COMISIÓN TRINACIONAL PARA EL DESARROLLO DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO

Informe Técnico

(18 de Julio de 2012)

PROYECTO DE DEFENSA DE LAS MÁRGENES DEL RÍO PILCOMAYO

ZONA: MISIÓN LA PAZ (ARGENTINA) – POZO HONDO (PARAGUAY)

Ing. Eduardo Barbagelata

PROYECTO DE DEFENSA DE LAS MÁRGENES DEL RÍO PILCOMAYO . ZONA: MISIÓN LA PAZ (ARGENTINA) – POZO HONDO (PARAGUAY)

Índice

1 Introducción y Ubicación 2
2 Estudios básicos 4
2.1 Relevamientos topobatimétricos 4
2.2 Estudio de suelo y mezcla con cemento 6
3 Evolución geomorfológica 9
3.1 Morfología del tramo de estudio 9
3.1.1 Ubicación del tramo de estudio 9
3.1.2 Caracterización del tramo de estudio 9
3.2 Actualización de la dinámica Geomorfológica 14
4 Propuesta de alternativas de obras 20
4.1 Alternativa 1 20
4.2 Alternativa 2 25
4.3 Métodos constructivos 28
4.4 Cómputo y presupuesto de las alternativas 32
5 Proyecto de las obras 36
5.1 Generalidades 36
5.2 Plazos de obra y modalidad de contratación 37
5.3 Presupuesto de las obras 37
6 Conclusiones y recomendaciones 39
Anexo 1 Reseña Fotográfica 40
Anexo 2 Información Topográfica 41
Anexo 3 Planillas de análisis de suelo y mezcla con cemento 42
Anexo 4 Análisis de Precios 43
Anexo 5 Planos 44

PROYECTO DE DEFENSA DE LAS MÁRGENES DEL RÍO PILCOMAYO. ZONA: MISIÓN LA PAZ (ARGENTINA) – POZO HONDO (PARAGUAY)

1 Introducción y Ubicación

El presente informe tiene por objeto la elaboración de un proyecto de defensa del Río Pilcomayo en la zona de Misión La Paz y Pozo Hondo, que brinde solución a los problemas de erosión de márgenes que presenta el río. Este informe tiene como antecedente principal el Estudio Hidrológico e Hidráulico realizado en la zona en el año 2010.

La localidad de Misión La Paz se encuentra ubicada en la Provincia de Salta, República Argentina, cerca del centro del límite de esta provincia con la República del Paraguay.

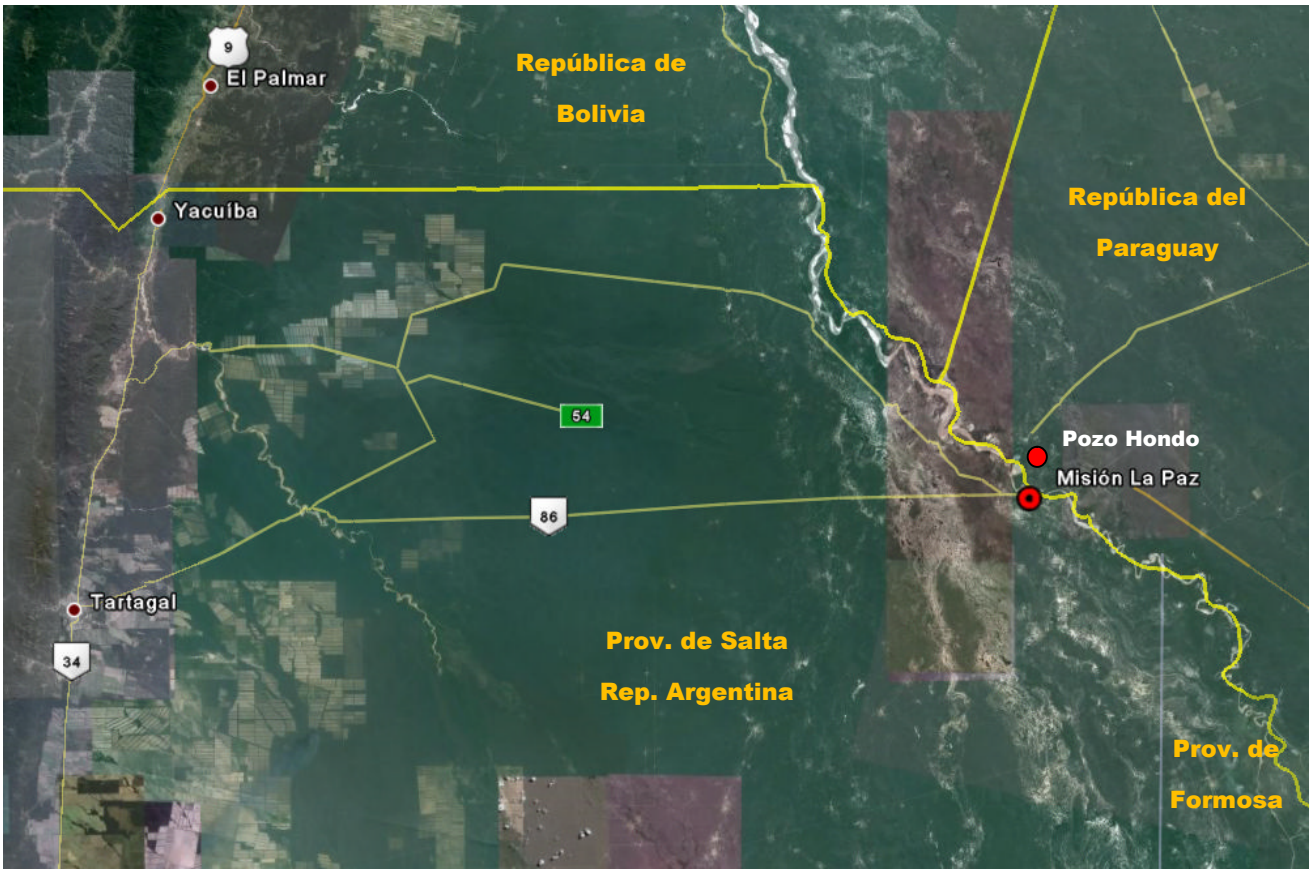


Imagen 1.1: Ubicación de las localidades de Misión La Paz y Pozo Hondo.

La localidad de Pozo Hondo se encuentra en la República del Paraguay, y ambas están unidas por el Puente Internacional Misión La Paz – Pozo Hondo, ubicado aguas debajo de una zona de meandros que presenta el río Pilcomayo, muy cambiante, que finaliza precisamente en una amplia curva del río antes del tramo recto ubicado entre ambas localidades.

Imagen 1.2: Ubicación del área de estudio.

El área de estudio comprende el meandro aguas arriba de la estación de aforos, desde 4 km aguas arriba y hasta 400 m aguas abajo del Puente Internacional Misión La Paz – Pozo Hondo que se ubica en la finalización de la Ruta Provincial Nº 54.

2 Estudios básicos

2.1 Relevamientos topobatimétricos

Se realizó un relevamiento topobatimétrico del área de estudio. La longitud del relevamiento cubrió 4 km hacia aguas arriba y 400mm hacia aguas abajo del Puente Internacional en las márgenes y cauce del río. También se relevó la ruta Provincial Nº 54, en una longitud de 4,2km desde el puente hacia Santa Victoria, y las defensas de Misión La Paz en una longitud de 4km y la ubicada a 4km al oeste de Misión La Paz en 2,5km de longitud.

Foto 2.1: Relevamiento con estación total.

Foto 2.2: Medición con GPS geodésico.

Se relevaron perfiles topobatimétricos georreferenciados con 3 coordenadas, utilizando GPS geodésico y estación total. En el caso de las batimetrías se trabajó con una sonda ecógrafa vinculada a un GPS obteniéndose valores de profundidad y coordenadas planimétricas de los puntos. A estos puntos se les dio cota a través de determinaciones del pelo de agua a lo largo del río, coincidente con cada perfil transversal.

Los puntos de topografía cuentan con las 3 coordenadas georreferenciadas y referidas al mismo sistema altimétrico, además cuentan con descripción como:

- bs: borde superior de barranca
- pa: pelo de agua
- bc: borde camino
- pt: puente
- bi: borde inferior de barranca
- tn: terreno natural
- ed: edificio

etc.

Los perfiles se extendieron hasta cubrir ambas márgenes del río relevando los bordes superior e inferior de las barrancas o albardones y completando con puntos intermedios hasta llegar al nivel del pelo de agua, que se tomó en cada uno de los perfiles y se completó la zona de agua con batimetrías. Además hacia cada lado de las barrancas se completó con más puntos hacia adentro del terreno superior.

Foto 2.3: Bote para realizar batimetrías.

Foto 2.4: Nivelación de escala hidrométrica.

Por otro lado se tomaron distintos hechos existentes como en el caso del puente de 208m de longitud, como los estribos, la parte superior de la calzada, así como los accesos.

Se realizó un relevamiento fotográfico del río y principalmente de la costa a lo largo del relevamiento, y de los sitios de cruce de agua en la Ruta Prov. Nº 54, que se puede observar en el Anexo 1.

Se vincularon los relevamientos con el 0 de la escala hidrométrica de la estación a través de nivelación con nivel óptico automático entre la escala y la base de relevamientos, con una cota de 244,87m y una pequeña diferencia de 1cm respecto del valor relevado en el año 2010 que fue de 244,88m. Por último se ubicaron puntos fijos del IGN, uno en Misión La Paz y otro en Santa Victoria, pero al pedir información altimétrica solo se obtuvo la información del punto de Santa Victoria. En este caso se encontró que el punto IGN de Santa Victoria, que tiene cota IGN 261,53m. Con el sistema altimétrico en que se encontraron los relevamientos anteriores se midió en este punto 261,19m, por lo que este sistema se encuentra a 24cm por debajo de los niveles IGN. Sin embargo para poder comparar los relevamientos realizados con los anteriores se mantuvo el sistema de referencia altimétrico y no se corrigió para llevarlo a los niveles de IGN. En el Anexo 2 se adjunta información del IGN del punto fijo de Santa Victoria.

Los relevamientos se desarrollaron entre los días 6 al 14 de junio al 09 de julio de 2010. Esta información se procesó utilizando el software CIVIL CAD, con el que se elaboró un modelo digital del terreno que permitió obtener perfiles transversales y curvas de nivel del terreno.

2.2 Estudio de suelo y mezcla con cemento

Se tomaron muestras de sedimento en la zona del río, más precisamente en la playa de la península del lado argentino ubicada aguas arriba de Misión La Paz y en la zona cercana a la defensa de Misión La Paz. Con estas muestras se realizaron pruebas de compactación Proctor y mezclas de suelo con cemento, en distintos porcentajes de cemento y grados de compactación.

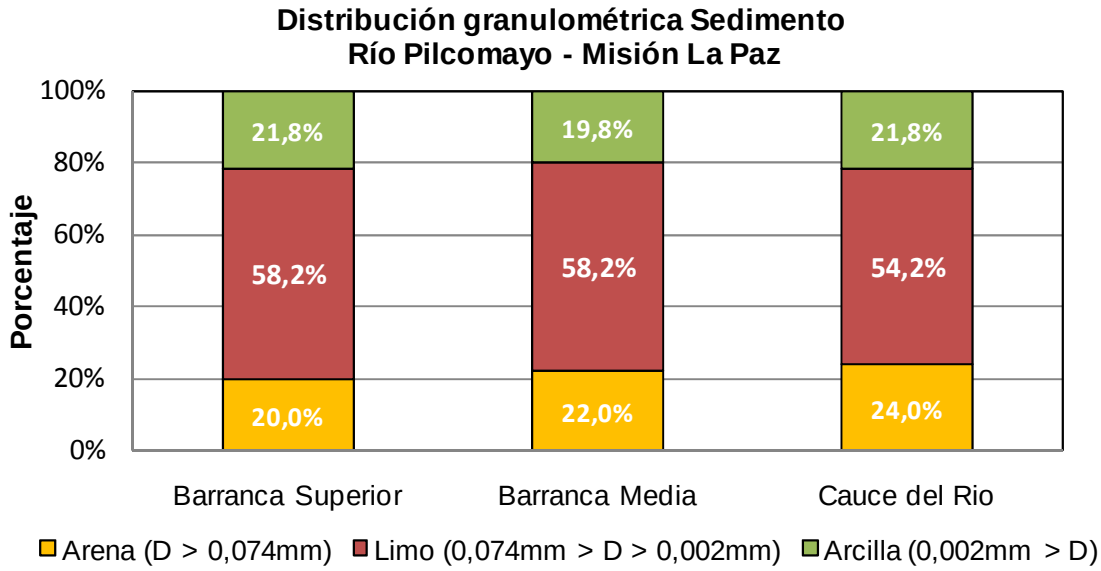
Foto 2.5: Muestras de suelo **Foto 2.6: Ensayo Proctor de compactación.**

Fotos 2.7 a 2.9: Probetas salidas de cámara húmeda, ensayo de compresión y roturas.

En la tabla siguiente se puede observar la clasificación del suelo que corrobora la de los estudios anteriores, en los que se realizó la granulometría completa por el método del hidrómetro y se obtuvo que se encuentra compuesta principalmente por limo en poco más del 50% y el resto se divide en arena muy fina y arcilla por partes iguales, como puede verse en el gráfico siguiente:

CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Sondeos	Descripción	Granulometría				Límites de Atterberg			Clasificación	
		Pasa Tamiz No.				L.L.	L.P.	I.P.	SUCS	H.R.B.
		4	10	40	200	%	%	%		Grupo i.g.
M-1	Arcilla magra.	100	100	100	97	30,3	21,6	8,7	CL	A-4 (8)



Como síntesis de los ensayos de compresión simple se pueden observar los resultados en la tabla siguiente:

RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE EN PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

Tipo de suelo : **A-4 (9) - CL**

Edad : **7 días**

Grado de compresión	Densidad Seca	% de cemento	Resistencia a los 7 días (Kg./cm2)
90% de compactación del T-99	1,44	5	3,50
	1,43	7	4,00
	1,45	9	4,80
90% de compactación del T-180	1,63	5	5,20
	1,64	7	6,30
	1,64	9	7,20
95% de compactación del T-99	1,52	5	5,20
	1,51	7	5,80
	1,52	9	6,50
95% de compactación del T-180	1,71	5	7,40
	1,72	7	8,00
	1,73	9	9,90

De los distintos porcentajes de cemento utilizados, se observan incrementos importantes de la resistencia con el contenido de cemento y también con el grado de compactación. Se considera suficiente adoptar un 7% de contenido de cemento para garantizar una resistencia a la compresión media de 4,0 kg/cm2 y de 5% para garantizar 3,0 kg/cm2, aún para densidades bajas.

En el Anexo 3 se presentan las planillas con los resultados de los ensayos.

3 Evolución geomorfológica

3.1 Morfología del tramo de estudio

Se reiteran los conceptos generales más importantes del estudio antecedente de 2010, que enmarcan el avance que ha tenido el problema en estos dos últimos años.

3.1.1 Ubicación del tramo de estudio

El río Pilcomayo pertenece a la cuenca del río de la Plata en América del Sur, La cuenca del río Pilcomayo abarca tres países: Bolivia, Argentina y Paraguay.

Desde su nacimiento en los Andes Bolivianos hasta su desembocadura en las llanuras del río Paraguay en Asunción, la cuenca del río puede ser dividida en dos subcuencas más homogéneas:

- La cuenca alta, ubicada en territorio andino y subandino Bolivianos hasta el angosto de Villamontes, caracterizada por pendientes fuertes, terrenos muy erosionables y una red de drenajes bastante densa.
- La cuenca baja, aguas debajo de Villamontes, ubicada en las llanuras de Bolivia, Argentina y Paraguay, con un sistema hidrográfico mucho más complejo incluyendo ríos, humedales, paleo-cauces con enlaces posibles con aguas subterráneas.

Misión La Paz ubicada en la provincia argentina de Salta y Pozo Hondo del lado paraguayo, están aproximadamente 200 km aguas debajo de Villamontes, en la cuenca baja del río.

3.1.2 Caracterización del tramo de estudio

Para facilitar el estudio de la morfología de los ríos, se puede clasificar a los mismos desde diferentes puntos de vista. Esto permite ubicar fácilmente cualquier cauce para determinar sus principales características. Debe tenerse presente que en la naturaleza se puede presentar cualquier condición intermedia entre las definidas en una clasificación.

Desde el punto de vista de la estabilidad geomorfológica, este tramo el río Pilcomayo suele presentar inestabilidad dinámica, ya que muestra desplazamiento lateral de los meandros y el posterior corte natural de los mismos. Estos desplazamientos laterales surgen debido a que el

río no alcanza a estabilizar su pendiente por motivo de los sedimentos transportados que se van depositando en períodos de estiaje y van alterando la misma.

Otra clasificación importante es de acuerdo a su geometría. La cual clasifica a los ríos en tres clasificaciones principales: cauce recto, con meandros y por ultimo trenzado.

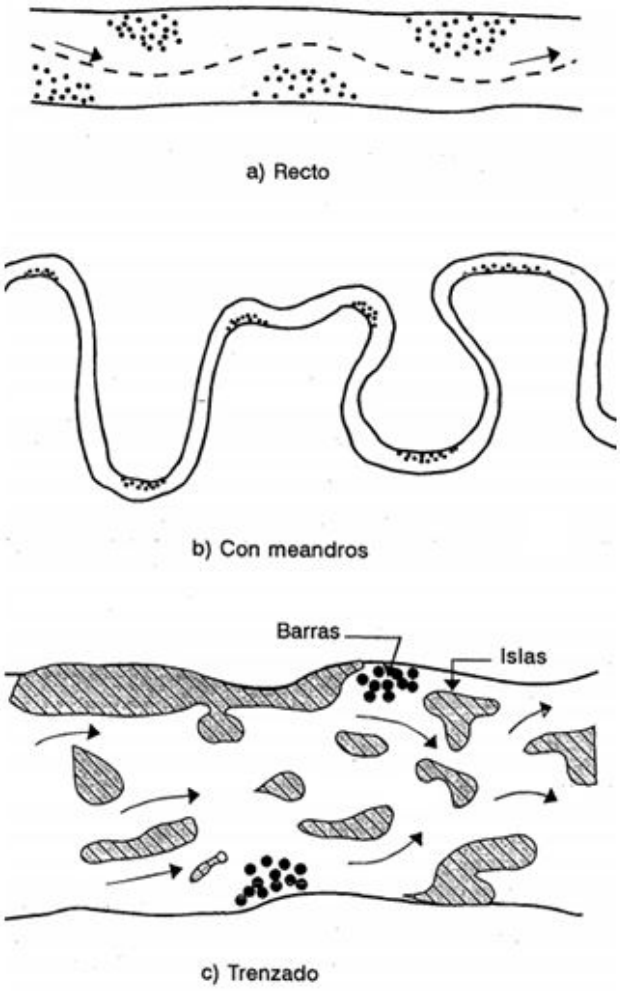


Figura 3.1. Configuración de los ríos. **Fig. 3.2. Tramo cuenca baja del río Pilcomayo.**

En el caso de los cauces con meandros, presentan como característica la de poseer una sinuosidad generalmente mayor a 1,5. Poseen curvas alternadas unidas por tramos rectos y generalmente cortos. Los tirantes en las transiciones son menos profundos si se comparan con los que ocurren en las curvas. En un río meandriforme la ondulación en planta se acompaña de una asimetría en las secciones transversales, ya que el calado es mayor junto a la orilla cóncava o exterior y menor junta a la orilla convexa o interior. En esta orilla (interior) se

depositan materiales que emergen en forma de playas. Los meandros son una morfología dinámica en el sentido de que presentan una evolución. Aunque esta es compleja, podría decirse que es la combinación de dos movimientos: una progresión o desplazamiento en dirección aguas abajo y una profundización a costa de las orillas, en dirección perpendicular.

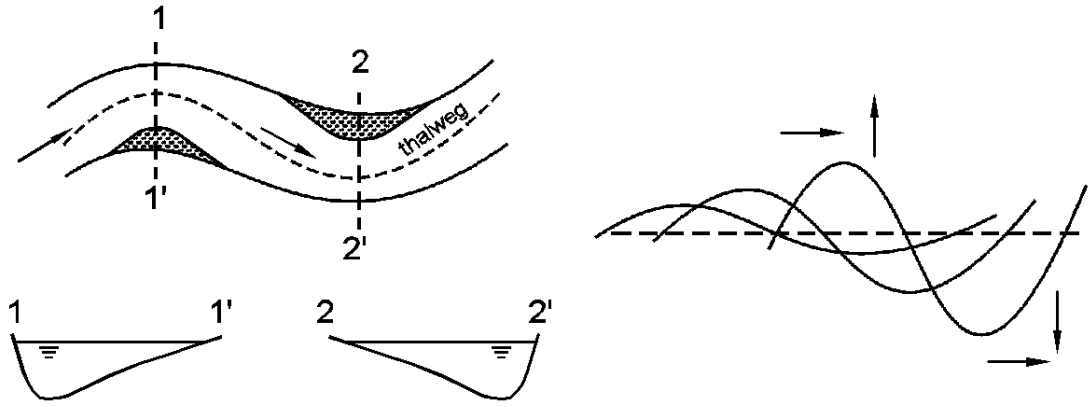


Figura 3.3. Cauce meandriforme: morfología (planta y secciones transversales vistas en el sentido de la corriente y evolución ideal (derecha)

Meandro cortado (estrangulado) perteneciente al río Pilcomayo, junto a la localidad de Villa Zavaleta 30km aguas debajo de la estación Misión La Paz

Figura 3.4. Evolución de un meandro

El Río Pilcomayo en el sector analizado presenta una geometría con meandros hacia aguas arriba de la estación de aforos pero un tramo bastante recto en la zona del puente y con una curva relativamente amplia aguas abajo del mismo.

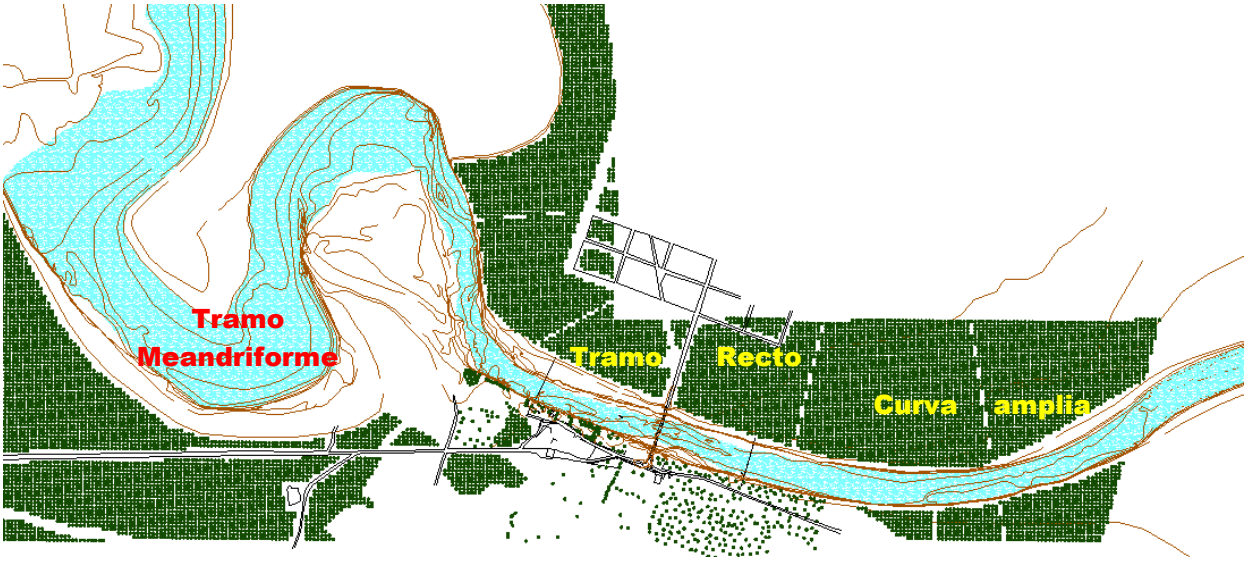


Figura 3.5. Caracterización del tramo de estudio (Planta año 2010)

La detección de cambios en la morfología fluvial se realizó mediante análisis multitemporal, interpretando visualmente una composición digital o superposición de pares de imágenes registradas en diferentes fechas.

Figura 3.6: Imagen Año 1996

Figura 3.7: Imagen Año 2003

Figura 3.8: Imagen Año 2005

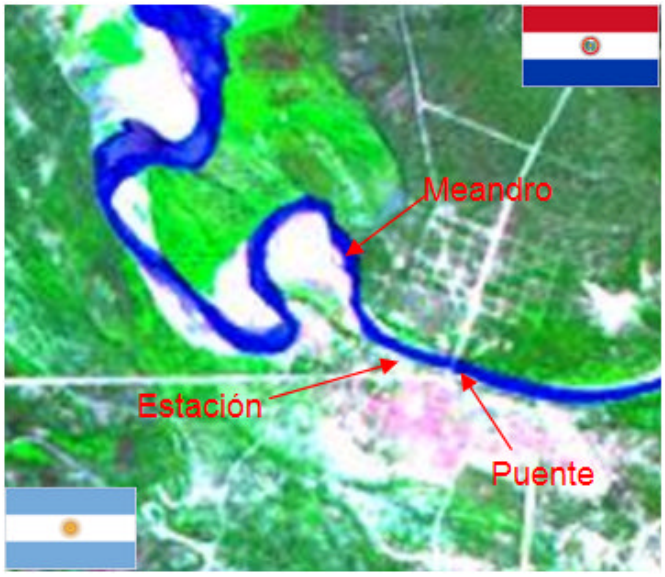


Figura 3.9: Imagen Año 2009

En las figuras comparativas puede apreciarse como el rio desarrolla sus características de rio sinuoso y con meandros. Modificando la posición de su cauce y produciendo erosiones y sedimentaciones en márgenes opuestas y en forma alternada.

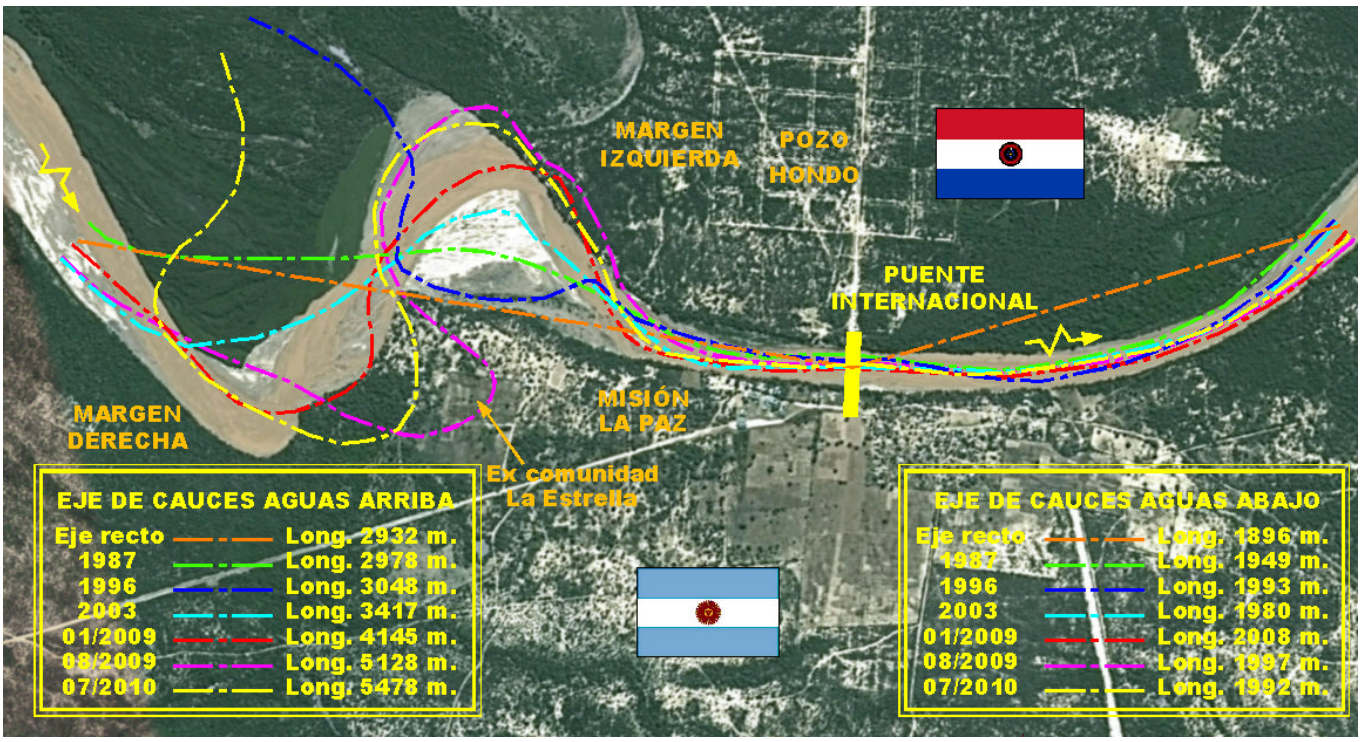


Figura 3.10. Migración del cauce (año 1987 a 2010)

Como resultado el análisis morfológico realizado a partir del estudio multitemporal basado en la comparación de la evolución del cauce en cartas cartográficas e imágenes satelitales, el Río Pilcomayo en el tramo de análisis presenta marcada actividad morfo dinámica que se manifiesta en la generación y evolución de meandros. Puede apreciarse la formación y evolución de un meandro al norte de la estación de aforos con una importante dinámica que produce una gran inestabilidad de esta zona.

El ascenso progresivo de la sinuosidad del cauce inmediatamente aguas arriba de la estación Misión La Paz indica una evolución constante de la meandrización del cauce y un incremento cada vez más acentuado del proceso en los últimos años.

El salto que se registra en el coeficiente de sinuosidad entre octubre y enero del año 2009 se debe a la crecida extraordinaria de dicho año que obligó a la relocalización de la comunidad La Estrella, y el último incremento entre el año 2009 y 2010 se debe al corte del meandro que se produjo aguas arriba del tramo de estudio.

Si bien el tramo recto del río entre la estación de aforo y el puente se presenta estable, se pudo apreciar un leve incremento de la sinusoidad, que produce que el thalweg se recueste sobre la margen Argentina a corta distancia aguas arriba de la estación, con un lento pero constante retroceso de la barranca, y luego en la zona del puente se encuentre más cerca de la margen Paraguaya. Esta leve sinusoidad disminuye aguas abajo del puente, aunque también se vuelve a recostar el thalweg junto a la margen Argentino al inicio de la curva amplia.

3.2 Actualización de la dinámica Geomorfológica

El proceso de meandrización que comienza a 1km del puente se ha agudizado en forma notable durante estos dos últimos años, de acuerdo a los relevamientos de junio 2010 a junio 2012, produciendo erosiones importantes en el lado externo de las curvas, junto con extensos sitios de depositación y avance de las márgenes de algunos sectores, y un corrimiento hacia aguas debajo de ambos procesos y el avance de las curvas en esta dirección.

Uno de los problemas más críticos es el acercamiento de una de las curvas a la Ruta Prov. Nro 54, en la margen argentina, que vincula a Misión La Paz con la Ruta Nac. Nro 34, cuyo corte provocaría el aislamiento de la población con el resto de la provincia de Salta.

También se han producido erosiones de mediana importancia en el tramo recto aguas arriba del puente, pero como varias construcciones se encuentran al borde de la costa, este proceso ya ha producido el derrumbe de algunas y pone en peligro a otras que han quedado a menor distancia del borde superior inestable de la barranca.

En la figura siguiente puede apreciarse la situación general con amplios sectores erosionados y sitios de depositación, también un estrechamiento de los meandros con posibilidades mayores de cortes y consiguiente incremento de pendiente y velocidad que produciría mayores erosiones en la zona recta aguas arriba del puente.

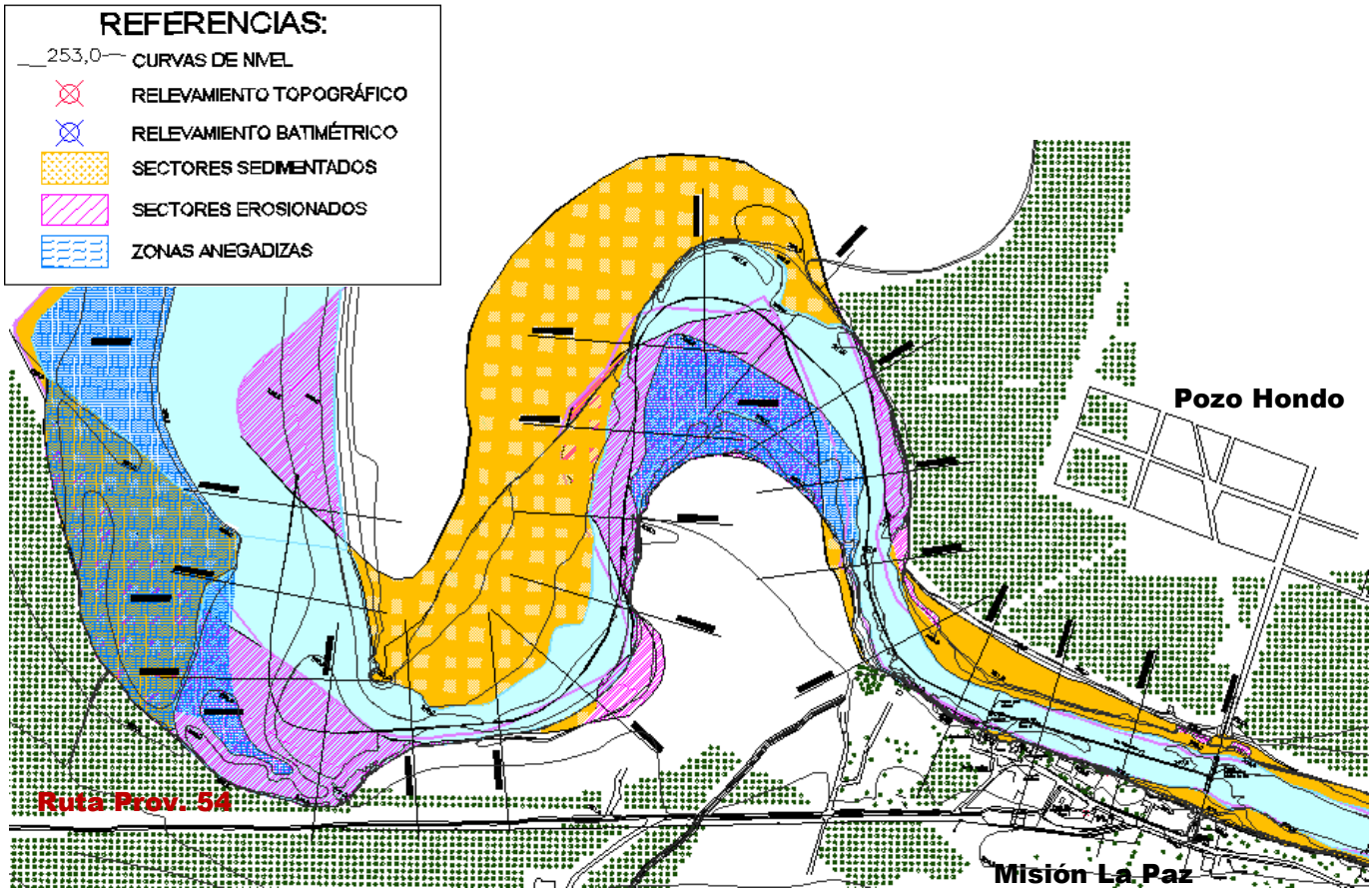


Figura 3.11: Comparación relevamientos años 2010-2012

En el tramo recto aguas arriba del puente se produjo un retroceso de la barranca de la margen argentina. Entre la progresiva 200 y 400m aguas arriba del puente este problema es como mucho de un par de metros, pero entre progresivas 400 a 700m el retroceso de la barranca fue importante, en promedio de unos 15m con un poco más de 20m en la zona en que se ubica la escala hidrométrica y se encontraba la estación de aforos antes de 2010.

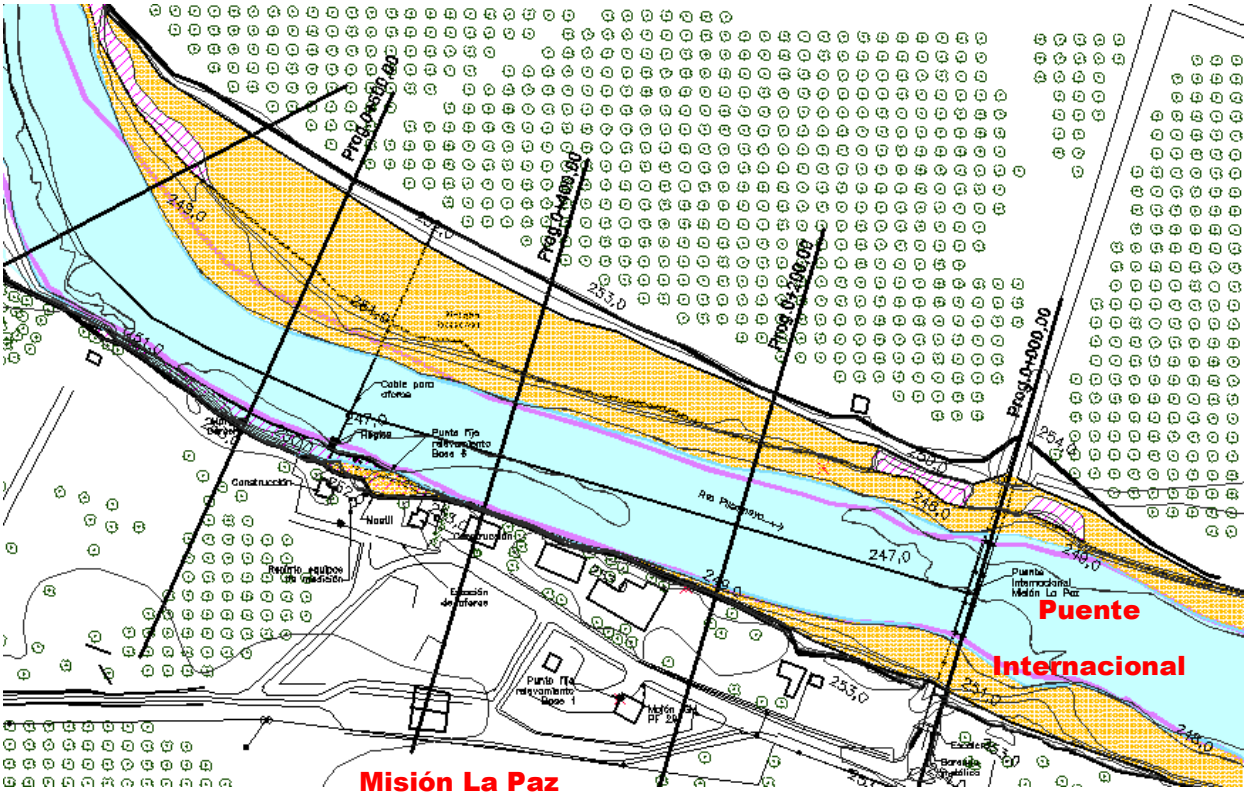


Figura 3.12. Modificaciones en el tramo recto aguas arriba del puente

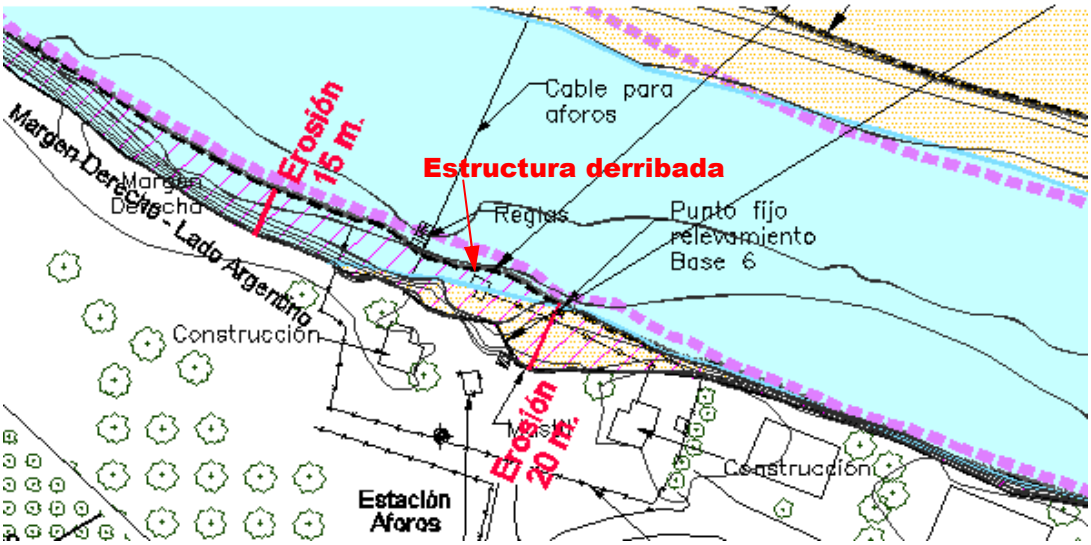


Figura 3.13. Sector más crítico en este tramo

También en la margen paraguaya se produjeron erosiones en la barranca inferior del cauce a ambos lados del puente, en unos 15 a 20m de retroceso formando hoyas, que han quedado cercanas a la barranca superior.

Aguas arriba de este tramo recto se produjo una reducción del ancho del meandro muy importante, con un avance de la curva hacia aguas abajo y estrechamiento de la misma. Por un lado la costa Paraguaya entre progresivas 1000 y 1500 sufrió un importante retroceso con un máximo de 60m, presentándose este sector como una barranca abrupta de más de 4m de altura. Y más hacia aguas arriba hubo un corrimiento del cauce con grandes depósitos en esta margen, de hasta 6m de altura, teniendo en cuenta la cota del fondo del cauce anterior y la altura actual de esta nueva barranca de unos 2m, y de hasta más de 300m de ancho.

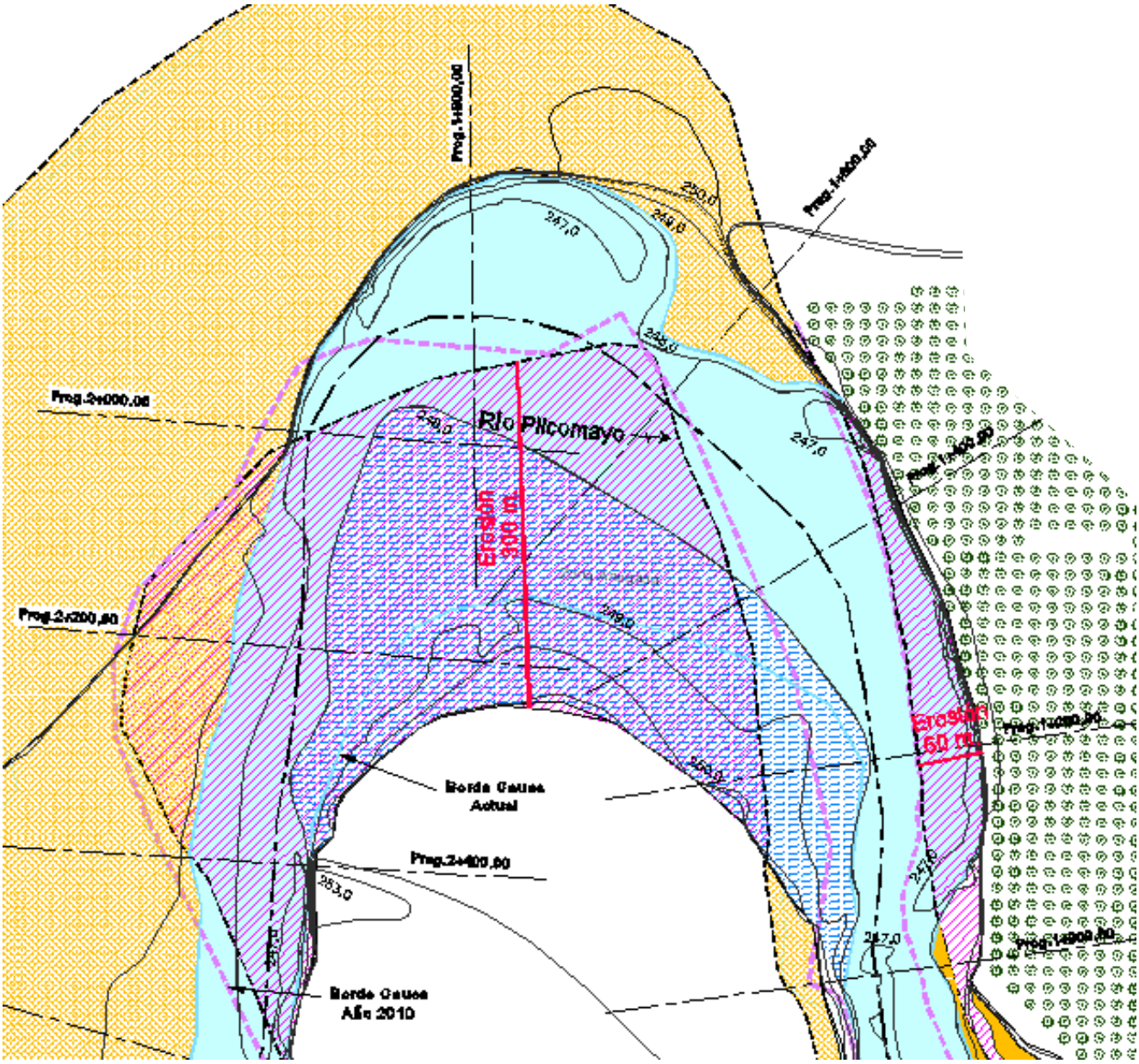


Figura 3.14. Evolución del meandro ubicado al oeste de Pozo Hondo

La península de la margen argentina ubicada en el lado interno de la curva se redujo de modo importante, tanto en el ancho como en su longitud, estando cruzada su extremo por cauces secundarios que en la bajante han quedado como sectores anegadizos.

El siguiente meandro donde el lado externo de la curva se encuentra en la margen argentina también sufrió una muy importante modificación, erosionando en algunos sectores de la curva, como en la zona de La estrella en unos 100m de ancho y principalmente más aguas arriba cerca de la Ruta Prov. Nro 54 en unos 300m de ancho. Este último retroceso de la barranca ha dejado al borde del cauce a una distancia de solo 40m de la ruta, con una altura de barranca de unos 3 a 4m, y profundidades del cauce en algunos sitios cercanos a la margen de hasta 5m, por lo que se corre un gran riesgo de corte de la ruta. Por el contrario se evidencia un incremento de la península del lado paraguayo con grandes depósitos sobre el cauce y la formación de una extensa playada nueva de unos 300m de ancho.

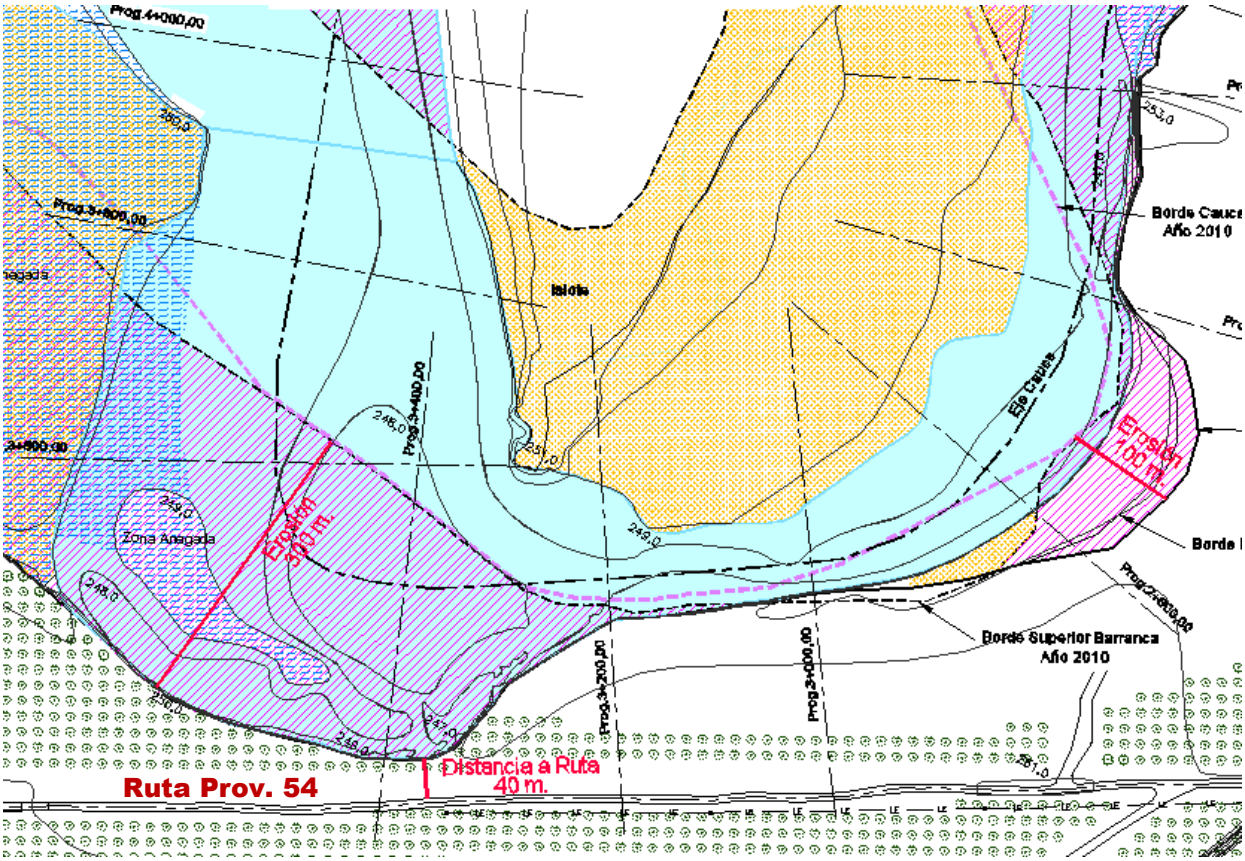


Figura 3.15. Evolución del meandro ubicado al oeste de Misión La Paz

Los desbordes del río en la margen argentina en este sector han producido el corte de la ruta en sitios puntuales, de los cuales se detectaron siete sitios de cruce del agua.

Estos sitios de cruce producen la canalización del terreno y pueden generar el corte del río hacia sectores más bajos ubicados al sur de Misión La Paz con el eventual riesgo futuro de un desvío del río de la zona del puente internacional hacia el sur de Misión La Paz. Esto generaría graves problemas a las comunidades que basan su subsistencia en la cercanía al río y podría dejar eventualmente al puente ubicado en un brazo secundario del río.

Fotos 3.1 y 3.2 Cruces de agua en la Ruta Provincial Nro 54.

Fotos 3.3 y 3.4 Barranca zona escala año 2010 y 2012 (tanque derrumbado).

4 Propuesta de alternativas de obras

Se realizó una propuesta de obras de defensa para lo cual se tuvieron en cuenta varios objetivos, primero que sea una obra estable, luego que pueda construirse en un tiempo corto de unos 2 a 3 meses, para que estén terminadas antes del período de crecientes, es decir a más tardar fines de noviembre o hasta mediados de diciembre para obras que se encuentren por encima de las barrancas. También se priorizó la utilización de materiales locales, en lo relativo a los de mayor volumen, disminuyendo el transporte de materiales a la zona de obra, lo cual disminuye el costo de ejecución y los plazos de obra.

Se planteó primero una alternativa básica, y luego una segunda alternativa un tanto más reducida en algunos sitios que no son tan críticos, las que se describen a continuación:

Las obras se dividieron en cinco sectores distintos, dos ubicados en la margen paraguaya y tres del lado argentino:

- Margen argentina - Tramo recto aguas arriba del puente internacional y estribo
- Margen argentina – Zona de meandros
- Terraplén de defensa Ruta Provincial Nº 54 – Argentina
- Margen paraguaya - Tramo recto aguas arriba del puente internacional y estribo
- Margen paraguaya – Zona de meandros

4.1 Alternativa 1

- **Margen argentina - Tramo recto aguas arriba del puente internacional y estribo**

Se trata de una protección semirrígida de todo el frente de la barranca en una longitud de 870m, desde 30m aguas abajo del puente hasta 840m aguas arriba.

La obra en este sector consiste en conformar un talud regular y luego protegerlo con un revestimiento de geoceldas romboidales de 20cm de altura y 1206 cm² de sección (dimensiones 47,5cm x 50,8cm), rellenas con una mezcla de suelo del lugar con cemento, con un contenido de 7% en peso de cemento, las que se colocan sobre un geotextil no tejido de 200gr de densidad.

Estas geoceldas se cubren el talud reconformado de la barranca con pendiente 1:2, desde cota 351m (en la progresiva de la escala), que corresponde a una altura de la escala de

6,13m, un poco mayor a 5 años de recurrencia, y se desarrolla con una pendiente de 35cm/km en forma longitudinal.

Imágenes 4.1 y 4.2 Revestimiento de taludes con geoceldas.

Este revestimiento llega hasta el pie del talud reconformado en cota 249m y luego prosigue con una pendiente de 1:6 hasta cota 248m, cercana al nivel medio del cauce, apoyándose sobre un relleno contenido en su extremo con geobolsas, de 1 a 2m³, en caso de terminar sobre el agua. Por el contrario cuando el extremo de 6m de longitud al pie del talud se encuentra con un nivel de terreno por encima del nivel de 248m este recubrimiento inferior se realiza excavando con un talud 1:10, terminando con una cota 248,39m en su extremo (en la progresiva de la escala).

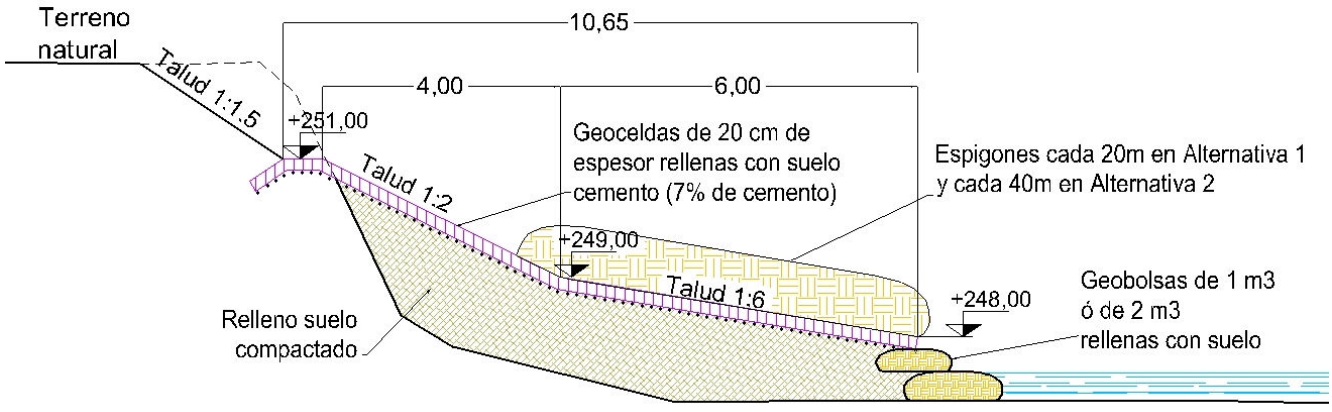


Figura 4.1 Perfil tipo B

El extremo superior de la protección termina con un tramo horizontal de 65cm y finalmente un tramo de anclaje de 68cm enterrado en pendiente 1:1,5. Esta protección tiene cierta flexibilidad, aunque limitada, con lo cual puede adaptarse a alguna erosión en su extremo.

Finalmente se completa la obra con un geotubo que se coloca a modo de espigón cada 20m, en forma transversal al talud. El geotubo se rellena con suelo del lugar y tiene un perímetro de 5m con una sección aproximada una vez relleno de 1,50 m², con 2m de ancho, unos 90cm de altura y unos 7m de longitud. Estos se colocan en desde el extremo superior hasta los 160m aguas arriba del puente.

En la zona de ubicación de la escala hidrométrica, donde la erosión ha sido más severa se aumenta la altura superior de la protección hasta cota 252,0m, equivalente a una altura 7,13m de la escala, que corresponde a una recurrencia un poco mayor a 25 años.

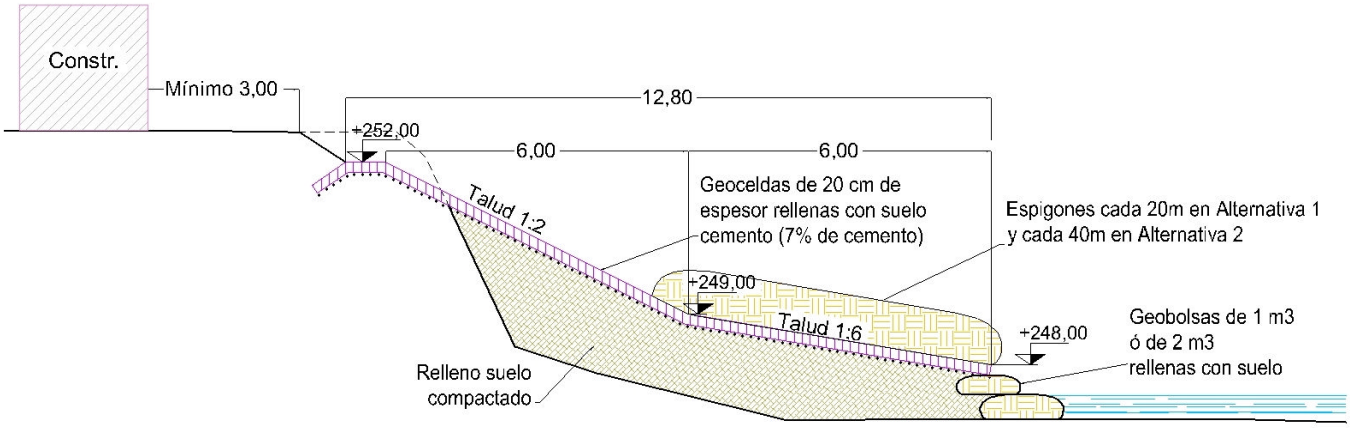


Figura 4.2 Perfil tipo A

- **Margen paraguaya - Tramo recto aguas arriba del puente internacional y estribo**

La solución prevista es similar a la de la margen argentina pero solo se aplica el perfil tipo B, con la altura superior de la protección más baja, que en todos los casos lleva el extremo inferior excavado con talud 1:10.

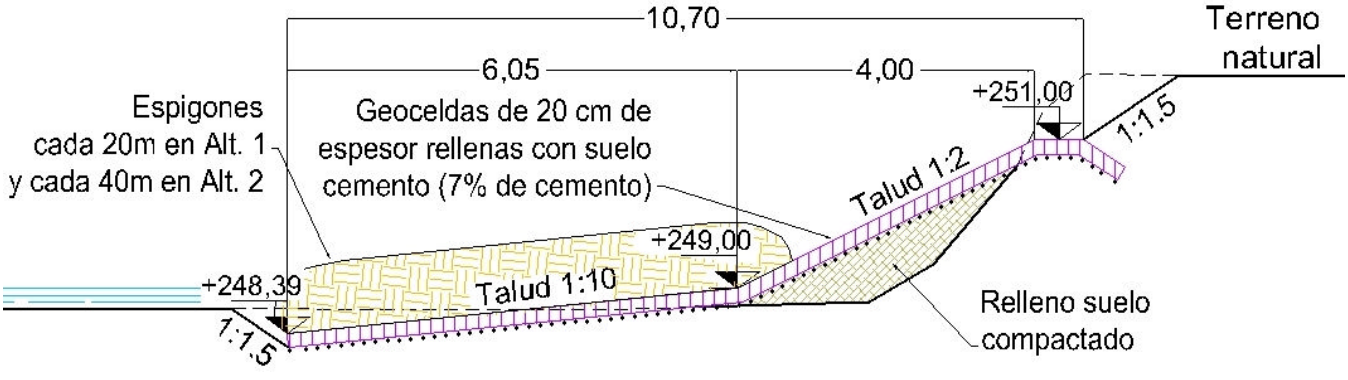


Figura 4.3 Perfil tipo E

La longitud de la protección es más reducida que en el caso de la margen opuesta, solo se circunscribe a 230m de longitud, desde 30m aguas abajo del puente hasta 200m aguas arriba.

Los espigones van desde el extremo superior hasta 40m aguas arriba del puente.

- **Margen paraguaya – Zona de meandros**

En este tramo se han proyectado espigones ubicados transversalmente a la margen con una separación de 50m, conformados por un terraplén de avance con taludes de 1:1,5 y pendiente longitudinal de 1:10, que en su extremo llevan sobre el terraplén un geotubo de que se rellena con suelo del lugar y tiene un perímetro de 7,23m con una sección aproximada una vez relleno de 3,00 m², con 3m de ancho, 1,20m de altura y unos 13,70m de longitud. La parte superior del espigón, por encima del geotubo se recubre con una manta de geocelda rellena con suelo cemento similar a la colocada en el tramo recto, pero con un ancho de 2,54m.

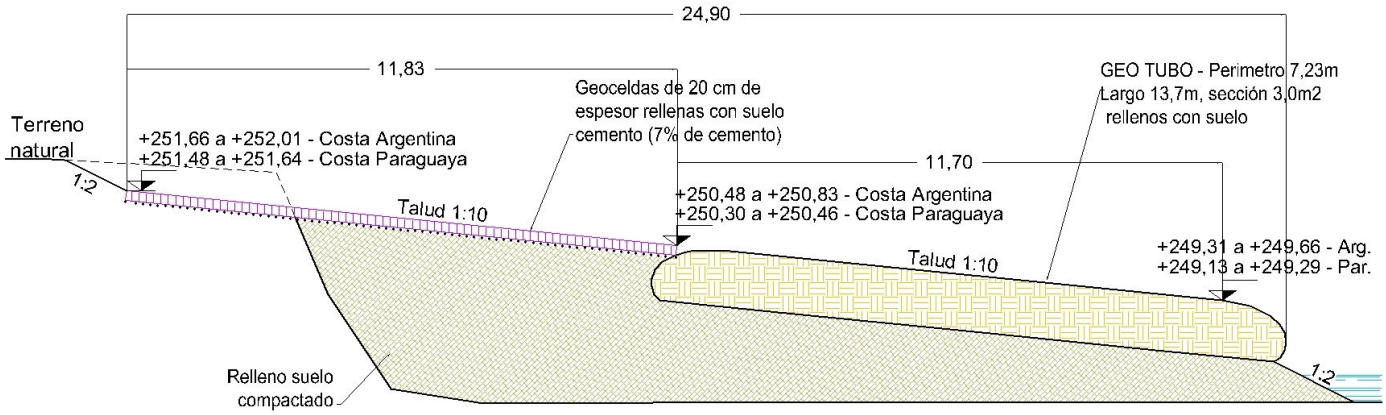
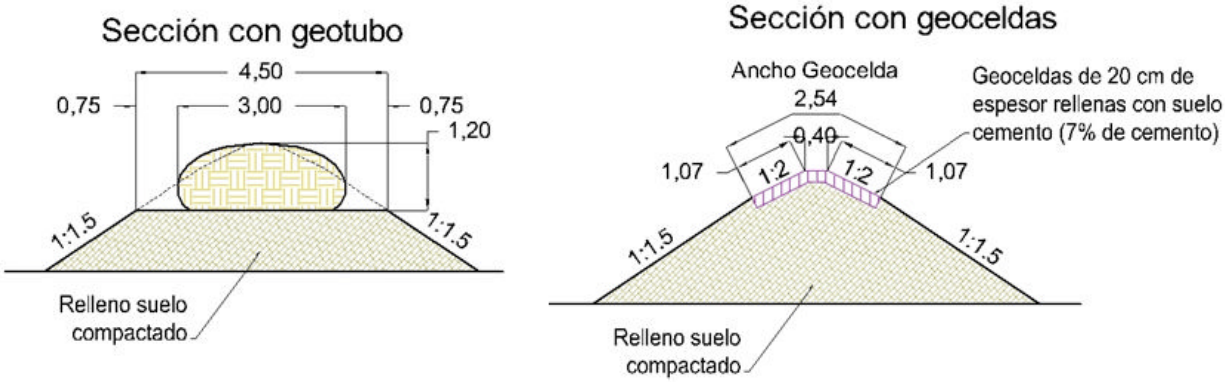


Figura 4.4 Perfil longitudinal espigones



Figuras 4.5 y 4.6 Secciones transversales de los espigones

En total se trata de 17 espigones que cubren 800m de longitud de la parte externa de la curva del meandro ubicado al oeste de Pozo Hondo.

En general los terraplenes de los espigones avanzan desde la barranca hacia el río, pero el extremo superior cubierto con geoceldas, en una longitud variable, se encuentra en una rampa excavada en la parte superior de la barranca, protegiéndolo ante un retroceso de la misma. La ubicación respecto de la barranca es variable, dependiendo principalmente de las profundidades del cauce junto al pie. Cuando estas son mayores los espigones se ubican avanzando en menor medida sobre el cauce.

Para la ubicación de las cotas de los espigones se prosiguió con una pendiente de 35cm/km desde la escala pero sobre una situación rectificada del cauce, cortando los meandros, que es la que adopta el río mayormente en las crecientes.

- **Margen argentina – Zona de meandros**

La solución prevista es similar a la de la protección de la curva del meandro de la margen paraguaya, también con espigones cada 50m, pero en este caso se trata de 32 espigones que cubren 1550m de longitud.

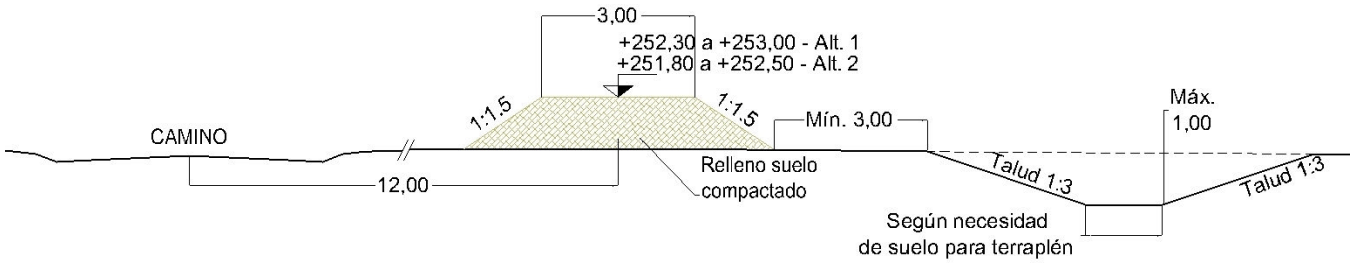
En este caso existen sitios de grandes profundidades junto a la barranca, por lo cual en estos casos los espigones avanzan muy poco sobre el cauce, pero en otros sectores con menores profundidades estos se ubican principalmente avanzando con un terraplén desde la barranca hacia el cauce.

En la zona cercana a la ruta también se colocaron los espigones en forma que sobresalgan de la barranca, para evitar que esta retroceda lo menos posible.

- **Terraplén de defensa Ruta Provincial Nº 54 – Argentina**

Se ha proyectado un terraplén paralelo a la ruta, de 3m de ancho superior y taludes 1;1,5.

El mismo tiene como objetivo evitar el cruce del agua sobre la misma que se produce cuando la creciente desborda sobre la margen y anega zonas más bajas.



Figuras 4.7 Sección transversal terraplén de defensa paralelo a la ruta

Altimétricamente lleva una pendiente una pendiente de 35cm/km hacia aguas arriba, que se trazó desde la escala pero sobre un situación rectificada del cauce, cortando los meandros, que es la que adopta el río mayormente en las crecientes. Las cotas partieron de una cota de 52m en la zona de la escala, que corresponde con altura 7,13m de la escala, que representa una recurrencia un poco mayor a 25 años.

La excavación lateral para extracción del material de construcción del terraplén se realiza del lado del río, pero con una profundidad máxima de 1m, y con bordos que cortan transversalmente el flujo sobre la cuneta excavada, ubicados cada 100m. También se prohíbe la extracción de suelo en la zona cercana al meandro del río próximo a la ruta, en una longitud de 500m, con el objeto de preservar el monte, caso contrario se favorecería la erosión de esta zona.

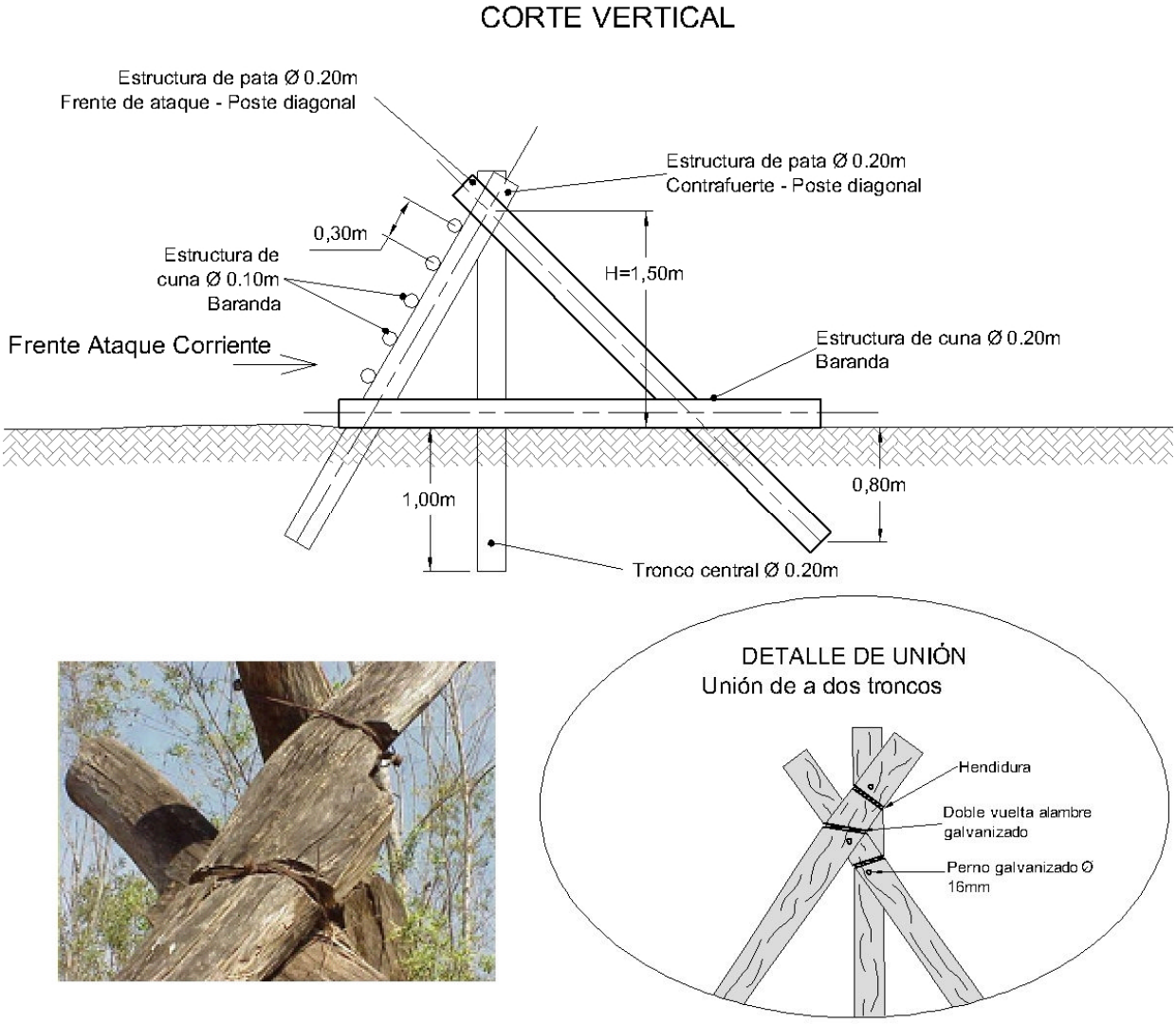
4.2 Alternativa 2

- **Margen argentina - Tramo recto aguas arriba del puente internacional y estribo**

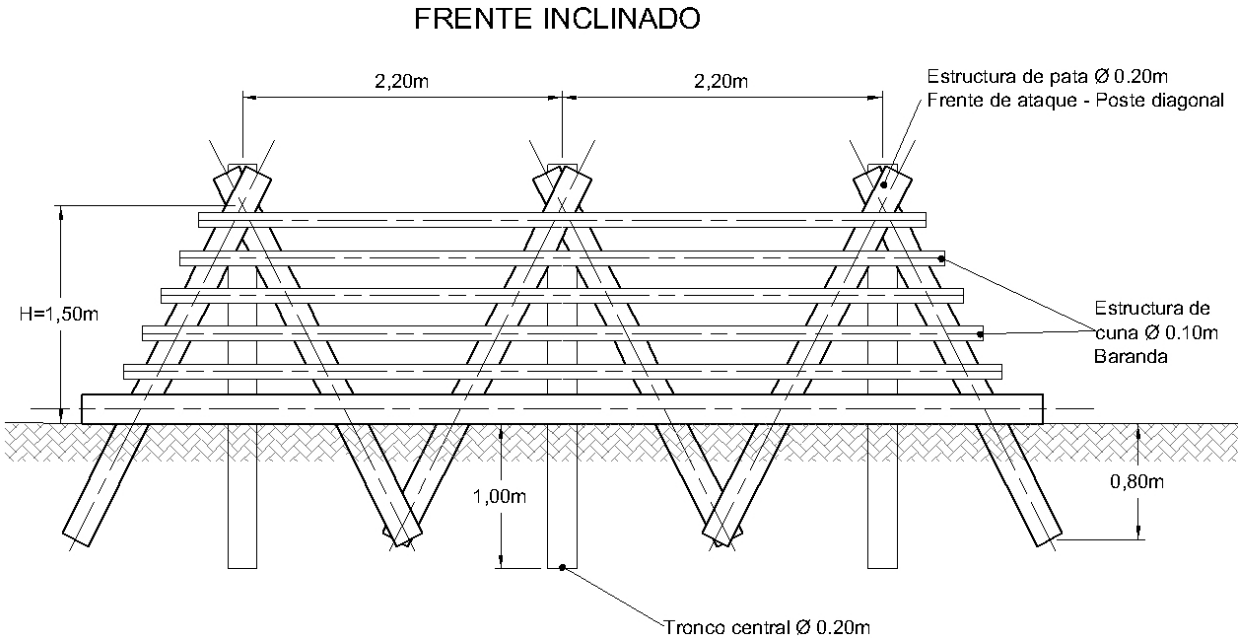
La solución es similar a la de la alternativa 1, pero la protección del talud se inicia a 200m aguas arriba del puente y termina en la misma progresiva 840m aguas arriba del puente, por lo que tiene una longitud total de 640m. Es decir que se deja sin protección la zona del estribo del puente y más cercana, de hasta 200m aguas arriba donde hubo un corrimiento de la barranca del orden uno a dos metros.

También los espigones de geotubo se colocan cada 20m solo en la zona de mayor erosión alrededor de la escala hidrométrica, y en forma más reducida cada 40m al inicio y al final de la protección.

En la zona que no lleva protección con geoceldas, desde 30m aguas abajo del puente hasta 200m aguas arriba se reemplaza por una protección con empalizada, apoyada sobre una base de tetraedros, con los palos verticales enterrados en el terreno, y una altura de 1,50m, para proteger el pie de la barranca. En las figuras siguientes se muestran los detalles en corte y planta y las uniones.



Figuras 4.8 Vista detalles de unión de empalizada



Figuras 4.9 Vista de frontal de la empalizada

- **Margen paraguaya - Tramo recto aguas arriba del puente internacional y estribo**

Esta alternativa es similar a la del caso anterior, solo se colocan un par de espigones de geotubos menos, pero la longitud de la protección con geocelda es similar.

- **Margen paraguaya – Zona de meandros**

Básicamente la longitud de la protección es similar a la de la alternativa 1, pero se construyen menos espigones, cada 100m, en total se trata de 9 espigones.

Entre cada espigón se construye un tramo de defensa con empalizada, en una longitud de 60m. Pero como en la mayor parte de este sector el cauce se encuentra al pie de la barranca, es necesario realizar un desmonte de la parte superior de la barranca, para generar una plataforma al pie de la barranca donde levantar la empalizada.

- **Margen argentina – Zona de meandros**

También en este caso la longitud de la protección es similar a la de la alternativa 1, pero se construyen menos espigones, cada 100m, salvo en la zona de la curva cercana a la ruta en que se mantienen cada 50m, en total se trata de 18 espigones.

Entre cada espigón también se construye un tramo de defensa con empalizada, en una longitud de 60m. Aquí también es necesario realizar un desmonte de la parte superior de la barranca en gran parte de la longitud, para generar la plataforma al pie de la barranca donde levantar la empalizada.

- **Terraplén de defensa Ruta Provincial Nº 54 – Argentina**

Se trata de una obra similar a la de la alternativa 1 pero con una cota superior 50cm menor, partiendo de una cota de 51,50m en la zona de la escala, que corresponde con altura 6,63m de la escala, que representa una recurrencia de 10 años.

4.3 Métodos constructivos

Se desarrollan en forma sintética los distintos ítems de la obra para cada alternativa de protección de costa desarrollada:

- **Relleno**

  Este trabajo consistirá en la formación de rellenos necesarios para la construcción de la protección conforme a los planos de proyecto, utilizando los materiales aptos provenientes de diversos tipos de excavación o provistos por el Contratista. Los rellenos a realizar son los necesarios para colocar la protección con geoceldas o para conformar la base de espigones o construcción de terraplén de defensa.

  El suelo a utilizar en la construcción de los rellenos deberá estar libre de ramas, troncos, matas de hierbas, raíces, otros materiales orgánicos o materiales putrescibles, basuras, residuos, escombros, contaminantes o impurezas. Debe ser de calidad uniforme y con un contenido de humedad no superior al necesario para la compactación en capas.

  Los suelos empleados en la construcción de terraplenes provendrán de:

  a) Excavaciones efectuadas en la zona de obra (producto de las tareas de desmonte, excavación y perfilado con exclusión del suelo vegetal.

  b) Suelo apto provisto por el Contratista, en caso que haga falta mayor cantidad que la resultante producida por las excavaciones. El sitio de extracción debe ubicarse a más 300m de distancia respecto de las obras, y no debe producir alteraciones al flujo.

Construcción de rellenos y terraplén de defensa

- **Excavación y perfilado del talud**

  Esta tarea corresponde a la realización de las excavaciones en el talud a proteger, necesarias para regularizar la superficie del mismo.

  El trabajo consiste en la extracción de suelo y de materiales subyacentes que puedan ser removidos o excavados por palas mecánicas o retroexcavadoras, en el volumen necesario para llegar al nivel indicado en los planos. Además comprende la carga, transporte, descarga en el lugar de acopio autorizado por la Inspección dentro de la zona de obras, para su utilización en la construcción de rellenos.

Trabajos de perfilado de talud

En la medida que estas excavaciones son utilizadas para construcción de rellenos y terraplenes no recibirán pago, sino que la tarea debe estar comprendida dentro del costo unitario de los rellenos y terraplenes.

- **Filtro geotextil bajo geobolsas, gaviones y colchonetas**

Antes de realizar la protección con geoceldas se coloca un filtro geotextil no tejido, para evitar la migración del material fino del talud revestido. Deberá verificarse la continuidad del filtro geotextil en toda la superficie a proteger.

Tendido de geotextil en talud

- **Protección con geoceldas rellenas con suelo cemento**

Para realizar la protección de márgenes prevista con geoceldas, estas se colocan sobre el geotextil y luego se rellenan con una mezcla de suelo cemento realizada previamente en una cancha de trabajo con máquinas viales. El relleno debe colocarse con un contenido de humedad un poco superior al óptimo para favorecer la tarea de relleno, pero sin llegar a saturar el suelo.

Revestimiento de taludes con geoceldas.

- **Colocación de geobolsas al pie de la protección**

Para generar la contención de un recinto a rellenar en condiciones de niveles debajo del agua se colocarán geobolsas de 1 y/o 2m³.

Las bolsas se podrán llenar manualmente o si por convencía del contratista podrá utilizar maquinaria especial. Manualmente se deberá ir acomodando el suelo al efecto de que este ocupe la totalidad del recinto evitando espacios vacíos.

Si el llenado se realiza por medios mecánicos se podrá utilizar una retroexcavadora (pudiendo usarse en algunos otros equipos (palas bobcat, etc de acuerdo a disponibilidades de obra) como tolvas de carga.

Una vez finalizada la etapa de llenado se materializa el cierre de la bolsa mediante costura reforzada efectuada por personal capacitado al efecto. Para la costura se emplean hilos de poliamida. Posteriormente se procederá al izado y colocación de las bolsas en su lugar definitivo.

Izado de geobolsa

- **<u>Colocación de Geotubos</u>**

Se traba de bolsas conformadas mediante costura de resistencia igual o mayor a la que posee el mismo geotextil y en ella se dejan previstos orificios para el llenado de las mismas (chimeneas) que serán cerrados una vez concluida dicha tarea.

Colocación de geotubos.

El llenado de los geotubos puede realizarse en seco con carretillas, tolva o simplemente mediante canastos, empujando a la vez el relleno hacia los laterales para producir una distribución lo mas pareja posible dentro de la misma. Una vez alcanzada

aproximadamente la mitad de la altura, se procede a llenar con agua en forma abundante a través de todas las bocas en forma continua. Para esta operación se recomienda usar una manguera de 2". Para completar el llenado se repite la misma operación. Una vez completado el llenado y asegurada la compactación con un riego abundante se procede al cosido de las bocas de llenado.

- **Construcción de empalizada**

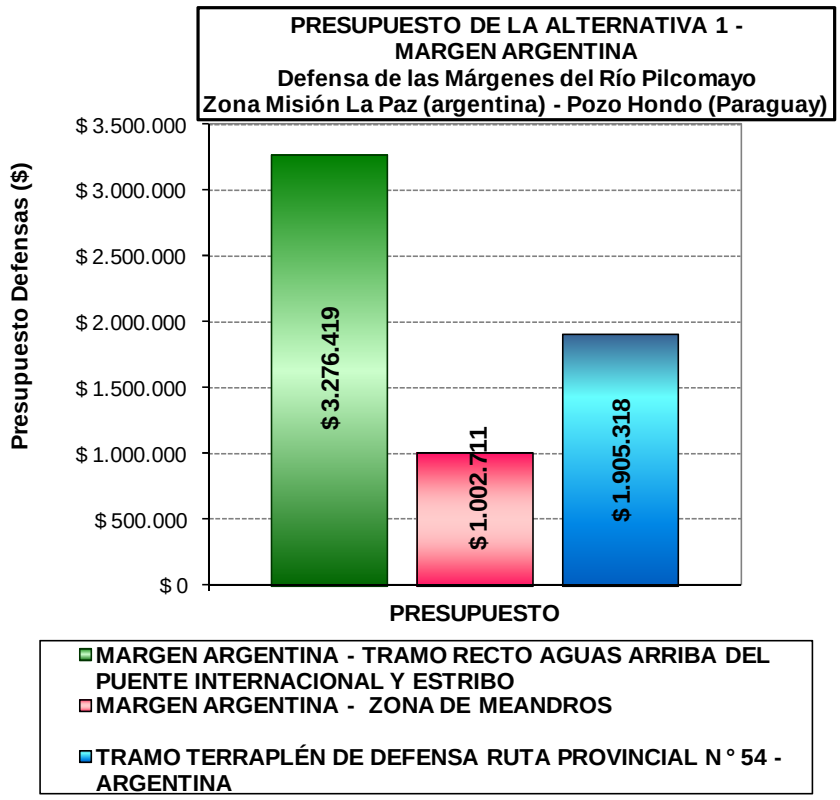
  Las empalizadas están apoyadas sobre una estructura principal de 3 troncos de ø20 cm vinculados entre sí por otros del mismo diámetro conformando una pirámide de base triangular. Estas estructuras, denominadas pata de gallo, se agrupan linealmente y se vinculan mediante hileras de troncos ø 10 cm. Para la fundación de la estructura en el lecho se coloca en el centro de la base triangular de cada pata un tronco de ø20 cm de 1,50 m de largo que queda enterrado. También se entierran los 3 troncos que conforman las aristas de las pirámides.

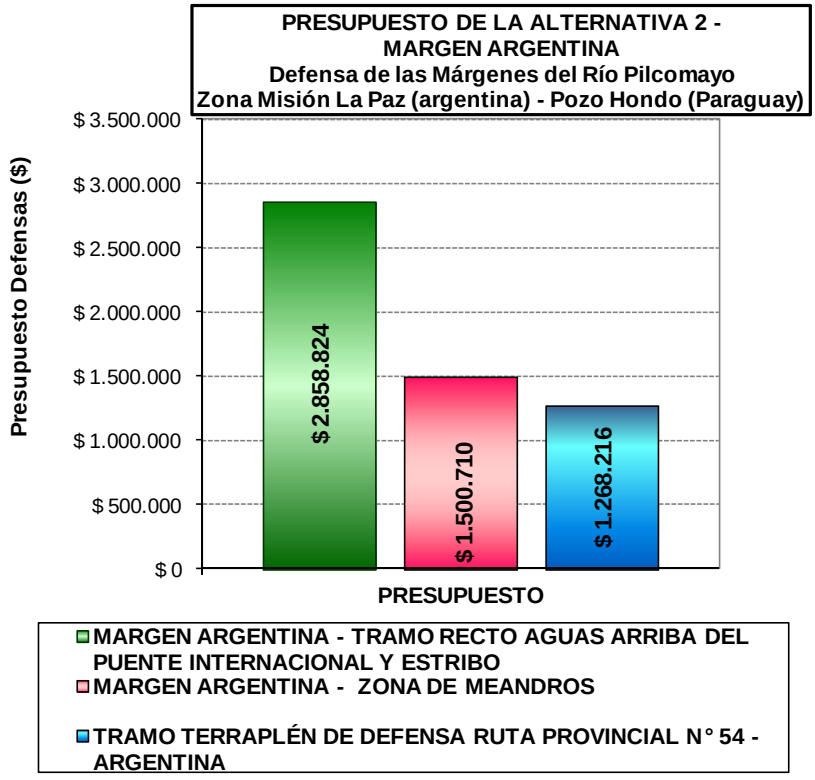
  La unión entre los troncos se realizará vinculándolos de a dos con atadura doble de alambre galvanizado y un bulón ø16mm.

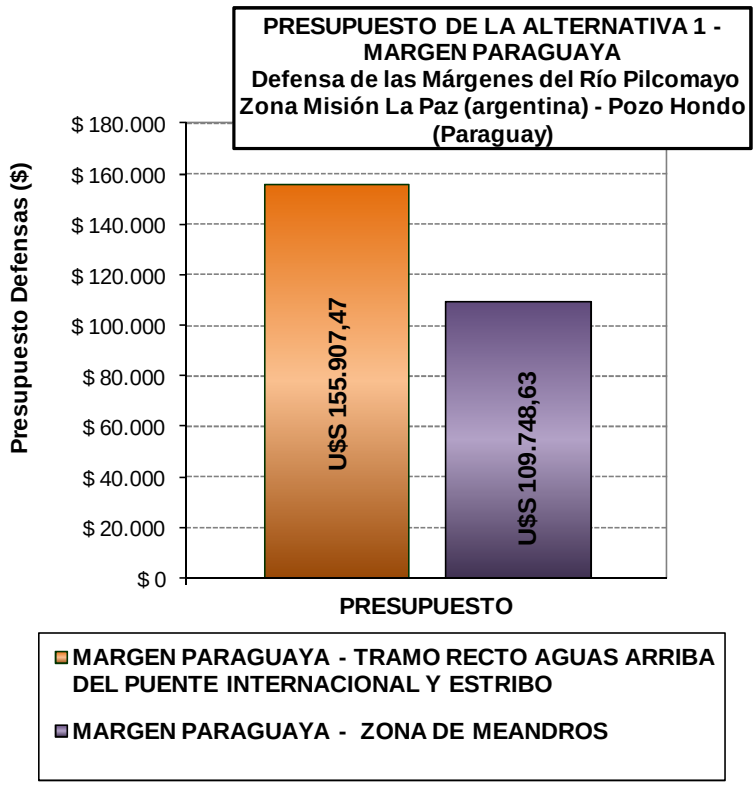
4.4 Cómputo y presupuesto de las alternativas

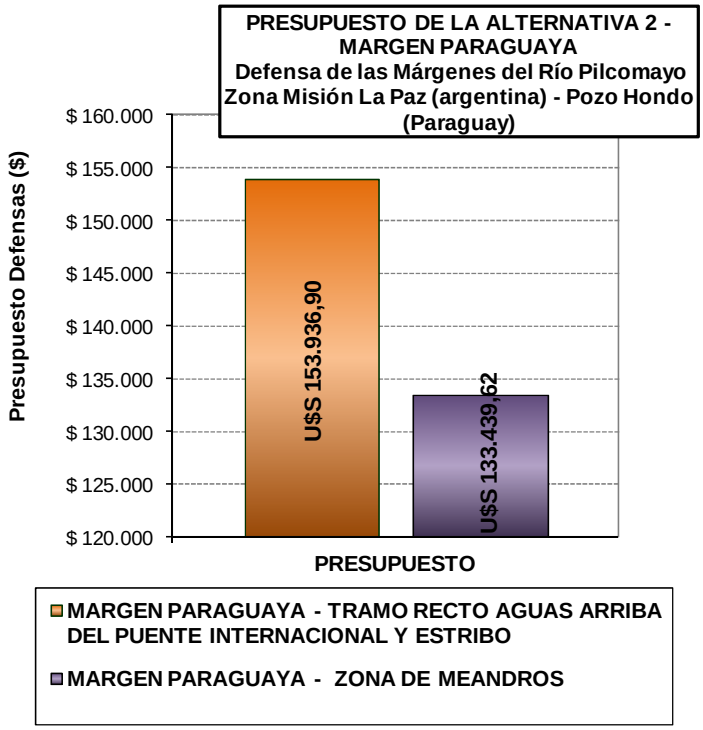
Se realizaron los cómputos métricos de los proyectos de las dos alternativas de protección de la costa, así como los presupuestos, para lo cual se analizaron los análisis de precios de los distintos ítems de las obras, teniendo en cuenta costo de materiales, transporte de los mismos desde su sitio de extracción o elaboración, costo de mano de obra y equipos.

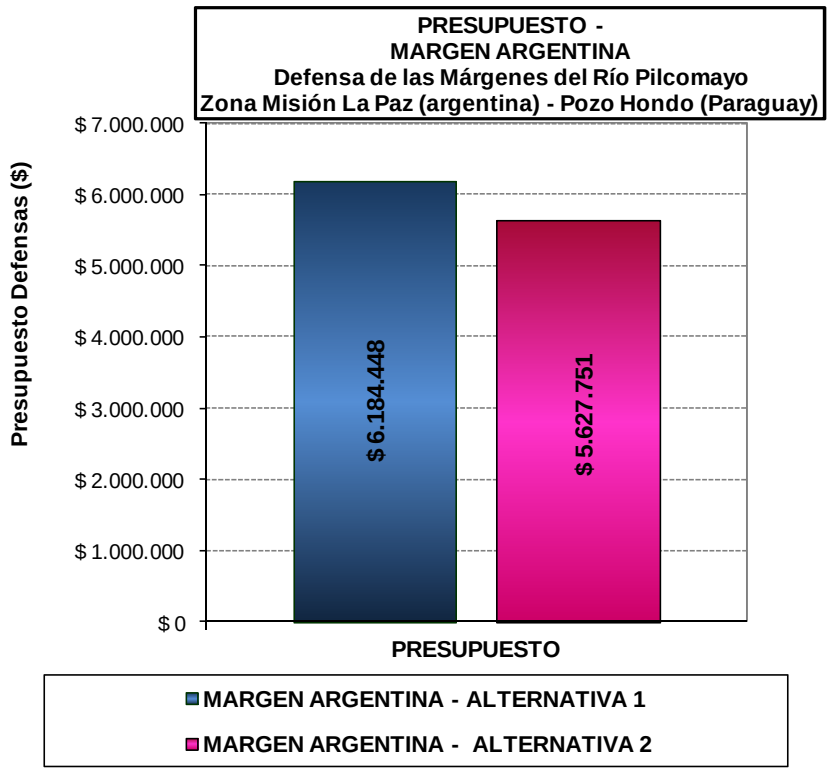
En los cuadros y gráficos siguientes se presentan los presupuestos obtenidos para cada sector en cada alternativa. En el caso de las obras del lado paraguayo los presupuestos se transformaron a dólares estadounidenses.


PRESUPUESTO DE LA ALTERNATIVA 1 -
MARGEN ARGENTINA
Defensa de las Márgenes del Río Pilcomayo
Zona Misión La Paz (argentina) - Pozo Hondo (Paraguay)
Presupuesto Defensas ($)
$ 3.500.000
$ 3.000.000
$ 2.500.000
$ 2.000.000
$ 1.500.000
$ 1.000.000
$ 500.000
$ 0
$ 3.276.419
$ 1.002.711
$ 1.905.318
PRESUPUESTO
MARGEN ARGENTINA - TRAMO RECTO AGUAS ARRIBA DEL PUENTE INTERNACIONAL Y ESTRIBO
MARGEN ARGENTINA - ZONA DE MEANDROS
TRAMO TERRAPLÉN DE DEFENSA RUTA PROVINCIAL N° 54 - ARGENTINA

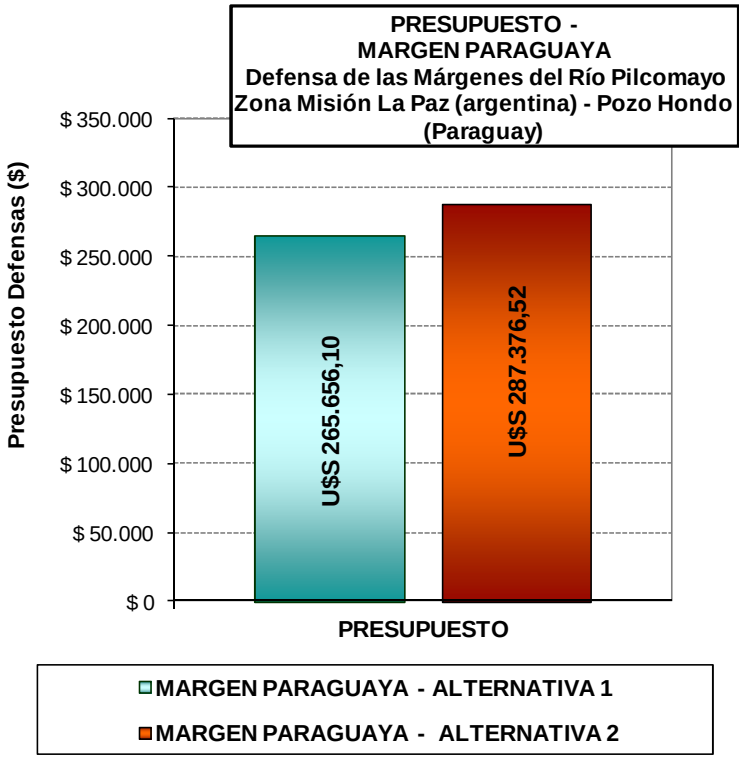

PRESUPUESTO DE LA ALTERNATIVA 2 -
MARGEN ARGENTINA
Defensa de las Márgenes del Río Pilcomayo
Zona Misión La Paz (argentina) - Pozo Hondo (Paraguay)
Presupuesto Defensas ($)
$ 3.500.000
$ 3.000.000
$ 2.500.000
$ 2.000.000
$ 1.500.000
$ 1.000.000
$ 500.000
$ 0
$ 2.858.824
$ 1.500.710
$ 1.268.216
PRESUPUESTO
MARGEN ARGENTINA - TRAMO RECTO AGUAS ARRIBA DEL PUENTE INTERNACIONAL Y ESTRIBO
MARGEN ARGENTINA - ZONA DE MEANDROS
TRAMO TERRAPLÉN DE DEFENSA RUTA PROVINCIAL N° 54 - ARGENTINA


PRESUPUESTO DE LA ALTERNATIVA 1 - MARGEN PARAGUAYA
Defensa de las Márgenes del Río Pilcomayo Zona Misión La Paz (argentina) - Pozo Hondo (Paraguay)
Presupuesto Defensas ($)
$ 180.000
$ 160.000
$ 140.000
$ 120.000
$ 100.000
$ 80.000
$ 60.000
$ 40.000
$ 20.000
$ 0
U$S 155.907,47
U$S 109.748,63
PRESUPUESTO
MARGEN PARAGUAYA - TRAMO RECTO AGUAS ARRIBA DEL PUENTE INTERNACIONAL Y ESTRIBO
MARGEN PARAGUAYA - ZONA DE MEANDROS


PRESUPUESTO DE LA ALTERNATIVA 2 - MARGEN PARAGUAYA
Defensa de las Márgenes del Río Pilcomayo Zona Misión La Paz (argentina) - Pozo Hondo (Paraguay)
Presupuesto Defensas ($)
$ 160.000
$ 155.000
$ 150.000
$ 145.000
$ 140.000
$ 135.000
$ 130.000
$ 125.000
$ 120.000
U$S 153.936,90
U$S 133.439,62
PRESUPUESTO
MARGEN PARAGUAYA - TRAMO RECTO AGUAS ARRIBA DEL PUENTE INTERNACIONAL Y ESTRIBO
MARGEN PARAGUAYA - ZONA DE MEANDROS



Finalmente, de la observación de los presupuestos resulta que no existe gran diferencia de presupuesto entre ambas alternativas en cada margen, siendo en la zona de curvas la Alternativa 2 más cara que la 1 lo que incide en el mayor costo de esta en el total de la margen paraguaya, por lo que se recomienda la ejecución de la Alternativa 1 en ambos casos que brinda un mayor grado de protección.



5 Proyecto de las obras

5.1 Generalidades

En base a la alternativa 1 se realizó el proyecto definitivo de las obras, que básicamente respetó lo desarrollado en el informe de Avance como Propuesta de Obras de la Alternativa 1, con algunos ajustes y correcciones puntuales, que se describen a continuación.

En el caso de la protección con geoceldas se incluyeron tendones de refuerzo en ambas direcciones, a razón de 1 cada 50cm, y anclajes a través de hierros de anclajes en J que se hincan en el terreno 50cm por debajo de la geocelda, a razón de 1 por m2 de superficie de protección. A los efectos de no disminuir la fricción entre el suelo del talud y la protección se suprimió el geotextil de la parte superior con talud 1:2, pero se mantuvo en la parte inferior de 6m de longitud con talud 1:6 a 1:10.

En el caso de los geotubos se incorporó un contenido de cemento de 5%, para brindar una resistencia mínima al suelo en caso de rotura del geotubo por golpe de troncos o vandalismo. Con lo cual debe limitarse el acomodamiento inyección de agua en la masa del material de relleno para evitar el lavado del cemento.

En el caso de la protección de la zona de curvas de los meandros se acomodó la ubicación de los espigones respecto de la línea de la barranca, variando en algunos sectores de a uno la posición y el ángulo de los espigones respecto a la prevista en el Informe de Avance. También se corrigió la forma del terraplén de asiento de los geotubos completando con dos cordones perimetrales de 20cm de altura en los bordes del terraplén, de modo de fijar la posición del geotubo cuando este se esté llenando. El lado argentino se completó con un espigón más aguas arriba, pasando la cantidad de 32 a 33 espigones.

Respecto de la obra del terraplén paralelo a la Ruta Provincial Nº 54 se ajustó la pendiente longitudinal del coronamiento a 10cm/km para cerrar con la cota de la defensa ubicada del lado de Santa Victoria, que era más baja que la cota de terminación prevista con la pendiente anterior, con lo cual se disminuyó la altura y volumen de terraplén.

En base a estas modificaciones se realizaron los proyectos para las obras de la margen argentina y paraguaya, que se presentan en dos legajos técnicos en forma separada.

5.2 Plazos de obra y modalidad de contratación

Se han previstos plazos de obras de 3 meses para la obra de la margen argentina y de 2 meses para la obra de la margen paraguaya. Estos son plazos mínimos teniendo como premisa no superar el inicio de la obra del 1 de octubre, considerando su finalización para el 30 de noviembre en el caso de la obra del lado paraguayo y para el 31 de diciembre para la obra del lado argentino teniendo en cuenta que la obra del terraplén paralelo a la ruta tiene niveles más altos que son alcanzados por las crecientes que no suelen darse antes de fin de año.

Estos plazos de obras podrían prolongarse si se logra licitarlas y adjudicarlas en tiempo más breve como para que comiencen antes del 1ro de octubre.

La modalidad de contratación se ha previsto por unidad de medida, aunque cabe la posibilidad de modificarla y contratar la obra por ajuste alzado.

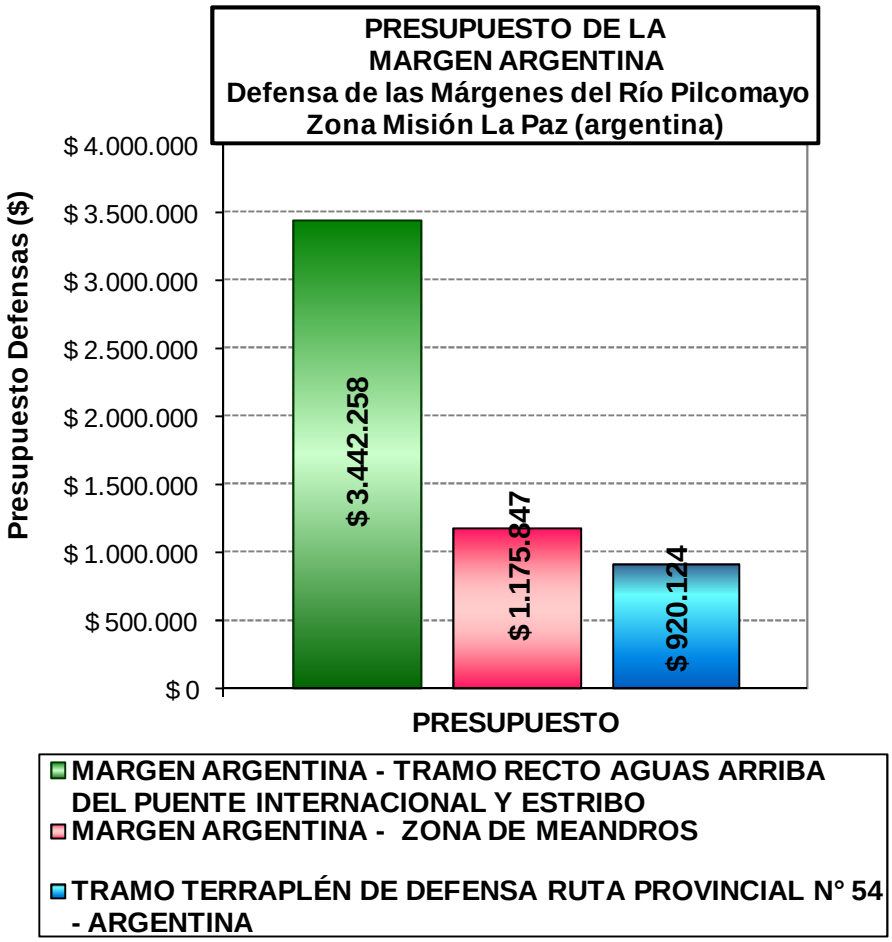
5.3 Presupuesto de las obras

Se realizaron los cómputos métricos de los proyectos de las obras de cada margen, y los presupuestos de las mismas en base a los análisis de precios de los distintos ítems de las obras, teniendo en cuenta costo de materiales, transporte de los mismos desde su sitio de extracción o elaboración, costo de mano de obra y equipos.

En los cuadros y gráficos siguientes se presentan los presupuestos finales obtenidos para cada sector en cada margen. En el caso de las obras del lado paraguayo los presupuestos se transformaron a dólares estadounidenses. Los cómputos y presupuestos de cada alternativa se presentan en el legajo técnico de cada obra y los análisis de precios en el Anexo 4.

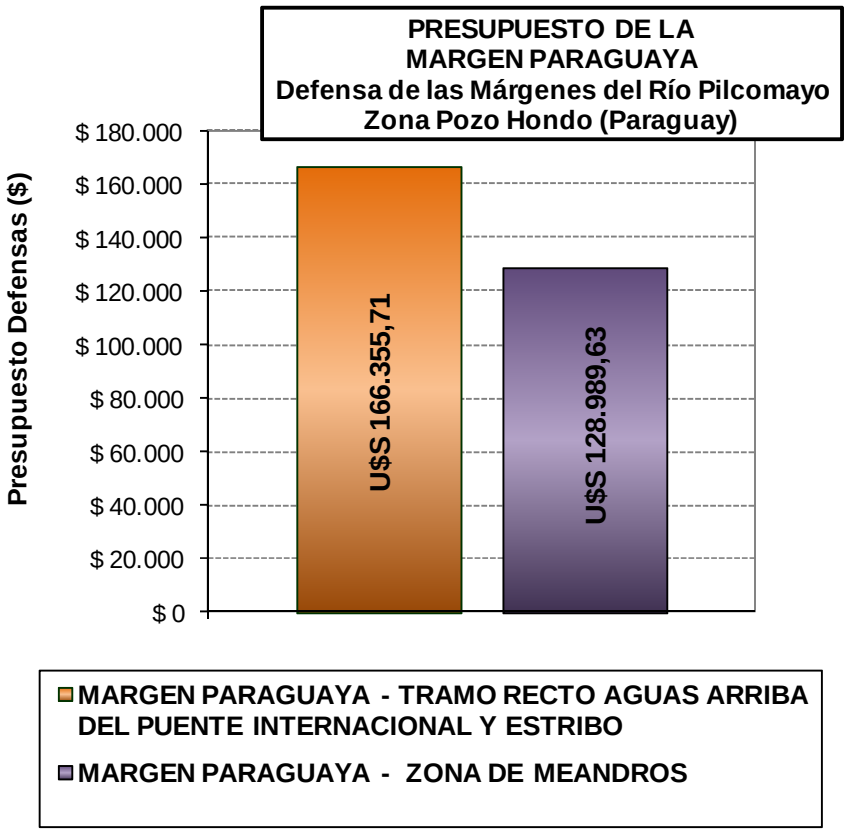
Obras margen argentina:

	PRESUPUESTO
MARGEN ARGENTINA - TRAMO RECTO AGUAS ARRIBA DEL PUENTE INTERNACIONAL Y ESTRIBO	$ 3.442.257,90
MARGEN ARGENTINA - ZONA DE MEANDROS	$ 1.175.846,80
TRAMO TERRAPLÉN DE DEFENSA RUTA PROVINCIAL N° 54 - ARGENTINA	$ 920.124,20
TOTAL DEFENSA MARGEN ARGENITNA	$ 5.538.228,90



Obras margen paraguaya:

	PRESUPUESTO
MARGEN PARAGUAYA - TRAMO RECTO AGUAS ARRIBA DEL PUENTE INTERNACIONAL Y ESTRIBO	U$S 166.355,71
MARGEN PARAGUAYA - ZONA DE MEANDROS	U$S 128.989,63
TOTAL DEFENSA MARGEN PARAGUAYA	U$S 295.345,34



6 Conclusiones y recomendaciones

Las obras propuestas tratan de resolver el problema de corrimiento de márgenes en un contexto de una fuerte dinámica morfológica que presenta el río Pilcomayo en esta zona, y su diseño ha sido limitado en parte a la utilización de materiales locales y métodos constructivos de fácil ejecución, de modo de tener como premisa la brevedad en los plazos de ejecución, teniendo en cuenta el corto período que resta desde la finalización del proyecto hasta la llegada del período de crecientes para realizar las obras.

Si bien se pretende que la solución planteada de soluciones a los problemas de erosión y estabilice las márgenes, hay que considerar que dada la magnitud del problema no debe esperarse una vida útil de más de diez años, e incluso deberá verificarse el comportamiento y necesidad de mantenimiento cuando finalice el período de crecientes a fines de abril del año próximo.

Anexo 1 Reseña Fotográfica

Anexo 2 Información Topográfica

Anexo 3 Planillas de análisis de suelo y mezcla con cemento

Anexo 4 Análisis de Precios

Anexo 5 Planos