ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS PARA DISEÑAR LA LIMPIEZA Y MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS DEL RÍO BALSILLAS PARA CONDICIONES DE AMENZA POR INUNDACIÓN, EN NUEVE (9) KILOMETROS MEDIDOS DESDE SU DESEMBOCADURA EN EL RÍO BOGOTÁ HACIA AGUAS ARRIBA.

PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN E ALTERNATIVAS

CONSULTOR

MOSQUERA
CUNDINAMARCA
DICIEMBRE 2020

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 5
2. INFORMACIÓN RELEVANTE DEL DIAGNOSTICO 5
3. DEFINICIÓN DE LAS ALTERNATIVAS 8
3.1. DESARROLLO ALTERNATIVA 1 9
3.1.1. Resultados perfil longitudinal de flujo 10
3.1.2. Resultados estructuras hidráulicas 13
3.1.3. Resultados Manchas de inundación 22
3.1.4. Cantidades de material a dragar alternativa 1 26
3.1.5. Resultados obtenidos alternativa 1 26
3.2. DESARROLLO ALTERNATIVA 2 27
3.2.1. Resultados perfil longitudinal de flujo 29
3.2.2. Resultados estructuras hidráulicas 34
3.2.3. Resultados Manchas de inundación 36
3.2.4. Cantidades de material a dragar alternativa 2 38
3.2.5. Resultados obtenidos alternativa 2 38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Coeficientes de rugosidad adoptados para modelar la condición actual del río Balsillas en el tramo de interés 9
Tabla 2 Coeficientes de rugosidad adoptados para modelar la condición esperada del río Balsillas en el tramo de interés, removiendo el material vegetal flotante únicamente 10
Tabla 3 Coeficientes de rugosidad adoptados para modelar la condición actual del río Balsillas en el tramo de interés 28
Tabla 4 Pendientes de fondo proyectadas 29
Tabla 5 Velocidades y profundidades promedio para la condición actual vs la alternativa 2 33
Tabla 6 Realce de jarillones requerido para contención total del caudal asociado al retorno de los 100 años 33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Perfil longitudinal del río Balsillas en el tramo de interés 5
Figura 2 Puente K0+450 6
Figura 3 Puente K2+369 6
Figura 4 Puente K6+065 7
Figura 5 Puente K9+366 7
Figura 6 Perfil longitudinal del río Balsillas en el tramo de interés para los caudales de 2.33, 25, 50 y 100 años 8
Figura 7 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años 11
Figura 8 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años 11

Figura 9 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años 12
Figura 10 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años 12
Figura 11 Comparativa puente 1 (K0+450) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años 13
Figura 12 Comparativa puente 1 (K0+450) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años 14
Figura 13 Comparativa puente 1 (K0+450) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años 14
Figura 14 Comparativa puente 1 (K0+450) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años 15
Figura 15 Comparativa puente 2 (K2+369) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años 16
Figura 16 Comparativa puente 2 (K2+369) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años 16
Figura 17 Comparativa puente 2 (K2+369) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años 17
Figura 18 Comparativa puente 2 (K2+369) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años 17
Figura 19 Comparativa puente 4 (K6+065) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años 18
Figura 20 Comparativa puente 4 (K6+065) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años 18
Figura 21 Comparativa puente 4 (K6+065) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años 19
Figura 22 Comparativa puente 4 (K6+065) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años 19
Figura 23 Comparativa puente 6 (K9+366) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años 20
Figura 24 Comparativa puente 6 (K9+366) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años 20
Figura 25 Comparativa puente 6 (K9+366) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años 21
Figura 26 Comparativa puente 6 (K9+366) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años 21
Figura 27 Comparativa mancha de inundación río Balsillas diagnostico (rojo) vs alternativa 1 (azul) para periodo de retorno de 2.33 años 22
Figura 28 Comparativa mancha de inundación río Balsillas diagnostico (rojo) vs alternativa 1 (azul) para periodo de retorno de 25 años 23
Figura 29 Comparativa mancha de inundación río Balsillas diagnostico (rojo) vs alternativa 1 (azul) para periodo de retorno de 50 años 24
Figura 30 Comparativa mancha de inundación río Balsillas diagnostico (rojo) vs alternativa 1 (azul) para periodo de retorno de 100 años 25
Figura 31 Fondo natural (línea magenta) y fondo perfilado (línea negra) del río Balsillas en el tramo de estudio 29
Figura 32 Sección de reconformación típica para la limpieza 30

Figura 33 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 2 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años 31
Figura 34 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 2 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años 31
Figura 35 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 2 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años 32
Figura 36 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 2 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años 32
Figura 37 Resultados hidráulicos para los periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años implementando la alternativa 2 para el puente 1 (K0+450) 34
Figura 38 Resultados hidráulicos para los periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años implementando la alternativa 2 para el puente 2 (K2+369) 35
Figura 39 Resultados hidráulicos para los periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años implementando la alternativa 2 para el puente 4 (K6+065) 35
Figura 40 Resultados hidráulicos para los periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años implementando la alternativa 2 para el puente 6 (K9+366) 36
Figura 41 Comparativa mancha de inundación río Balsillas diagnostico (rojo) vs alternativa 2 (azul) para periodo de retorno de 100 años 37

1. INTRODUCCIÓN

El planteamiento y selección de alternativas para mejorar la capacidad hidráulica del río balsillas se fundamentará en el diagnostico hidrológico e hidráulico efectuado, y se definirán las opciones más adecuadas tanto técnicas, como económicas para garantizar a largo plazo, la mitigación del riesgo de inundaciones asociadas a desbordamientos de este río, para la población aledaña dentro del área de estudio.

2. INFORMACIÓN RELEVANTE DEL DIAGNOSTICO

En el diagnostico se identificó que existe una capa de materia orgánica en descomposición (Buchón), de hasta 1.5 m en el fondo del cauce a lo largo del tramo de estudio, la cual reduce en este volumen de sedimentos, la capacidad hidráulica actual del río.

Por otra parte, sobre la superficie de flujo, se tiene una capa de material vegetal (Buchón) flotante, que genera una resistencia considerable al flujo, con lo cual se disminuyen velocidades de tránsito y aumentan profundidades de flujo, condiciones hidráulicas indeseadas y promotoras de desbordamientos. En la Figura 1 se evidencia el material orgánico acumulado de fondo.

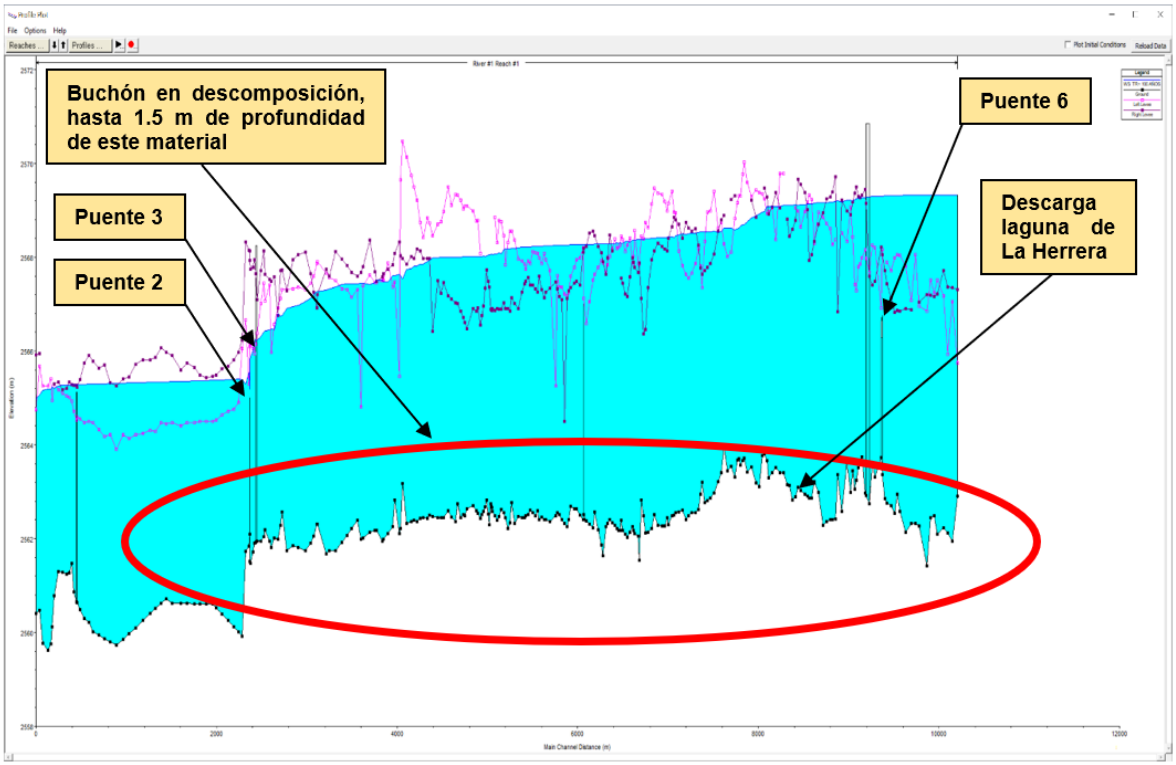


Figura 1 Perfil longitudinal del río Balsillas en el tramo de interés

En la Figura 1 también se evidencia que los puentes 1 (K0+450), 2 (K2+369), 4 (K6+065) y 6 (K9+366) generan un represamiento del material de fondo, así como una trampa que retiene el buchón que flota sobre el flujo.

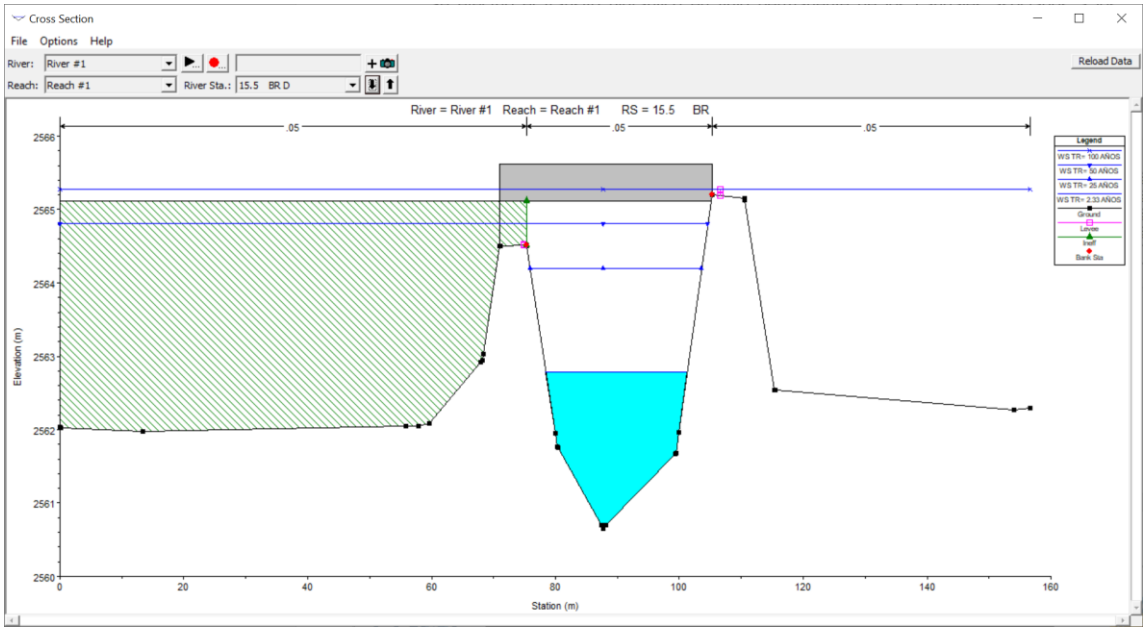


Figura 2 Puente K0+450

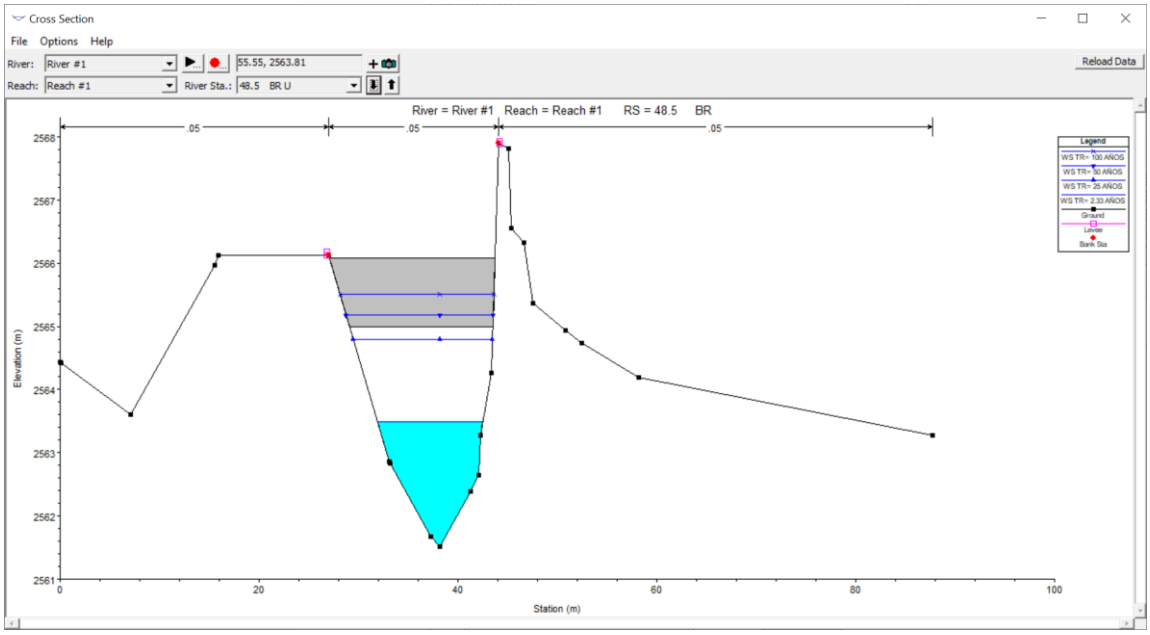


Figura 3 Puente K2+369

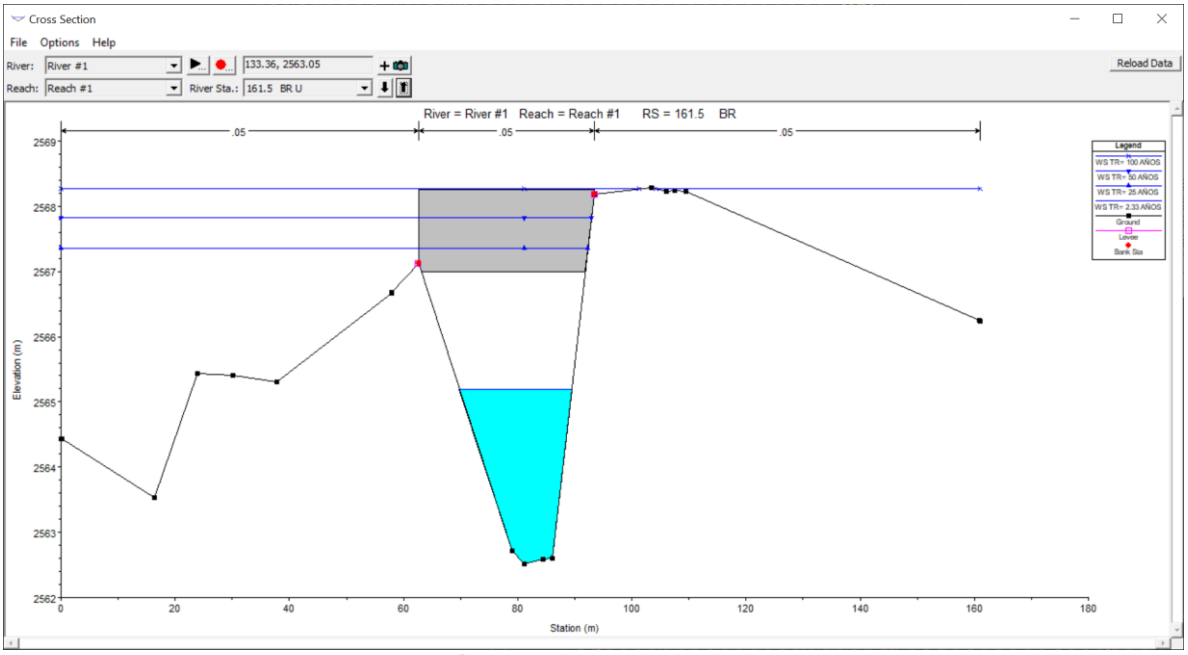


Figura 4 Puente K6+065

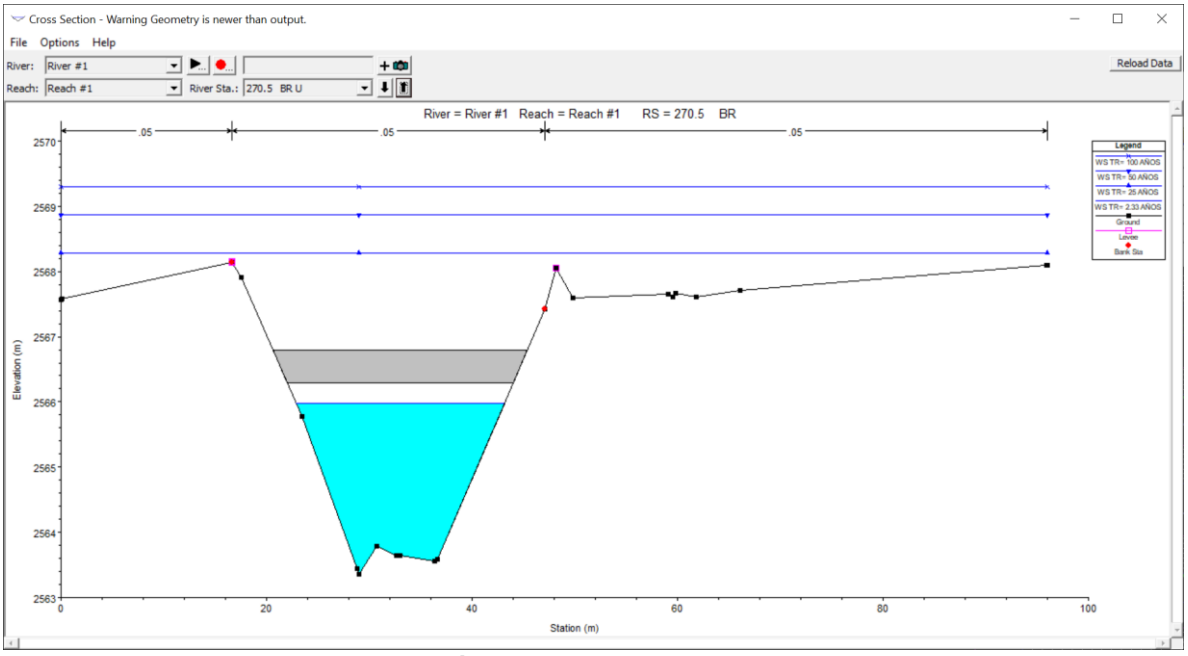


Figura 5 Puente K9+366

En general el cauce en el tramo evaluado tiene capacidad hidráulica muy aceptable (hasta caudales asociados al retorno de 25 años) para las condiciones desfavorables que generan la capa superficial de Buchón y el Buchón sedimentado y en descomposición que se encuentra en el fondo del cauce, ver Figura 6.

Las alternativas de solución para mejorar la capacidad hidráulica del río Balsillas en el tramo de estudio se deben enfocar a la limpieza del cauce. Removiendo el material vegetal superficial y sedimentado, así como reconformando algunos tramos críticos y eliminando las estructuras hidráulicas que son una obstrucción para el flujo (puentes K6+065 y K9+366) se llegaría a tener una capacidad hidráulica suficiente para transitar el caudal asociado al retorno de los 100 años probablemente en todo el tramo de estudio.

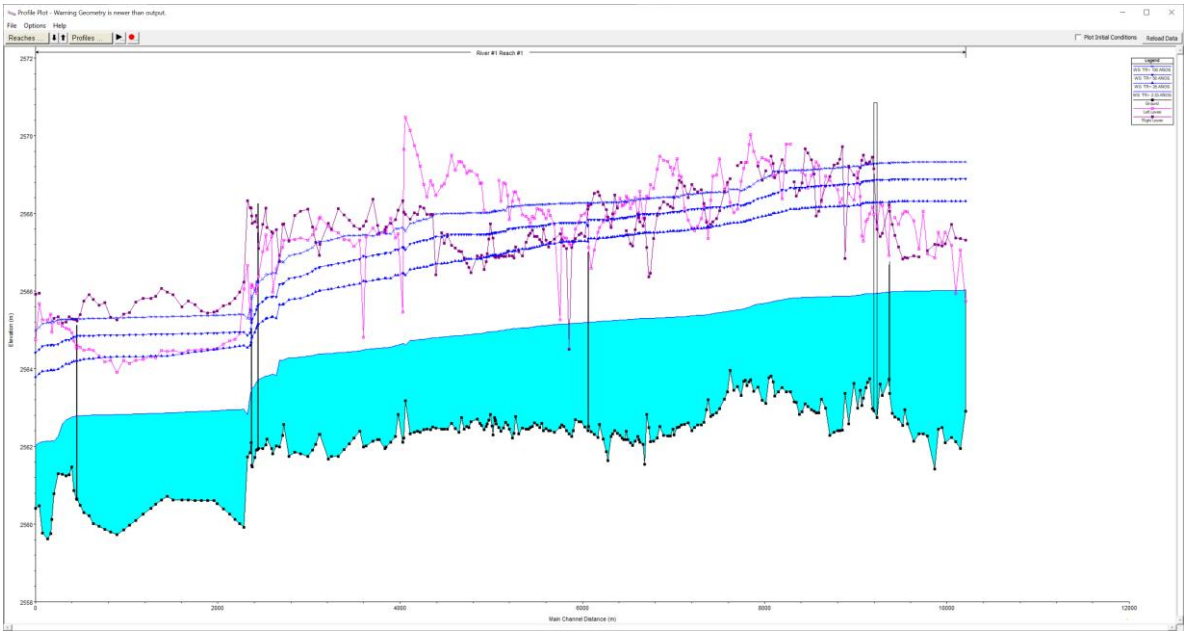


Figura 6 Perfil longitudinal del río Balsillas en el tramo de interés para los caudales de 2.33, 25, 50 y 100 años

3. DEFINICIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Como se indicó anteriormente, con el retiro del material vegetal superficial y de fondo del tramo de estudio del río Balsillas, se mejorará considerablemente su capacidad hidráulica. Por esta razón se consideran dos alternativas, la primera correspondiente a retirar el material vegetal de la superficie de flujo solamente, y la segunda retirar el material vegetal superficial y de fondo en todo el tramo de estudio. A continuación, se desarrollarán las alternativas indicadas y se efectuará una comparativa de los resultados hidráulicos de estas con lo cual se evidenciará cual es la solución más conveniente desde el punto de vista

técnico, económico y de duración de la intervención proyectada. Para las dos alternativas planteadas, se mantendrán las estructuras hidráulicas sobre el cauce existentes. Con la limpieza del cauce se definirá si se pueden mantener o si es necesario eliminar uno o más de los puentes modelados que como se observó en el diagnóstico, generan remansos en el río.

3.1. DESARROLLO ALTERNATIVA 1

En esta alternativa se considera únicamente remover el material vegetal superficial del tramo de estudio del río Balsillas. Con esta actividad se pretende mejorar las condiciones hidráulicas del tramo, reduciendo considerablemente la resistencia al flujo, de esta manera se tendrán velocidades mayores y profundidades de flujo menores, atenuando de esta manera los desbordamientos que de acuerdo al diagnóstico se pueden presentar.

Tabla 1 Coeficientes de rugosidad adoptados para modelar la condición actual del río Balsillas en el tramo de interés

Edit Manning's n or k Values

River: River #1 | Edit Interpolated XS's | Channel n Values have a light green background

Reach: Reach #1 | All Regions

Selected Area Edit Options

Add Constant ... | Multiply Factor ... | Set Values ... | Replace ... | Reduce to L Ch R ...

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	289	n	0.05	0.05	0.05
2	288	n	0.05	0.05	0.05
3	287	n	0.05	0.05	0.05
4	286	n	0.05	0.05	0.05
5	285	n	0.05	0.05	0.05
6	284	n	0.05	0.05	0.05
7	283	n	0.05	0.05	0.05
8	282	n	0.05	0.05	0.05
9	281	n	0.05	0.05	0.05
10	280	n	0.05	0.05	0.05
11	279	n	0.05	0.05	0.05
12	278	n	0.05	0.05	0.05
13	277	n	0.05	0.05	0.05
14	276	n	0.05	0.05	0.05
15	275	n	0.05	0.05	0.05
16	274	n	0.05	0.05	0.05
17	273	n	0.05	0.05	0.05
18	272	n	0.05	0.05	0.05
19	271	n	0.05	0.05	0.05
20	270.5	Bridge			
21	270	n	0.05	0.05	0.05
22	269	n	0.05	0.05	0.05
23	268	n	0.05	0.05	0.05
24	267	n	0.05	0.05	0.05
25	266.5	Bridge			
26	266	n	0.05	0.05	0.05
27	265	n	0.05	0.05	0.05
28	264	n	0.05	0.05	0.05
29	263	n	0.05	0.05	0.05
30	262	n	0.05	0.05	0.05
31	261	n	0.05	0.05	0.05
32	260	n	0.05	0.05	0.05
33	259	n	0.05	0.05	0.05
34	258	n	0.05	0.05	0.05
35	257	n	0.05	0.05	0.05

OK | Cancel | Help

Como se indicó en el diagnóstico, el material vegetal superficial se modeló como una "macrorugocidad" en el cauce, con un coeficiente de rugosidad de Manning alto y correspondiente a 0.05. En esta alternativa se asume que el material flotante será retirado por lo tanto la macrorugocidad desaparecerá y el coeficiente de rugosidad será aquel determinado en el contrato 930 de 2012, que tiene un valor máximo de 0.029 para los 10 primeros km del río Balsillas medidos desde su entrega al río Bogotá.

Tabla 2 Coeficientes de rugosidad adoptados para modelar la condición esperada del río Balsillas en el tramo de interés, removiendo el material vegetal flotante únicamente

Edit Manning's n or k Values

River: River #1 | Edit Interpolated XS's | Channel n Values have a light green background

Reach: Reach #1 | All Regions

Selected Area Edit Options: Add Constant ... | Multiply Factor ... | Set Values ... | Replace ... | Reduce to L Ch R ...

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	289	n	0.05	0.029	0.05
2	288	n	0.05	0.029	0.05
3	287	n	0.05	0.029	0.05
4	286	n	0.05	0.029	0.05
5	285	n	0.05	0.029	0.05
6	284	n	0.05	0.029	0.05
7	283	n	0.05	0.029	0.05
8	282	n	0.05	0.029	0.05
9	281	n	0.05	0.029	0.05
10	280	n	0.05	0.029	0.05
11	279	n	0.05	0.029	0.05
12	278	n	0.05	0.029	0.05
13	277	n	0.05	0.029	0.05
14	276	n	0.05	0.029	0.05
15	275	n	0.05	0.029	0.05
16	274	n	0.05	0.029	0.05
17	273	n	0.05	0.029	0.05
18	272	n	0.05	0.029	0.05
19	271	n	0.05	0.029	0.05
20	270.5	Bridge			
21	270	n	0.05	0.029	0.05
22	269	n	0.05	0.029	0.05
23	268	n	0.05	0.029	0.05
24	267	n	0.05	0.029	0.05
25	266.5	Bridge			
26	266	n	0.05	0.029	0.05
27	265	n	0.05	0.029	0.05
28	264	n	0.05	0.029	0.05
29	263	n	0.05	0.029	0.05
30	262	n	0.05	0.029	0.05
31	261	n	0.05	0.029	0.05
32	260	n	0.05	0.029	0.05
33	259	n	0.05	0.029	0.05
34	258	n	0.05	0.029	0.05
35	257	n	0.05	0.029	0.05

OK | Cancel | Help

3.1.1. Resultados perfil longitudinal de flujo

Se efectúo la corrida del modelo propuesto para la alternativa 1, se compararon las profundidades de flujo para cada periodo de retorno evaluado entre el diagnóstico y esta alternativa y se obtuvieron los siguientes resultados: En la Figura 7, se observa que una vez implementada la alternativa 1 se disminuye la profundidad de flujo en hasta 0.5 m para

el caudal asociado al retorno de los 2.33 años, sin embargo, como se indicó anteriormente, el río ya tenía capacidad suficiente para transitar este caudal.

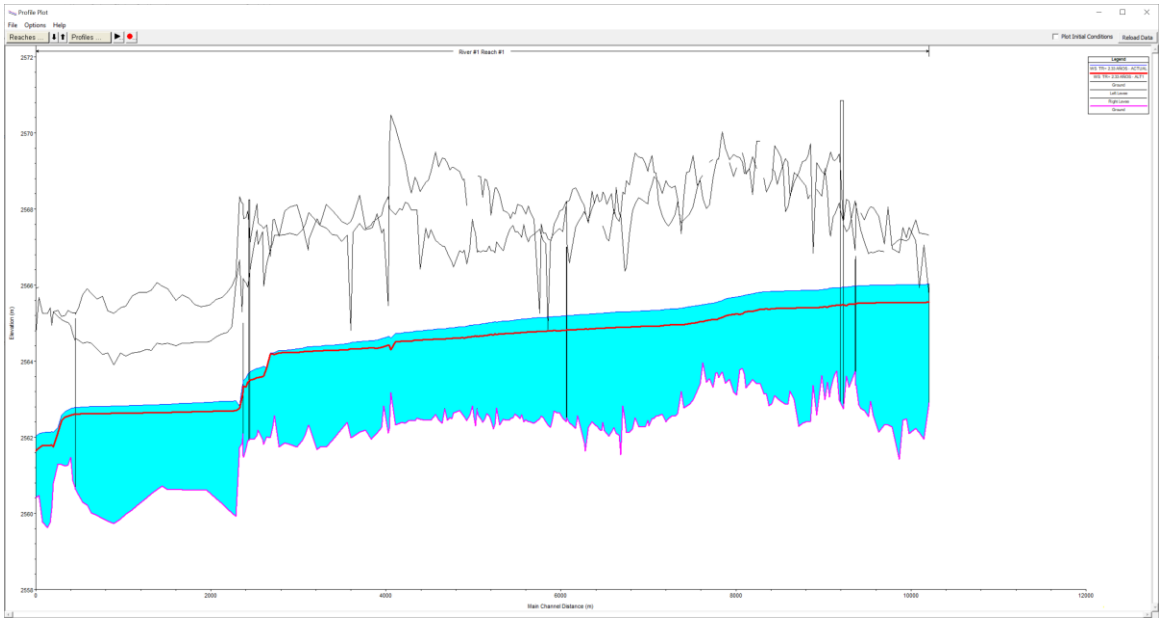


Figura 7 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años

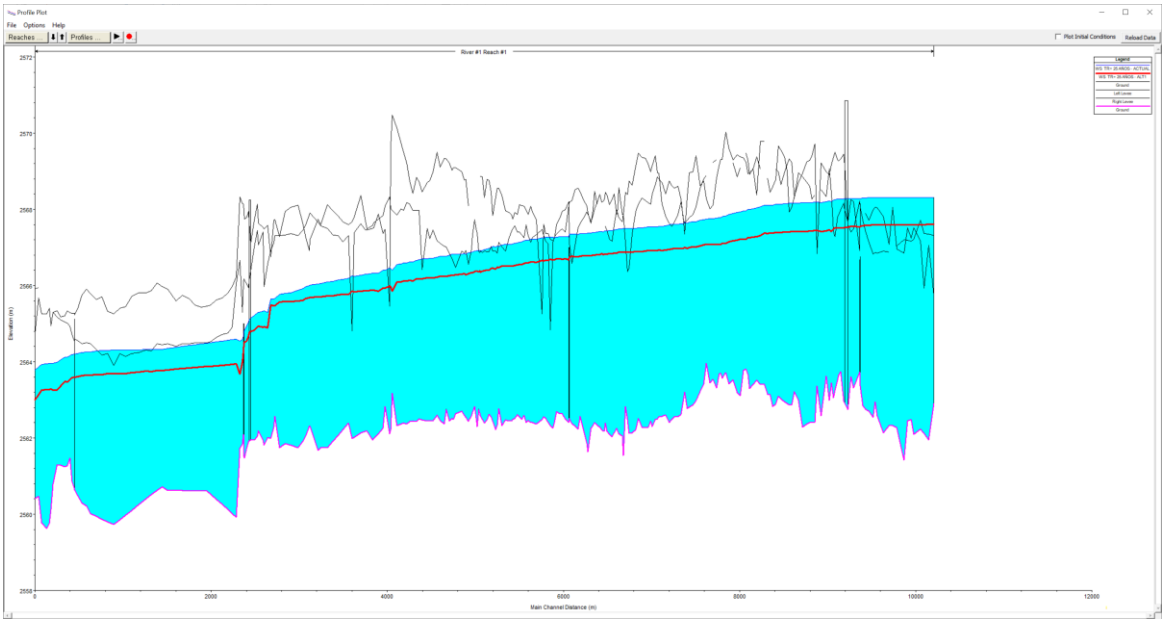


Figura 8 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años

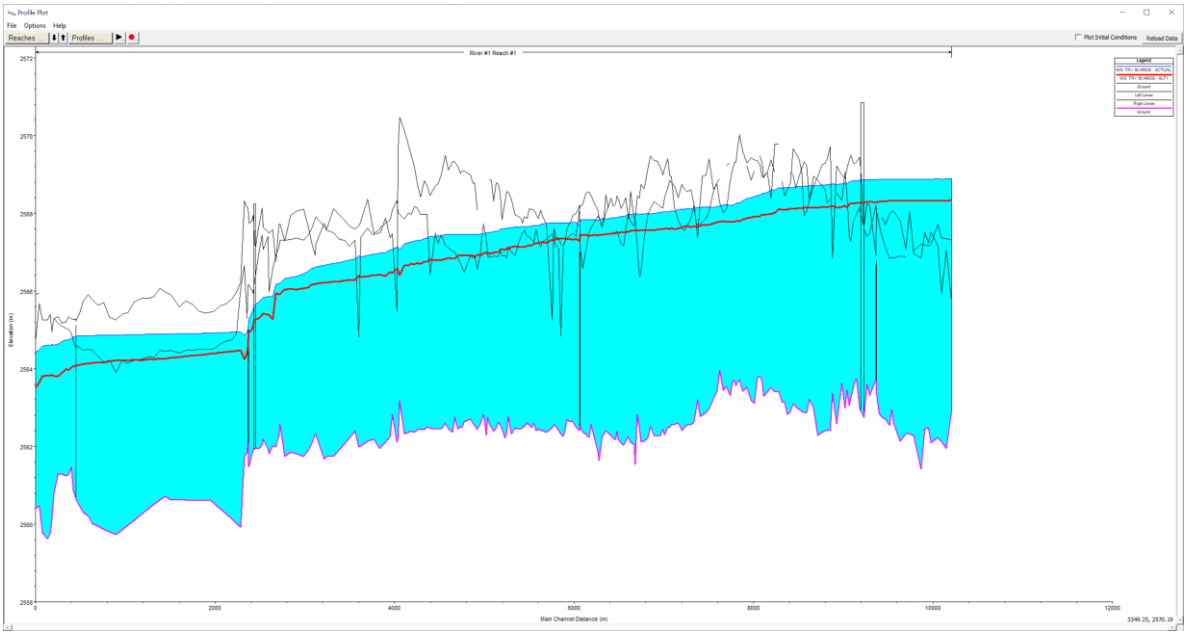


Figura 9 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años

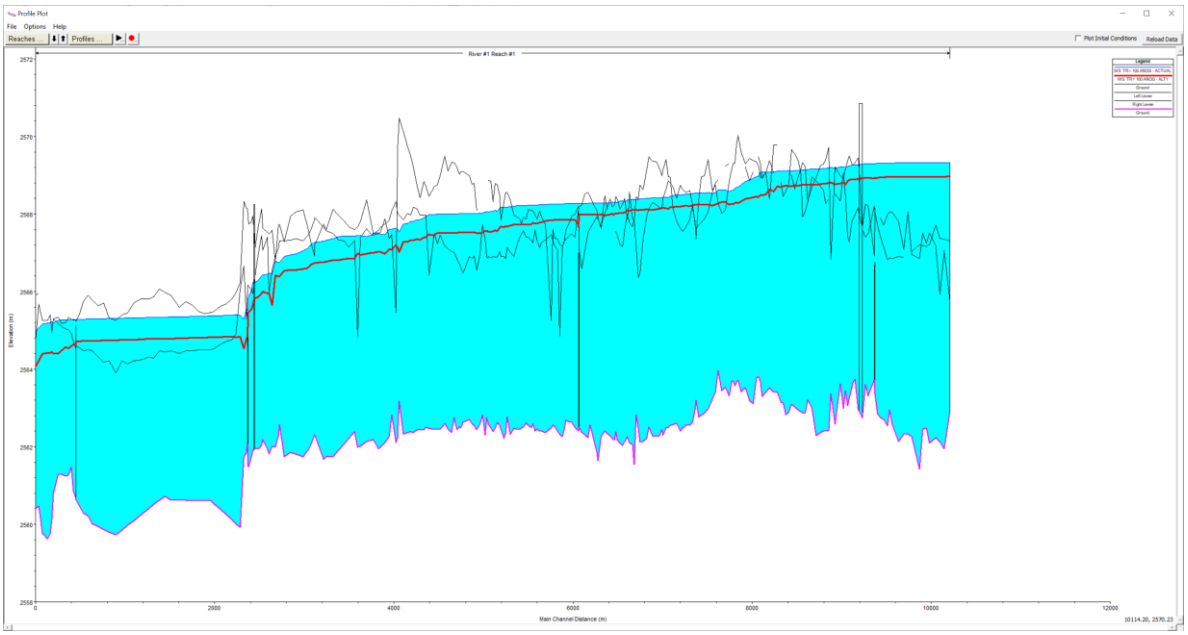


Figura 10 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años

Respecto al retorno de 25 años, como se observa en la Figura 8, con la implementación de la alternativa 1, se obtiene un abatimiento de niveles de hasta 0.75 m. aunque se mejoran las condiciones de flujo y disminuyen los desbordamientos en algunos sectores, estos en general se siguen presentando.

Como se observa en la Figura 9, para el caudal asociado al retorno de los 50 años, se logra un abatimiento de hasta 0.56 m. aunque se mejoran las condiciones de flujo y disminuyen los desbordamientos en algunos sectores, estos en general se siguen presentando.

Como se observa en la Figura 10, para el caudal asociado al retorno de los 100 años, se logra un abatimiento de hasta 0.55 m. aunque se mejoran las condiciones de flujo y disminuyen los desbordamientos en algunos sectores, estos en general se siguen presentando.

3.1.2. Resultados estructuras hidráulicas

A continuación, se presentan las profundidades de flujo para cada periodo de retorno evaluado sobre cada puente modelado para la condición actual y la condición futura implementando la alternativa 1.

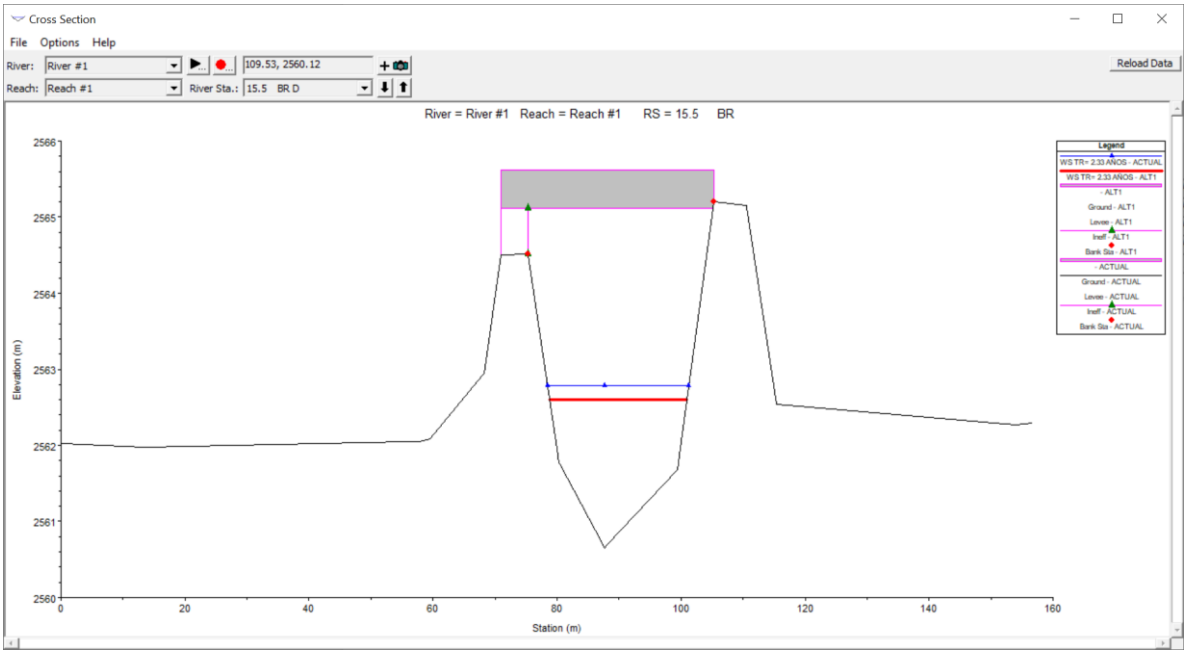


Figura 11 Comparativa puente 1 (K0+450) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años

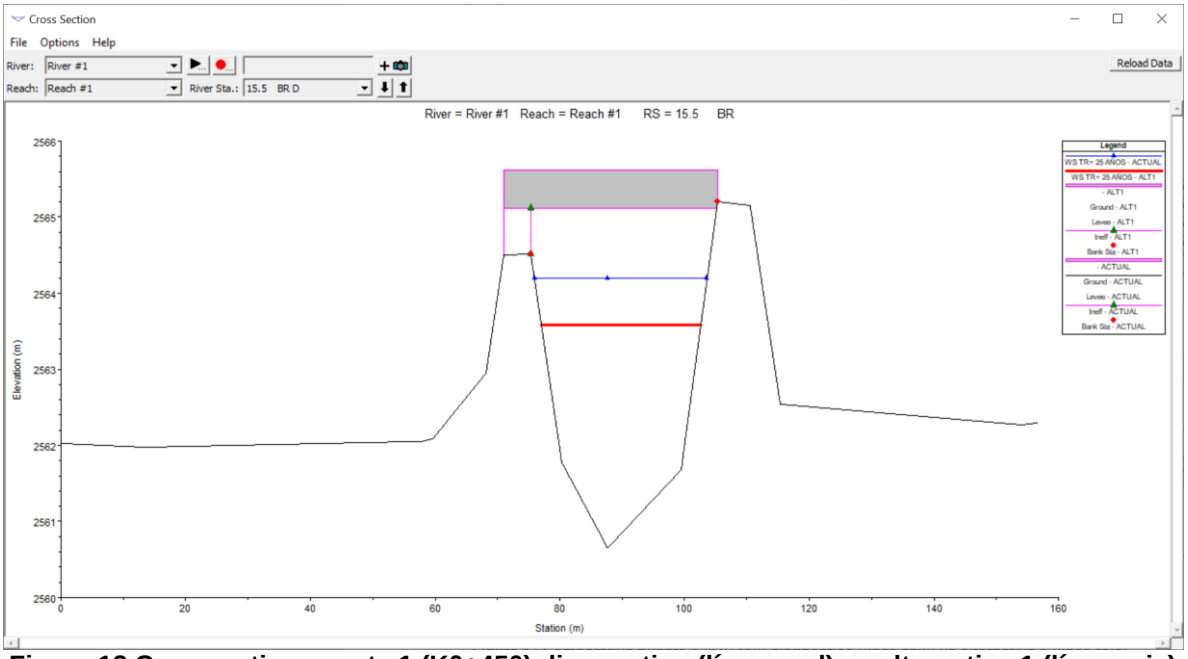


Figura 12 Comparativa puente 1 (K0+450) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años

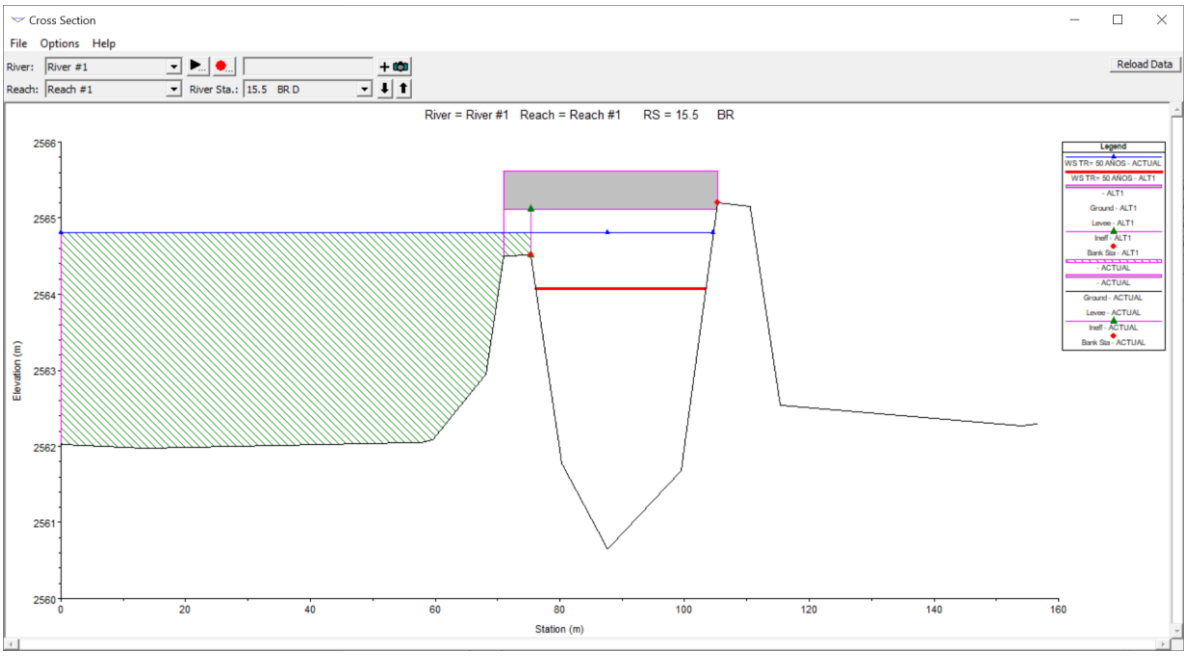


Figura 13 Comparativa puente 1 (K0+450) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años

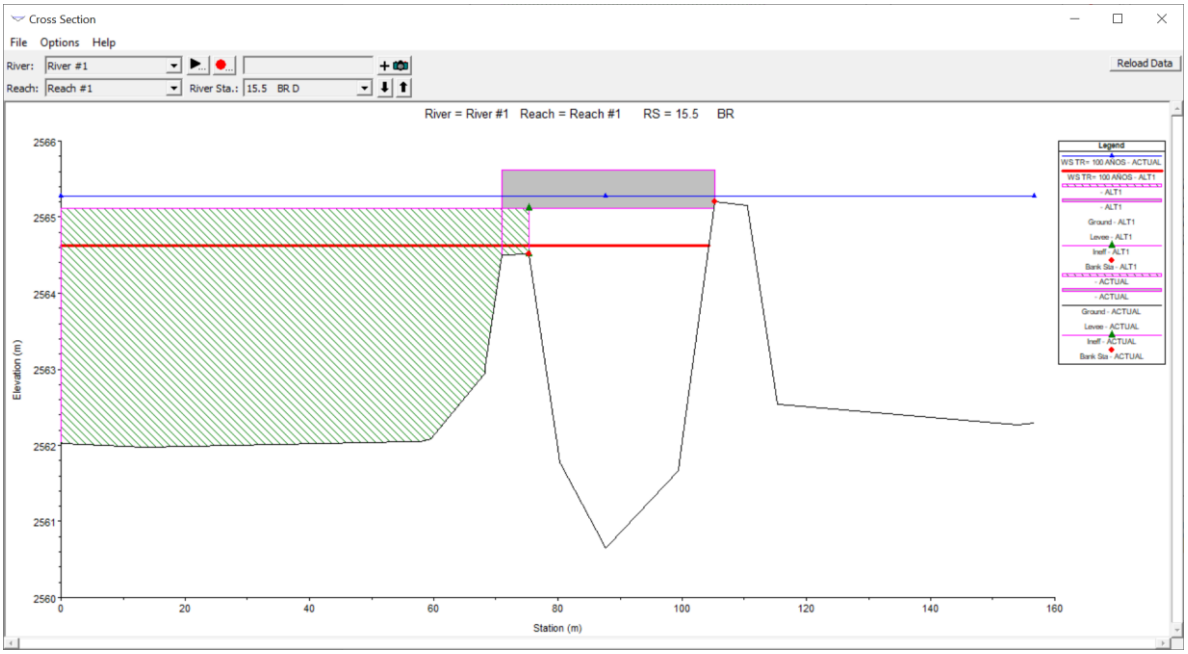


Figura 14 Comparativa puente 1 (K0+450) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años

Como se observa en las figuras anteriores, para el puente 1 (K0+450), la alternativa 1 atenúa profundidades hidráulicas de flujo, permitiendo que por la estructura transiten caudales de hasta 100 años de periodo de retorno. Para la condición actual, como se observa en la Figura 14, el caudal de los 100 años era remansado por el tablero del puente.

Como se observa en la Figura 27, Figura 28, Figura 29 y Figura 30, para el puente 2 (K2+369), la alternativa 1 atenúa profundidades hidráulicas de flujo, permitiendo que por la estructura transiten caudales de hasta 100 años de periodo de retorno. Para la condición actual, como se observa en la Figura 29 y Figura 30, el caudal de los 50 y 100 años era remansado por el tablero del puente.

Como se observa en la Figura 19, Figura 20, Figura 21 y Figura 22, para el puente 4 (K6+065), la alternativa 1 atenúa profundidades hidráulicas de flujo, permitiendo que por la estructura transiten caudales de hasta 25 años de periodo de retorno, en la actualidad este caudal y superiores son remansado por el tablero del puente.

Como se observa en la Figura 23, Figura 24, Figura 25 y Figura 26, para el puente 6 (K9+366), la alternativa 1 atenúa profundidades hidráulicas de flujo, sin embargo no se evidencia una mejora sustancial, toda vez que este puente solo tenía capacidad para transitar caudales cercanos al retorno de los 2.33 años, y aun con la implementación de la alternativa 1, caudales superiores pasarían por encima del tablero del puente, como se observa en las figuras indicadas.

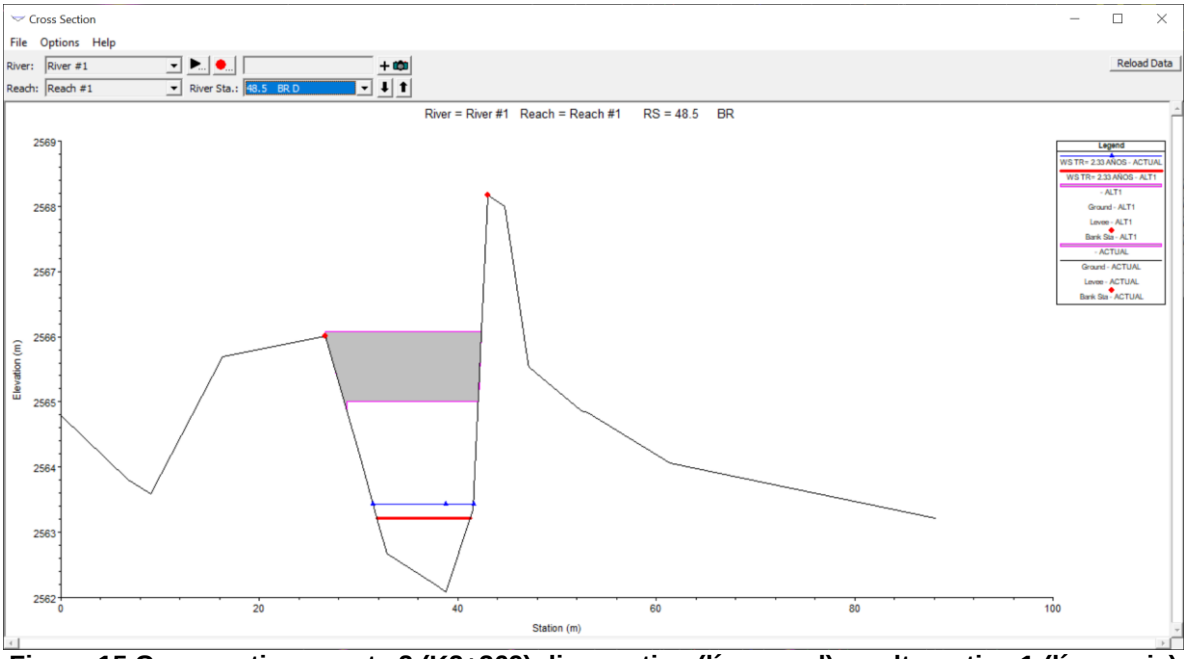


Figura 15 Comparativa puente 2 (K2+369) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años

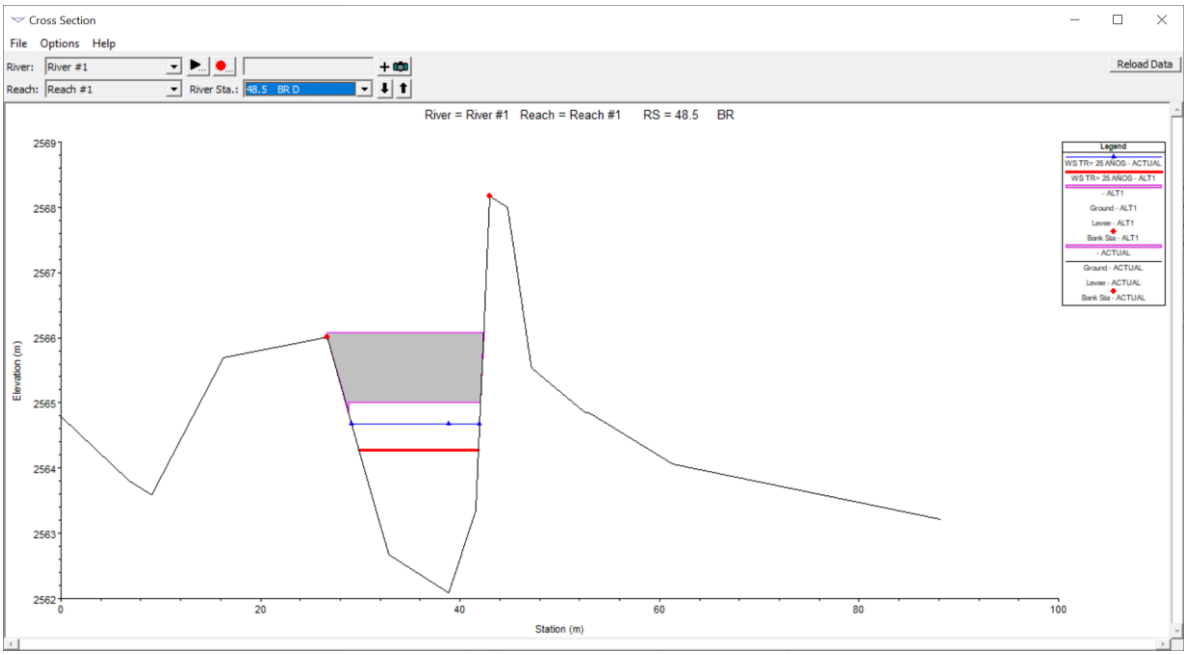


Figura 16 Comparativa puente 2 (K2+369) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años

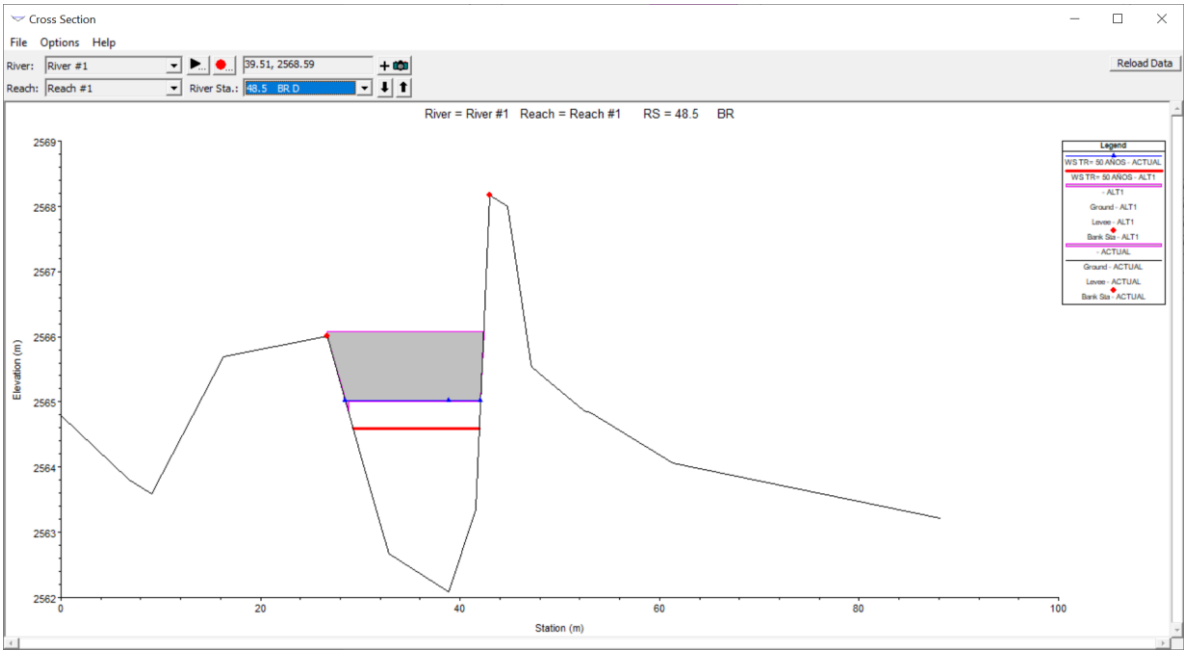


Figura 17 Comparativa puente 2 (K2+369) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años

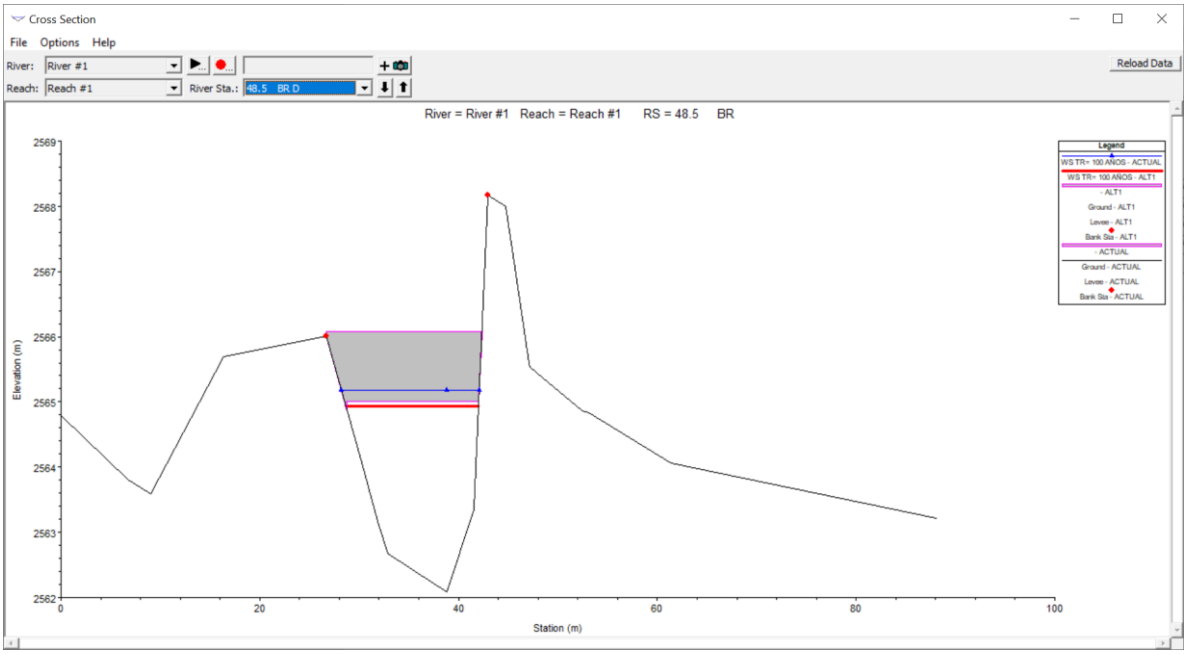


Figura 18 Comparativa puente 2 (K2+369) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años

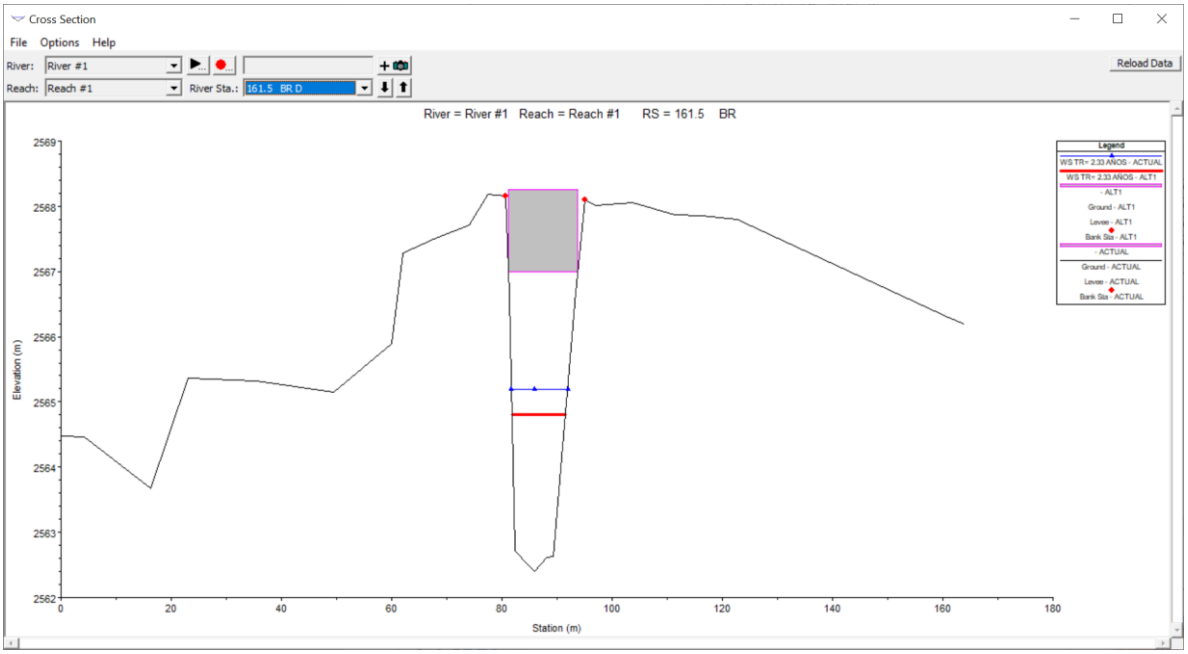


Figura 19 Comparativa puente 4 (K6+065) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años

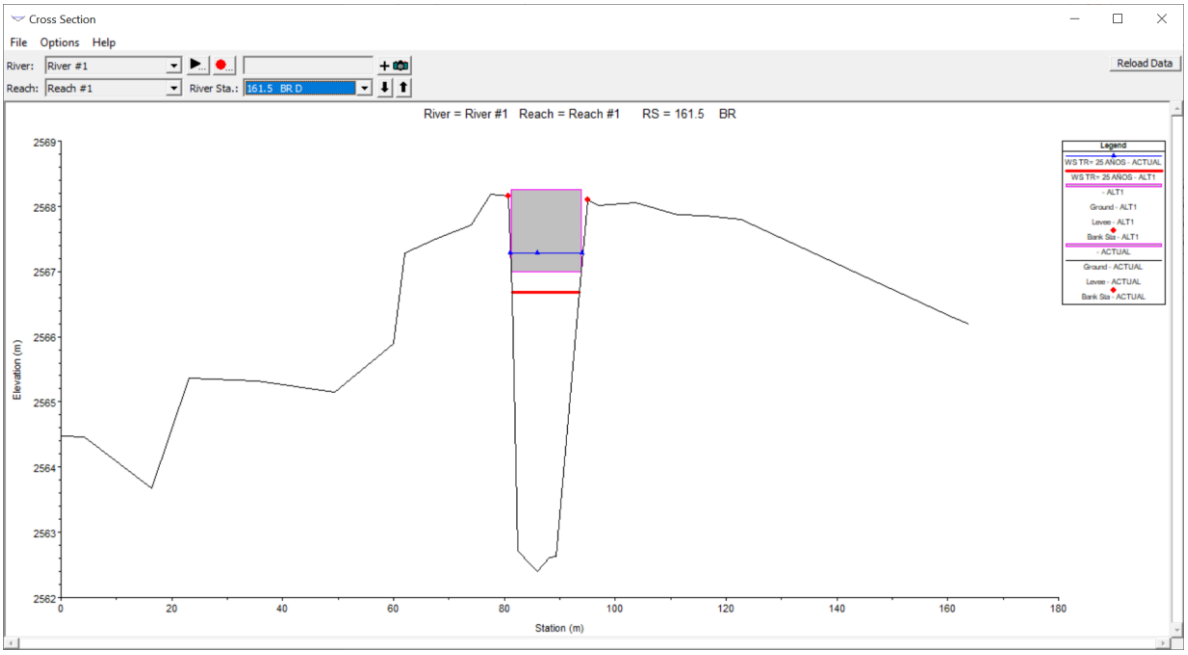


Figura 20 Comparativa puente 4 (K6+065) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años

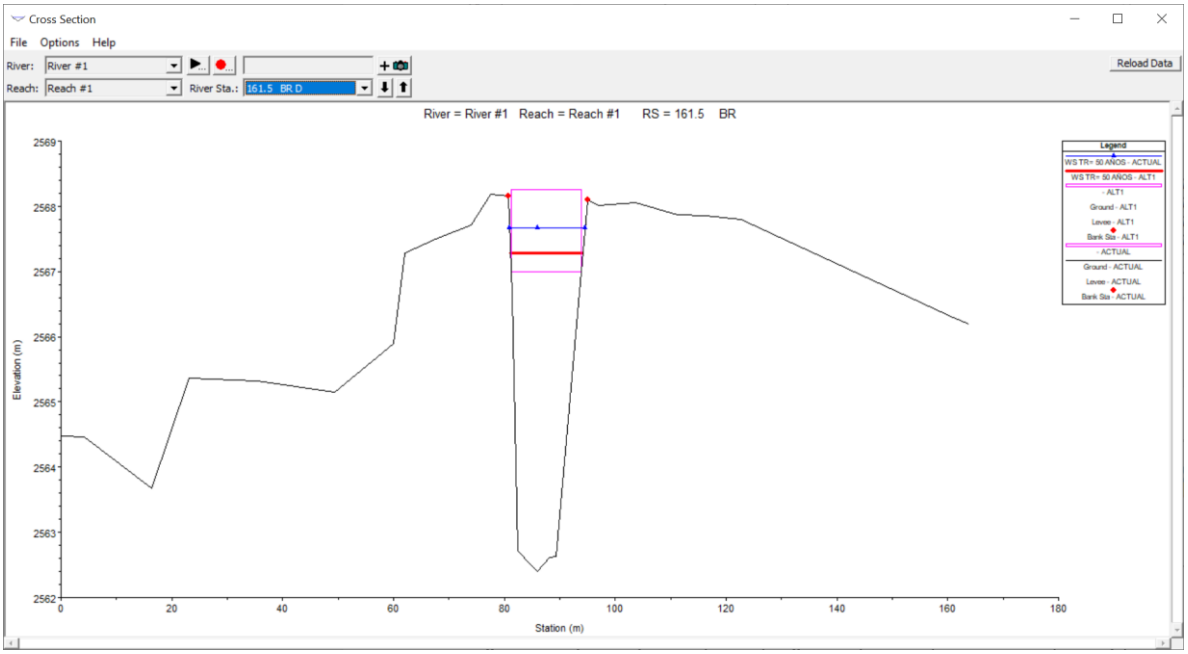


Figura 21 Comparativa puente 4 (K6+065) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años

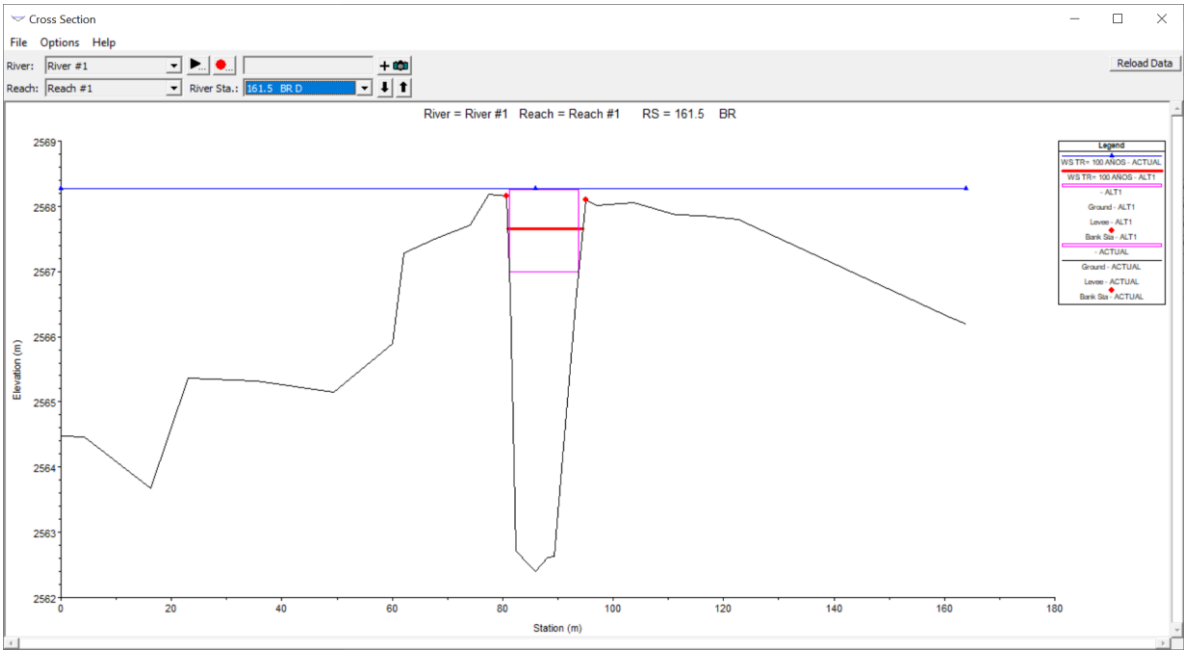


Figura 22 Comparativa puente 4 (K6+065) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años

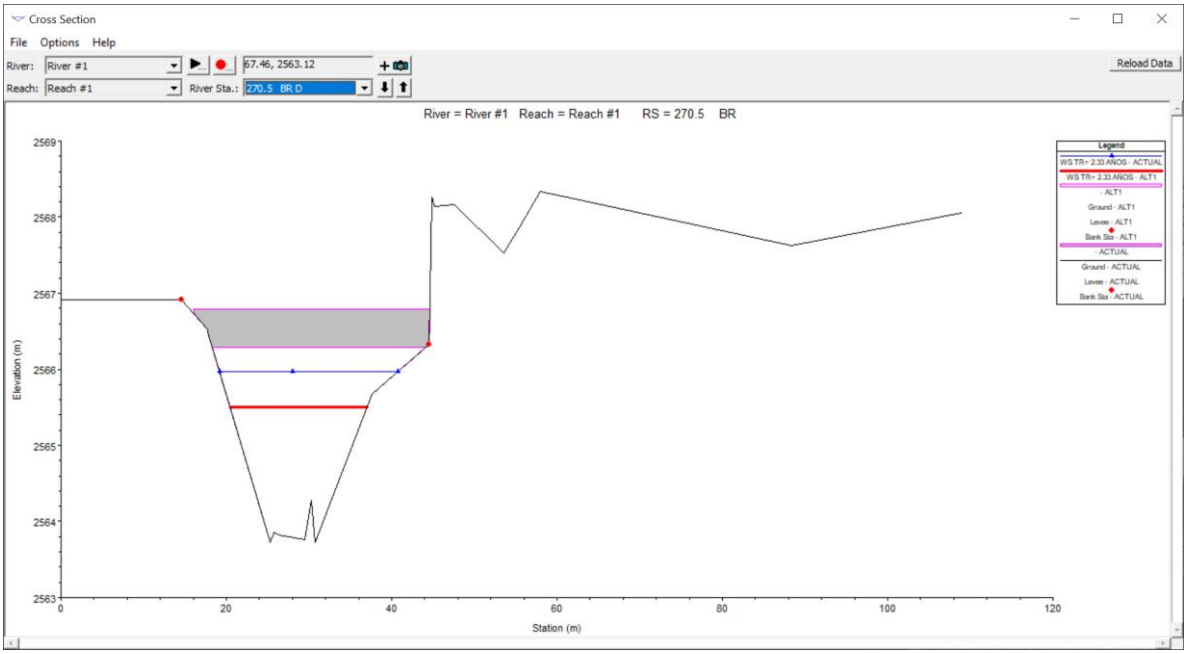


Figura 23 Comparativa puente 6 (K9+366) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años

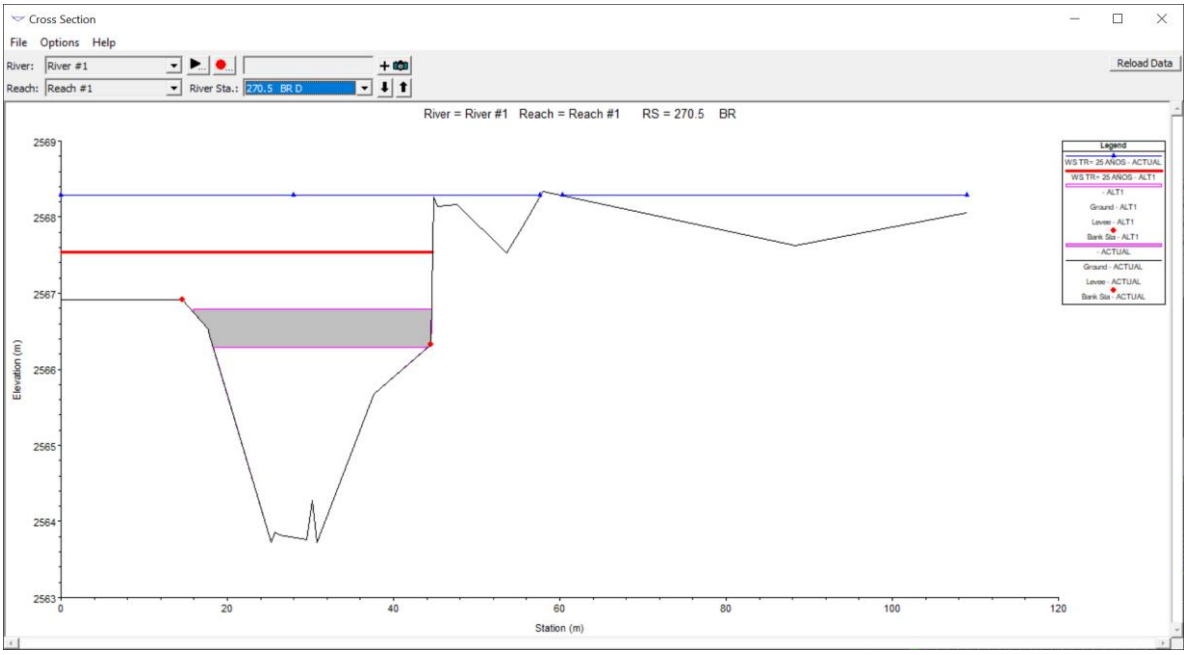


Figura 24 Comparativa puente 6 (K9+366) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años

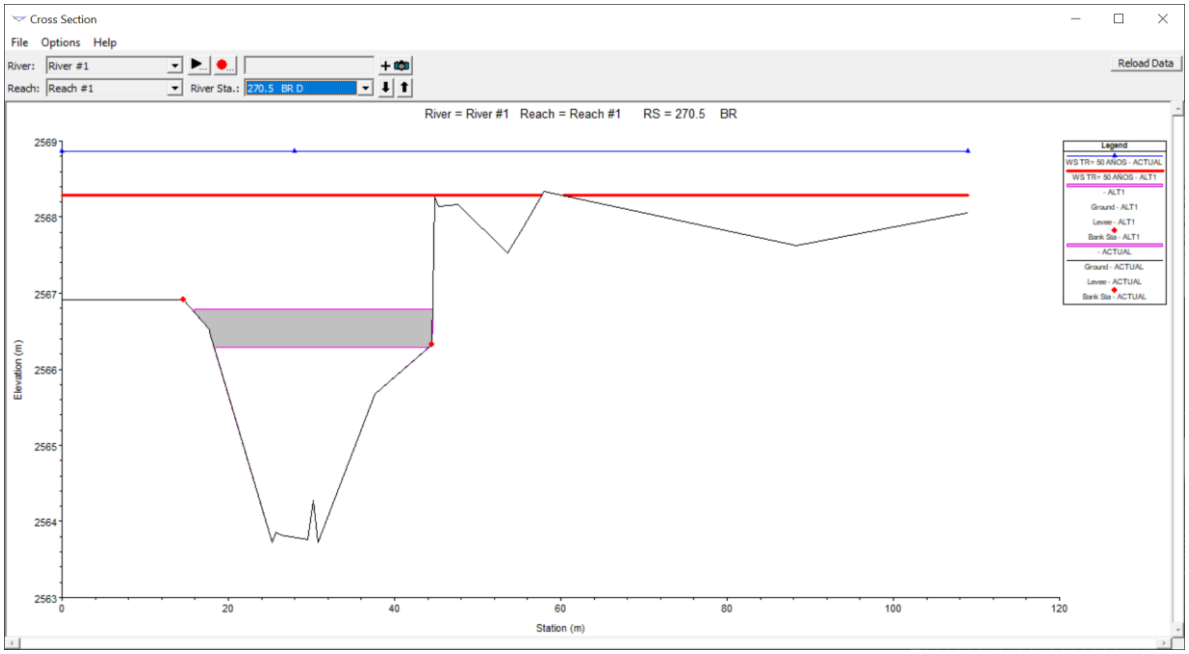


Figura 25 Comparativa puente 6 (K9+366) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años

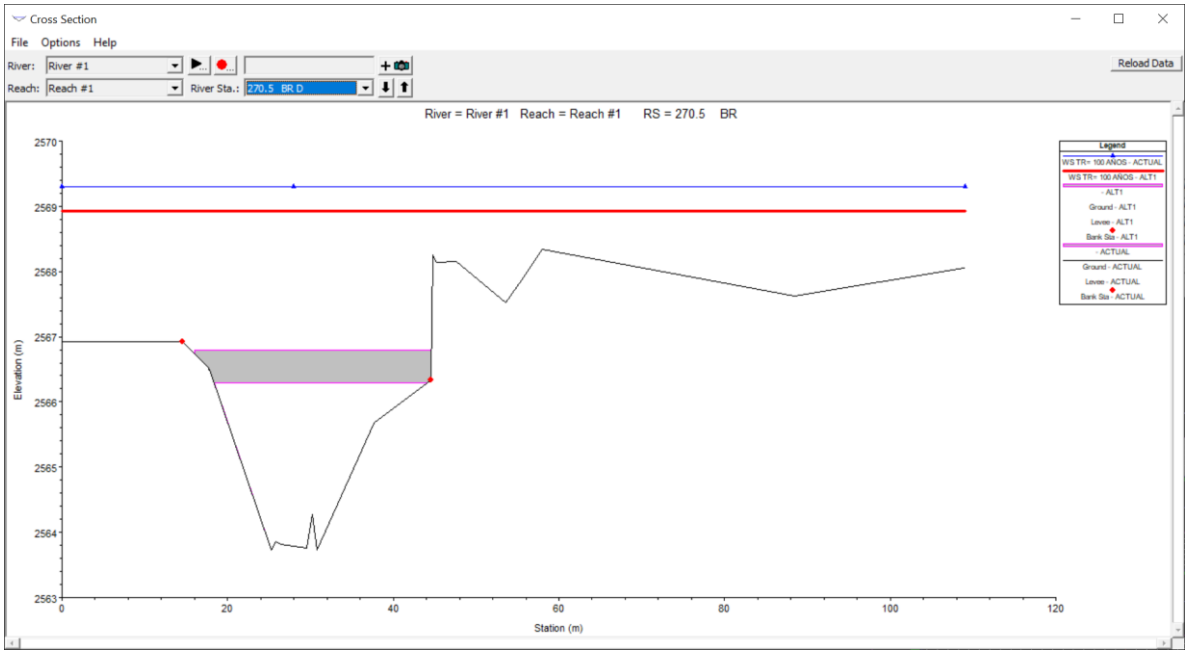


Figura 26 Comparativa puente 6 (K9+366) diagnostico (línea azul) vs alternativa 1 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años

3.1.3. Resultados Manchas de inundación

A continuación, se presentan las manchas de inundación para las condiciones ambientales actuales respecto a las manchas de inundación que se tendrían respecto a la implementación de la alternativa 1.

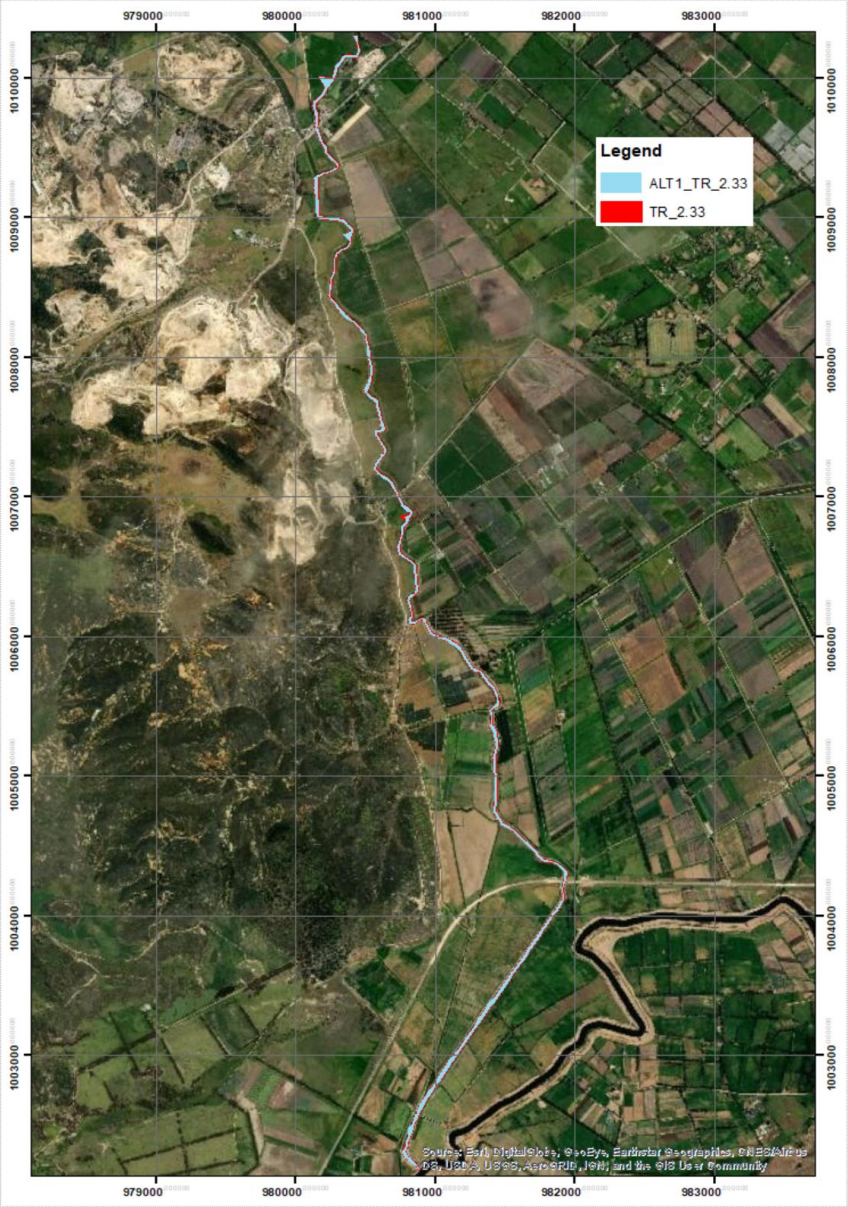


Figura 27 Comparativa mancha de inundación río Balsillas diagnostico (rojo) vs alternativa 1 (azul) para periodo de retorno de 2.33 años

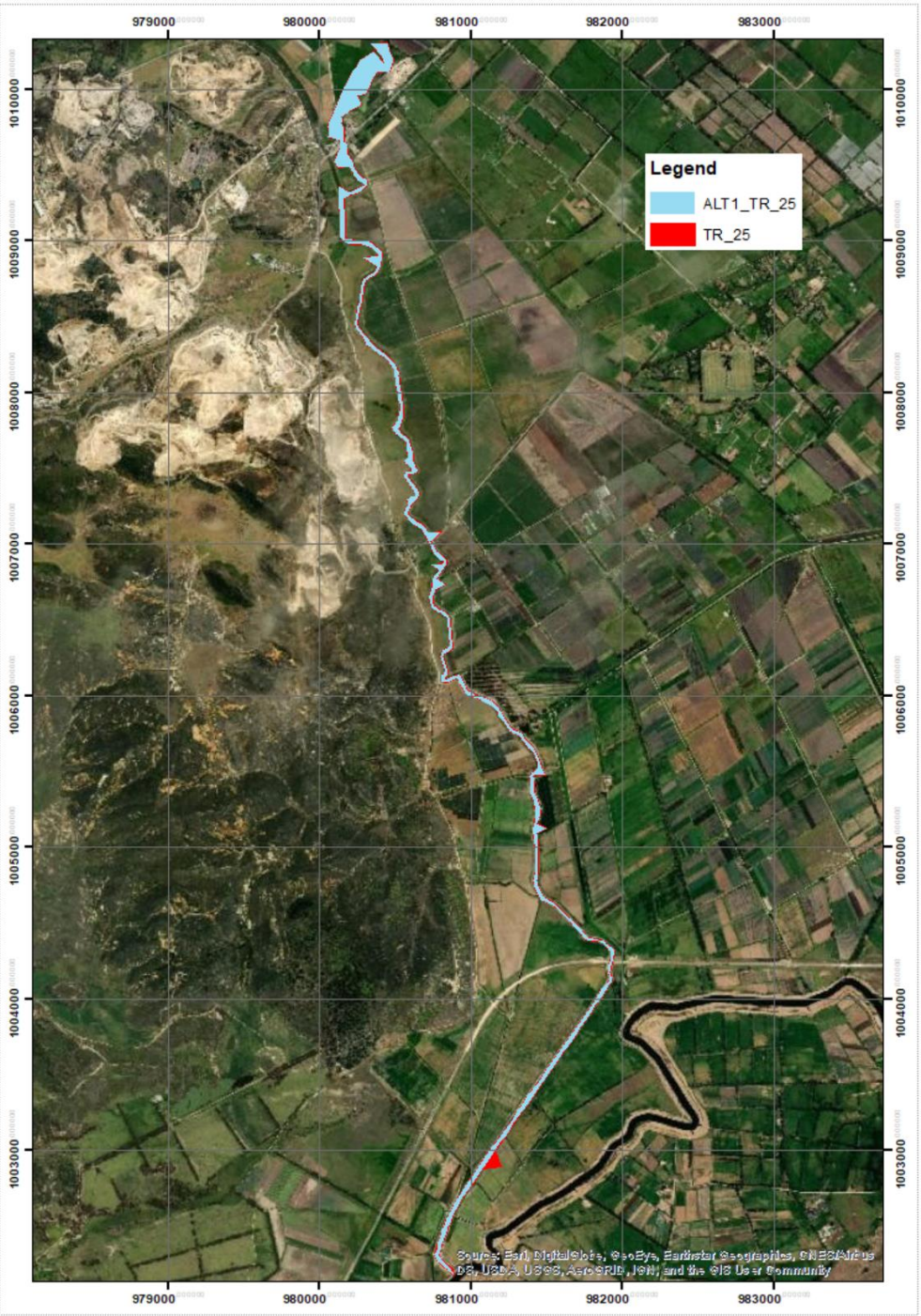


Figura 28 Comparativa mancha de inundación río Balsillas diagnostico (rojo) vs alternativa 1 (azul) para periodo de retorno de 25 años

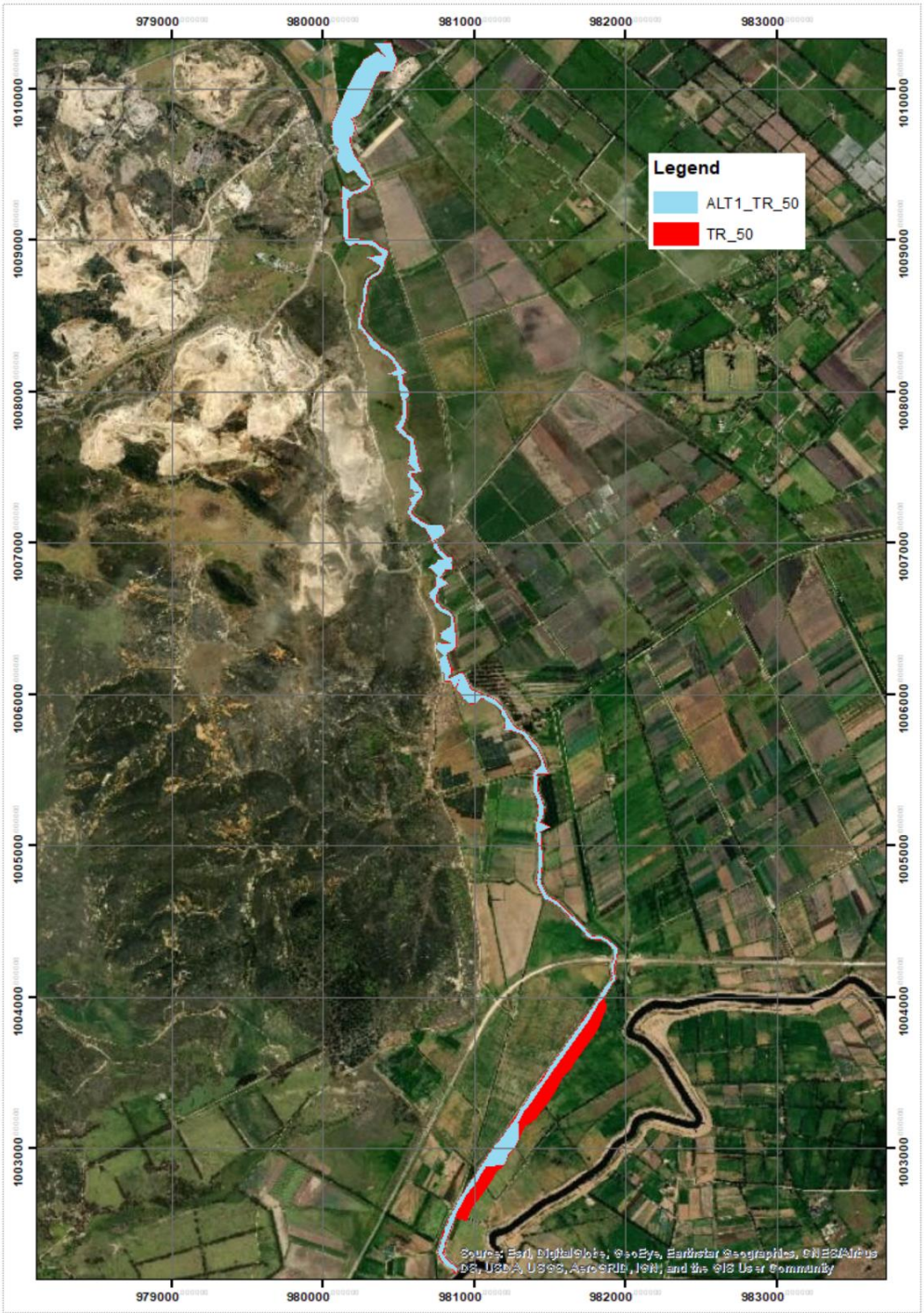


Figura 29 Comparativa mancha de inundación río Balsillas diagnostico (rojo) vs alternativa 1 (azul) para periodo de retorno de 50 años

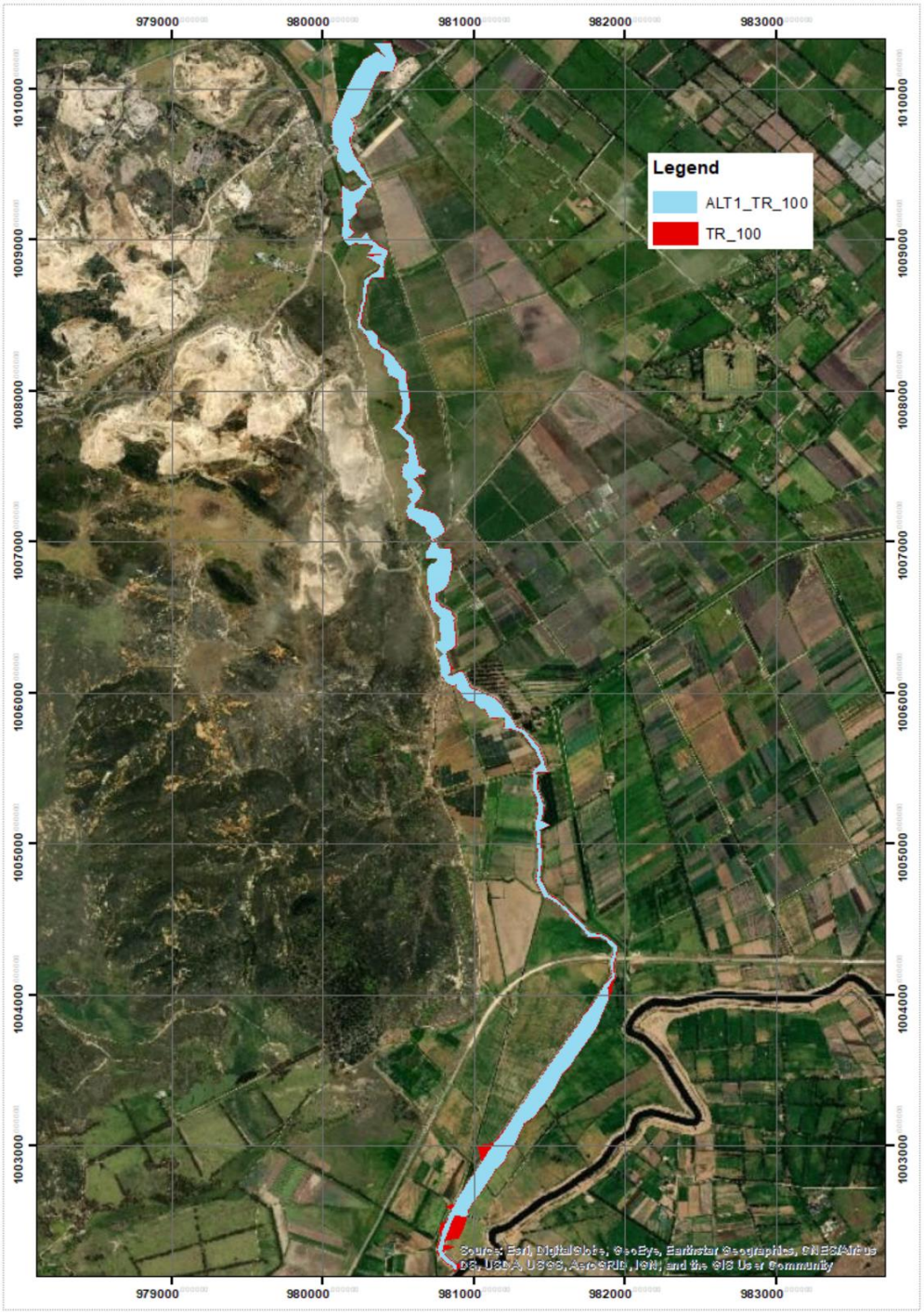


Figura 30 Comparativa mancha de inundación río Balsillas diagnostico (rojo) vs alternativa 1 (azul) para periodo de retorno de 100 años

3.1.4. Cantidades de material a dragar alternativa 1

Como se indicó inicialmente, la alternativa 1 propone remover únicamente el material vegetal flotante que se encuentra sobre el cauce del río Balsillas en el tramo de interés.

Es importante resaltar que este volumen no es fijo; teniendo en cuenta que es material que se transporta con el flujo; sin embargo, para las condiciones ambientales encontradas durante las actividades de actualización topobatimétrica, hasta un 95% de la superficie del agua en el tramo de estudio estaba tapado por Buchón.

Para calcular el área de material a dragar, se propone usar la mancha de inundación asociada al caudal del retorno de los 2.33 años (la cual no desborda el cauce) multiplicada por el 95%, cómo área de intervención.

De acuerdo a lo indicado el área total corresponde a 189.803 m^2 y el 95% de esta área corresponde a 180.312 m^2.

3.1.5. Resultados obtenidos alternativa 1

En esta alternativa se considera únicamente remover el material vegetal superficial del tramo de estudio del río Balsillas. Con esta actividad se pretende mejorar las condiciones hidráulicas del tramo, reduciendo considerablemente la resistencia al flujo, de esta manera se tendrán velocidades mayores y profundidades de flujo menores, atenuando de esta manera los desbordamientos que de acuerdo al diagnóstico se pueden presentar.

Como se indicó en el diagnóstico, el material vegetal superficial se modeló como una “macrorugocidad” en el cauce, con un coeficiente de rugosidad de Manning alto y correspondiente a 0.05. En esta alternativa se asume que el material flotante será retirado por lo tanto la macrorugocidad desaparecerá y el coeficiente de rugosidad será aquel determinado en el contrato 930 de 2012, que tiene un valor máximo de 0.029 para los 10 primeros km del río Balsillas medidos desde su entrega al río Bogotá.

Efectuada la modelación hidráulica para las condiciones esperadas, se observa que una vez implementada la alternativa 1 se disminuiría la profundidad de flujo entre 0.5 m y 0.75 m para los caudales entre los retornos de 2.33 y 100 años, aunque se mejoran las condiciones de flujo y disminuyen los desbordamientos en algunos sectores, estos en general se siguen presentando.

Respecto a las estructuras hidráulicas identificadas en el diagnostico con capacidad insuficiente, con las medidas implementadas en la alternativa 1, se mejora la capacidad del puente 1 (K0+450), permitiendo que por la estructura transiten caudales de hasta 100 años de periodo de retorno. Para la condición actual, el caudal de los 100 años era remansado por el tablero del puente.

Para el puente 2 (K2+369), la alternativa 1 atenúa profundidades hidráulicas de flujo, permitiendo que por la estructura transiten caudales de hasta 100 años de periodo de retorno. Para la condición actual, el caudal de los 50 y 100 años era remansado por el tablero del puente.

Para el puente 4 (K6+065), la alternativa 1 atenúa profundidades hidráulicas de flujo, permitiendo que por la estructura transiten caudales de hasta 25 años de periodo de retorno, en la actualidad este caudal y superiores son remansado por el tablero del puente.

Finalmente, para el puente 6 (K9+366), aunque la alternativa 1 atenúa profundidades hidráulicas de flujo, no se evidencia una mejora sustancial, toda vez que este puente solo tenía capacidad para transitar caudales cercanos al retorno de los 2.33 años, y aun con la implementación de la alternativa 1, caudales superiores pasarían por encima del tablero del puente.

Aunque esta alternativa mejora las condiciones de flujo, no elimina el riesgo de inundaciones para caudales superiores al asociado al retorno de los 25 años, por lo cual, aunque tiene un costo menor, técnicamente no soluciona los problemas que se pretenden eliminar respecto a los desbordamientos del río Balsillas en el tramo de interés.

3.2. DESARROLLO ALTERNATIVA 2

En esta alternativa se considera además de remover el material vegetal superficial del tramo de estudio del río Balsillas, dragar la materia orgánica en descomposición que se encuentra en el fondo del cauce, de esta forma se mejora la hidrodinámica del tramo con la primera medida, y se aumenta el volumen de transito con la segunda.

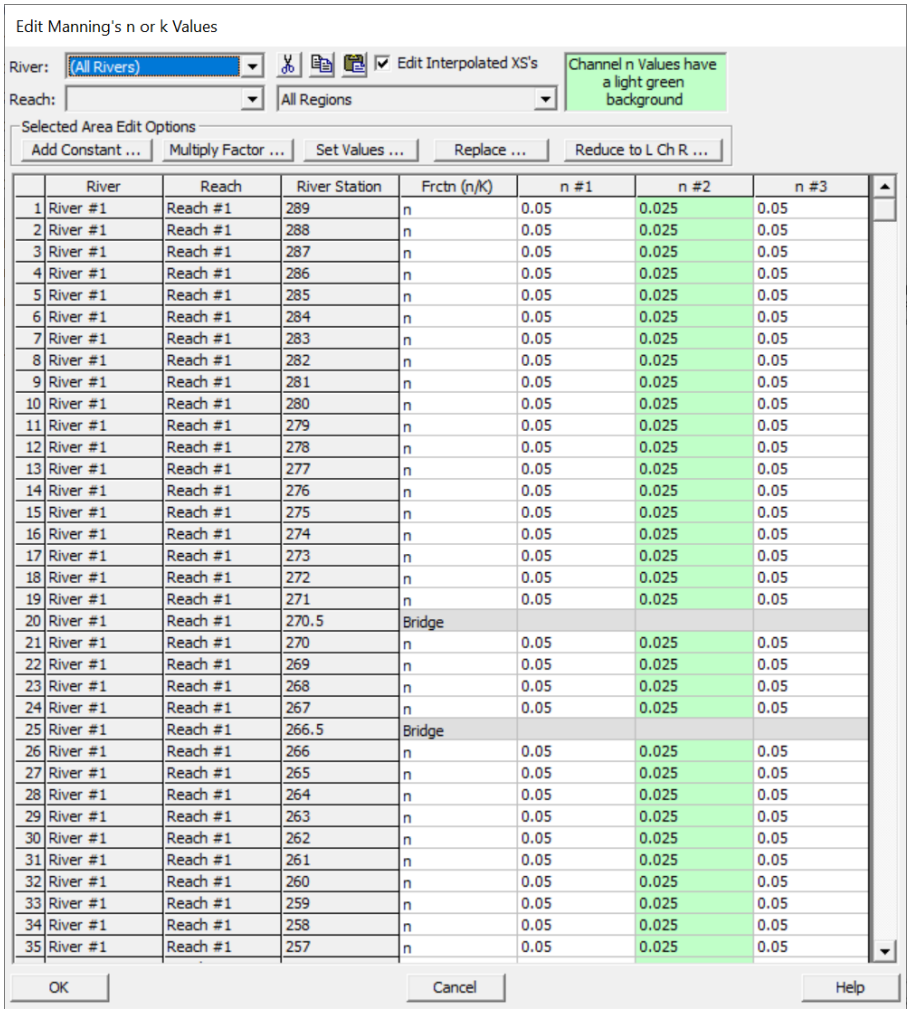
Con el retiro del Buchón flotante se pretende mejorar las condiciones hidráulicas del cauce, reduciendo considerablemente la resistencia al flujo, de esta manera se tendrán velocidades mayores y profundidades de flujo menores, atenuando de esta manera los desbordamientos que de acuerdo al diagnóstico se pueden presentar.

Con el dragado de material de fondo, se aumenta el volumen útil del cauce, y al perfilar el fondo se reduce la fricción, aumentando la velocidad y disminuyendo profundidades de flujo, mitigando de esta forma el riesgo por inundaciones que se presenta en la actualidad.

Para establecer el volumen de material a dragar, así como el perfilado de fondo, se empleará el software HEC-RAS 5.06, mediante el módulo Chanel Design/Modification, con esta herramienta se proyectan secciones transversales sobre las secciones naturales y el software genera una nueva geometría con la reconformación propuesta. Con la nueva geometría se genera una nueva superficie en Civil3d y con este mismo software se comparan las superficies (actual y proyectada) y se calculan los volúmenes de retiro por tramo.

Al retirar el material vegetal superficial y de fondo, así como perfilar el lecho del río, cambia el coeficiente de rugosidad de manera favorable, se adopta un coeficiente de 0.025, correspondiente a un lecho en tierra y definido también por el contrato 930 como rugosidad mínima para los primeros 10 km del río Balsillas.

Tabla 3 Coeficientes de rugosidad adoptados para modelar la condición actual del río Balsillas en el tramo de interés



	River	Reach	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	River #1	Reach #1	289	n	0.05	0.025	0.05
2	River #1	Reach #1	288	n	0.05	0.025	0.05
3	River #1	Reach #1	287	n	0.05	0.025	0.05
4	River #1	Reach #1	286	n	0.05	0.025	0.05
5	River #1	Reach #1	285	n	0.05	0.025	0.05
6	River #1	Reach #1	284	n	0.05	0.025	0.05
7	River #1	Reach #1	283	n	0.05	0.025	0.05
8	River #1	Reach #1	282	n	0.05	0.025	0.05
9	River #1	Reach #1	281	n	0.05	0.025	0.05
10	River #1	Reach #1	280	n	0.05	0.025	0.05
11	River #1	Reach #1	279	n	0.05	0.025	0.05
12	River #1	Reach #1	278	n	0.05	0.025	0.05
13	River #1	Reach #1	277	n	0.05	0.025	0.05
14	River #1	Reach #1	276	n	0.05	0.025	0.05
15	River #1	Reach #1	275	n	0.05	0.025	0.05
16	River #1	Reach #1	274	n	0.05	0.025	0.05
17	River #1	Reach #1	273	n	0.05	0.025	0.05
18	River #1	Reach #1	272	n	0.05	0.025	0.05
19	River #1	Reach #1	271	n	0.05	0.025	0.05
20	River #1	Reach #1	270.5	Bridge			
21	River #1	Reach #1	270	n	0.05	0.025	0.05
22	River #1	Reach #1	269	n	0.05	0.025	0.05
23	River #1	Reach #1	268	n	0.05	0.025	0.05
24	River #1	Reach #1	267	n	0.05	0.025	0.05
25	River #1	Reach #1	266.5	Bridge			
26	River #1	Reach #1	266	n	0.05	0.025	0.05
27	River #1	Reach #1	265	n	0.05	0.025	0.05
28	River #1	Reach #1	264	n	0.05	0.025	0.05
29	River #1	Reach #1	263	n	0.05	0.025	0.05
30	River #1	Reach #1	262	n	0.05	0.025	0.05
31	River #1	Reach #1	261	n	0.05	0.025	0.05
32	River #1	Reach #1	260	n	0.05	0.025	0.05
33	River #1	Reach #1	259	n	0.05	0.025	0.05
34	River #1	Reach #1	258	n	0.05	0.025	0.05
35	River #1	Reach #1	257	n	0.05	0.025	0.05

3.2.1. Resultados perfil longitudinal de flujo

Para esta alternativa se plantea; además de dragar el material orgánico en descomposición del lecho, con lo cual se gana volumen de almacenamiento, perfilar y homogenizar la pendiente de fondo mejorando las condiciones hidráulicas en cuanto a velocidad y profundidad de flujo, ver Figura 31.

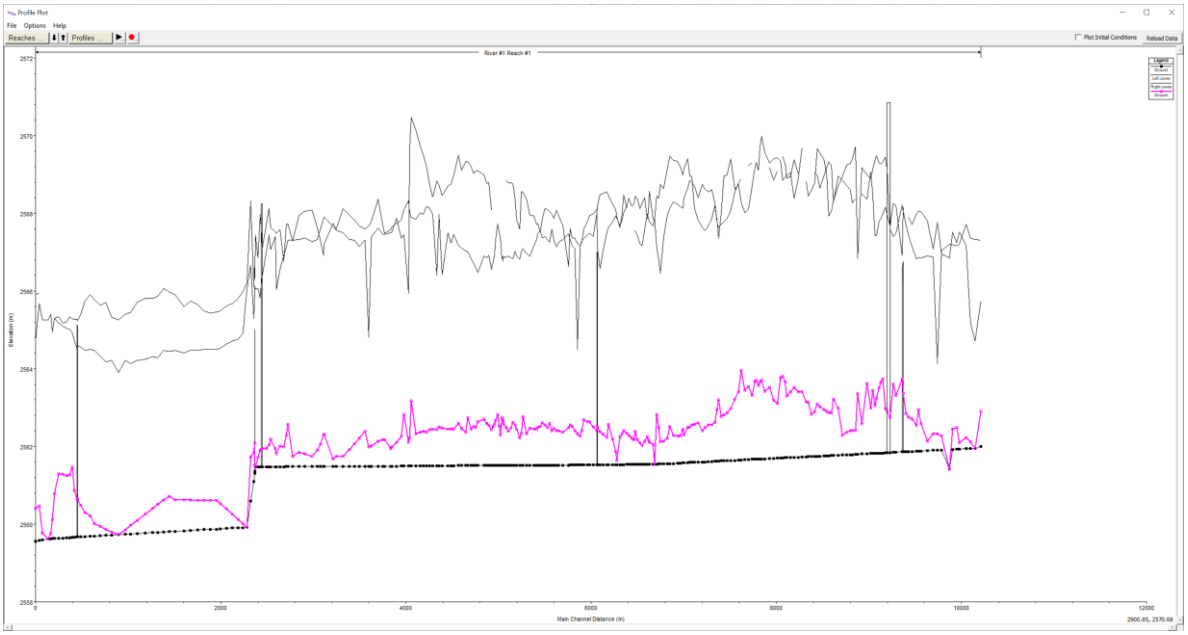


Figura 31 Fondo natural (línea magenta) y fondo perfilado (línea negra) del río Balsillas en el tramo de estudio

Como se observa en la figura anterior se proyecta un perfilado de fondo que aumentará las velocidades y disminuirá las profundidades de flujo. Es importante resaltar que el perfilado no aumenta la pendiente natural del cauce que por las condiciones geomorfologías de este río son bastante bajas, además que está limitada a la cota de entrega al río Bogotá, ver Tabla 4.

Tabla 4 Pendientes de fondo proyectadas

TRAMO	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	PENDIENTE (%)
288-187	K10+146	K6+682	0.01184%
187-50	K6+682	K2+376	0.00163%
50-45	K2+376	K2+285	1.701%
45-24	K2+285	K0+893	0.0136%
24-2	K0+893	K0+000	0.0145%

Se definieron secciones trapezoidales de anchos de 4, 8, 10 y 12 m en función de los anchos naturales del cauce. Se proyectan las secciones con taludes coherentes con los taludes existentes a hoy día.

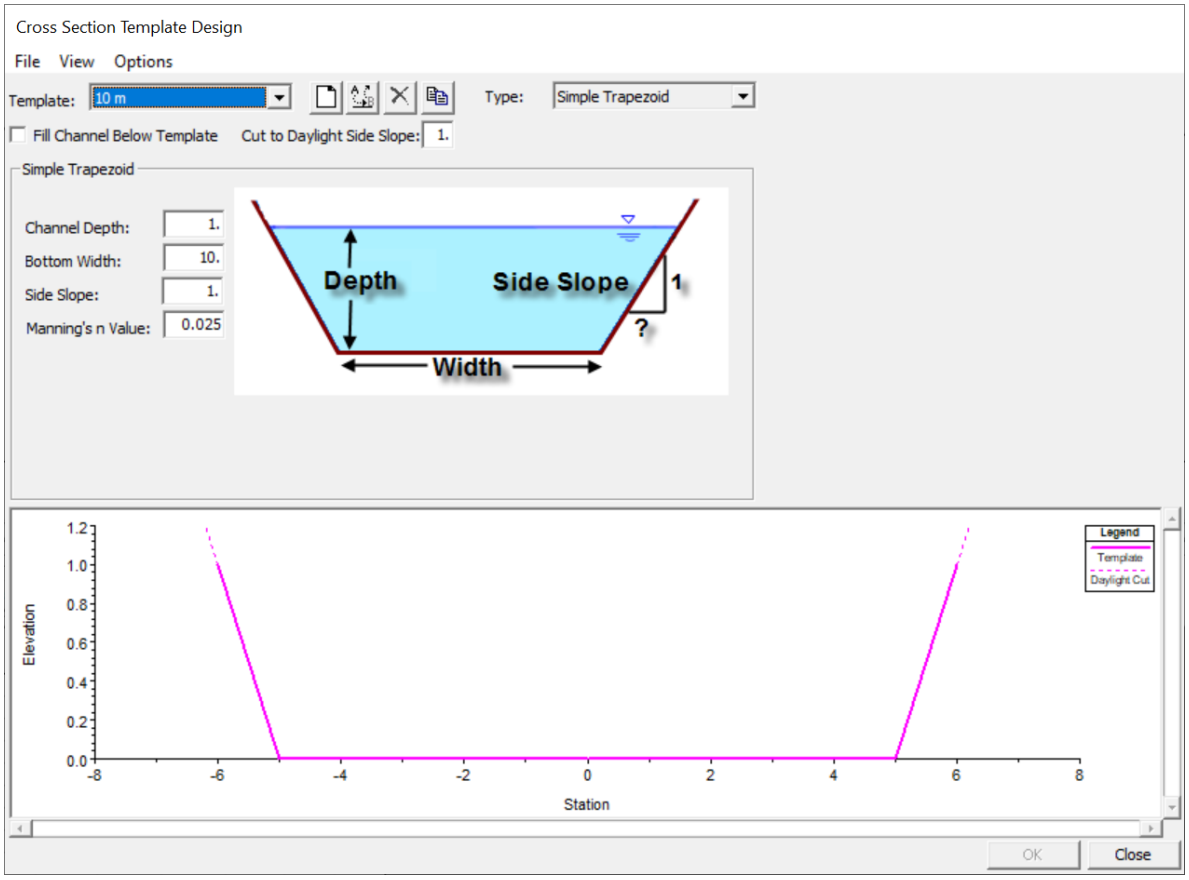


Figura 32 Sección de reconformación típica para la limpieza

Se implementaron las secciones y efectúo la corrida del modelo propuesto para la alternativa 2, se compararon las profundidades de flujo para cada periodo de retorno evaluado entre el diagnóstico y esta alternativa y se obtuvieron los siguientes resultados: En la Figura 32, se observa que una vez implementada la alternativa 2 se disminuye la profundidad de flujo en promedio 1.96 m para el caudal asociado al retorno de los 2.33 años.

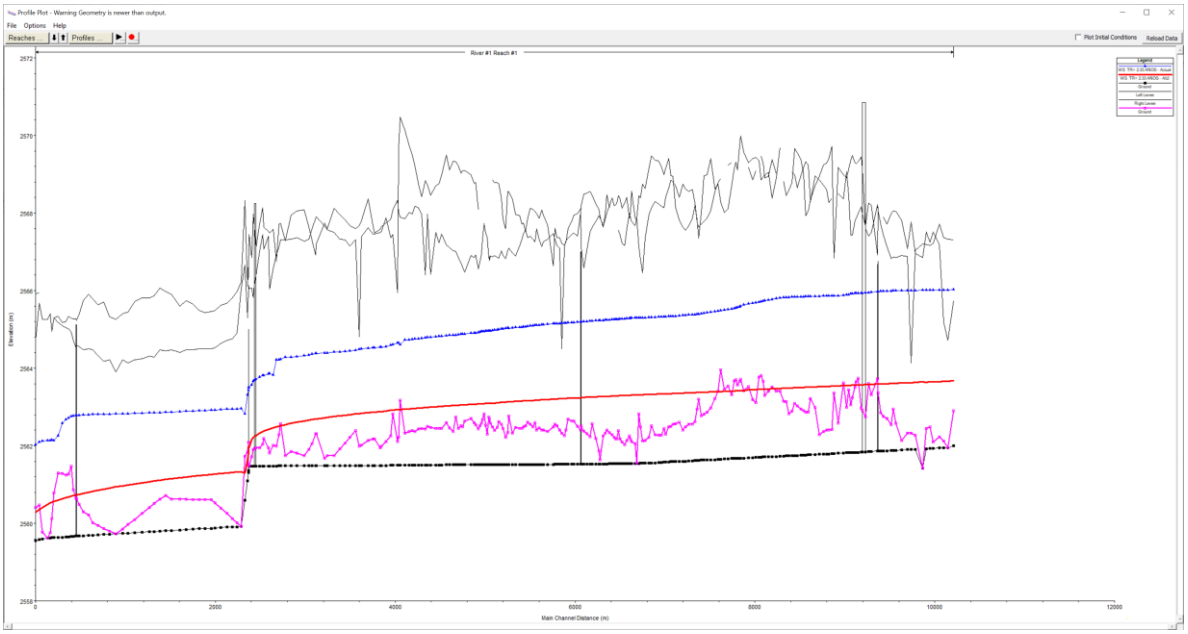


Figura 33 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 2 (línea roja) para periodo de retorno de 2.33 años

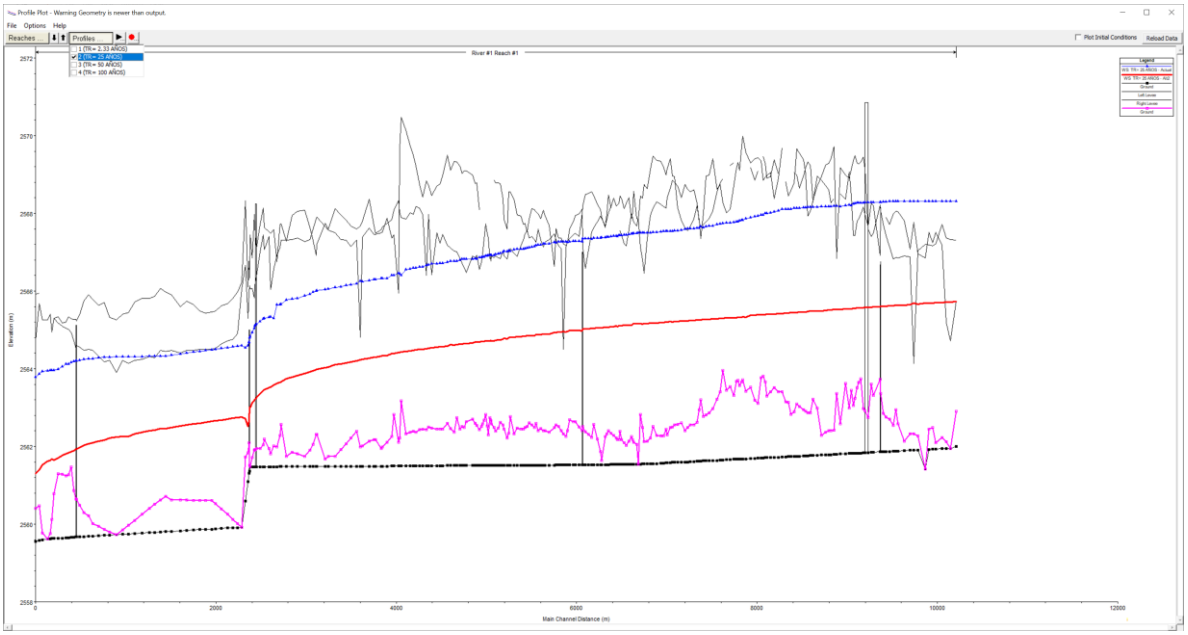


Figura 34 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 2 (línea roja) para periodo de retorno de 25 años

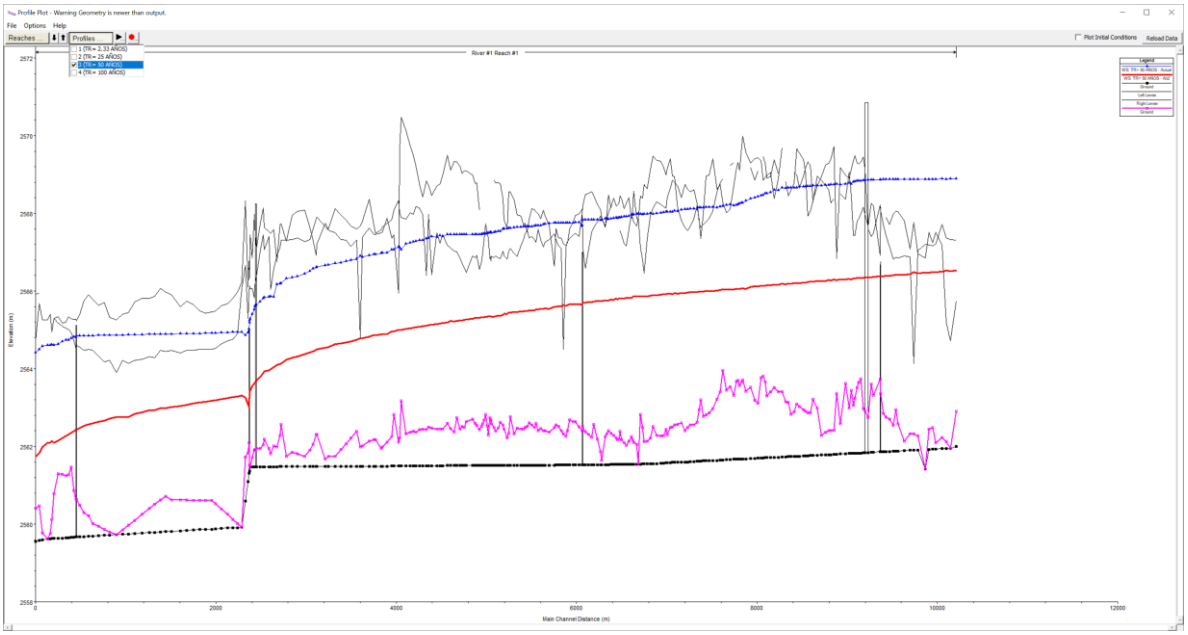


Figura 35 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 2 (línea roja) para periodo de retorno de 50 años

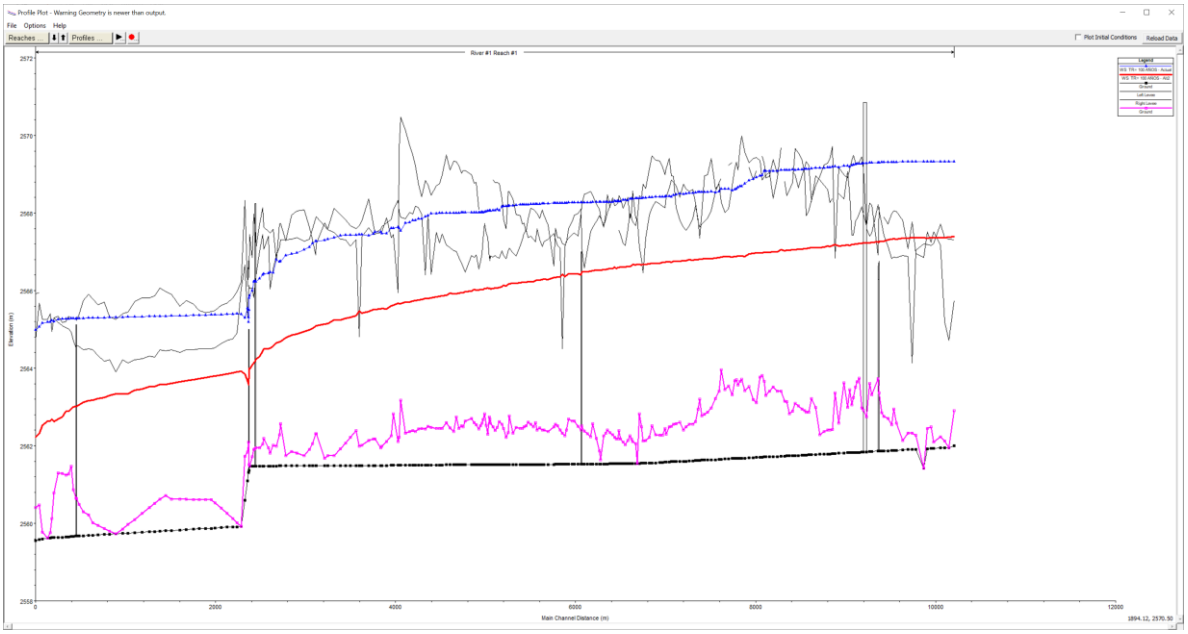


Figura 36 Comparativa perfil hidráulico río Balsillas diagnostico vs alternativa 2 (línea roja) para periodo de retorno de 100 años

Respecto al retorno de 25 años, como se observa en la Figura 34, con la implementación de la alternativa 2, se obtiene un abatimiento de niveles de hasta 2.29 m, mejorando considerablemente las condiciones de flujo y disminuyen los desbordamientos en la mayor parte del tramo.

Como se observa en la Figura 35, para el caudal asociado al retorno de los 50 años, se logra un abatimiento de hasta 2.20 m, mejorando considerablemente las condiciones de flujo y disminuyen los desbordamientos en la mayor parte del tramo.

Como se observa en la Figura 36, para el caudal asociado al retorno de los 100 años, se logra un abatimiento de hasta 1.95 m, mejorando considerablemente las condiciones de flujo y disminuyen los desbordamientos en la mayor parte del tramo.

En la Tabla 5 se presentan los promedios de velocidades y profundidades de flujo para la condición natural actual y la alternativa 2 proyectada. Como se observa con esta alternativa se logran abatimientos superlativos entre 1.95 y 2.29 m y se aumentan velocidades de flujo entre 0.2 y 0.72 m/s. Estas mejoras en la hidrodinámica del tramo se ven reflejadas en el aumento de capacidad hidráulica del río y mitigación del riesgo por desbordamientos.

Tabla 5 Velocidades y profundidades promedio para la condición actual vs la alternativa 2

	PROMEDIOS			
	ACTUAL	ALT2	Variación	Variación
RETORNO (AÑOS)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)
2.33	0.42	0.63	0.20	1.96
25	0.67	1.12	0.45	2.29
50	0.68	1.27	0.60	2.20
100	0.67	1.40	0.72	1.95

Aunque el riesgo por desbordamientos disminuye considerablemente, se identificaron unos tramos particulares que no tienen capacidad hidráulica suficiente, por lo cual es necesario el realce de jarillones en estos tramos, ver Tabla 6.

Tabla 6 Realce de jarillones requerido para contención total del caudal asociado al retorno de los 100 años

TRAMO	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	LONGITUD (m)	MARGEN	COTA TERRENO	COTA TR=100 AÑOS	COTA JARILLON	ALTURA JARILLON (m)	OBSERVACIÓNES
89-88	K4+026	K3+975	51	IZQUIERDA	2565.45	2565.69	2565.90	0.45	
150-149	K5+755	K5+694	61	IZQUIERDA	2565.23	2566.39	2566.63	1.4	
189-188	K6+729	K6+706	23	DERECHA	2566.41	2566.67	2566.86	0.45	
190-189	K6+748	K6+729	19	DERECHA	2566.46	2566.68	2566.91	0.45	
237-236	K8+280	K8+238	42	DERECHA	2564.44	2567.06	2567.24	2.8	Z.I. Laguna Herrera[1]
261-260	K9+083	K9+066	17	IZQUIERDA	2564.94	2567.21	2567.41	2.47	Fuera de los 9 Km

[1] Z.I: corresponde a zona de inundación

Como se observa en la tabla anterior, para tener una capacidad hidráulica total para el caudal asociado al retorno de los 100 años en el tramo de estudio, sería necesario realzar jarillones de hasta 0.45 m de alto en una longitud de 93 m, y realzar jarillones de hasta 1.4 m de alto en una longitud de 61 m, las márgenes a realizar estas obras y sus correspondientes abscisas de inicio y finalización se relacionan en la Tabla 6.

3.2.2. Resultados estructuras hidráulicas

A continuación, se presentan las profundidades de flujo para cada periodo de retorno evaluado sobre cada puente modelado para la condición futura implementando la alternativa 2.

Como se observa en la Figura 37, Figura 38 y Figura 39, la implementación de la alternativa 2 atenúa profundidades hidráulicas de flujo, permitiendo que por las estructuras transiten caudales de hasta 100 años de periodo de retorno para 3 de los puentes considerados críticos en el diagnóstico, y correspondientes a los puentes: 1 (K0+450), 2 (K2+369) y 4 (K6+065).

De las estructuras modeladas, únicamente el puente 6 (K9+366) mantiene incapacidad hidráulica para los caudales de los 50 y 100 años, los cuales son remansados por el tablero del puente (ver Figura 40). Sin embargo, para la condición actual, estos caudales, aunados al de periodo de retorno de los 25 años sobrepasa con profundidades importantes de flujo el tablero de este puente 6, por lo cual se considera que se mejora sustancialmente la hidrodinámica de este sector del río.

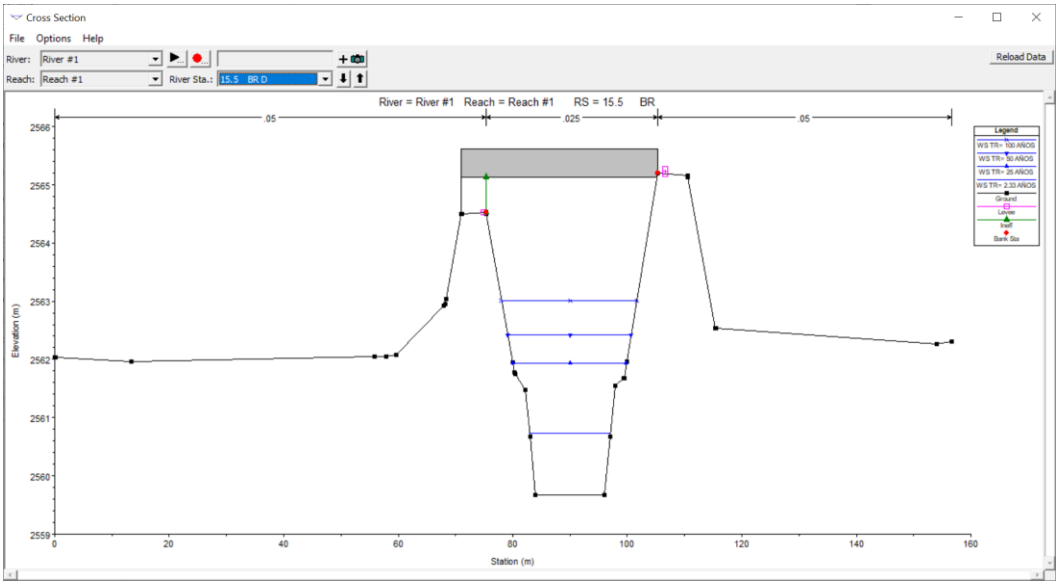


Figura 37 Resultados hidráulicos para los periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años implementando la alternativa 2 para el puente 1 (K0+450)

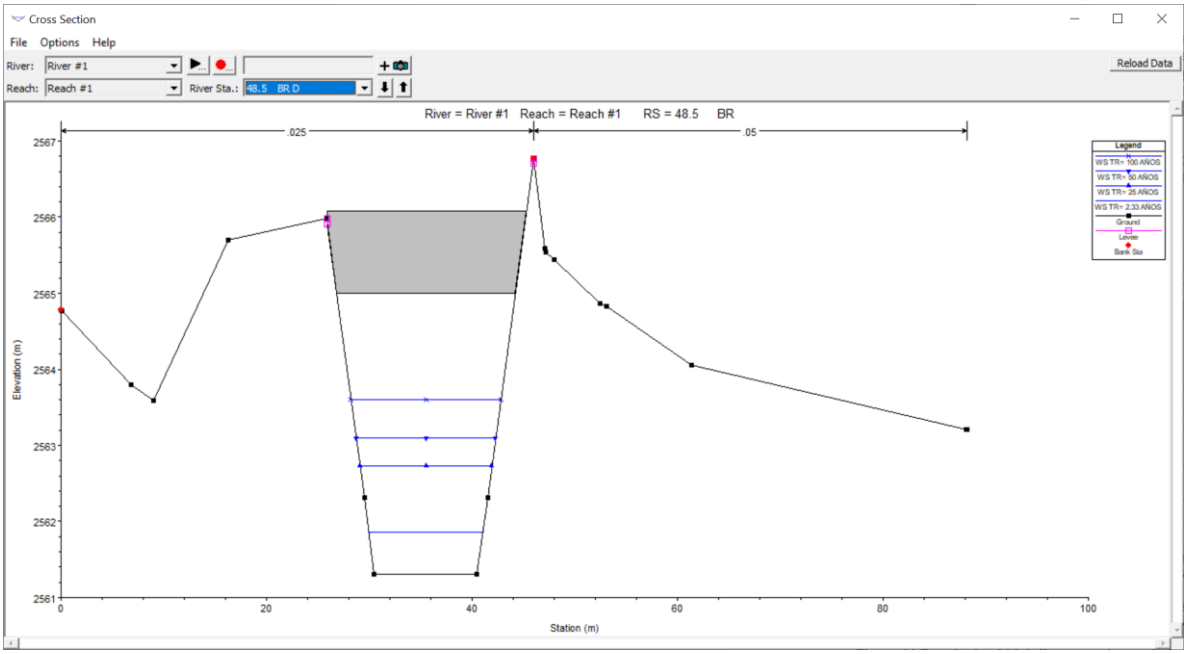


Figura 38 Resultados hidráulicos para los periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años implementando la alternativa 2 para el puente 2 (K2+369)

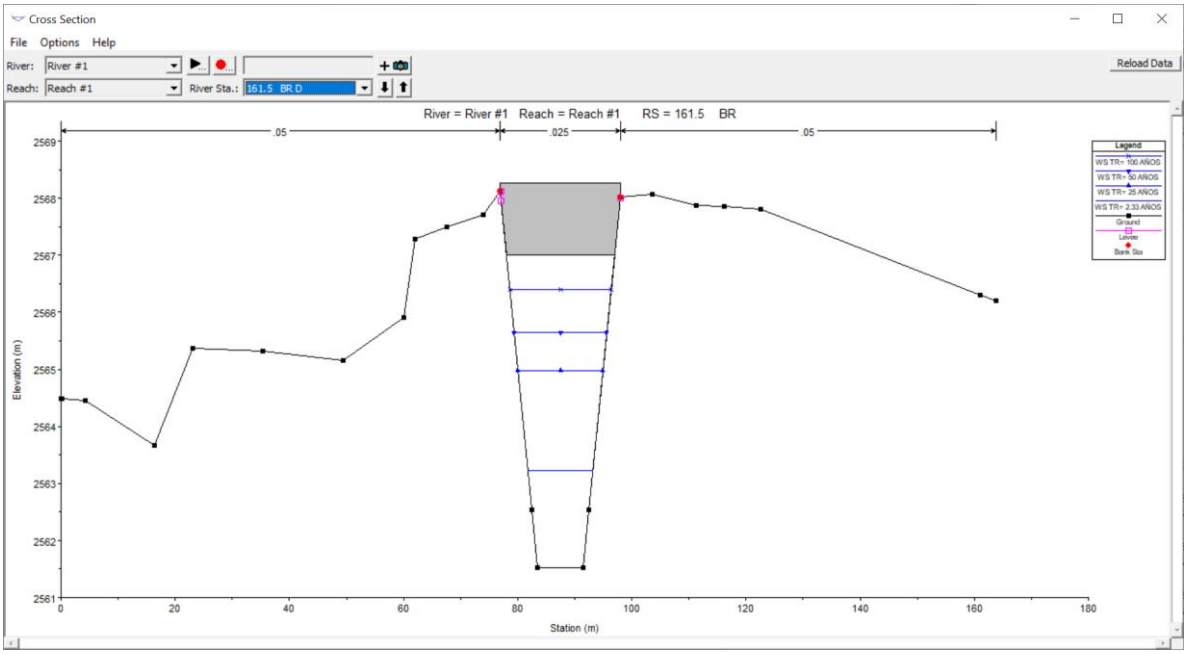


Figura 39 Resultados hidráulicos para los periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años implementando la alternativa 2 para el puente 4 (K6+065)

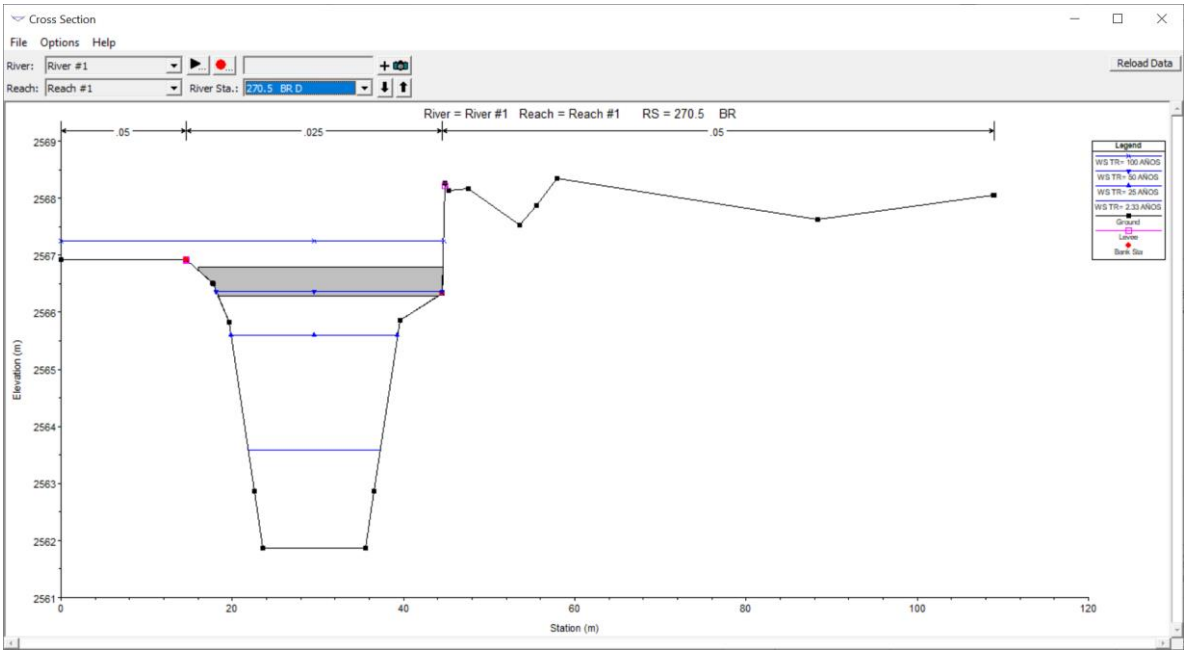


Figura 40 Resultados hidráulicos para los periodos de retorno de 2.33, 25, 50 y 100 años implementando la alternativa 2 para el puente 6 (K9+366)

3.2.3. Resultados Manchas de inundación

A continuación, se presentan las manchas de inundación para las condiciones ambientales actuales respecto a las manchas de inundación que se tendrían respecto a la implementación de la alternativa 2.

Es importante resaltar que la implementación de la alternativa 2, aunada al realce de jarillones indicados en la Tabla 6, garantiza la capacidad hidráulica del tramo de estudio del río balsillas para transitar el caudal asociado al retorno de los 100 años, sin que se produzcan desbordamientos. Razón por la cual solo se compara la mancha del periodo de retorno de los 100 años para la condición actual y la implementación de la alternativa 2, entendiendo que los demás caudales al ser menores, también serán contenidos.

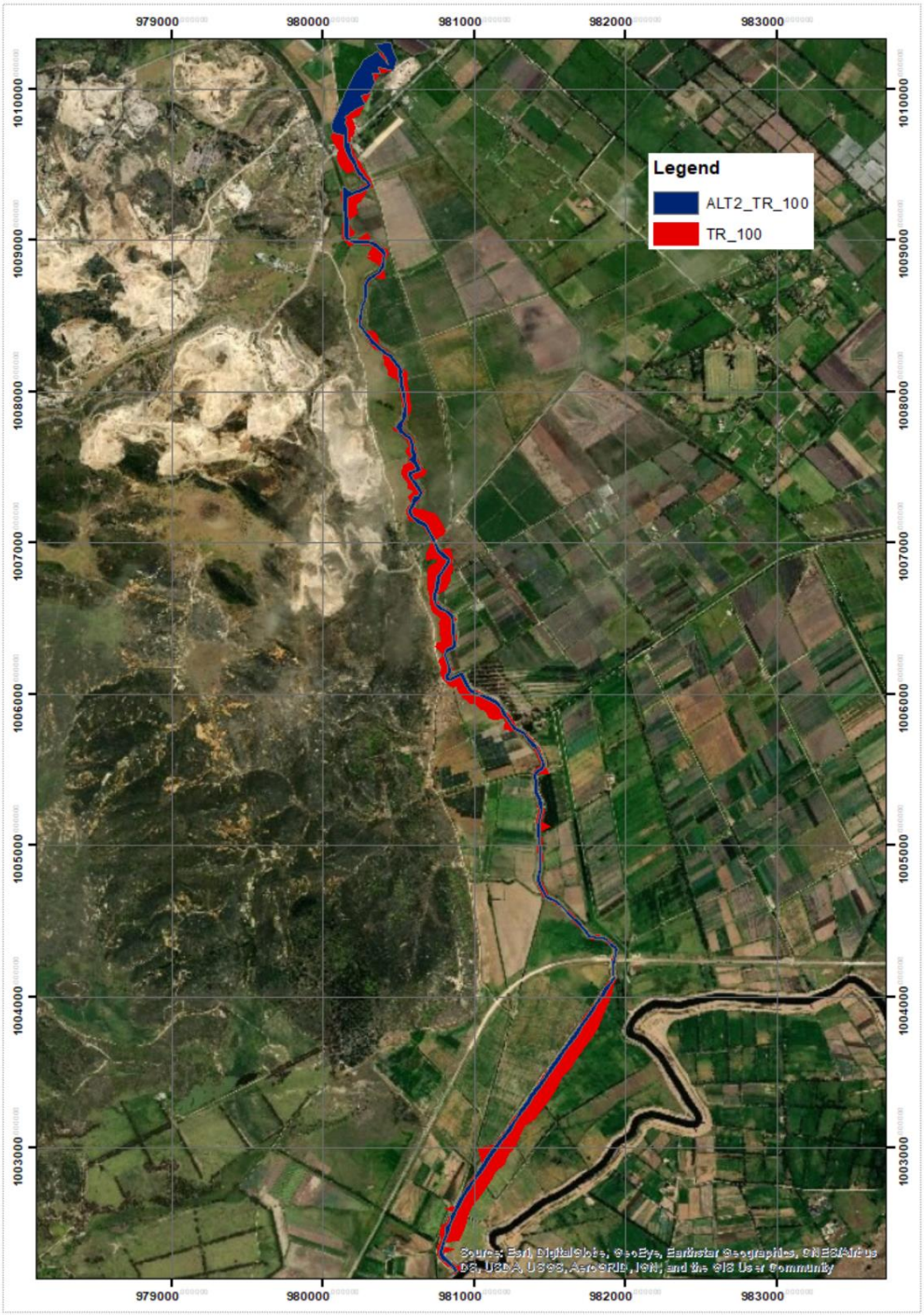


Figura 41 Comparativa mancha de inundación río Balsillas diagnostico (rojo) vs alternativa 2 (azul) para periodo de retorno de 100 años

3.2.4. Cantidades de material a dragar alternativa 2

Como se indicó inicialmente, la alternativa 2 propone remover el material vegetal tanto flotante como en descomposición que se encuentra en el fondo del cauce del río Balsillas en el tramo de interés. El material vegetal flotante calculado para la alternativa 1 correspondería a 180.312 m^2. El material de fondo calculado para la alternativa 2 corresponde a 215.366 m^3.

3.2.5. Resultados obtenidos alternativa 2

En esta alternativa se considera además de remover el material vegetal superficial del tramo de estudio del río Balsillas, dragar la materia orgánica en descomposición que se encuentra en el fondo del cauce, de esta forma se mejora la hidrodinámica del tramo con la primera medida, y se aumenta el volumen de transito con la segunda.

Con el retiro del Buchón flotante se pretende mejorar las condiciones hidráulicas del cauce, reduciendo considerablemente la resistencia al flujo, de esta manera se tendrán velocidades mayores y profundidades de flujo menores, atenuando de esta manera los desbordamientos que de acuerdo al diagnóstico se pueden presentar.

Con el dragado de material de fondo, se aumenta el volumen útil del cauce, y al perfilar el fondo se reduce la fricción, aumentando la velocidad y disminuyendo profundidades de flujo, mitigando de esta forma el riesgo por inundaciones que se presenta en la actualidad.

Para esta alternativa se plantea; además de dragar el material orgánico en descomposición del lecho; con lo cual se gana volumen de almacenamiento, perfilar y homogenizar la pendiente de fondo mejorando las condiciones hidráulicas en cuanto a velocidad y profundidad de flujo.

Se proyecta un perfilado de fondo que aumentará las velocidades y disminuirá las profundidades de flujo. Es importante resaltar que el perfilado no aumenta la pendiente natural del cauce que por las condiciones geomorfologías de este río son bastante bajas, además que está limitada a la cota de entrega al río Bogotá.

Se observa que una vez implementada la alternativa 2 se disminuye la profundidad de flujo en promedio 1.96 m para el caudal asociado al retorno de los 2.33 años. Respecto al retorno de 25 años, con la implementación de la alternativa 2, se obtiene un abatimiento de niveles de hasta 2.29 m. Para el caudal asociado al retorno de los 50 años, se logra un abatimiento de hasta 2.20 m. Finalmente, para el caudal asociado al retorno de los 100 años, se logra un abatimiento de hasta 1.95 m, mejorando considerablemente las condiciones de flujo y disminuyen los desbordamientos en la mayor parte del tramo.

Por otra parte, se aumentan velocidades de flujo entre 0.2 y 0.72 m/s. Estas mejoras en la hidrodinámica del tramo se ven reflejadas en el aumento de capacidad hidráulica del río y en la mitigación del riesgo por desbordamientos.

Aunque el riesgo por desbordamientos disminuye considerablemente, se identificaron unos tramos particulares que no tienen capacidad hidráulica suficiente, por lo cual es necesario el realce de jarillones en estos tramos. Para tener una capacidad hidráulica total para el caudal asociado al retorno de los 100 años en el tramo de estudio, sería necesario realzar jarillones de hasta 0.45 m de alto en una longitud de 93 m, y realzar jarillones de hasta 1.4 m de alto en una longitud de 61 m, las márgenes a realizar estas obras y sus correspondientes abscisas de inicio y finalización se relacionan en la Tabla 6.

La implementación de la alternativa 2 atenúa profundidades hidráulicas de flujo, permitiendo que por las estructuras transiten caudales de hasta 100 años de periodo de retorno para 3 de los puentes considerados críticos en el diagnóstico, y correspondientes a los puentes: 1 (K0+450), 2 (K2+369) y 4 (K6+065).

De las estructuras modeladas, únicamente el puente 6 (K9+366) mantiene incapacidad hidráulica para los caudales de los 50 y 100 años, los cuales son remansados por el tablero del puente. Sin embargo, para la condición actual, estos caudales, aunados al de periodo de retorno de los 25 años sobrepasa con profundidades importantes de flujo el tablero de este puente 6, por lo cual se considera que se mejora sustancialmente la hidrodinámica de este sector del río.

La implementación de la alternativa 2, aunada al realce de jarillones indicados en la Tabla 6, garantiza la capacidad hidráulica del tramo de estudio del río balsillas para transitar el caudal asociado al retorno de los 100 años, sin que se produzcan desbordamientos.

Como se indicó inicialmente, la alternativa 2 propone remover el material vegetal tanto flotante como en descomposición que se encuentra en el fondo del cauce del río Balsillas en el tramo de interés. El material vegetal flotante calculado para la alternativa 1 correspondería a 180.312 m^2. El material de fondo calculado para la alternativa 2 corresponde a 252.422 m^3.