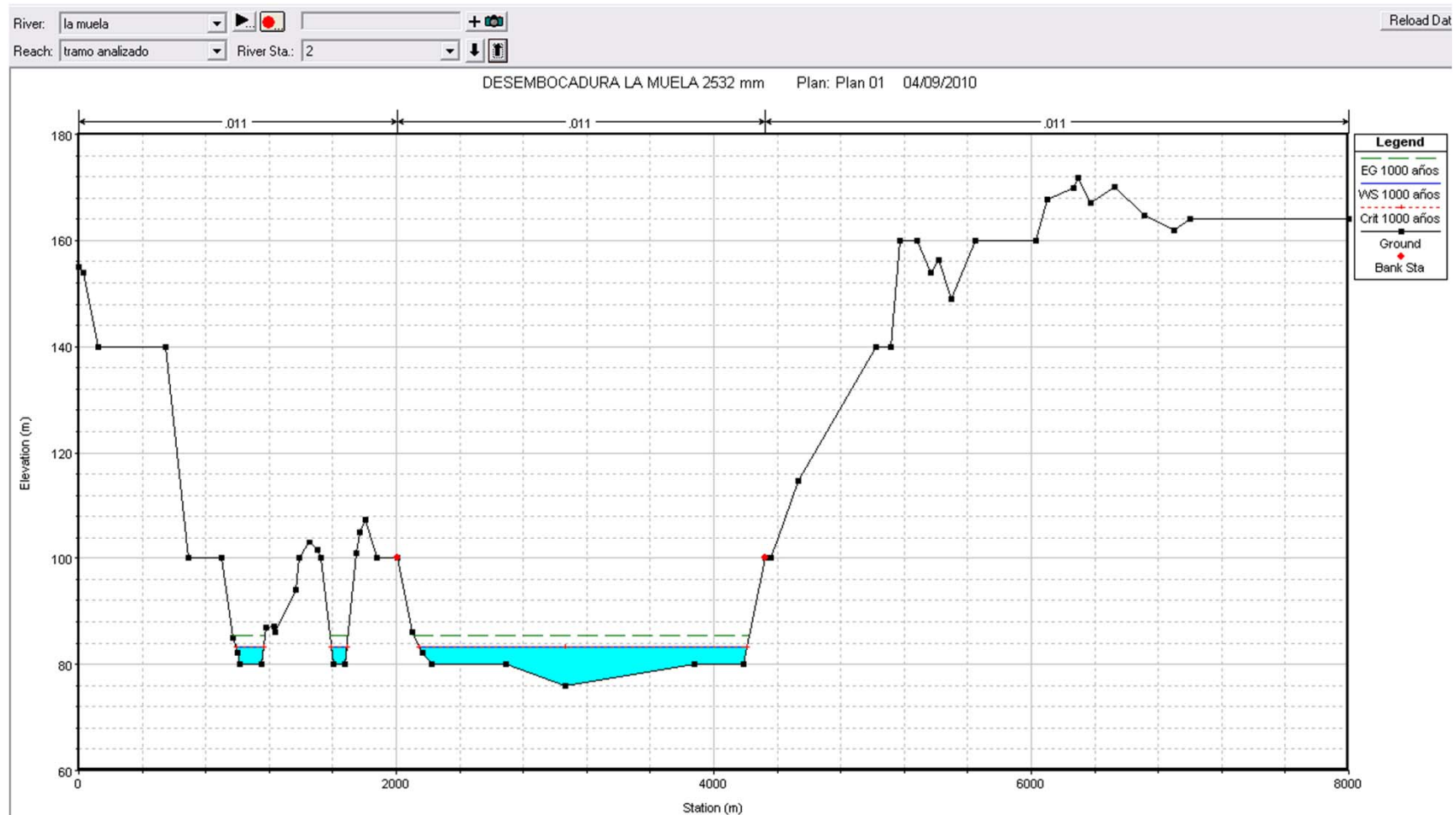


Secciones Transversales de la cuenca La Muela

Secciones de la parte baja de la cuenca



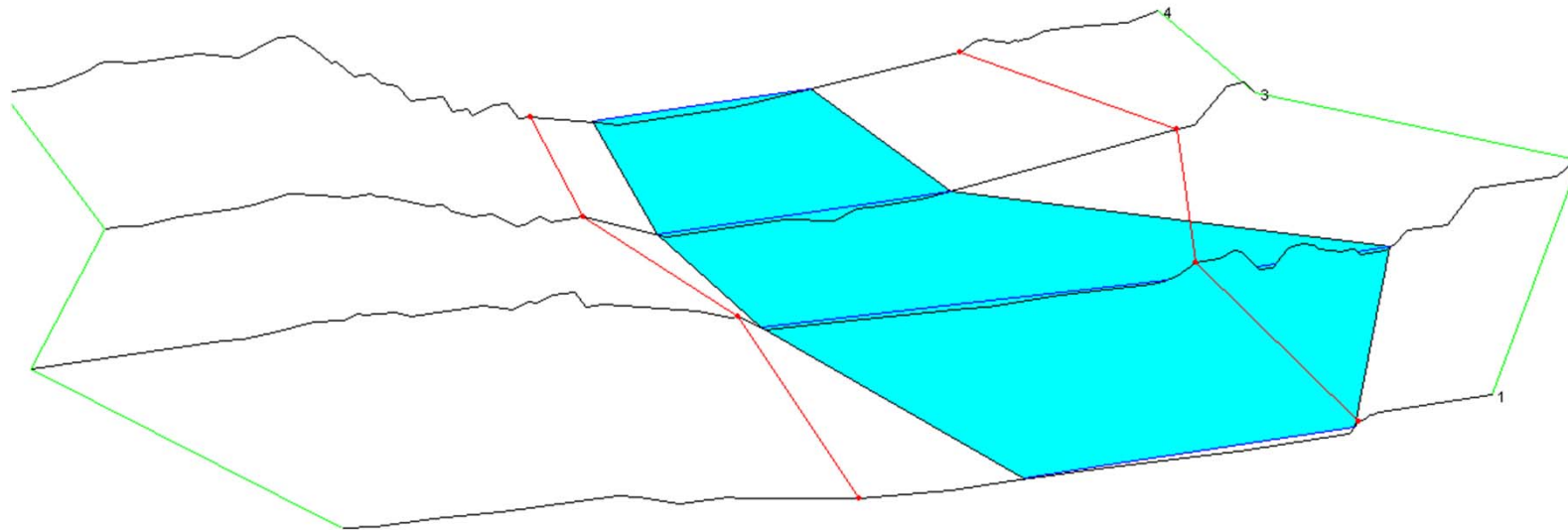
En el peor de los escenarios, con la lluvia máxima en 1000 años, (2532 mm), se observan escurrimientos por cauces adicionales al principal, que normalmente no llevan agua.



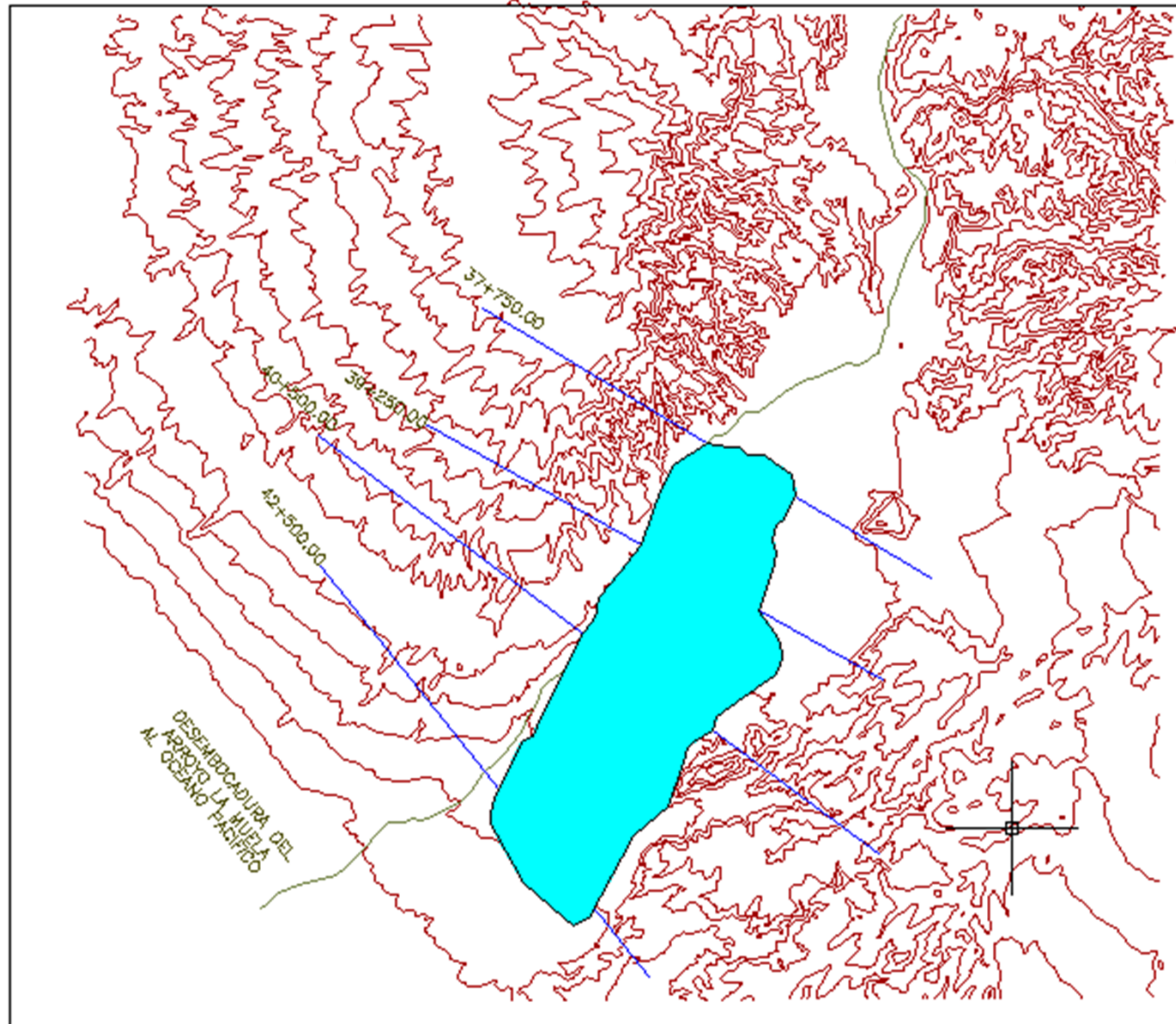
3D Area de inundación en la desembocadura con una lluvia de 2532 mm en 8 hrs.

DESEMBOCADURA LA MUELA 2532 mm Plan: Plan 01 04/09/2010

Legend	
	WS 1000 años
	Ground
	Bank Sta



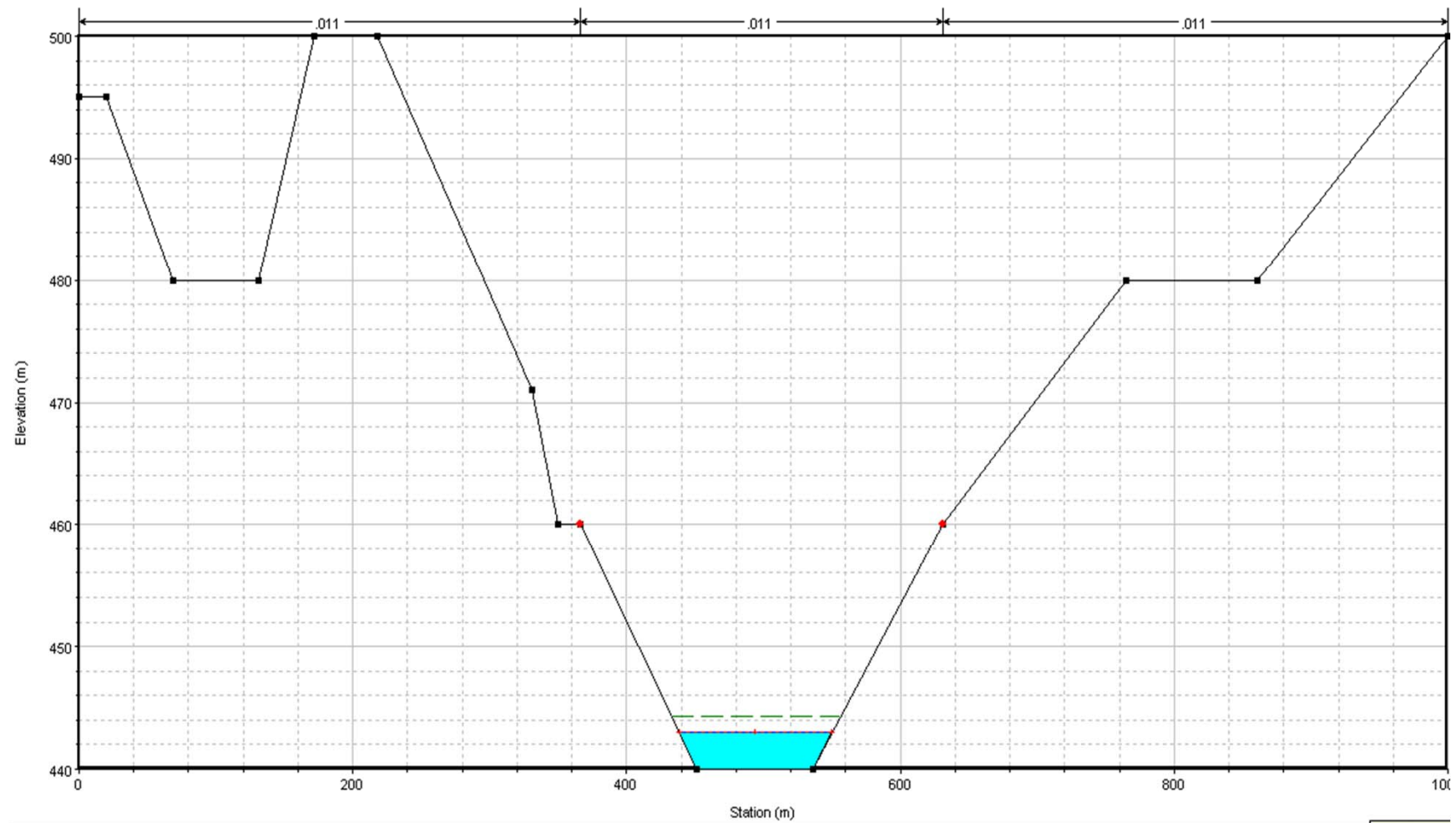
Zona de inundación en la desembocadura



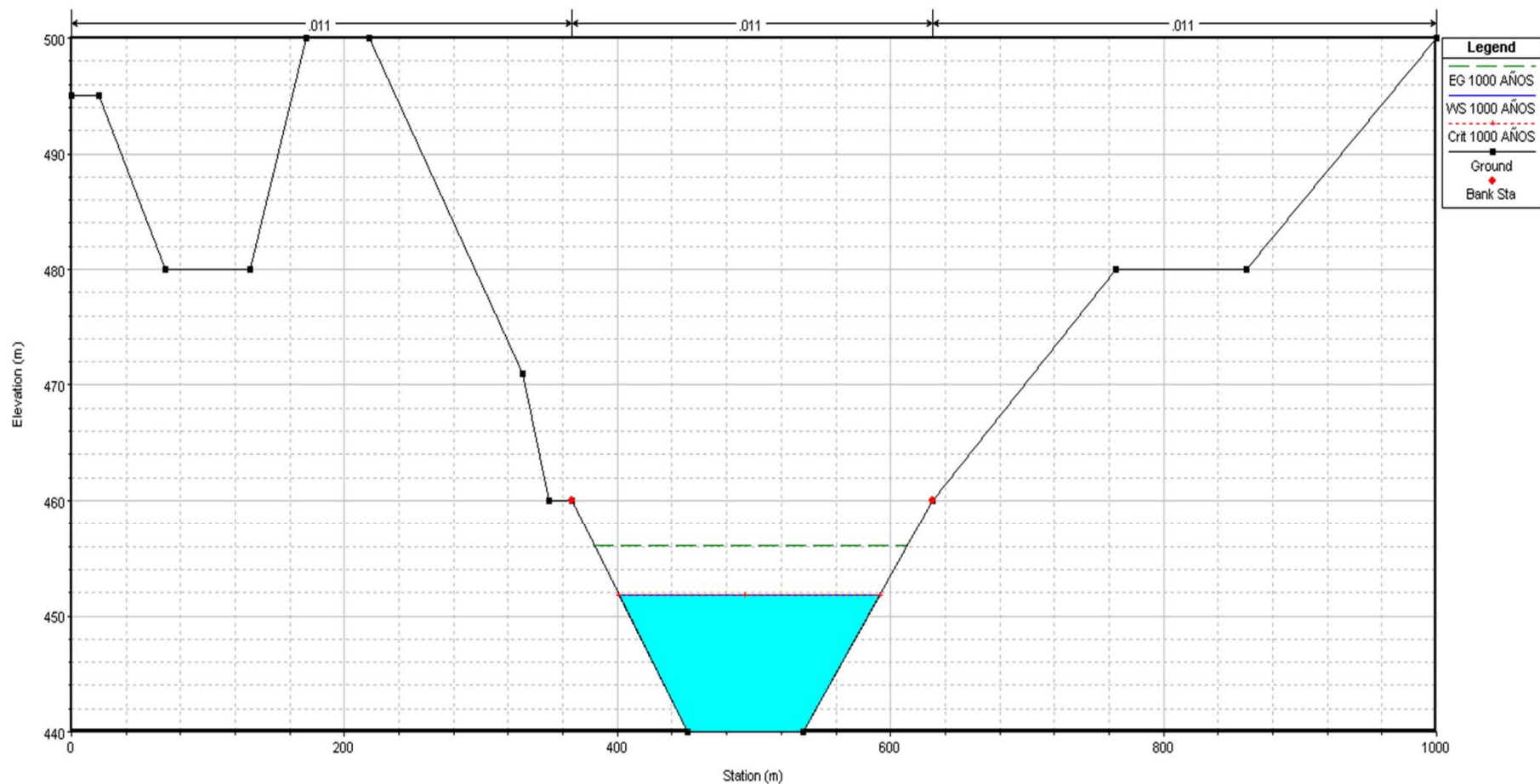
El objetivo de la aplicación de este modelo es pronosticar los niveles que alcanzaría la avenida de agua, en diferentes escenarios, considerando la lluvia máxima en un período de 100 años (300 mm/8 hrs) y de 1000 años (2532 mm/8 hrs).



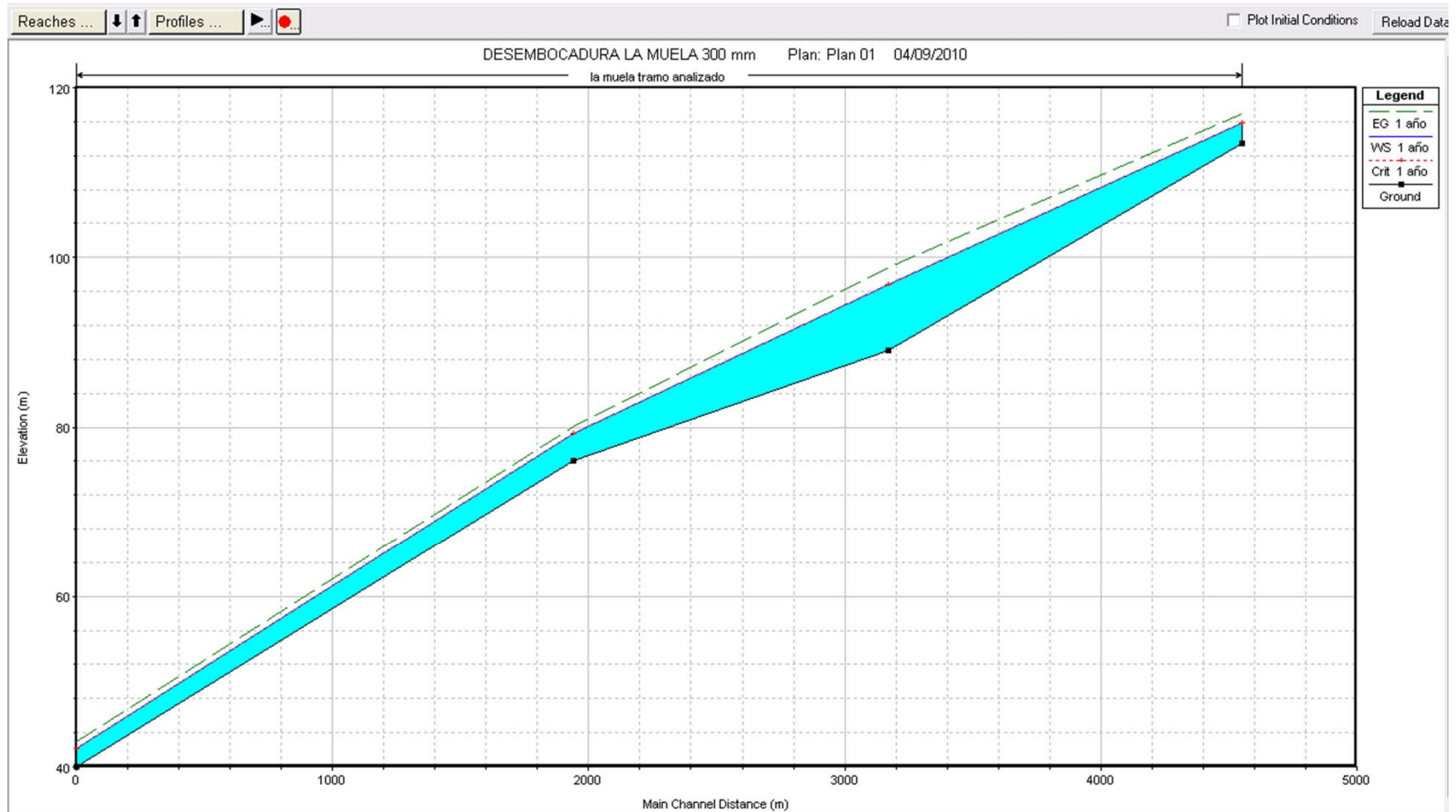
Sección de la Presa de Jales. El nivel del arroyo es muy inferior al nivel de la base de la presa en una lluvia de 300 mm/8 hrs.



Sección de la Presa de Jales. El nivel del arroyo estaría 30 metros abajo del nivel de la base de la presa de jales, inclusive con la lluvia máxima en 1000 años: 2532 mm/8 hrs.



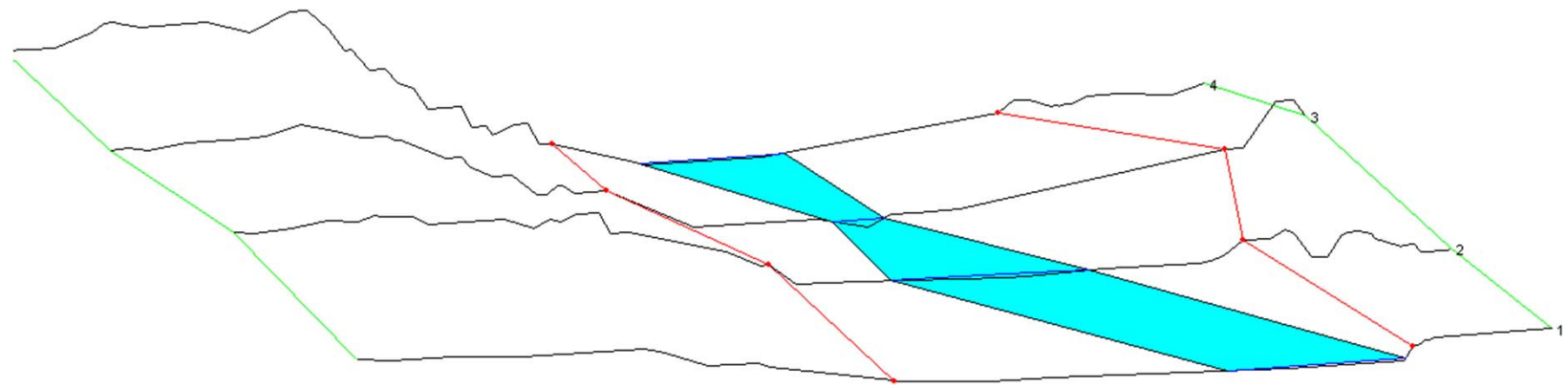
3D Area Presa de Jales



Upstream RS: 4
Downstream RS: 1
Rotation Angle: 64
Azimuth Angle: 18
Reload Data

DESEMBOCADURA LA MUELA 300 mm Plan: Plan 01 04/09/2010

Legend	
	WS 1 año
	Ground
	Bank Sta

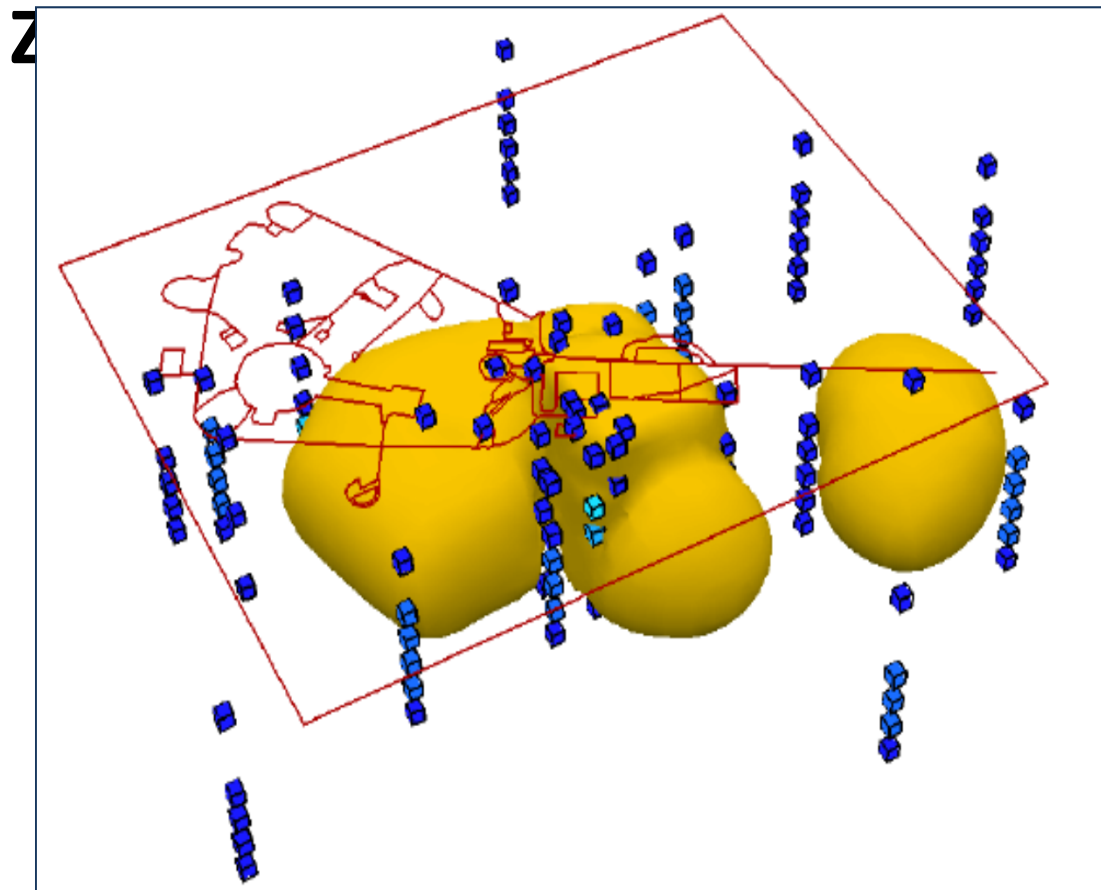


2.6 TABLA COMPARATIVA DE LAS 4 SECCIONES ANALIZADAS

HEC-RAS Plan: Plan River: la muela Reach: tramo analizado Profile: 1 año												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
tramo analizado	4	1 año	6327.10	113.50	115.89	115.89	116.88	0.000948	4.40	1438.73	730.55	1.00
tramo analizado	3	1 año	6327.10	89.00	96.81	96.81	98.77	0.000760	6.21	1019.51	261.16	1.00
tramo analizado	2	1 año	6327.10	76.00	79.25	79.25	80.08	0.001023	4.02	1573.57	967.69	1.01
tramo analizado	1	1 año	6327.10	40.00	42.08	42.08	42.93	0.000993	4.10	1543.32	901.40	1.00

HEC-RAS Plan: Plan River: la muela Reach: tramo analizado Profile: 1000 años												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
tramo analizado	4	1000 años	62637.60	113.50	122.61	122.61	125.98	0.000629	8.13	7699.85	1142.49	1.00
tramo analizado	3	1000 años	62637.60	89.00	104.49	104.49	107.30	0.000684	7.43	8434.07	1526.39	1.01
tramo analizado	2	1000 años	62637.60	76.00	83.29	83.29	85.40	0.000719	6.52	9796.76	2331.38	1.00
tramo analizado	1	1000 años	62637.60	40.00	47.61	47.61	50.15	0.000694	7.07	8856.33	1744.27	1.00

APLICACIÓN DEL PAQUETE DE PROGRAMAS WHI (HELP Y V2SDT) PARA LA MODELACIÓN DE FLUJO SUBSUPERFICIAL Y CONTAMINANTES EN LA



El modelo **Visual HELP** es un modelo de la USEPA para la predicción de procesos hidrológicos en confinamientos, como presas de jales.




Es efectivo para estimar las razones de descarga de aguas subterráneas a través de suelos heterogéneos, calculando la cantidad de agua que se infiltra al subsuelo a partir de la información meteorológica del sitio

y de una serie de datos como:

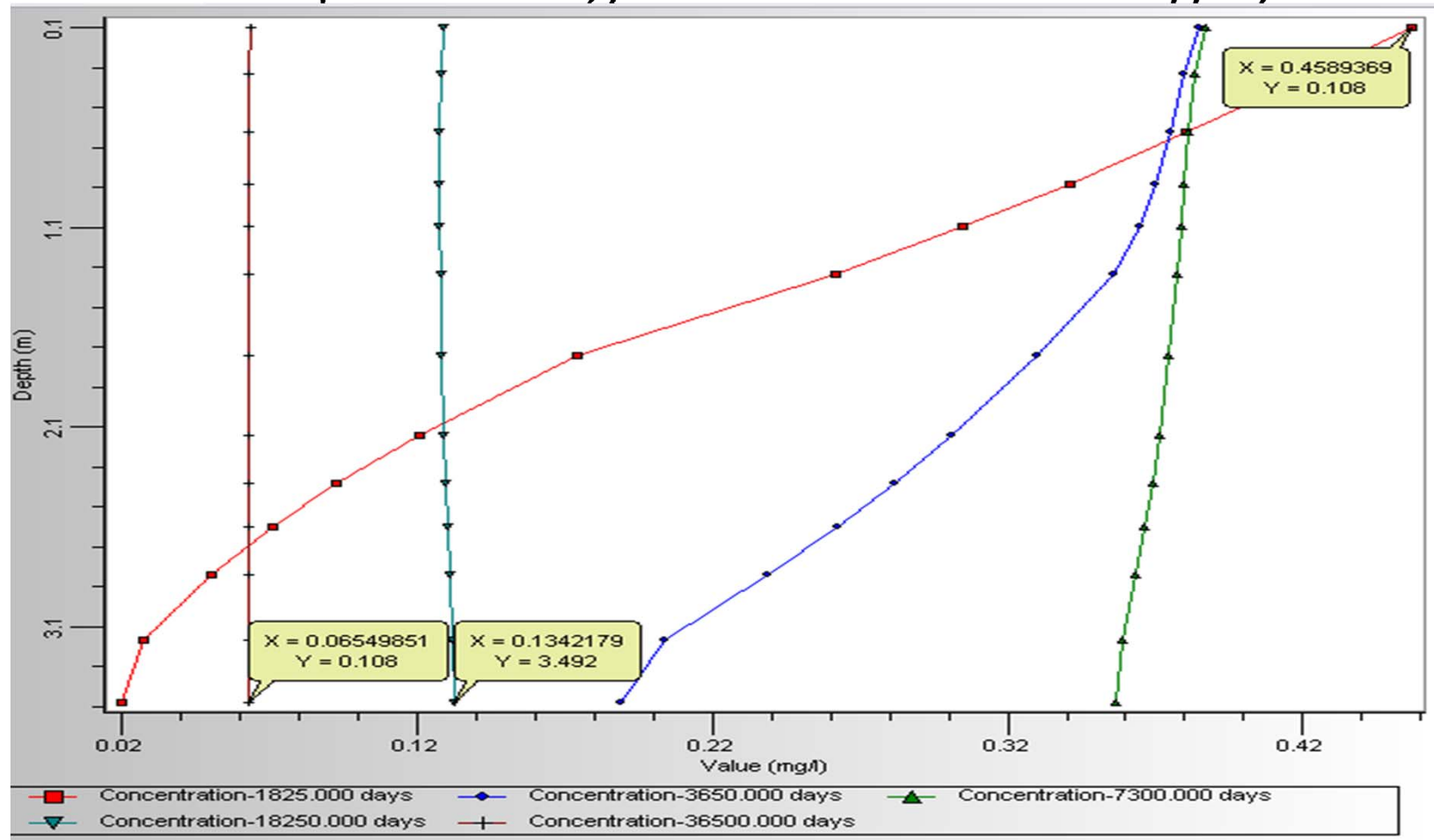
- el tipo de material del subsuelo,
- la precipitación anual promedio,
- el % de pendiente de la zona,
- la porosidad del material,
- la capacidad de campo del material,
- la conductividad hidráulica saturada del material,
- la profundidad de la zona de evaporación y
- la clase de cobertura vegetal del sitio, entre otros.

El modelo **VS2DT (Variably-Saturated 2D flow and solute Transport)** es un modelo en diferencias finitas para simulación de flujo transiente no saturado o de estado continuo y transporte de solutos a través de condiciones de suelo heterogéneo formado por muchas capas. Las aplicaciones típicas de este modelo incluyen la determinación del destino de químicos agrícolas, lixiviados de rellenos sanitarios o confinamientos, fugas UST y derrames accidentales de químicos mientras migran a través de la zona no saturada hacia el nivel freático.

Estructura del Perfil (estratigrafía)

Capa	Superficie (m)	Fondo (m)	Grosor (m)
 Limo Arenoso	0.0000	-1.0000	1.0000
 Arena Limosa	-1.0000	-2.5000	1.5000
 Arena	-2.5000	-3.6000	1.1000

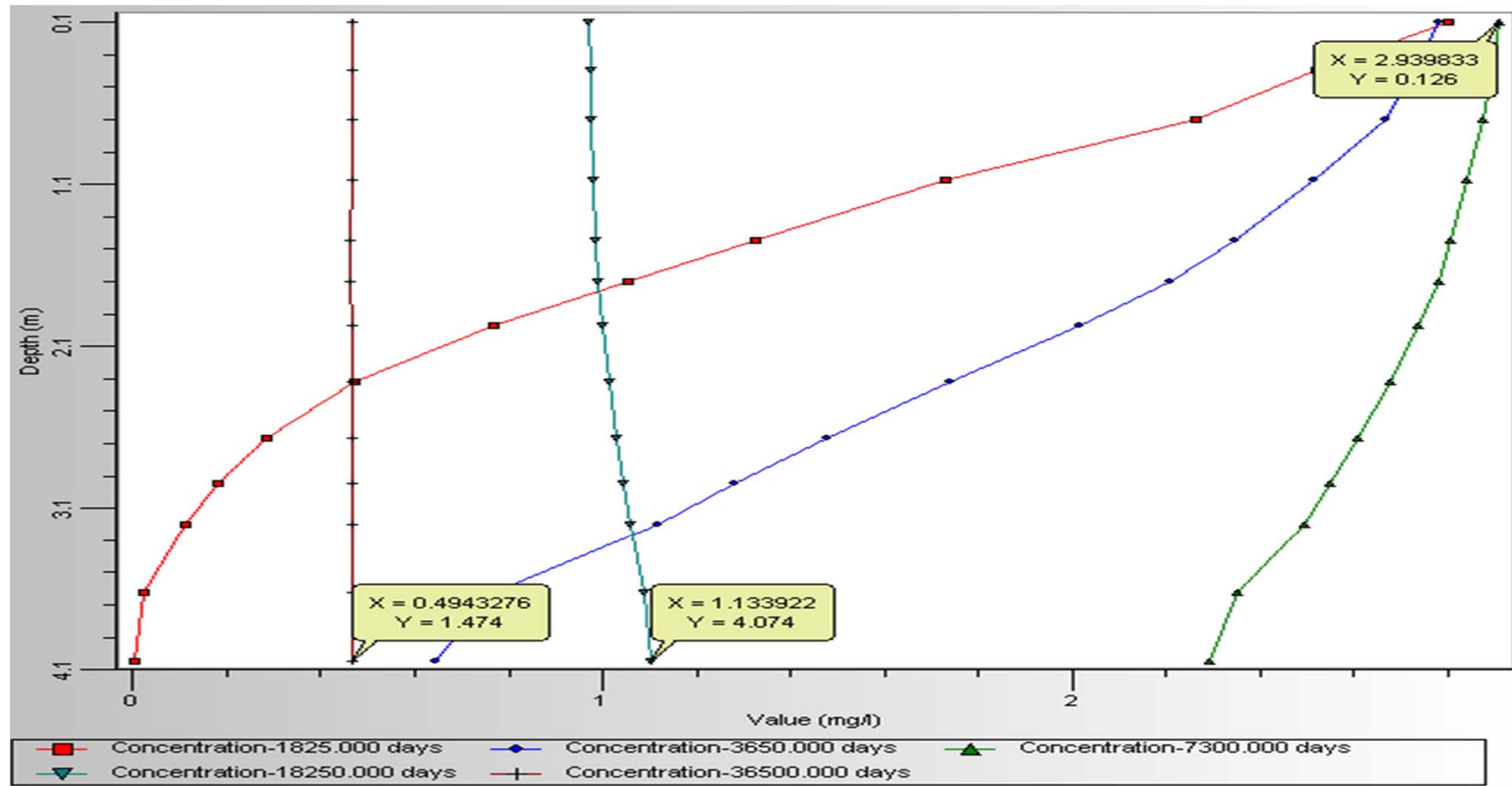
La Muela (Arsénico CT-01, para una concentración de 0.67 ppm)



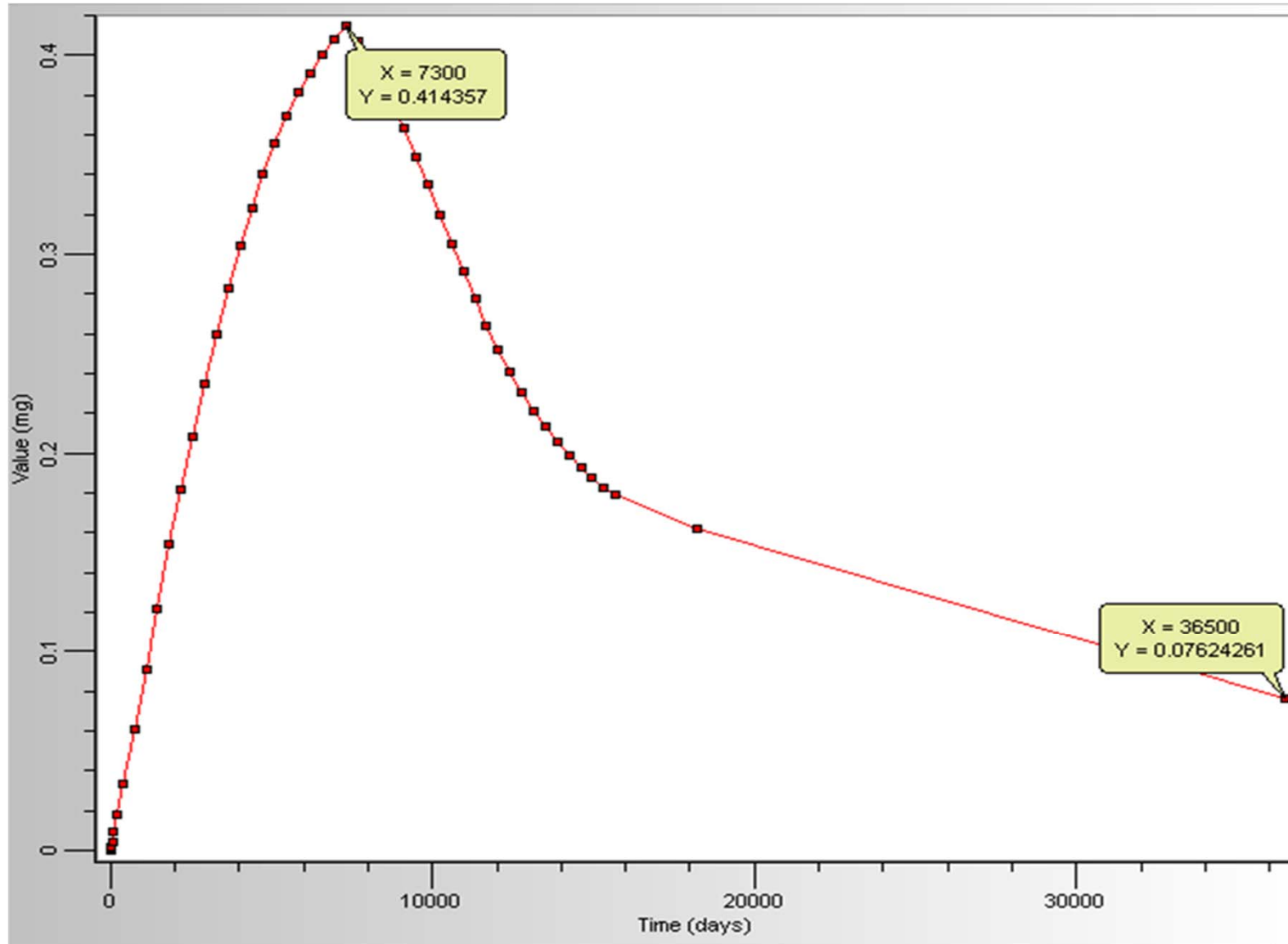
Proyecto : Jales Arsénico

Simulación de fuga en la presa de jales en caso de ruptura del liner para Arsénico

Capa	Superficial-(m)	Fondo--(m)	Grosor--(m)
Arcilla	0.0000	-0.6000	0.6000
Limo-Arenoso	-0.6000	-1.6000	1.0000
Arena-Limosa	-1.6000	-3.1000	1.5000
Arena	-3.1000	-4.2000	1.1000



Cambio en el soluto almacenado vs. tiempo

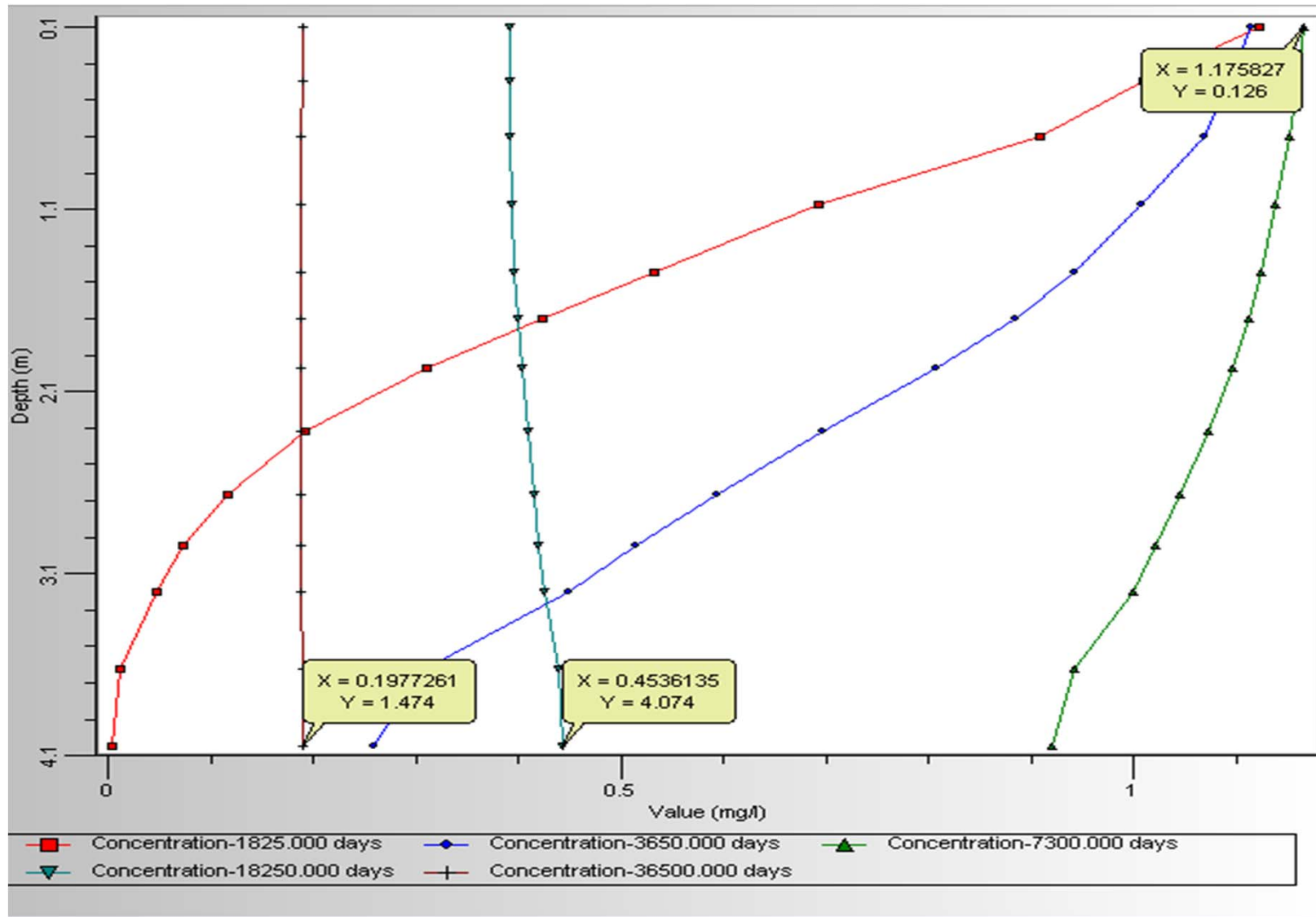


Se corrió el Modelo VS2DT para los siguientes
METALES PESADOS:

- Bario
- Cadmio
- Cromo
- Mercurio
- Niquel
- Plata
- Plomo
- Selenio

Proyecto : Jales Mercurio

Simulación de fuga en la presa de jales en caso de ruptura del liner para Mercurio. Saturación vs. Tiempo



SIMULACIONES

Se realizaron ejercicios de simulación de escenarios para pronosticar situaciones de desastres por fenómenos hidrometeorológicos y contaminación al subsuelo en la presa de Jales del Proyecto Concordia. Los modelos empleados fueron HEC-HMS y HEC-RAS para hidrología del flujo superficial de la cuenca y WHI-HELP, WHI- VS2DT para filtración de contaminantes al subsuelo, que son utilizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y por la Comisión Nacional del Agua, por tratarse de herramientas de la mayor fortaleza y confianza existentes a la fecha

DATOS DE ENTRADA

Los datos de entrada a los modelos provienen de información de campo sometida a un riguroso ejercicio de control de calidad y confianza, provenientes de documentos técnicos hechos detalladamente.

RESULTADOS

Los resultados indican que bajo los peores escenarios de riesgo hidrometeorológico la estabilidad estructural y funcional de la presa de Jales no se ve comprometida en lo más mínimo, en tanto que los escenarios de contaminación potencial no representan niveles que puedan poner en riesgo la calidad del agua subterránea más allá de la vida útil de la presa de Jales.

Los resultados indican que los riesgos hidrometeorológicos provienen de la acumulación de agua en la parte baja de la cuenca, producto de la suma de todos los tributarios, pero quedan limitados únicamente al comportamiento del agua, poniendo en riesgo asentamientos humanos y bienes materiales que queden por debajo de la línea de inundación, calculada para la lluvia máxima en 1000 años, que es de 2352 mm en un evento de menos de 24 horas.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que los riesgos hidrometeorológicos provienen de la acumulación de agua en la parte baja de la cuenca, producto de la suma de todos los tributarios, pero quedan limitados únicamente al comportamiento del agua, poniendo en riesgo asentamientos humanos y bienes materiales que queden por debajo de la línea de inundación, calculada para la lluvia máxima en 1000 años, que es de 2352 mm en un evento de menos de 24 horas.

El proyecto Paredones Amarillos se encuentra en la cuenca La Muela, que es distinta a la de Todos Santos, a la del Triunfo-Carrizal, o a la de San Antonio - Los Planes, (que es, de los acuíferos estas tres últimas, de donde se toma agua para las poblaciones), por lo tanto, basados en los datos y en los modelos hidráulicos corridos no hay riesgo alguno de contaminar los mencionados acuíferos por escurrimiento superficial, pues la cuenca la muela está delimitada por ambos lados por cadenas montañosas rocosas de granito y rocas metamórficas, que son barreras naturales.

En el caso de una lluvia extraordinaria (un huracán), la cuenca la muela y sus vecinas, la de Todos Santos y El Carrizal también estarían saturadas, por lo cual no habría posibilidades de que los flujos de agua se intercambiaran entre cuencas distintas de La Muela, ni superficial ni subsuperficialmente, sino que cada subcuenca tendría un comportamiento independiente.

El proyecto se encuentra en la subcuenca 1, que es la más alta de la microcuenca y por lo tanto cercana al parteaguas, por lo cual no hay aportes de subcuencas tributarias.

En una avenida extraordinaria, toda el agua queda encausada en el arroyo La Junta y el nivel máximo que alcanzaría con la máxima lluvia pronosticada a 1000 años, no llegaría al nivel de base de cualquier elemento de la presa, Es decir, la estructura de la presa se localiza en una cota superior al nivel máximo que alcanzaría el arroyo La Junta con la lluvia máxima en 1000 años. Este mismo arroyo La Junta, se suma con Arroyo Grande en la parte baja de la cuenca y forma el arroyo La Muela.

El tajo se encuentra también en la subcuenca 1, pero aguas arriba que la presa de Jales y es tan grande y tan profundo, con fondo de granito sano, que no representa riesgo para las estructuras, la presa de Jales y en general para la cuenca La Muela. Además, la evaporación en esta región es el doble de la precipitación, por lo cual, tampoco hay problemas si acumula agua en su parte baja, pues se evaporaría.

La presa de jales está diseñada sobre una base de granito impermeable, por lo cual es muy segura y serán contruidos sus bordos o cortina con roca de la región, en vez de material fino, para evitar erosión de los bordos. Por dentro será cubierta de 3 capas: arcilla, linner o lámina de plástico de 8 mm y otra capa de arcilla para evitar filtraciones y para evitar daños a la capa de hule (linner) y librarlo de la radiación ultravioleta para aumentar su durabilidad, que es de 30 años expuesta. El francobordo mínimo será de 3 metros, por lo cual nunca podría ser desbordada, incluyendo la lluvia máxima en 1000 años.

De estos datos se concluye que la presa de jales no representa un riesgo potencial para la cuenca y no podría ser destruida ni deslavada por la lluvia.

La presa de jales servirá para almacenar los jales y reciclar agua, por lo que cualquier derrame quedara contenido en la propia presa de jales. Esto significa que el trafico vertical del contaminante potencial estará gobernado por la presión hidráulica dentro de la presa, las propiedades permeables del piso y sello limoarcilloso y geomembrana.

En el peor de los escenarios, el francobordo de la presa de Jales, de mínimo 3 metros, resulta suficiente para responder con seguridad bajo precipitaciones de hasta 2532 mm que es la lluvia máxima pronosticada con período de retorno de 1000 años.

Se recomienda la construcción de un canal de desfogue o spillway, que estará del lado de las laderas de los cerros adyacentes a la presa, para descargar el escurrimiento que provenga de los cerros y no llegue a la presa de jales. Este canal será capaz de desviar el agua y evitar aportes adicionales a la presa, evita desbordes y asegura que esa agua siga su curso libre de contaminación hacia la parte baja de la cuenca.

El nivel máximo pronosticado de la sección que tiene la menor pendiente, es desde la confluencia de los arroyos La Junta y Arroyo Grande que se unen en el arroyo La Muela en la parte baja de la cuenca hasta la desembocadura, en donde, aún en el peor de los escenarios, no provocara desbordo de los arroyos en ninguna de las 14 subcuencas analizadas.

Se analizó el caso de la parte baja de la cuenca, con el aporte de las 14 subcuencas tributarias para determinar el área de inundación con la lluvia máxima a 1000 años (2352 mm/24 hrs). Dentro de esta área de inundación no debe haber ninguna construcción civil y mucho menos una casa o construcción fija habitada, para evitar daños en caso de una avenida extraordinaria. En caso de haber, se recomienda reubicar a quienes vivan o tengan tierras en esta zona de alto riesgo.

El Modelo WHI se usó para simular la probable infiltración de los contaminantes contenidos en la presa, en caso de fallo del sistema de impermeabilización con geomembrana y material limo arcilloso. El modelo indica que en el caso más adverso y muy poco probable, considerando fallas humanas, terrorismo y fallas naturales, la fuga de material contaminado con cianuro tendría una concentración de 10 mg/l con una velocidad de flujo vertical de 1.75m en 5 años, por lo que en 10 años alcanzaría los 3.5 metros de profundidad, desde entonces se degradaría en 100 años hasta alcanzar solo el 10% de la contaminación inicial, o sea, 0.5 mg/l de cianuro.

El valor máximo permisible para este material por sus propiedades reactivas medidas como la capacidad de generar ácido cianhídrico en cantidades hasta de 250mg/l, en tanto que el valor permisible por sus propiedades tóxicas es de 50 ppm de cianuro en residuos sólidos y el valor máximo permisible en agua es de 1.0 a 3.0 mg/l

Para el caso del arsénico, si hubiera una filtración, alcanzaría $7.5 \cdot 10^{-4}$ mg/l en 5 años a 0.075 m de profundidad, pero a 2.43 m de profundidad habría solo $4.24 \cdot 10^{-5}$ mg/l. Esta filtración iría saturando las capas hasta alcanzar $6 \cdot 10^{-4}$ a 2.5 m, pero se degradaría en 100 años hasta alcanzar $6 \cdot 10^{-5}$ mg/l.

La contaminación por Mercurio, no rebasará inicialmente una concentración de 0.0002 mg/l, lo cual es mucho menor a lo permitido. Sin embargo, en 5 años, a 2 m de profundidad alcanzaría solo 0.00004 mg/l y $5.6 \cdot 10^{-6}$ a 3.4 m. En 10 años llegaría a 0.0002 mg/l a 3.4 m y disminuiría en toda la columna hasta 0.0002 en 100 años.

El plomo alcanzaría una concentración de 0.034 mg/l en 5 años a 11 cm de la superficie, sin embargo, solo tendría 0.002 a 3.4 m de profundidad, la cual aumentaría hasta 0.03 en 10 años y a partir de entonces se degradaría hasta llegar a 0.002 mg/l a 100 años.

Considerando mezcla de arcilla y arena, que es lo que principalmente se encuentra en el arroyo la permeabilidad horizontal es de 12 m/día, por lo cual, una filtración de agua contaminada tardaría 1100 días en llegar de la presa de Jales a la desembocadura. Para entonces, ya se habrían tomado las medidas necesarias para su control.

FIN