



APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO SUSTENTABLE DE UN RÍO DE LLANURA

Informe Final

Resumen Ejecutivo

Contenido

1.	Introducción.....	2
2.	Lugar de emplazamiento	4
3.	Potencia Instalada.....	5
4.	Descripción general del aprovechamiento	5
5.	Sistema de transmisión.....	8
6.	Cronograma de obra	11
7.	Presupuesto	12
8.	Beneficios de la obra.....	12
9.	Inventario de posibles aprovechamientos en serie complementarios	14
10.	Conclusiones	15



APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO SUSTENTABLE DE UN RÍO DE LLANURA

Informe Final

Resumen Ejecutivo

1. Introducción

El Estudio de Aprovechamiento Sustentable de un Río de Llanura llevado a cabo por las Universidades Nacionales de La Plata y Litoral, tiene como objetivo primordial potenciar la propuesta, de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) de la conexión vial Reconquista Goya, de modo que, de manera conjunta, ambos emprendimientos sean viables desde un punto de vista económico financiero. Este trabajo ha sido encargado por la nación buscando beneficios complementarios (energía) a la conexión vial, de manera que justifiquen económicamente dicha obra, pero respetando los paradigmas del desarrollo sostenible.

El presente estudio, se centra en generar energía de base o de “pasada” (no en punta), mediante cierres de muy baja altura, que involucren sólo el cauce principal del río, sin afectar el funcionamiento de la planicie de inundación. El aprovechamiento no generará embalse ni modificará en forma significativa la hidrodinámica del valle aluvial del río, de manera que los procesos naturales de los pulsos de inundación de la planicie continuarán ocurriendo como si el aprovechamiento hidroeléctrico no existiese.

El cauce principal y valle aluvial, del río Paraná en su tramo medio, funcionan naturalmente como dos corrientes paralelas que interactúan permanentemente asegurando el sostenimiento de los ecosistemas asociados. En vistas de ello, se analizaron las posibilidades de aprovechar parcialmente la hidroelectricidad potencial del cauce, pero sin afectar al valle aluvial. Esto es posible siempre y cuando las curvas de remansos generadas hacia aguas arriba del cierre no excedan los niveles naturales del valle aluvial frente a la localidad de Bella Vista.

En el caso de aguas medias altas y crecidas, el importante caudal que transita por el cauce, no permite salto, y por lo tanto el aprovechamiento no genera energía. Ello permite evitar transferencias adicionales de caudales al valle, el cual funcionaría de la misma manera que lo hace actualmente, sin aumentar el riesgo de inundación de poblaciones aledañas. Durante estados de aguas medias altas (con caudales poco superiores al modulo) la central funciona con muy bajo sal-



to y en consecuencia con muy poca producción de energía. La central sale de operación para caudales mayores debido a que los saltos posibles son cada vez menores, (inferiores a 2 m) condición para la cual la producción de energía ya no es rentable. Este es un “beneficio” que debe resignar el aprovechamiento hidroeléctrico para lograr la “sustentabilidad ambiental”, premisa de partida establecida y respetada para este proyecto.

Durante condiciones de caudales medios altos y crecidas la central sale de operación y se restablecen condiciones de “rio abierto”. Estos períodos coinciden con las condiciones hidráulicas y estacionales propicias que estimulan la migración de peces.

El aprovechamiento hidroeléctrico hace viable económicamente el interés preexistente de la región en lograr un vínculo vial entre ambas márgenes, teniendo como premisa fundamental el mejor escenario posible de generación hidroeléctrica (Potencia y Energía), pero, respetando los siguientes aspectos:

- La consideración de la dinámica hidro-sedimentológica particular del Río Paraná en este tramo, y del funcionamiento de los ecosistemas asociados, como aspectos claves para el diseño hidráulico.
- La consideración del régimen natural de activación de la planicie (margen santafesina), estableciendo las consignas operativas del manejo que minimicen o anulen las posibles afectaciones de sus pulsos de inundación
 - No afectar la traza establecida del proyecto de conexión vial, manteniendo el diseño original de puentes y terraplenes en todo el valle, sin incidencia sobre los niveles del servicio vial previsto.
 - No interrumpir la navegación actual y futura prevista.
 - No afectar poblaciones aguas arriba del aprovechamiento con la curva de remanso generada en el cauce y, en su defecto, tomar las medidas para minimizar afectaciones y producir asimismo compensaciones.
- Que la curva de remanso en el cauce principal no supere la localidad de Bella Vista y quede restringida a las provincias de Santa Fe y Corrientes.
- No crear un lago o embalse, que la central sea predominantemente de paso.



- Afectar lo mínimo posible la ictiofauna, adoptando medidas para mejorar la situación actual de gradual deterioro, como parte de las externalidades positivas de la obra

2. Lugar de emplazamiento

El proyecto se ubica en el cauce principal del río Paraná, a la altura del km 990 de la ruta de navegación de la Hidrovía Paraná-Paraguay, en coincidencia con la traza del puente principal del Proyecto Ejecutivo de la DNV (Dirección Nacional de Vialidad) para la conexión vial entre las localidades de Reconquista (Santa Fe) y Goya (Corrientes). El lugar de emplazamiento de la obra se ubica aproximadamente 5 km aguas abajo de la localidad de Lavalle, en la provincia de Corrientes.

Se adaptó el proyecto vial de la conexión vial Reconquista - Goya de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) teniendo en cuenta las nuevas obras asociadas al aprovechamiento hidroeléctrico. Dicha adaptación se realizó sólo en la zona del cauce principal del río Paraná y considerando la menor cantidad de modificaciones que fueran posibles respecto al proyecto de interconexión original. De esta manera, se mantuvo la traza y los parámetros que definen el diseño vial en general (pendientes máximas, gálibos, anchos de calzadas y puentes, entre otros).



Figura 1.- Lugar de emplazamiento.



3. Potencia Instalada

El aprovechamiento tendrá una **Potencia instalada de 693 MW** y podrá generar una **Energía Media Anual de 4.110 GWh**. La central estará fuera de servicio en promedio aproximadamente 1,5 meses al año, cuando el salto que se pudiera generar sea inferior a 2 m.

4. Descripción general del aprovechamiento

Se propone el diseño de un aprovechamiento hidroeléctrico compuesto por dos vertederos, uno en cada margen, una central hidroeléctrica clásica en la zona central, una esclusa de navegación, dos naves de montaje, dos estacionamientos y un edificio de oficinas, estación ictícola y escalas de peces.

La **central hidroeléctrica** está conformada por 53 módulos de central hidroeléctrica clásica de 19 m de ancho cada uno, alcanzando una longitud total de 1.007 m. Los módulos están equipados con **Turbinas Bulbo de 7,7 m de diámetro**.

Cada módulo tiene una longitud total 160,3 m considerando los extremos de la obra de hormigón. La altura de la misma es de 30,8 m considerando la cota de fundación (10,5 m IGN) que corresponde a los descargadores de fondo y la cota de coronamiento (41,3 m IGN) donde se encuentra el nivel superior de la central. El perímetro del espaldón de aguas arriba de la central tiene previsto un muro de un 1,2 m. de alto para llegar un nivel de 42,5 m., estando el coronamiento de la misma en cota 41,3 m.

Se propone un rodete de 7,7 m de diámetro, un bulbo de 21,0 m de largo y 7,3 m de diámetro, una cámara de aducción de 17 m de altura promedio y 16,5 m de ancho y un tubo de aspiración de 33 m de largo.

Cada módulo tiene, previo a la aducción a turbinas, una trampa de sedimentos transportados por el fondo que permite su captura, recolección y guía hacia la toma del descargador de fondo. Éste, atraviesa la central por el fondo de la misma, y en particular, se encuentra por debajo del perfil de la turbina, con el fin de poder aumentar el diámetro del conducto sin la necesidad de disminuir la sección de los tabiques longitudinales separadores de vanos. Se propuso un diámetro para el conducto de 2,50 m.



Se proponen dos **vertederos** de 25 módulos cada uno permitiéndolo erogar un caudal máximo de 51.050 m³/s en el cauce principal. Cada vertedero tiene una longitud total de 450 m y van dispuestos uno a cada lado de la central hidroeléctrica.

Están conformados por un canal de fondo, profundo y sin perfil de vertido, con la mínima estructura que permita el manejo de los sedimentos y el cierre de la misma. El flujo pasa a través de esta obra de descarga de la misma manera que bajo un puente, con la única diferencia que en vez de pilotes posee tabiques. Para aguas medias altas y crecidas ordinarias la sección total de descarga es suficiente para generar velocidades de flujo adecuadas para permitir la migración de peces.

Los módulos estarán equipados con compuertas de sector que permitan controlar los niveles de operación. Para épocas de crecidas, se izarán completamente las compuertas de todos los módulos, permitiendo el pasaje del caudal de diseño de modo de garantizar la seguridad de las estructuras y mantener la situación natural, aguas arriba del cierre.

La **esclusa de navegación** se ubica en la margen izquierda sobre terreno firme a unos 150 m de la actual margen. Está compuesta de una cámara de 34 m de ancho y 366 m de largo. Está cerrada en ambos extremos mediante compuertas de tipo Ingletes. Fue diseñada para un convoy de barcasas (tipo Paraná) de 2x5, es decir de 32 m de manga por 350 m de eslora (incluyendo el empujador). Este diseño es también adecuado para un convoy de barcasas tipo Mississippi de 3x5, más empujador.

Tanto el canal de Acceso como la cámara de la esclusa tienen secciones trapeciales, excavadas en el terreno natural.

Para el pasaje de embarcaciones de menores portes, tales como yates y embarcaciones deportivas, se prevé construir una rampa, que mediante el uso de un sistema de tráiler permita salvar el salto de la presa. Esta se ubica entre la actual margen izquierda del cauce y la esclusa de navegación. La embarcación adoptada para el diseño de esta obra de pasaje de embarcaciones menores es un crucero de 14 m de eslora 4,80 m de manga y 1,35 m de calado y con un desplazamiento total de hasta 50 Tn.



La **presa frontal** será construida por el metodo de refulado, quedando incorporada en su cuerpo la atagua de cierre. La cota de coronamiento del terraplen, se fija en +41,30 m IGN, con muro rompeola con cota superior a +42,00 m IGN de modo de salvar el Nivel Maximo Extraordinario + Runup + Setup + un margen de seguridad.

El Perfil de la Presa Frontal, que será construida mediante refulado libre, contenido y semi contenido, posee como núcleo la atagua de cierre construida mediante geotubos de grandes dimensiones rellenos con arena, arrojados desde barcazas con casco partido.

Para los sectores de mayor exigencia en función de las solicitudes esperables, se proponen protecciones flexibles con dados de hormigón adheridos sobre geotextil de vinculación.

Los sectores con menores exigencias en cuanto solicitud, se protegerán mediante una capa de suelo cohesivo compactado cuyo espesor mínimo será de 0.80m, sobre la que se colocará una capa de suelo vegetal de 0.15 metros de espesor, con siembra de pastos de la zona.

El **terraplén o camino lateral**, que regulariza y recrece las cotas mas bajas del albardon natural existente, estará asentado en zona del valle de inundación de margen derecha del cauce principal. El terreno natural en dicha zona es inundable en situaciones de crecidas. El diseño del albardon recrecido o camino lateral, contempla conexiones entre el cauce principal y el valle aluvial que respeta las mismas secciones hidráulicas de paso que hoy se verifican en la situación natural. Ello permite optimizar e incrementar la funcionalidad del aprovechamiento hidroeléctrico, con mínima afectación de la morfo-dinámica natural del sistema cauce – planicie de inundación, y la cantidad y calidad de los trasvases de caudales líquidos y sólidos entre ambas partes.

El aprovechamiento contempla colocar tres **escalas de peces** diferentes, una tipo rampa de rocas con escalones, una tipo rampa con ranuras verticales construida de hormigón, y una esclusa tipo Borland.

Para que estas funcionen adecuadamente las misma se han dispuesto en lugares donde los peces tengan una llamada, cercana a la descarga por puente vertedero. En consecuencia, la esclusa de peces (tipo Borland) se colocará entre el vertedero y la presa de materiales sueltos. Ambas rampas tendrán su inicio en esta zona de aguas abajo, y el ascenso se construirá sobre el talud de aguas abajo de la presa de materiales sueltos.



Se propone la construcción de una Estación de Piscicultura cuyo objetivo es reconvertir y/o complementar la pesca comercial de todo el río Paraná, mediante un mayor desarrollo de la acuicultura. Esta estación además permitirá monitorear la dinámica de los procesos y proponer medidas de adecuación que posibiliten un proceso de mejora continua de la interacción de la obra con los recursos ictícolas de la zona. Se ubica en la zona del valle aluvial, aguas arriba del cierre.

5. Sistema de transmisión

La nueva central “Río de Llanura” de 693 MW de potencia máxima se conectará al sistema de 500kV mediante dos vínculos, que unirán los actuales corredores de 500 kV del Paraná y del Uruguay, en las ET Romang y ET Mercedes, respectivamente.

Esta obra no presenta ningún impacto negativo en el sistema de transporte que requiera ser atendido. Por el contrario, colabora con una mejor red de transporte y distribución del sistema nacional interconectado, que ya ha sido previsto, independientemente de la existencia de esta central hidroeléctrica.

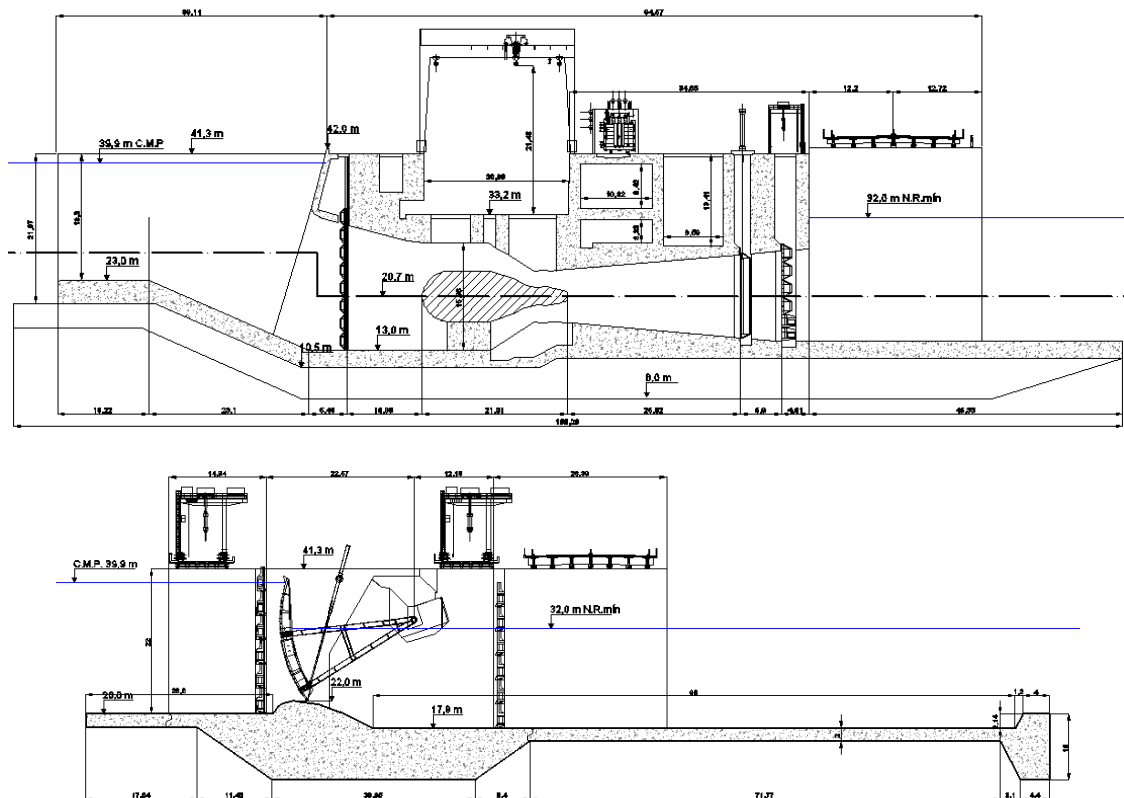


Figura 2.-SUP: Ubicación general de las obras. MED: Módulo de central hidroeléctrica.
INF: Módulo de vertedero.

Las características principales del aprovechamiento se resumen en la siguiente tabla.



Tabla 1.- Planilla resumen del Estudio

Planilla resumen del Estudio de Aprovechamiento Hidroeléctrico		
Sustentable de un río de llanura		
Emplazamiento	Lugar	Conexión Vial Reconquista-Goya
	Provincias Argentina	Santa Fe - Corrientes
	Ciudades cercanas	Reconquista y Avellaneda (Santa Fe) Goya y Lavalle (Corrientes)
Río	Nombre	Paraná
	Q módulo (m ³ /s)	Aprox. 17.000
	Q máximo registrado (m ³ /s)	60.000 (1.982/1.983)
	Q milenaria (m ³ /s)	82.700
Producción Energética	Potencia Máxima Instalada (MW)	693
	Potencia Máxima Generada (MW)	693
	Energía Anual total generada (GWh/año)	4.110 GWh
Cierre	Tipología	Materiales Suelos - Núcleo de Geotubos
	Cota Coronamiento (m)	41,3
Esclusa	Calado - Manga	Calado 15 pies Manga 34 m
	Gálibo Puente	35 m (Respeta gálibo de Puente atirantado DNV)
	Long. Total del cuenco (m)	366
Central	Turbinas	BULBO
	Nº de unidades	53
	Diámetro rodete (mm)	7,7
	Potencia Instalada (MW)	693
	Potencia Máxima Generada (MW)	693
	EMA (GWh/año)	4.110
	Capacidad de unidad (m ³ /s)	280
	H normal de operación (m)	4
	Q máximo turbinado (m ³ /s)	Aprox. 15.000
	Longitud de Central (m)	1.007



Planilla resumen del Estudio de Aprovechamiento Hidroeléctrico		
Sustentable de un río de llanura		
Vertederos	Tipología	Canal sin perfil vertedor y con compuerta radial
	Cantidad	2 vertederos de 25 módulos cada uno. (Ubicados a ambos lados de las Central Hidroeléctrica).
	Capacidad de descarga (m ³ /s) total	51.050 por Cauce principal (Puente Vertedero) (31.650 por planicie - Puentes de Viaducto)
	Longitud total (m)	900
	Altura máxima total (m)	20
	<u>Compuertas</u>	Radiales
	Número	50
	Ancho (m)	15
	Altura (m)	20

6. Cronograma de obra

Se estima un plazo de construcción del aprovechamiento de 7 años con posibilidades de empezar a generar parcialmente finalizado el sexto año. Se anexa cronograma.



7. Presupuesto

En la siguiente tabla se indica a modo de resumen los costos de los ítems globales con su porcentaje de incidencia en el precio total de la obra. Se anexa presupuesto detallado.

Tabla2.-Presupuesto. Resumen.

ITEMS PRINCIPALES	Costo Directo (US\$ x10 ⁶)	Incidencia (%)
Obras de desvío del río	32,1	1%
Presa principal	77,1	3%
Presa lateral	66,3	2%
Aliviaderos	393,1	14%
Casa de máquinas	1.503,1	55%
Sistema de transmisión	0,0	0%
Esclusa de navegación	25,5	1%
Conexión vial	642,7	23%
Sistema de transferencia de peces	16,7	1%
Costo Directo Total	2.757	100%
Costo Indirecto	83,00	3%
COSTO COSTO (US\$ x10⁶)	2.840	
Gastos Generales	1.820,6	39%
Coeficiente de pase	1,64	
PRECIO OBRA (US\$ x10⁶)	4.660	

8. Beneficios de la obra

Se han estimado los beneficios del proyecto integrando en una **ecuación económica social**, los beneficios directos derivados de la generación de energía y del uso de la vía de comunicación, y los beneficios indirectos que surgen del impacto que la obra tenga como propulsor del desarrollo de la región. Para ello se tomaron precios de eficiencia, esto se logró reduciendo los precios de mercado descontados los impuestos. Se identificaron seis fuentes de beneficios, a saber:

- Incremento en la generación de energía eléctrica
- Ahorro de los usuarios mediante el uso de la conexión vial. Transito Derivado
- Beneficios del Tránsito Generado o Inducido
- Incremento en el valor de la tierra



- Incremento en el PBI regional y su impacto en la generación de empleo e incremento del comercio.
- Incremento del patrimonio pesquero

El proyecto arroja una relación beneficio/costo dada por su TIRE (tasa interna de retorno económica) de + 19,79 %.

El Valor Actual Neto Económico VANE (10 %) es de + 1.680,16 Millones de U\$S.

Para esta etapa de pre-factibilidad, los resultados de la evaluación económico-social son satisfactorios.

Asimismo, se han analizado los beneficios desde un punto de vista privado o **financiero** exclusivamente sin considerar todas las externalidades del proyecto en su conjunto. Estos beneficios, la inversión y los costos de operación y mantenimiento fueron evaluados exclusivamente a precios de mercado. Se realizó una ecuación privada o financiera, computando como fuente de beneficios lo siguiente:

- Ingresos por Generación Eléctrica: dados los precios Monómicos de la electricidad y sabiendo que la Producción de energía alcanza los 4.110 MW, se estimó un flujo anual por generación eléctrica que alcanza los U\$S 718,9 millones.
- Ingresos por Conexión Vial (Peaje): La base de cálculo para el Flujo de Fondos en el Beneficio de la conexión vial fue considerar un TMDA igual a 4244 para el año 2014, ajustada por una tasa de crecimiento del 3 % anual. El valor promedio ponderado del peaje estimado es de 6U\$S.

El proyecto arroja una relación beneficio/costo dada por su TIRF (tasa interna de retorno financiera) de + 10,78 %.

Como primer análisis y para esta etapa de pre-factibilidad, los resultados de la evaluación financiera son satisfactorios.

Sin embargo, la clave del éxito o no de la realización de este proyecto, estará dada por las condiciones que logre imponer una **ingeniería financiera** adecuada, que le dé certeza a los flujos, minimice y reasigne los riesgos inherentes a todas las etapas del proyecto.



9. Inventario de posibles aprovechamientos en serie complementarios

Se analizaron otros posibles sitios de emplazamiento de aprovechamientos hidroeléctricos similares y complementarios, a ubicar en el tramo medio e inferior del Río Paraná. Para ello se ha tenido en cuenta la conveniencia de captar caudales de cauce principal y cauces secundarios, con las mismas premisas con las que se desarrolló el aprovechamiento en Lavalle. También se tuvo en cuenta la conveniencia de contar con una de las márgenes sobre elevada, que no requiera obras de regularización de albardón lateral. La EMA preliminarmente estimada resultaría de aproximadamente 21.000 Gwh/año, para el tramo Corrientes - Rosario.

Tabla 3.- Propuesta preliminar de otros cierres complementarios

PROPUESTA PRELIMINAR DE OTROS CIERRES COMPLEMENTARIOS				
DENOMINACION	PROG CIERRE (KM)	PROG FIN (KM)	PEND. MEDIA (Cm/KM)	EMA (GW/HLAÑO)
EMPEDRADO	1132	1190	4,47	3576
LAVALLE	950	1009	5,05	4110
SUR LA PAZ	697	756	5,14	4183
CERRITO	643	696	4,68	3422
DIAMANTE	530	584	3,12	2324
VILLA CONSTITUCIÓN	374	472	2,96	4001
EMA TOTAL = 21617				

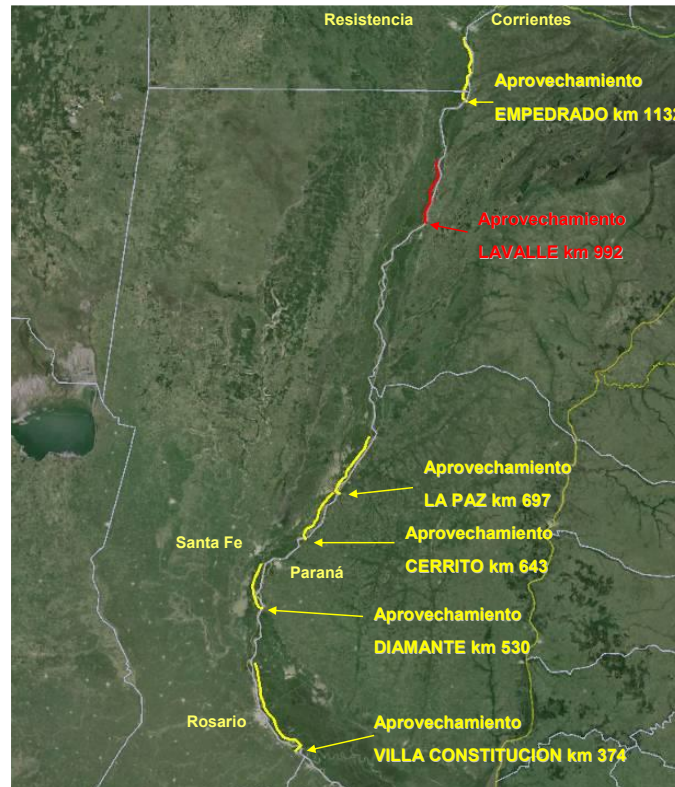


Figura 3.- Ubicación de posibles cierres complementarios en serie

10. Conclusiones

El aprovechamiento hidroeléctrico propuesto es técnicamente factible. La evaluación económico-social y financiera del proyecto arroja resultados satisfactorios.

En el caso de no incluir costos y beneficios de la conexión vial, el aprovechamiento hidroeléctrico diseñado brinda una TIRF mayor. Esto evidencia que la generación de hidroelectricidad, en un marco de sustentabilidad ambiental, resultaría económicamente de interés; y que la energía generada por la obra multipropósito podría subsidiar la conexión vial.

La incorporación de energía al proyecto original de la conexión vial Goya - Reconquista permitiría concretar esa obra de vinculación, necesaria y reclamada por la sociedad de la región. Esta sería la respuesta final resumida del trabajo encomendado por la Nación a las Universidades Nacionales de La Plata y del Litoral.