

REPUBLICA DEL PARAGUAY



BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA



MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

RUTA TRANSCHACO

RUTA N° 9, RUTA MARISCAL ESTIGARRIBIA

Actualización de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos para Informe de Prefactibilidad Avanzada



INFORME TÉCNICO FINAL

Ing. María del Carmen Álvarez Enciso

Agosto 2017. Asunción, Paraguay

(Foto Álvarez, 2017)

RUTA TRANSCHACO

Actualización de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos para Informe de Prefactibilidad Avanzada

CONTENIDO

1	ANTECEDENTES.....	3
2	EL PROYECTO.....	3
3	OBJETIVO DE LA CONSULTORÍA	4
4	ACTIVIDADES PRINCIPALES	4
4.1	TAREAS DE CAMPO.....	5
4.2	TAREAS DE GABINETE.....	5
4.3	REUNIONES TÉCNICAS	6
4.4	ANÁLISIS DE ANTECEDENTES.....	6
5	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	7
5.1	CARACTERÍSTICAS CLIMA	8
5.2	GEOMORFOLOGÍA	9
5.3	BREVE DESCRIPCIÓN DE LA GEOLOGÍA	10
5.4	SUELOS EN EL ABANICO PILCOMAYO.....	11
5.5	ABANICO PILCOMAYO Y RED HIDROGRÁFICA	12
6	ESTUDIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO Y RIESGOS DE LA ZONA	14
6.1	DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA EL CHACO PARAGUAYO SEGÚN DIFERENTES ESTUDIOS	14
6.2	UBICACIÓN DE LA RUTA EN EL CHACO HÚMEDO Y SECO.....	16
6.3	PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	17
7	ESTUDIOS HIDROLÓGICOS	17
7.1	PARÁMETROS HIDROLÓGICOS	17
7.1.1	Curvas IDF	17
7.1.2	Tiempo de concentración.....	18
7.1.3	Periodos de recurrencia o retorno	18
7.1.4	Vida útil.....	19
7.1.5	Riesgo de falla.....	20
7.2	DELIMITACIÓN DE CUENCAS	20
7.3	PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS.....	21
7.4	MÉTODOS DE CÁLCULO	24
7.4.1	Método Racional.....	24
7.4.2	Hidrograma Triangular Unitario	25
7.4.3	Número de Curva CN.....	27
7.5	RESULTADOS DE CAUDALES	28
8	ESTUDIOS HIDRÁULICOS	30
8.1	INVENTARIO DE OBRAS.....	30
8.2	INCONVENIENTES O DIFICULTADES	31
8.3	PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO HIDRÁULICO	31
8.4	METODOLOGÍA – CÁLCULO DE CAUDAL PARA FLUJO CRÍTICO	31
8.5	CAPACIDAD TEÓRICA DE OBRAS EXISTENTES.....	32

9	ANÁLISIS Y OBRAS PROPUESTAS.....	40
9.1	VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LAS OBRAS EXISTENTES POR TRECHOS.....	40
9.2	OBRAS PROPUESTAS	44
10	CONCLUSIONES	52
11	RECOMENDACIONES.....	52
	BIBLIOGRAFIA	54
	ANEXOS	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	UBICACIÓN DE LA RUTA Nº 9 “DR. CARLOS ANTONIO LÓPEZ”	7
FIGURA 2.	MAPA DE PRECIPITACIÓN Y DE TEMPERATURA (PASTEN, MAX, 2017)	8
FIGURA 3.	MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL ABANICO PILCOMAYO.....	10
FIGURA 4.	MAPA DE GEOLOGÍA DE LA ZONA DE PROYECTO	11
FIGURA 5.	MAPA DE SUELOS DE LA ZONA DE PROYECTO	12
FIGURA 6.	MAPA DE LA RED HIDROGRÁFICA DEL PILCOMAYO.....	14
FIGURA 7.	CHACO SECO Y CHACO HÚMEDO EN LA ZONA DE ESTUDIO RUTA Nº 9	16
FIGURA 8.	MAPA DE INUNDACIONES	16
FIGURA 9.	DELIMITACIÓN DE LAS CUENCAS SOBRE LAS IMÁGENES SRTM.....	22
FIGURA 10.	SUMIDEROS DE LOS PUENTES.....	52
FIGURA 11.	MUROS DE ALA EN ESCALÓN.....	53
FIGURA 11.	CONSTRUCCIÓN DE PALAFITO EN LAS ORILLAS DEL RÍO MONTELINDO	53

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.	SUB TRAMOS DE LA RUTA	4
TABLA 2.	DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN VOLUMEN DE AGUA (KM ³) PARA EL CHACO PARAGUAYO.....	15
TABLA 3.	VIDA ÚTIL DE LAS OBRAS	19
TABLA 4.	RIESGO DE FALLA SEGÚN LA VIDA ÚTIL Y EL PERIODO DE RETORNO.....	20
TABLA 5.	LAS CUENCAS MÁS GRANDES DE LA RUTA Nº 9, TRAMO 50+000 A 525+000	21
TABLA 6.	PARÁMETROS Y TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LAS SUBCUENCAS DE LA RUTA Nº 9, TRAMO 50+000 A 525+000	23
TABLA 7.	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PARA EL MÉTODO RACIONAL.....	24
TABLA 8.	VALORES DE CN – NÚMERO DE CURVA	27
TABLA 9.	CAUDALES POR EL MÉTODO DEL HIDROGRAMA TRIANGULAR UNITARIO	29
TABLA 10.	CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS OBRAS DE ARTE EXISTENTES.....	33
TABLA 11.	VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS OBRAS COMPARADA CON LOS REQUERIMIENTOS DE DRENAJE	41
TABLA 12.	OBRAS PROPUESTAS POR SUBCUENCAS	45

ruta transchaco

Actualización de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos para Informe de Prefactibilidad Avanzada

1 ANTECEDENTES

La Ruta Nacional Nº 9 “Dr. Carlos Antonio López”, también conocida como Ruta Transchaco, atraviesa toda la extensión del territorio chaqueño paraguayo, desde Asunción hasta la frontera con Bolivia. En septiembre del año 2015, el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, MOPC, lanzó una licitación bajo la metodología de la Ley Nº 5074 (Licitación con Financiamiento tipo “llave en mano”) para la rehabilitación de la Ruta Nº 9, desde el km 21 (Rotonda al Puente Remanso) hasta el km 525 (Mariscal Estigarribia). Dicha licitación, fue finalmente cancelada el 2 de diciembre de 2016.

Ante este hecho y considerando el alto grado de deterioro de la vía, así como la importancia que representa para la conectividad de esta región productiva del país, el Gobierno solicitó el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) para analizar la preparación de un Programa de Crédito para la Rehabilitación y Mantenimiento de esta ruta.

2 EL PROYECTO

La Rehabilitación de la vía incluirá paquetes de obra tipo CREMA (Contratos de Rehabilitación y Mantenimiento). Dado que el MOPC indicó que desde el km 21 (Rotonda de Acceso al puente Remanso), hasta el km 50 (Cerrito), y su ramal hasta puerto Falcón en la frontera con Argentina, se estudiará la duplicación de la vía, se decidió que este tramo quede fuera del Proyecto. De esta manera, el proyecto iniciaría desde el km 50 (Cerrito), hasta el km 525 (Mariscal Estigarribia), e incluiría igualmente los accesos a Loma Plata, Neuland y Filadelfia, así como el Mantenimiento de la recientemente concluida “Línea 1”, que une los accesos de Filadelfia y Loma Plata.

En principio se ha determinado la división del corredor en cuatro paquetes de obra con un periodo estimado de 2 años para los trabajos de rehabilitación (puesta a punto), e inmediatamente luego de finalizar este periodo, se tendría un periodo de 5 años de mantenimiento rutinario para preservar los estándares de servicio de la vía.

El proyecto incluiría intervenciones para mejora de características técnicas del camino ya existente, previendo el aumento del ancho de la calzada actual, y la reconstrucción (que puede incluir el ensanche) de banquetas de manera de homologar los estándares de servicio del corredor; la adecuación de la ruta a condiciones hidrológicas críticas, considerando el cambio climático, así como la rehabilitación y ampliación de puentes y obras de arte existentes, y/o construcción de nuevas obras arte si los estudios lo determinasen.

Sub tramos: En función a las condiciones actuales de la vía, y su proyección del estado futuro a 2 años (tiempo mínimo necesario para inicio efectivo de las obras), se ha planteado una primera propuesta de sub tramos con los siguientes niveles de intervención definidos como Recapado, Reciclado, o Reconstrucción, en función de las estimaciones de las condiciones estructurales del pavimento. De esta forma, según lo acordado, se proponen 4 tramos/contratos, según se indica a continuación:

Tabla 1. Sub tramos de la Ruta

TRAMOS CREMA	Progresiva Inicio (km)	Progresiva Fin (km)	Longitud (km)	Intervención según situación actual (sujeto a actualización) *
Tramo 1	50	71	21	Recapado
	71	173	102	Reciclado / Recapado
Tramo 2	173	280	107	Recapado
	280	326	46	Reciclado / Recapado
Tramo 3	326	420	94	Reconstrucción
	420	450	30	Reconstrucción / Reciclado
Tramo 4 y Accesos	450	485	35	Reconstrucción / Reciclado
	485	505	20	Recapado (tramos puntuales de Reconstrucción)
	505	525	20	Reconstrucción
	Accesos a 3 Colonias		56	Reconstrucción / Reciclado
	Línea 1		22	Mantenimiento Rutinario
TOTAL			553	

* Las intervenciones serán definidas en el Diseño Final de Ingeniería a ser contratado por el MOPC.

3 OBJETIVO DE LA CONSULTORÍA

Teniendo en cuenta que debido a las consecuencias de los eventos climáticos extremos más frecuentes, intensos e irregulares (tales como sequías, alteración en los regímenes de precipitaciones y alteraciones en la temperatura), la República del Paraguay ha promovido la Estrategia Nacional de Adaptación al Cambio Climático (ENACC, 2015) y el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), siendo este último un instrumento articulador de la política pública paraguaya en el ámbito de la Adaptación al Cambio Climático, por ello, es necesario que el proyecto incorpore y desarrolle las Acciones de Adaptación al Cambio Climático establecidas en el PNACC.

En particular, la presente consultoría tiene por objeto **actualizar los estudios Hidrológicos e Hidráulicos del proyecto a lo largo de toda la traza a un nivel de Prefactibilidad Avanzada** con el fin de verificar que tanto los puentes y obras de drenaje, como la cota del terraplén de la carretera existentes resultan adecuados a potenciales fenómenos climáticos y meteorológicos asociados con el cambio climático. Esta estudio considera que la zona tiene particularidades, parte de un sistema hidrológico, NO TÍPICO, que es un delta continental o abanico aluvial. Adicionalmente se observan el estado y condiciones de drenaje de las uniones con rutas existentes adyacentes a la traza principal, Un cambio de estructuras, una obstrucción, una retención en rutas adyacentes, eleva el nivel de agua en la descarga de la ruta principal y por lo tanto la rasante es superada o la obra de paso es afectada por el mayor caudal generado con dicha cota de agua-es importante entonces, el estudio del sistema del entorno de todas las obras construidas- que afectan a la principal.

4 ACTIVIDADES PRINCIPALES

Una vez firmado el contrato, el BID y el MOPC han facilitado al consultor los antecedentes hidrológicos existentes del proyecto y la zona de influencia del mismo. No se pudo contar con registros pluviométricos o pluviográficos de la zona de proyecto.

4.1 Tareas de Campo

Los días 31 de mayo y 1º de junio se realizó un recorrido detallado de las obras de drenaje a lo largo de la Ruta Transchaco, ingresando en los accesos a las colonias Neuland, Filadelfia y Loma Plata, incluyendo la Línea 1 que une Filadelfia y Loma Plata.

El recorrido se realizó, llevando el listado de las obras de arte existentes, con lo cual se conocía la ubicación de las obras para poder identificarlas en campo. El objetivo principal del recorrido era observar el estado actual de las obras de arte y estimar los principales riesgos de las mismas.

En primer lugar se observó una falta general de mantenimiento de la ruta, incluidas las obras de arte, los puentes se encuentran con barandas rotas, sumideros taponados sin limpiar, llenos de sedimentos propicios para el desarrollo de la vegetación. Así mismo las barandas metálicas, de señalización de acceso a los puentes están cubiertas de vegetación. Esta falta de mantenimiento en la calzada, donde es más fácil el acceso, es más pronunciada en los taludes y la zona baja a los costados de la ruta; así como en las obras de arte, los muros de ala se encuentran cubiertos de vegetación, también los cauces, con árboles de gran porte, que muestran que está falta de limpieza vegetal y de sedimentos data de muchos años. Muchas alcantarillas del listado no fueron encontradas por estar cubiertas de vegetación y totalmente taponadas.

Conforme a los TdR se analizó el riesgo de las obras de arte, y acorde con los datos presentados en las características de las zonas de estudio, el recorrido demostró que el principal riesgo de las obras no es la socavación, sino la sedimentación. Varios cauces y canales se encuentran colmatados con los sólidos arrastrados a la entrada de las alcantarillas y puentes, con lo cual se genera un taponamiento u obstrucción de las mismas, impidiendo el correcto funcionamiento.

La sedimentación es una característica que responde al tipo de suelos, fácilmente erosionables o removibles; a la fluviomorfología de los cauces, que tienen capacidad insuficiente para los caudales picos y producen desbordes; y, entre otros, al régimen hidrológico de los cauces intermitentes o no perennes, que se activan durante la época de lluvias, los suelos se erosionan y son arrastrados con las crecidas; posteriormente cuando los caudales bajos o nulos en épocas de sequía, se produce el depósito de los sedimentos en las zonas de desbordes y en las márgenes donde pierden velocidad inicialmente, por la vegetación de borde, y finalmente en el cauce mismo.

A estos factores naturales, se suma lo expresado anteriormente: de la falta de mantenimiento y limpieza: de los taludes, accesos y salidas de las obras de arte, incluidas los taludes, pie de pilas de puentes, sumideros en la superficie, reposición de barandas (riesgo para las vidas), entre otros.

4.2 Tareas de Gabinete

Se revisó la documentación suministrada por el BID y el MOPC al BID.

Durante la realización de la consultoría se realizó un primer Informe metodológico, posteriormente se presentó el diagnóstico, en formato de presentación, para la reunión en el BID.

Se realizaron los estudios hidrológicos e hidráulicos de la ruta, que se presentan como capítulos posteriores.

4.3 Reuniones Técnicas

Reunión en el BID, presentación de avance, diagnóstico.

Durante la reunión en las oficinas del BID, en comunicación vía Skype con los especialistas de Washington, se presentó el comportamiento hidrológico y fluviomorfológico de la cuenca a fin de analizar las particularidades de la misma.

Adicionalmente se mostró un resumen de los estudios sobre el cambio climático y a partir del mismo se definió la metodología de cálculo para incorporar la incertidumbre en el diseño de la obra.

Básicamente, se definió utilizar tiempos de recurrencia mayores para aumentar el rango de seguridad, no solamente por el efecto esperado del cambio climático, sino además de la misma falta de mantenimiento que se observa actualmente. Esta es la principal incorporación en cuanto a la hidrología.

En el caso de los estudios hidráulicos, no se cuenta con topografía de detalle para realizar modelos de los cauces y observar el comportamiento de los mismos, ante la influencia de los puentes y aliviaderos. Por ello, se presentó y se aceptó la metodología del flujo crítico como una primera aproximación para estimar la capacidad de las obras existentes. Inclusive con esta metodología persiste el problema de no contar con el dato de la altura de los puentes, para calcular el caudal crítico; sin embargo, ese dato fue relativamente más fácil estimar por el recorrido de campo y la práctica de la ingeniería.

A ello se le suma una estimación para diferentes bordes libres con 10% y 25 % de la altura de la obra.

4.4 Análisis de Antecedentes

Como se mencionó anteriormente se recibieron los siguientes antecedentes de la Ruta N° 9, a saber:

- i. Estudio de Factibilidad y Diseños Finales de Ingeniería de todo el tramo realizado por la Empresa Consultora SERVINGCI (año 2013)
- ii. Ajustes realizados por el MOPC al Estudio de SERVINGCI para el llamado a licitación del año 2015 (ID 299601), con todas las circulares con y sin consulta que han sido incorporadas durante el proceso licitatorio.

No se recibieron datos pluviométricos o pluviográficos, así tampoco se cuenta como una topografía de detalle de la ruta, zonas aledañas y menos de las cuencas.

Según el informe de la Consultora Deloitte de Revisión y Recomendaciones, un documento que define las principales recomendaciones que se obtuvieron del proceso de revisión de los pliegos del proyecto Rehabilitación Ruta N° 9; en el apartado 3.7., menciona que: *“el proyecto del llamado a la Licitación no considera la ampliación de puentes ni alcantarillas. Actualmente los puentes, alcantarillas y sus accesos están en condiciones deficientes en términos de seguridad (anchos, defensas, etc.). La recomendación primaria es la de incorporar en el proyecto la ampliación de estos. En segunda línea se recomienda elaborar un proyecto de rehabilitación de los elementos básicos de los puentes y de construcción de elementos mitigación para el caso de accidentes en los accesos a puentes y alcantarillas.”*

Esta situación ha sido incluida en el proyecto actual: ensanchar los puentes al ancho de la ruta y cumplir con las medidas de seguridad, como las defensas o barandas y los accesos.

Otra información fue la correspondiente a los estudios de balance hídrico del Chaco, con escenarios de cambio climático, a saber:

- i. Balance Hídrico Superficial del Paraguay, UNESCO, PHI Paraguay, DHM-DINAC, 1992.
- ii. Estudio de Economía del Cambio Climático en Sudamérica, Análisis Sectorial, Informe Final de Recursos Hídricos del Paraguay. Centro de Estudios para América Latina (CEPAL), 2009.
- iii. Estudio de Vulnerabilidad e Impacto del Cambio Climático en el Gran Chaco Americano, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Universidad Nacional de Formosa (Argentina), Universidad de la Cordillera – Fundación la Cordillera (Bolivia), Desarrollo, Participación y Ciudadanía (Paraguay), 2013.
- iv. Valorizando el agua en un clima y una economía cambiantes en el Gran Chaco Americano. IDRC International Development Research Center, en ejecución 2015-17. Universidad Nacional de Formosa (Argentina), Universidad de la Cordillera – Fundación la Cordillera (Bolivia), Investigación para el Desarrollo (Paraguay).

Para las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) se utilizaron las curvas de Asunción de las Especificaciones Técnicas del MOPC y para Mariscal Estigarribia se utilizaron los parámetros resultados de la actualización de las curvas IDF (Universidad Nacional de Asunción, 2010).

5 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Ruta Nº 9 está ubicada en el Chaco Paraguayo, en los departamentos de Presidente Hayes y de Boquerón. Tiene una orientación que va desde el norte de Asunción hacia el noroeste.

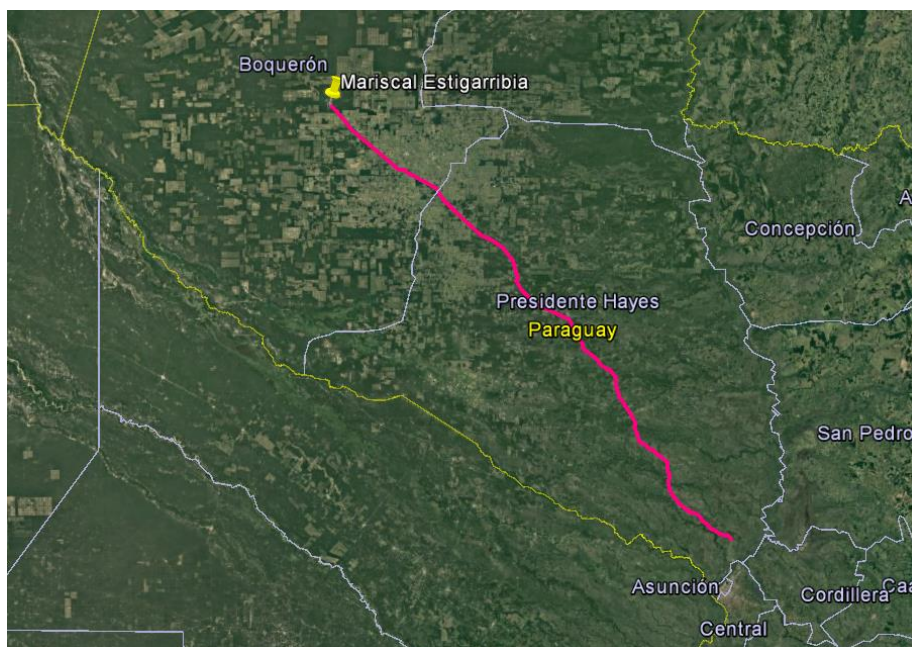


Figura 1. Ubicación de la Ruta Nº 9 “Dr. Carlos Antonio López”

El tramo inicial está ubicada en la zona denominada Chaco Húmedo, por la distribución de las precipitaciones y la influencia del río Paraguay, el tramo final está ubicado en el Chaco Seco, zona de las colonias.

5.1 Características Clima

El clima se clasifica como Tropical Húmedo, con primaveras y veranos calurosos, otoños templados e inviernos fríos y secos. La ausencia de barreras montañosas permite tanto la llegada de masas de aire calurosa desde la región ecuatorial, como de aire frío desde las regiones australes. La temperatura media es de 24,5°C y el máximo absoluto es de 44°C.

El Chaco es una región con importante variación en el régimen de lluvias dependiendo de la ubicación. Los rangos van desde los 400 mm en la región más al oeste hasta los 1.300 mm en las zonas más al este del país, concentrado en los meses de más calor (Octubre-Marzo) provocando un gran crecimiento de las pasturas.

El Chaco paraguayo es un ecosistema muy delicado, caracterizándose por extremos calores en verano e inviernos templados, esto da lugar a una amplitud térmica anual muy importante, se registran temperaturas máximas extremas de hasta 45 °C durante la primavera y el verano, y temperaturas mínimas extremas de hasta -7 °C durante los meses del invierno, especialmente julio. Esta amplitud de temperaturas extremas supera los 50 °C. (Pasten, M. 2017).

Uno de los factores que definen el clima del Chaco paraguayo es el ingreso de frentes fríos de origen polar, que llegan con frecuencia en el invierno trayendo consigo aire frío y seco.

Durante los meses de verano se observa una corriente de viento denominada corriente en chorro en capas bajas (Low Level Jet, LLJ por sus siglas en Inglés), este viento se sitúa entre 1000 y 1500 metros de altitud, de dirección noroeste, que debido a la posición de la cordillera de los Andes desde Perú y Bolivia transportan aire húmedo y caliente sobre el Chaco paraguayo. El "Low Level Jet" juega un papel muy importante en el mecanismo de generación de precipitación en el Chaco paraguayo, especialmente en verano, época más lluviosa de dicha región (Pasten, M. 2017).

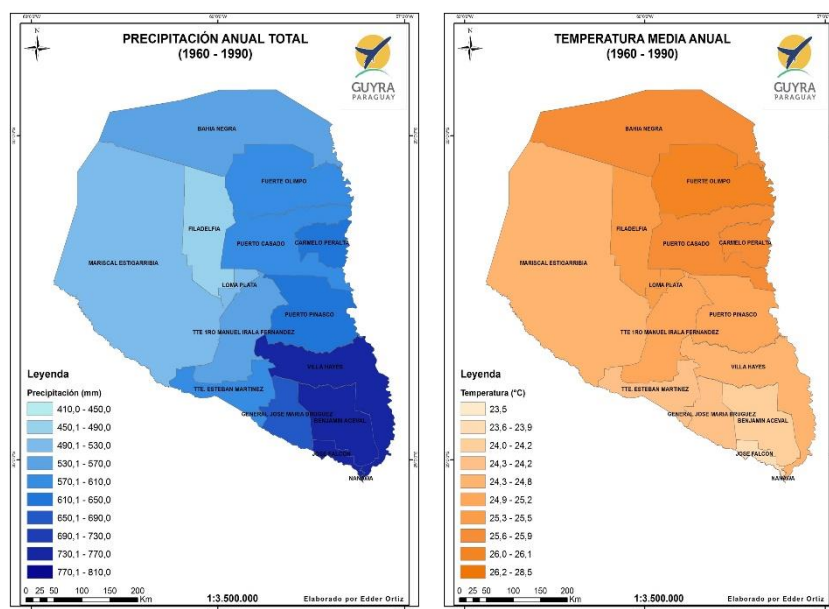


Figura 2. Mapa de Precipitación y de Temperatura (Pasten, Max, 2017)

5.2 Geomorfología

El Gran Chaco Americano se caracteriza por la formación de cinco abanicos aluviales¹, entre los cuales destaca el abanico del Pilcomayo que es el abanico aluvial o delta continental más grande del mundo (Wilkinson). Los abanicos se caracterizan por una zona de cabecera, donde se encuentra el ápice del cono o muy cerca del mismo, asociada normalmente a conglomerados; una segunda zona de cuerpo, que presentan alternancia de conglomerados con areniscas; y una zona de pie del abanico, que corresponde a las zonas distales.

El cauce del río Pilcomayo pasa de secciones anastomosadas o trezadas de canales múltiples, con gran capacidad de transporte de suelos y posterior sedimentación, a formar meandros (sinuosidades o curvas), en la llanura chaqueña los desbordes del abanico van rellenando cauces antiguos y tomando nuevos cursos, periódicamente se convierte en un río colgante, con su cauce más elevado que los valles, por ello la tendencia a cambiar de curso debido al atarquinamiento² del cauce.

Tiene dos grandes ápices de desbordes o de avulsiones³, o puntos críticos. Las avulsiones ocurren como consecuencia de las bajas pendientes del cauce, a la inmensa cantidad de sedimentos que se da en el Pilcomayo, con un promedio de 120 ton/año, a la vegetación de «palo bobos» en las orillas que retienen los sedimentos cuando ocurren los desbordes, ayudando a contener el río o aumentando su capacidad temporal, y permitiendo el relleno del lecho, hasta que rompe uno de los albardones⁴. A ello se le suma un régimen de caudales altamente variable. Las variaciones de caudal van de 6 m³/s a 4.000 m³/s (en Misión La Paz – Pozo Hondo), con registros de 1 m³/s a 5.000 m³/s.

¹ Los abanicos aluviales (*alluvial fan*, en inglés) o conos de deyección (*cône de déjection*, en francés), son geomorfologías que se forman cuando una corriente de agua que fluye rápidamente, entra en una zona más tendida y la velocidad disminuye, extendiendo el cauce en un abanico. En este caso al pasar de la zona andina y subandina e ingresar en la planicie chaqueña.

² Atarquinamiento es el proceso de relleno y elevación del lecho de un curso de agua, por el depósito de los sedimentos en el cauce (*siltation* en inglés).

³ La avulsión, en geomorfología y geología sedimentaria, es el abandono del cauce de un río y la formación de uno nuevo, y es un comportamiento común en los abanicos aluviales.

⁴ Los albardones son lomas o pequeñas elevaciones situadas en terrenos bajos y anegadizos, que se forman con frecuencia en las orillas de los cauces con bajas pendientes, por el relleno con sedimentos al disminuir la velocidad en las márgenes.

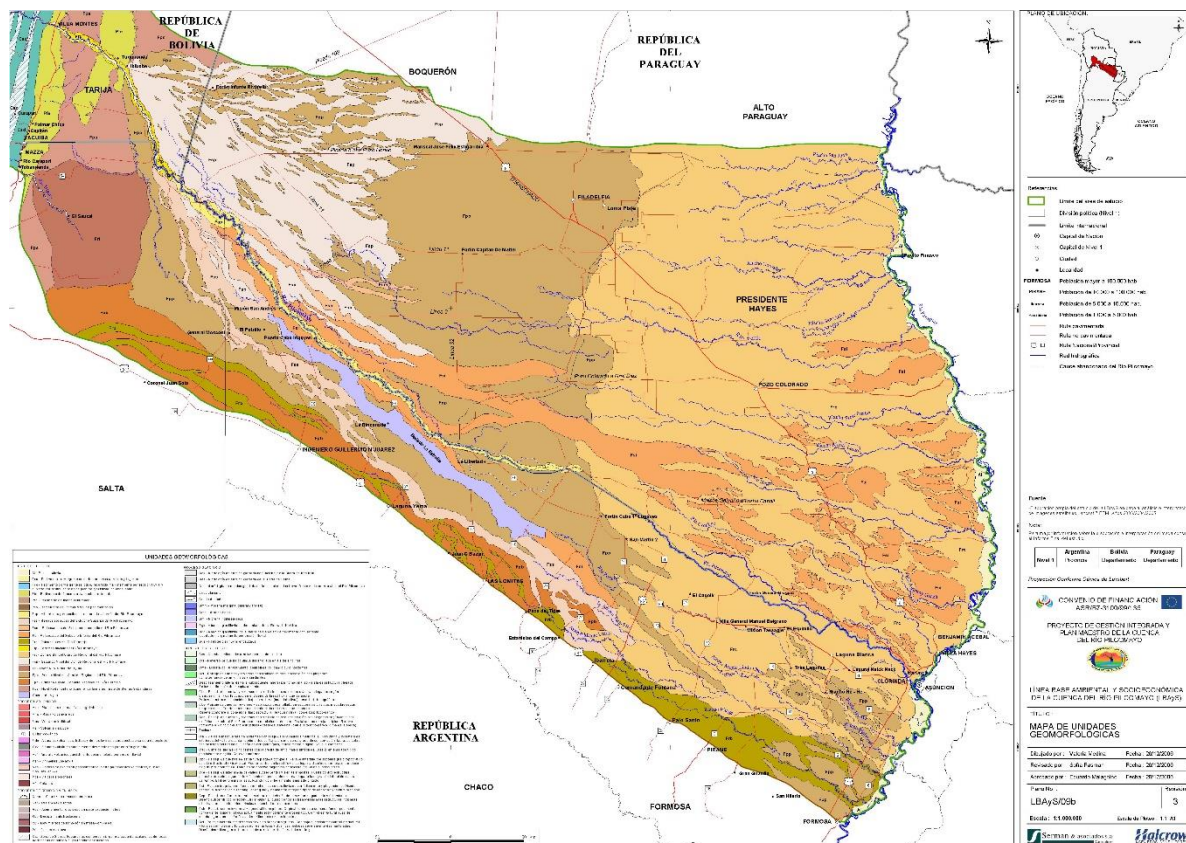


Figura 3. Mapa geomorfológico del abanico Pilcomayo

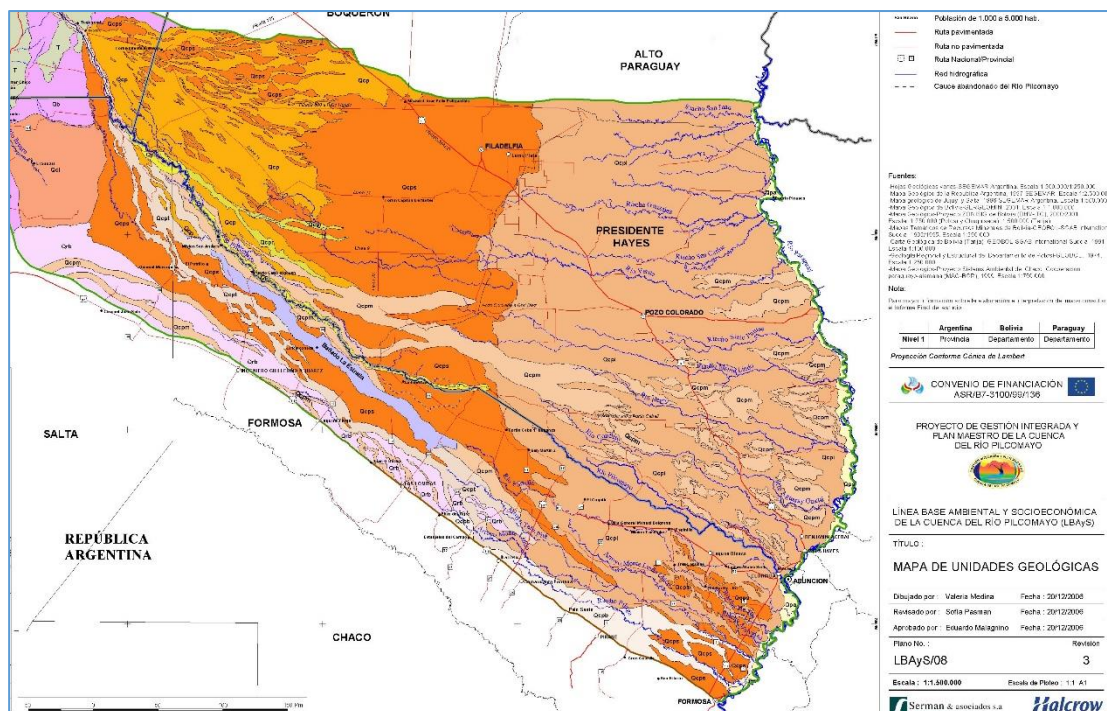
Los sedimentos que se producen, hacen que el cauce del río sea muy cambiante, estos frenan su curso y desvían las aguas hacia zonas más bajas. Esta situación crea problemas con la distribución del recurso hídrico, principalmente entre Argentina y Paraguay, que genera problemas con la pesca, la ganadería, etc.

5.3 Breve descripción de la Geología

La llanura chaqueña, está ubicada entre la faja andina al oeste y la roca de basamento cratónico o escudo brasileño en el este. Esta llanura se rellenó con sedimentos del terciario y cuaternario. Durante el Mioceno, hace nueve millones de años, formaban un mar poco profundo, posteriormente se rellenó con detritos continentales y sedimentos aluviales, origen la salinidad en los suelos y aguas.

Se caracteriza por un relieve con ondulaciones muy suaves y una ligera pendiente de la cordillera al río Paraguay - Paraná.

La alternancia de periodos de sequía y humedad, ha generado un mosaico de suelos arenosos y arcillosos, con predominio de loes, abundancia de carbonatos de calcio, hasta salinos.



La zona de proyecto, del abanico está formada por depósitos cuaternarios del Holoceno y Pleistoceno.

5.4 Suelos en el abanico Pilcomayo

Los suelos del Chaco se caracterizan por presentar una amplia variedad de texturas aún en cortas distancias así como una rica cantidad de nutrientes debido a su juventud geológica. Los más comunes en la zona de proyecto son los Solonetz y los Gelysoles, los suelos del abanico son:

Luvisoles: Son los más frecuentes en el chaco. Están asociados a los suelos de "monte alto". La principal característica es la presencia de un horizonte enriquecido en arcilla en profundidad de entre 30 cm y 70 cm. Generalmente son suelos ricos en nutrientes, especialmente en fósforo, magnesio y potasio.

Solonetz: Se distinguen de los Luvisoles por presentar un contenido mayor de sodio que origina cierta alcalinidad y salinidad. Están asociados a zonas con inundaciones de corta duración. Generalmente son más arcillosos que los Luvisoles.

Cambisol: Son suelos con escaso contenido de arcilla (menor al 30%) y con una fracción limosa alta. Presentan texturas tanto gruesas (suelos de monte alto) como finas (suelos de campo alto). Disponen de una estructura frágil y en ausencia de cobertura vegetal tienden a formar una capa dura superficial.

Arenoso: Presentan más de un 80% de arena y menos de un 5% de arcilla. Se los encuentra en las dunas del noroeste del Chaco y en algunas zonas del Chaco Central. Son suelos pobres en cuanto al contenido de nutrientes y de materia orgánica.

Regosol: La porción arenosa supera en 50% y la arcilla alcanza niveles de hasta un 15%. Son más ricos en nutrientes que los Arenosoles posibilitando su uso en agricultura. Son suelos con alto riesgo de erosión.

Gleysol: Son los suelos de montes bajos y campos bajos. Permanecen mucho tiempo inundado por lo cual no son viables para agricultura.

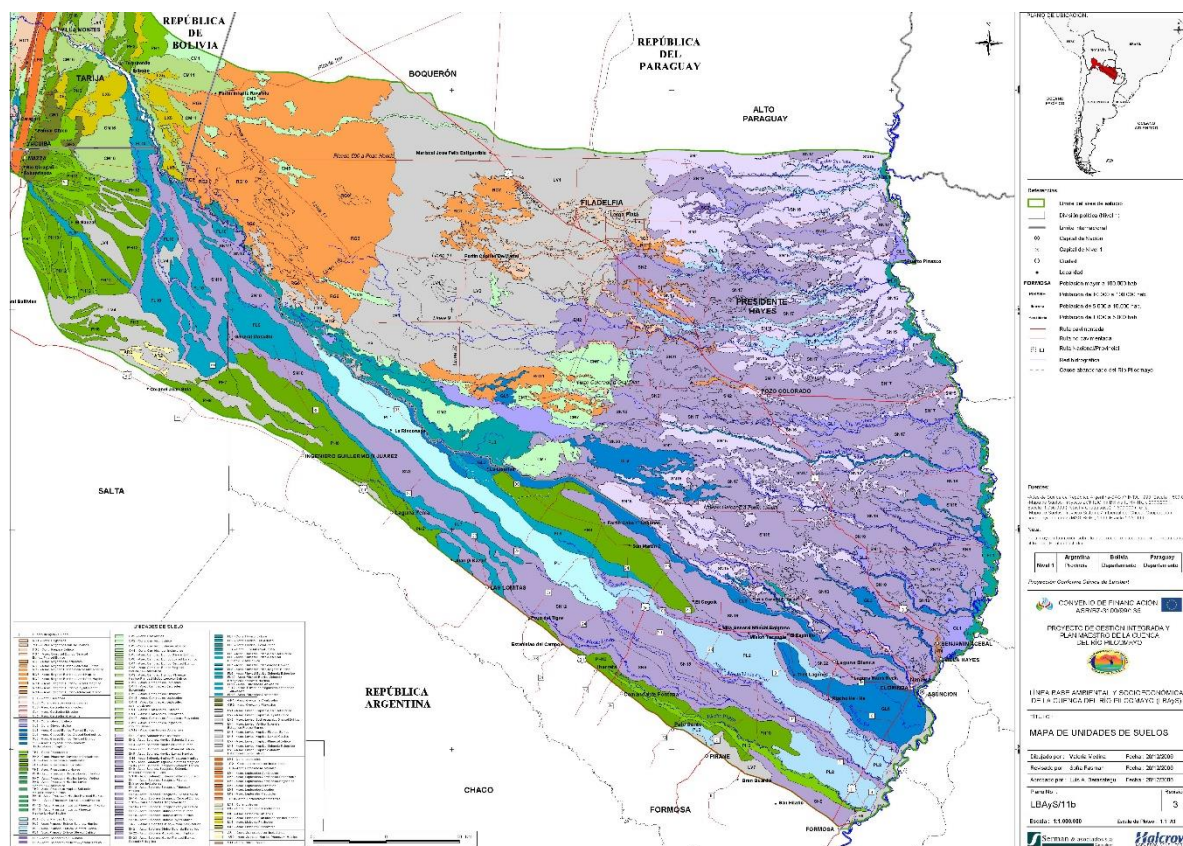


Figura 5. Mapa de Suelos de la zona de proyecto

5.5 Abanico Pilcomayo y Red Hidrográfica

El río Pilcomayo tiene un comportamiento muy particular, es uno de los cinco abanicos aluviales del Chaco y el más grande; como consecuencia de la variabilidad hidrológica, el tipo de suelo de la cuenca alta y al cambio de pendiente, entre otros aspectos, esto ocasiona que el río rellene su propio cauce y surja el llamado retroceso del cauce.

La cuenca del río Pilcomayo forma parte de la cuenca del Plata y está comprendida entre los 19' y 26' de Latitud Sur y entre los 57' y 67' de Longitud Oeste.

La cuenca está dividida en dos partes bien demarcadas:

- la Alta Cuenca, ubicada en la Cordillera de los Andes, casi en su totalidad está en territorio boliviano, con una superficie de 90.000 Km²,
- la Baja Cuenca, ubicada en la gran planicie de origen sedimentario situada entre la Cordillera de los Andes y el Escudo Brasileño, conocida como Gran Chaco, con una superficie de aproximadamente 180.000 Km², en la zona del Pilcomayo y en todo la zona el Gran Chaco tiene más de un millón de kilómetros cuadrados.

Existe una caracterización muy completa de la cuenca del río con sus principales componentes, la cual ha servido de base para los estudios posteriores (OEA, BID, PNUD, 1977). Se presenta a continuación una breve descripción de la geología y la geomorfología realizada en ese estudio.

El río en la Cuenca Alta tiene direcciones muy definidas, con controles estructurales importantes, la sección corresponde a un cauce montañoso, con relieve importante y pendientes fuertes. La Cuenca Alta es la mayor fuente de sedimentos transportados por el río a la llanura chaqueña.

La zona subandina o la precordillera inicia con una geometría anastomosada en una región de pendientes medias.

La Cuenca Baja del río Pilcomayo forma uno de los cinco deltas del Chaco (Scioli, 1974) y entre las características más sobresalientes destaca el hecho de ser el delta continental más grande del mundo (Wilkinson, 1999).

En la llanura chaqueña, la geomorfología del río cambia de anastomosada a meandriforme hasta llegar al llamado taponamiento, lugar donde el río encuentra el antiguo cauce ahora seco por el proceso de colmatación y se bifurca en los canales realizados por Argentina y Paraguay para atenuar el retroceso del cauce. Esta zona se caracteriza por pendientes más bajas y el rápido depósito de sedimentos.

Entre las particularidades del río Pilcomayo se encuentra la gran variación de caudales. El periodo de crecida corresponde a los meses de diciembre a mayo (con caudales de hasta 4.500 m³/s) y los otros son meses de aguas medias y bajas (de 7 a 1 m³/s y en ocasiones ha quedado sin agua). En la zona limítrofe, cerca de la zona de intervención, tiene un caudal módulo de 180 a 200 m³/s, según registros realizados en Misión La Paz, Salta, Argentina. El periodo hidrológico va de septiembre de un año a agosto del año siguiente.

Además de la variación temporal, la sección del río al ingresar en la llanura chaqueña disminuye de manera importante la capacidad de transporte, y el cauce tiene una capacidad media correspondiente al módulo del río. Esto significa que existen desbordes en distintos puntos del río, presentándose una distribución aleatoria de las aguas que responde a la geomorfología local.

Río Verde. Desemboca en el kilómetro 750, a unos 50 km aguas arriba de Concepción. Tiene una extensión aproximada de 280 km y una cuenca de 24.380 km².

Ríacho Siete Puntas. En este riacho la mayoría del agua proviene de precipitaciones, y en algunas épocas del año, provendría de las aguas subterráneas. Las aguas son aptas para el consumo humano durante todo el año; el volumen de agua, sin embargo, es relativamente bajo.

Río Montelindo. Desemboca en el kilómetro 627 a unos 33 km aguas arriba de Antequera. Tiene una longitud aproximada de 440 km, con una cuenca de unos 14.160 km². En el río Montelindo se nota en general un crecimiento del nivel de agua con un paralelo y ligero aumento del contenido salino luego de fuertes descensos del nivel de agua. Presumiblemente, las represas río arriba podrían ser las responsables de los contenidos salinos relativamente altos, porque las aguas dulces de precipitación apenas llegan a los puntos de registro.

El volumen de las aguas del río Montelindo es generalmente muy bajo, y los contenidos salinos son tan altos que las aguas ni siquiera son aptas para el consumo del ganado. Probablemente estos valores disminuyen solamente cuando en el área de influencia caen fuertes precipitaciones y los embalses se desbordan; bajo otras condiciones el río estará drenando solamente agua subterránea salada (Kruck et al., 1998).

Río Negro. Desemboca en el kilómetro 543 del Río Paraguay y a unos 6 km al norte de Puerto Rosario. Con una longitud aproximada es de 275 km y una cuenca hidrográfica que abarca unos 6.940 km².

Río Aguaray Guazú. Durante periodos prolongados ocurre aumento en la salinidad superando el límite de agua para consumo.

Río Confuso. Desemboca en el kilómetro 410, a unos 20 km, aguas arriba de Asunción. Su extensión es de aproximadamente 550 km. El río Confuso transporta constantemente grandes volúmenes de agua, observándose que el tenor salino es muy bajo cuando ocurren fuertes precipitaciones. Durante periodos de sequía prolongados, se pueden observar correlaciones bien acentuadas, causadas por el mayor contenido de las aguas subterráneas.

Este último: el río Confuso no forma parte de la zona de estudio de la Ruta Nº 9 del km 50 a Mariscal Estigarribia, discurre paralelo al tramo inicial de estudio.



Figura 6. Mapa de la Red Hidrográfica del Pilcomayo

Las zonas fueron denominadas: zona F: Cuenca Baja Superior, zona G: Cuenca Baja Media y zona I: Cuenca Baja Inferior.

6 ESTUDIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO Y RIESGOS DE LA ZONA

A continuación se presentan estudios de cambio climático y de riesgos en la zona de proyecto.

6.1 Disponibilidad hídrica para el Chaco paraguayo según diferentes estudios

A continuación se presenta un resumen de los resultados de diferentes estudios de disponibilidad hídrica en términos de volumen según diferentes estudios realizados con un balance hídrico

superficial o simplificado, el cual muestra la gran variabilidad de las estimaciones realizadas para diferentes escenarios.

Tabla 2. Disponibilidad hídrica en Volumen de agua (km³) para el Chaco Paraguayo

ESTUDIO	PERIODO	VOLUMEN (Km3)	VOLUMEN
UNESCO	1968-1984	41,26	
CRU	1991-2014	27,56	
	1991-2000	30,68	
	2001-2010	22,64	
	2011-2014	32,10	
CEPAL / PNUMA		ESCENARIO A2	ESCENARIO B2
	LB 1961-90	63,74	63,74
	A2-2020	83,86	83,45
	A2-2030	52,74	75,55
	A2-2050	33,43	46,53
	A2-2070	35,87	44,65
	A2-2100	51,24	27,79
CONACYT		RCP 8.5	RCP 4.5
	LB 1961-90	2,53	2,10
	2011-20	-0,86	-1,93
	2021-30	-2,52	-1,77
	2031-40	-2,29	-1,02
	2041-50	0,35	0,20

- Estudio de Economía del Cambio Climático en Sudamérica, Análisis Sectorial, Informe Final de Recursos Hídricos del Paraguay. Centro de Estudios para América Latina (CEPAL), 2009.
- Estudio de Vulnerabilidad e Impacto del Cambio Climático en el Gran Chaco Americano, 2013. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Universidad Nacional de Formosa (Argentina), Universidad de la Cordillera – Fundación la Cordillera (Bolivia), Desarrollo, Participación y Ciudadanía (Paraguay).
- Valorizando el agua en un clima y una economía cambiantes en el Gran Chaco Americano. IDRC International Development Research Center, en ejecución 2015-17. Universidad Nacional de Formosa (Argentina), Universidad de la Cordillera – Fundación la Cordillera (Bolivia), Investigación para el Desarrollo (Paraguay).
- UNESCO, PHI Paraguay. 1992. DHM–DINAC – “Balance Hídrico Superficial del Paraguay”, Memoria Descriptiva, Asunción.
- Estudio de Vulnerabilidad e Impacto del Cambio Climático en Paraguay. Investigación para el Desarrollo. CONACYT, en ejecución 2017.

Los escenarios climáticos, para los estudios sobre el cambio climático, son definidos por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), los cuales han cambiado a lo largo del tiempo.

Anteriormente se hablaba de los escenarios socioeconómicos A2 y B”, entre muchos otros, para pasar a los escenarios que se manejan actualmente, según el quinto informe de Evaluación (AR5), que son los “Caminos Representativos de Concentración” (RCPs, por sus siglas en inglés). Éstos se caracterizan por su Forzamiento de Radiación (FR) total para el año 2100 que oscila entre 2,6 y 8,5 vatios por metro cuadrado (W/m²).

6.2 Ubicación de la Ruta en el Chaco húmedo y seco

Según el análisis del Gran Chaco Americano, se tiene en la zona de estudio y con la ruta, la siguiente ubicación del Chaco Seco y Chaco Húmedo.

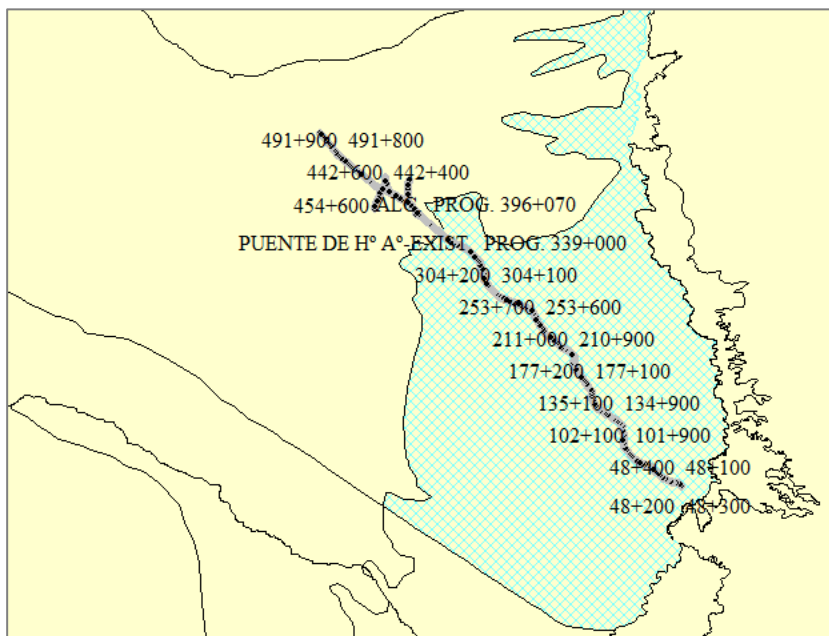


Figura 7. Chaco Seco y Chaco Húmedo en la zona de estudio Ruta N° 9

Se ubica la ruta y la delimitación entre el Chaco Húmedo y el Chaco Seco, y se observa que la ruta hasta la progresiva 385+000 está ubicada en la zona denominada Chaco húmedo, para la cual se tomará la curva IDF de Asunción. En principio, se consideró que a partir de esta progresiva se utilizaría la curva IDF de Mariscal Estigarribia.

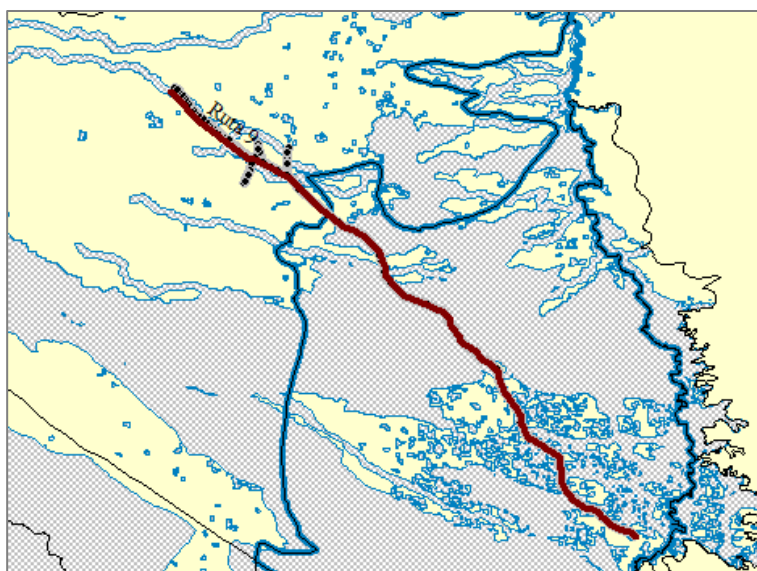


Figura 8. Mapa de Inundaciones

6.3 Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático

Entre las medidas de adaptación se encuentran aquellas basadas en infraestructura, para disminuir la vulnerabilidad a los potenciales impactos del cambio climático.

En tal sentido, en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, en el numeral **8.5. Descriptivo y líneas de Acción para el Sector Energía, Transporte e Infraestructura**, indica *Desarrollar normas y especificaciones técnicas: que consideren las variaciones climáticas en las obras civiles, construcción de viviendas e infraestructura pública, que incluya los conocimientos ancestrales existentes en la construcción de viviendas y otras edificaciones (materiales resilientes y adecuados al clima local).*

En el mismo Plan, en el numeral **8.6. Insumos para el Plan de Acción para el Sector Energía, Transporte e Infraestructura**, indica entre las acciones, las siguientes:

- *Elaborar normas y especificaciones técnicas que consideren las variaciones climáticas en las obras civiles, construcción de viviendas y de infraestructura pública.*
- *Contar con vías de comunicación (fluvial, terrestre, etc.) de todo tiempo, construcción de obras públicas y edificios seguros a eventos extremos.*

7 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

Los estudios hidrológicos tienen como objetivo definir los caudales de diseño para poder definir las obras de drenaje.

Para ello se requiere de una base cartográfica que permita definir el escurrimiento, la delimitación de las áreas de drenaje, normalmente cuencas, en este caso los abanicos a deltas, con ello se obtienen los parámetros morfométricos, que indican el comportamiento de la cuenca a las precipitaciones, por medio del tiempo de concentración.

7.1 Parámetros hidrológicos

Los parámetros para los estudios hidrológicos a tener en cuenta son los siguientes:

Utilizar la curva Intensidad Duración Frecuencia (IDF) de Asunción para la zona del bajo Chaco, que corresponde al Chaco Húmedo y para el resto de la ruta, a partir del Km 385+000 utilizar la curva IDF de Mariscal Estigarribia.

Aplicar los métodos estándares, que son el método racional para cuencas pequeñas y el hidrograma triangular unitario para cuencas grandes.

Analizar caudales para diferentes periodos de recurrencia a fin de evaluar el incremento del caudal como consecuencia del incremento del periodo de recurrencia o tiempo de retorno.

7.1.1 Curvas IDF

Las curvas IDF realizadas por la Universidad Nacional de Asunción, responden a la siguiente ecuación:

$$i = (C * Tr^n) / ((t + d)^m)$$

En el 2010, se realizó la tesis de grado “Actualización de las curvas IDF”, Cuevas y Rolón. Sin embargo, las Especificaciones Técnicas Generales (ETG) para el Diseño de Puentes y Drenajes del MOPC

mencionan las curvas anteriores realizadas por Monte Domecq et al. Por lo tanto, para Asunción se tomaron los parámetros de las ETG del MOPC, que para dicha ecuación son: C=2943; n=0.129304; d = 34; m=0.89684, quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$\text{IDF de Asunción} \quad i \text{ (mm/h)} = \frac{2943 \cdot (T_r)^{0,129304}}{(t+34)^{0,89684}}$$

La ecuación para Mariscal Estigarribia utiliza los parámetros de la tesis de grado de Cuevas y Rolón, 2010, “Actualización de las curvas IDF”, los cuales son: C = 6926.24; n = 0.23371; d = 43; m = 1.11948, quedando la ecuación de la siguiente forma:

$$\text{IDF de Mariscal Estigarribia} \quad i \text{ (mm/h)} = \frac{(6.926,24)(T_r)^{0,23371}}{(t+43)^{1,11948}}$$

7.1.2 Tiempo de concentración

Existen diferentes métodos para determinar el tiempo de concentración, y desafortunadamente la experiencia local se basa más en percepción que en métodos de medición rigurosos. Las distintas fórmulas se aplican según los criterios indicados en la misma fórmula.

La diferencia en los resultados afecta significativamente en la intensidad y por lo tanto en los caudales de diseño. Como una primera aproximación, se utiliza la fórmula de Kirpich, que da tiempos de concentración menores, por lo tanto mayor intensidad y mayores caudales, lo cual hace que la estimación preliminar de caudales sea conservadora y se esté en el lado de la seguridad.

Se determina de la cartografía digital disponible con las distancias y pendientes obtenidas directamente del mapa digital, utilizando la Fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0,945 \left(\frac{L^3}{dH} \right)^{0,385}$$

Donde L es la longitud en km, dH es la diferencia de altura en metros y el tiempo de concentración en horas.

7.1.3 Periodos de recurrencia o retorno

En hidrología, la elección del periodo de retorno, de la frecuencia o probabilidad de excedencia de un evento, es denominada periodos de retorno, y varían entre 10 a 100 años, depende de muchos factores, como el tamaño de la cuenca, la importancia de la infraestructura y el grado de seguridad deseado.

La descarga pico está relacionada con la intensidad de la lluvia, la cual a su vez, depende del tiempo de concentración, y la descarga final está en relación al área de la cuenca.

Para obras de drenaje urbano se suelen utilizar periodos de retorno pequeños, porque los tiempos de concentración son cortos, con lo cual la intensidad es elevada produciendo descargas elevadas por unidad de área. Por ello no es económico utilizar periodos de retorno largos.

Para obras de control de inundación como diques, con cuencas de grandes áreas, se suelen utilizar periodos de retorno de 50 a 100 años. Como el tiempo de concentración es mayor, las intensidades

son menores y con ello el caudal unitario es menor, pero como es un área considerable, los caudales totales que pueden ser elevados.

En el caso de las obras viales, los periodos de retorno varían tradicionalmente entre 25 y 100 años. En el caso de los puentes sobre ríos medianos a grandes, se utilizan periodos de retornos de hasta 500 años, para las fundaciones.

Una de las formas de definir el periodo de retorno es en función al área de drenaje, para áreas menores 2,5 km² el periodo no es superior a 25 años, para áreas mayores a 100 km² se justifican y utilizan periodo de 100 años o más.

El cambio climático traerán consigo cambios locales y regionales y los registros meteorológicos podrían perder validez. En los lugares que pasarán a tener sequías, los registros actuales darán diseños conservadores, mientras que en los lugares que cambiaran a condiciones de humedad, el diseño de obras con los registros actuales será de riesgo.

En consenso con los dueños de la obra (MOPC) y las entidades financieras (BID y CAF), se decidió analizar los caudales para periodos de recurrencia (TR) de hasta 100, 150 y 200 años, para evaluar el incremento de los caudales con el incremento de los periodos de retorno.

Con respecto a los efectos del cambio climático, los análisis de los modelos indican una tendencia a un aumento significativo de la temperatura y variaciones menos marcadas en la precipitación promedio. Sin embargo, para el diseño de obras de drenaje, los factores relevantes son los eventos extremos, no los promedios. Los análisis del CC también indican un incremento a los eventos extremos en intensidad y frecuencia.

Por ello, se optó por incrementar los periodos de retorno y analizar cuanto influye en el caudal de diseño. Se presenta además el significado de esto en la disminución del riesgo.

7.1.4 Vida útil

La vida útil de las obras varía según el diseño y la obra en sí.

Tabla 3. Vida útil de las obras

Tipo de estructura	Vida útil nominal
Estructuras de carácter temporal ⁽²⁾	Entre 3 y 10 años
Elementos reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandillas, apoyos de tuberías)	Entre 10 y 25 años
Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas	Entre 15 y 50 años
Edificios de viviendas u oficinas, puentes u obras de paso de longitud total inferior a 10 metros y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media	50 años
Edificios de carácter monumental o de importancia especial	100 años
Puentes de longitud total igual o superior a 10 metros y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta	100 años

Para puentes menores a 10 metros se considera una vida útil de 50 años, mientras que para puentes superiores a 10 metros, se consideran 100 años de vida útil.

7.1.5 Riesgo de falla

La probabilidad de falla o riesgo (r) durante el periodo de vida útil de una obra (n), se determina en función al periodo de retorno, de la siguiente manera:

$$r = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

El riesgo de falla aceptable depende de factores de seguridad, económicos, sociales, ambientales, técnicos y otros. Según la vida útil y el periodo de retorno, se tiene que las obras tienen un riesgo de falla de 22 % a 39 %.

Tabla 4. Riesgo de falla según la vida útil y el periodo de retorno

Periodo de Retorno (años)	Vida útil (años)				
	10	20	25	50	100
10	65%	88%	93%	99%	100%
25	34%	56%	64%	87%	98%
50	18%	33%	40%	64%	87%
100	10%	18%	22%	39%	63%
150	6%	13%	15%	28%	49%
200	5%	10%	12%	22%	39%
1000	1%	2%	2%	5%	10%

Por lo tanto, por ejemplo, para una alcantarilla de 25 años de vida útil, al aumentar el periodo de retorno de 25 años a 50 años, el riesgo disminuye de 64 % a 40% y al aumentarla a 200 años, el riesgo disminuye a 12 %.

7.2 Delimitación de Cuencas

Preparación de la cartografía, datos recibidos del BID, planialtimetría de la obra, obtención de un modelo digital del terreno a partir de los datos SRTM⁵ para a partir de estos generar las cuencas, drenajes y otros datos adicionales.

Se debe considerar que esto no puede ni debe reemplazar la topografía de campo que deberá realizarse para la ejecución del proyecto. Sin embargo, para la etapa de prefactibilidad, es una aproximación que permite tener una estimación de los requerimientos adicionales de la obra.

La zona no tiene un relieve intenso, ni grandes centros urbanos, las colonias no cuentan con edificios de altura. Sin embargo, se pueden crear ligeras distorsiones por la vegetación; la ruta cuenta con una franja de dominio, libre de árboles de gran altura cercanos a la traza.

Otro inconveniente es la georreferenciación, la cual también tiene influencia en la ubicación de la traza sobre las imágenes SRTM.

⁵ La Misión Topográfica Shuttle Radar (acrónimo en inglés SRTM, de Shuttle Radar Topography Mission) es un proyecto internacional entre la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial, NSA, y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, NASA. Su fin es obtener un modelo digital de elevación de la zona del globo terráqueo entre 56 °S a 60 °N, de modo que genere una completa base de mapas topográficos digitales de alta resolución de la Tierra.

7.3 Parámetros morfométricos

Se midieron los parámetros de las cuencas y subcuencas, indicando las progresivas de inicio y fin de las delimitaciones.

Los parámetros medidos fueron el área de aporte, la longitud de escurrimiento difuso o de drenaje, la cota máxima de la subcuenca y la cota mínima, para tener la diferencia de nivel de la cuenca.

Con estos valores se calculó el tiempo de concentración que es el que posteriormente determina la intensidad.

Las cuencas grandes determinadas en orden de área son

Tabla 5. Las cuencas más grandes de la Ruta N° 9, tramo 50+000 a 525+000

Cuencas Grandes	Subcuencas	Denominación	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Área (km ²)
	19	Rio Montelindo Norte	210+450	211+460	15.353,91
6	30	Rio Verde	305+740	326+500	9.476,47
2	11	Rio Negro	162+780	180+200	7.670,80
7	32	Riacho San Carlos	338+700	342+760	6.721,73
8	38	Riacho González Sur	403+910	411+480	6.398,80
	39	Riacho González Norte	411+500	416+600	5.590,03
1	8	Aguaray Guazu	113+220	128+460	3.542,16
	50		509+400	518+500	2.858,17
	49		489+100	509+400	1.869,83
	36		368+100	374+550	1.587,66
3	18	Rio Montelindo Sur	203+340	210+450	1.168,99
5	25	Rio Salado	264+300	271+860	849,23
	28		297+630	305+100	783,06
4	23	Pirahu	246+800	251+870	673,66

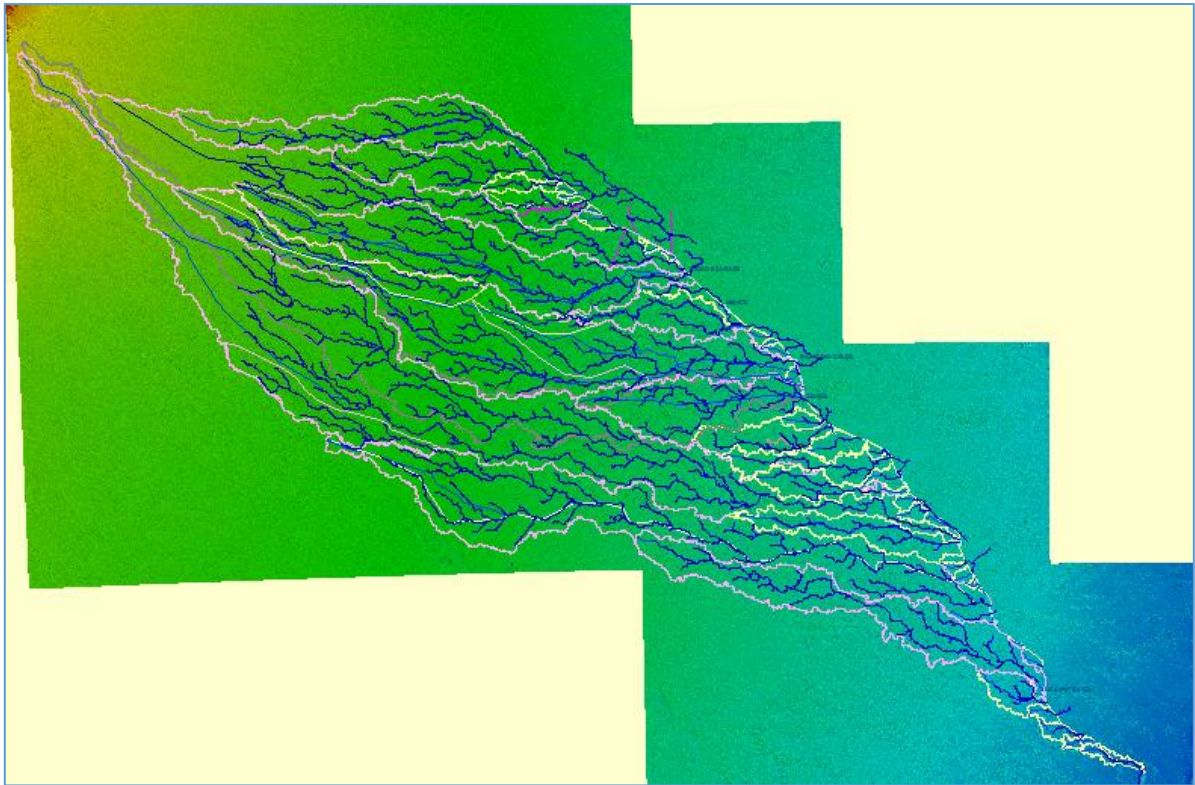


Figura 9. Delimitación de las cuencas sobre las imágenes SRTM

Considerando la escala y que se delimitaron 49 subcuencas, se presenta solamente esta imagen que muestra todas las cuencas en el territorio chaqueño. A continuación las características de todas las subcuencas, las más grandes se resaltan en color.

Tabla 6. Parámetros y tiempo de concentración de las subcuencas de la Ruta Nº 9, tramo 50+000 a 525+000

Cuencas Grandes	Sub cuencas		Progresiva Inicial	Progresiva Final	Área (km2)	Le (km)	Cota max (msnm)	Cota min (msnm)	dH (m)	Tc (horas)
	1		50+000	62+000	142,65	20,85	86,00	68,00	18	10,37
	2		62+000	77+780	71,94	36,90	85,00	69,00	16	20,98
	3		77+780	85+200	24,89	11,06	83,00	71,50	11,5	5,93
	4		85+200	86+900	49,48	16,09	87,50	75,80	11,7	9,07
	5		86+900	97+920	120,79	32,75	87,50	73,00	14,5	18,98
	6		97+920	107+920	91,97	18,75	88,90	75,10	13,8	10,16
	7		107+920	113+220	430,93	45,92	97,00	77,40	19,6	24,98
1	8	Aguaray Guazu	113+220	128+460	3.542,16	273,49	135,40	77,00	58,4	128,83
	9		128+460	145+340	64,75	13,15	93,00	80,00	13	6,90
	10		145+340	154+520	13,70	10,64	92,00	82,00	10	5,98
		No hay cuenca	154+520	162+780	puede 11					
2	11	Rio Negro	162+780	180+200	7.670,80	5,80	98,00	85,00	13	2,68
	12		180+200	184+900	5,65	6,75	101,00	91,00	10	3,53
	13		184+900	189+120	18,80	9,75	102,00	90,00	12	5,04
	14		189+120	190+340	4,01	3,74	102,00	91,00	11	1,72
	15		190+340	197+060	57,10	11,17	104,00	89,00	15	5,41
	16		197+060	199+180	52,94	13,19	105,00	90,00	15	6,55
	17		199+180	203+340	44,45	14,16	103,00	90,00	13	7,52
3	18	Rio Montelindo Sur	203+340	210+450	1.168,99	129,04	121,00	88,00	33	67,40
	19	Rio Montelindo Norte	210+450	211+460	15.353,91	661,73	323,00	89,00	234	209,49
	20		211+460	223+220	70,17	19,02	103,00	90,00	13	10,57
	21		233+220	223+360	89,69	22,25	106,00	93,00	13	12,67
	22		233+360	246+800	75,95	21,85	105,00	93,00	12	12,79
4	23	Pirahu	246+800	251+870	673,66	88,86	119,60	96,00	23,6	49,84
	24		251+870	264+300	146,24	26,02	108,00	96,70	11,3	16,02
5	25	Rio Salado	264+300	271+860	849,23	101,51	123,70	97,50	26,2	55,83
	26		271+860	281+480	54,26	9,83	109,00	98,00	11	5,26
	27		281+480	297+630	288,45	32,87	109,00	98,50	10,5	21,59
	28		297+630	305+100	783,06	90,00	129,00	103,00	26	48,73
	29		305+100	305+740	134,53	24,77	119,00	104,00	15	13,57
6	30	Rio Verde	305+740	326+500	9.476,47	661,00	220,00	107,00	113	276,90
	31	lateral San Carlos	326+500	338+700	55,36	13,72	119,00	108,00	11	7,73
7	32	Riacho San Carlos	338+700	342+760	6.721,73	330,05	172,00	106,00	66	152,71
	33		342+760	352+600	61,05	17,64	118,00	109,00	9	11,16
	34		352+600	357+640	18,24	10,52	117,00	106,00	11	5,69
	35		357+640	368+100	51,67	12,18	120,00	111,00	9	7,28
	36		368+100	374+550	1.587,66	116,35	172,00	114,50	57,5	48,30
	37		374+550	403+910	275,58	69,24	135,00	14,00	121	19,91
8	38	Riacho González Sur	403+910	411+480	6.398,80	310,23	241,00	120,00	121	112,58
	39	Riacho González Norte	411+500	416+600	5.590,03	373,05	299,80	123,00	176,8	120,37
	40		416+600	419+900	2,51	5,16	129,00	123,00	6	3,15
	41		419+900	424+000	17,50	10,61	133,80	122,60	11,2	5,70
	42		424+000	441+040	36,92	7,92	135,50	124,50	11	4,10
		No hay cuenca	441+040	452+300						
	43		452+300	464+200	108,66	25,33	151,60	135,60	16	13,59
	44		464+200	470+860	16,09	7,82	149,00	141,00	8	4,56
	45		470+860	477+400	643,87	59,96	172,70	142,30	30,4	28,71
	46		477+400	480+600	21,27	12,74	154,70	143,70	11	7,10
	47		480+600	488+660	33,45	10,79	155,60	145,00	10,6	5,94
	48		488+660	489+100	222,50	48,08	174,00	145,20	28,8	22,71
	49		489+100	509+400	1.869,83	186,18	215,00	148,00	67	78,37
	50		509+400	518+500	2.858,17	214,20	264,00	157,00	107	76,95
		No hay cuenca	518+500	525+000						

7.4 Métodos de cálculo

Se determinan los caudales para:

- Cuencas pequeñas con áreas inferiores a 2 km² (algunos autores señalan 25 km²) son calculadas mediante la fórmula del Método Racional.
- Cuencas grandes con áreas superiores a 2 km² (algunos autores señalan 25 km²), por el método del Hidrograma Unitario Triangular, del U.S. Soil Conservation Service.

En este proyecto las cuencas pequeñas, se caracterizan por su forma abierta, sin punto de convergencia, por lo tanto dicha área deberá garantizar el paso del agua, al otro lado de la ruta, que produce un efecto terraplén sobre el escurrimiento laminar.

7.4.1 Método Racional

Para cuencas hidrográficas con áreas menores a 2 Km², los caudales son calculados por el Método Racional. Son las pequeñas superficies al costado de la ruta, que son muy difíciles de calcular, por falta de información, pero se hace una primera aproximación.

Donde :

Q = caudal (m³/s)

C = coeficiente de escorrentía (adimensional)

i = intensidad de precipitación (mm/hora)

A = área de la cuenca contribuyente (ha)

$$Q_c = \frac{CIA}{360}$$

Con los parámetros de las subcuencas y el régimen de precipitación definido, así como el coeficiente de escorrentía, se obtienen los caudales de diseño, para diferentes periodos de retorno.

Tabla 7. Coeficiente de escorrentía para el método racional

Topografía y vegetación	Textura del suelo		
	Tierra franca arenosa	Arcilla y limo	Arcilla compacta
Bosques			
Llano, 0-5% de pendiente	0,10	0,30	0,40
Ondulado, 5-10% de pendiente	0,25	0,35	0,50
Montañoso, 10-30% de pendiente	0,30	0,50	0,60
Pastizales			
Llanos	0,10	0,30	0,40
Ondulados	0,16	0,36	0,55
Montañosos	0,22	0,42	0,60
Tierras cultivadas			
Llanas	0,30	0,50	0,60
Onduladas	0,40	0,60	0,70
Montañosas	0,52	0,72	0,82
Zonas urbanas	30% de la superficie impermeable	50% de la superficie impermeable	70% de la superficie impermeable
Llanas	0,40	0,55	0,65
Onduladas	0,50	0,65	0,80

Al considerar el tamaño de las cuencas, y para tener una primera aproximación se utiliza un coeficiente de 0.25.

7.4.2 Hidrograma Triangular Unitario

Para estimar los caudales en cuencas con un área superior a 25 km², sin controles fluviométricos, se deben utilizar métodos indirectos, en primer lugar se determina la parte de la lluvia que se convierte en efectiva, para transformarla en escorrentía directa, a la cual se le suma la escorrentía subterránea o caudal base, para obtener un hidrograma total.

Uno de estos métodos, es el Hidrograma Triangular Unitario (HTU), este método fue desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service (S.C.S.), y será utilizado para cuencas superiores a 25 km².

Este hidrograma representa la comparación gráfica de los gastos de escurrimiento contra el tiempo necesario para que estos se presenten. La teoría del Hidrograma Unitario Triangular se sustenta en las siguientes propiedades:

La precipitación efectiva se distribuye uniformemente en el tiempo o periodo de duración específica. La precipitación efectiva se distribuye uniformemente en toda el área de la cuenca de drenaje.

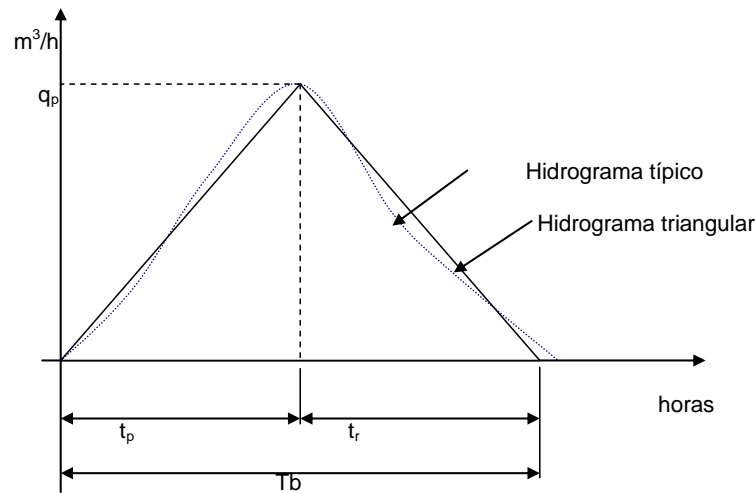


Figura 1. Hidrograma Triangular Unitario

Procedimiento de cálculo para la determinación del caudal máximo

$$q_p = 2,08 \cdot \frac{A}{t_p}$$

q_p caudal pico del hidrograma unitario, en m³/seg - mm.

A área de la cuenca, en Km².

t_p tiempo de ocurrencia del caudal pico, en horas.

$$t_p = 0,5 \cdot \Delta t + t_l$$

Siendo

$$t_l = 0,6 \cdot t_c$$

$$t_r = 1,67 \cdot t_p$$

$$\Delta t = 0,2 \cdot t_c$$

$$t_b = t_p + t_r$$

Δt : tiempo de duración de la precipitación efectiva, en horas.

t_c tiempo de concentración, en horas.

tl	tiempo de retardo, medido desde el centro de gravedad del hietograma de precipitación efectiva hasta el pico del hidrograma de escurrimiento, en horas.
tr	tiempo de recesión, medido desde el pico del hidrograma hasta su finalización, en horas.
tp	tiempo al pico, en horas.
tb	tiempo base del hidrograma triangular, en hora

Precipitación efectiva

Es la parte de la lluvia total resultante de descontar las pérdidas por esorrentía superficial, percolación profunda y evaporación de la lluvia interceptada por el follaje o que puede aprovechar la vegetación para suplir sus demandas. Se obtiene la lluvia neta o precipitación efectiva a partir de:

$$Pe = \frac{(P' - 0,2 \cdot S)^2}{P' + 0,8 \cdot S} \quad P' = P \cdot (1 - 0,1 \cdot \log \frac{A}{25})$$

Donde:

P'	precipitación total corregida, en cm.
P	precipitación real total, en cm. Obtenida de las curvas IDF.
A	área de la cuenca hidrográfica en Km ² .
S	máxima retención potencial.

Máxima Retención Potencial S

La máxima retención potencia, está expresada por la variable S, dependiente de la retención e infiltración de la cuenca.

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Donde:

S = variable dependiente de la retención e infiltración de la cuenca.

CN = número de la curva representativa del complejo suelo – vegetación – utilización de las áreas de las cuencas.

Cabe puntualizar que esta corrección se realiza solo para cuencas con áreas de aporte superior a 25 Km². Para áreas menores a 25 Km² se asume P = P'.

El valor de S se deduce del número de la curva de escurrimiento (CN – curve number), calculado en función del manejo del cultivo, de las propiedades y condiciones hidrológicas de infiltración del suelo. El valor de CN puede variar entre 0 y 100, siendo CN = 0 cuando no hay escurrimiento (S adopta valores muy grandes o infinito), y CN = 100 (cuando el volumen del escurrimiento es igual al de la precipitación, luego S toma el valor cero). En la siguiente tabla se presentan los valores típicos de CN para diferentes tipos de suelo. *Ref. Ven.T. Chow*

Hidrograma de Proyecto

Conocidas las precipitaciones efectivas, para cada intervalo Δt , se procede al cálculo de los caudales de proyecto mediante el “álgebra de los hidrogramas”, o sea, multiplicando las precipitaciones

efectivas por las ordenadas del hidrograma unitario, reiteradas a intervalos de tiempo iguales al intervalo unitario considerado.

Los valores de las descargas del hidrograma de proyecto, por lo tanto, serán dados por:

$$Q_i = P_{e_i} \cdot q_1 + P_{e_{i-1}} \cdot q_2 + P_{e_{i-2}} \cdot q_3 + \dots + P_{e_1} \cdot q_i$$

7.4.3 Número de Curva CN

Este valor se obtiene de Tablas que relacionan el tipo y uso de suelo, se utiliza para determinar la precipitación efectiva por el Método del U.S. Soil Conservation Service (S.C.S.), básicamente representa que cantidad de lluvia precipitada es la que efectivamente escurre y llega hasta los cauces hídricos.

En la siguiente tabla se muestran los distintos valores de CN en función del uso (o cobertura) del suelo, los cuales se muestran en las filas, y del tipo de suelo, los cuales se representan en columnas. Esta tabla fue elaborada a partir de los datos del libro Hidrología Aplicada del Ven Te Chow. Otra variable que incide sobre el CN es la condición antecedente de humedad (AMC); es decir, la cantidad de agua presente en el suelo antes del evento de lluvia. Como a menudo no se cuenta con este tipo de datos, en la práctica de la ingeniería se utiliza comúnmente la AMC II, que representa una condición antecedente promedio de humedad.

Tabla 8. Valores de CN – Número de Curva

Aprovechamiento del suelo y su cubierta	Método de cultivo	Infiltración	Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	H	-	77	86	91	94
Cultivo en hilera	H	Buena	67	78	85	89
Cultivo en hilera	N	Mala	70	79	84	88
Cultivo en hilera	N	Buena	65	75	82	86
Cereales	H	Mala	65	76	84	88
Cereales	H	Buena	63	75	83	87
Legumbres tupidas	H	Mala	66	77	85	89
Legumbres tupidas	H	Buena	58	72	81	85
Pradera o pastizal	N	Regular	25	59	75	83
Pradera o pastizal	N	Buena	6	35	70	79
Bosques	-	Mala	45	66	77	83
Bosques	-	Buena	25	55	70	77
Caminos revestidos	-	-	72	82	87	89
Caminos pavimentados	-	-	72	84	90	92

Fuente: Hidrología Aplicada, V.T. Chow

En la zona de la ruta, se consideran el grupo hidrológico tipo C, el cual está descrito como suelos de poco espesor, poco profundos, con una filtración menor que la media, una vez saturados, con gran cantidad de arcillas y coloides.

El grupo B corresponde a suelos con loess, que responde a la zona media de las cuencas, en la parte superior se trataría de suelos del grupo A, de arenas, con sedimentos aluviales más gruesos.

Por lo tanto, para los hidrogramas se utilizará un valor de CN = 60, que corresponde a un promedio del tipo de suelo.

7.5 Resultados de caudales

A continuación se presentan los resultados de caudales por el método del hidrograma triangular unitario, para diferentes periodos de retorno o recurrencia.

Como se indicara en el capítulo respectivo, el tramo ubicado sobre el Chaco Húmedo se calculó con la curva IDF de Asunción y para el tramo del Chaco Central o Chaco Seco se utilizó la curva IDF de Mariscal Estigarribia.

Tabla 9. Caudales por el Método del Hidrograma Triangular Unitario

Cuencas Grandes	Sub cuencas		Progresiva Inicial	Progresiva Final	Área (km2)	HTU 25 años	HTU 50 años	HTU 100 años	HTU 150 años	HTU 200 años	Q 200/ Q 100	Q 200/ Q 50
	1		50+000	62+000	142,65	101,93	124,08	149,70	166,44	179,17	20%	44%
	2		62+000	77+780	71,94	34,12	41,32	49,62	55,03	59,14	19%	43%
	3		77+780	85+200	24,89	30,17	36,81	44,49	49,51	53,33	20%	45%
	4		85+200	86+900	49,48	43,04	52,24	62,87	69,80	75,07	19%	44%
	5		86+900	97+920	120,79	58,12	70,65	85,14	94,60	101,79	20%	44%
	6		97+920	107+920	91,97	69,73	84,73	102,06	113,37	121,97	20%	44%
	7		107+920	113+220	430,93	150,29	183,10	221,09	245,93	264,81	20%	45%
1	8	Aguaray Guazu	113+220	128+460	3.542,16	291,88	352,45	422,17	467,59	505,04	20%	43%
	9		128+460	145+340	64,75	65,11	79,55	96,27	107,22	115,54	20%	45%
	10		145+340	154+520	13,70	17,50	21,29	25,66	28,52	30,69	20%	44%
		No hay cuenca	154+520	162+780								
2	11	Rio Negro	162+780	180+200	7.670,80	390,36	470,85	563,45	623,74	669,44	19%	42%
	12		180+200	184+900	5,65	10,32	12,64	15,36	17,15	18,51	21%	46%
	13		184+900	189+120	18,80	26,65	31,36	37,99	42,32	45,62	20%	45%
	14		189+120	190+340	4,01	10,07	12,56	15,46	17,38	18,84	22%	50%
	15		190+340	197+060	57,10	66,91	82,14	99,84	111,44	120,28	20%	46%
	16		197+060	199+180	52,94	56,06	68,49	82,90	92,33	99,49	20%	45%
	17		199+180	203+340	44,45	44,08	53,66	64,74	71,98	77,48	20%	44%
3	18	Rio Montelindo Sur	203+340	210+450	1.168,99	178,56	215,91	258,93	286,97	308,24	19%	43%
	19	Rio Montelindo Norte	210+450	211+460	15.353,91	726,58	880,04	1057,03	1172,48	1.260,10	19%	43%
	20		211+460	223+220	70,17	53,24	64,58	77,65	86,18	92,66	19%	43%
	21		223+220	223+360	89,69	58,65	71,02	85,28	94,91	102,30	20%	44%
	22		223+360	246+800	75,95	50,15	60,67	72,82	81,09	87,37	20%	44%
4	23	Pirahu	246+800	251+870	673,66	136,81	165,54	198,67	220,26	236,65	19%	43%
	24		251+870	264+300	146,24	77,11	93,96	113,60	126,45	136,23	20%	45%
5	25	Rio Salado	264+300	271+860	849,23	154,62	187,06	224,44	248,82	267,31	19%	43%
	26		271+860	281+480	54,26	64,92	79,73	96,94	108,23	116,82	21%	47%
	27		281+480	297+630	288,45	116,09	141,45	170,80	190,01	204,60	20%	45%
	28		297+630	305+100	783,06	158,99	192,58	231,32	256,59	275,77	19%	43%
	29		305+100	305+740	134,53	80,46	97,52	117,53	130,98	141,22	20%	45%
6	30	Rio Verde	305+740	326+500	9.476,47	384,92	463,62	554,09	612,95	657,56	19%	42%
	31	lateral San Carlos	326+500	338+700	55,36	52,77	64,27	77,58	86,28	92,88	20%	45%
7	32	Riacho San Carlos	338+700	342+760	6.721,73	450,07	544,37	653,04	723,88	777,62	19%	43%
	33		342+760	352+600	61,05	45,26	54,82	65,83	73,01	78,46	19%	43%
	34		352+600	357+640	18,24	23,33	28,45	34,37	38,24	41,18	20%	45%
	35		357+640	368+100	51,67	51,48	62,76	75,81	84,34	90,82	20%	45%
	36		368+100	374+550	1.587,66	299,14	363,73	438,40	487,19	524,26	20%	44%
						IDF MARISCAL ESTIGARRIBIA						
	37		374+550	403+910	275,58	58,98	89,50	130,05	159,64	183,55	41%	105%
8	38	Riacho González Sur	403+910	411+480	6.398,80	100,75	168,62	263,36	334,70	393,36	49%	133%
	39	Riacho González Norte	411+500	416+600	5.590,03	82,64	138,23	215,80	274,21	322,23	49%	133%
	40		416+600	419+900	2,51	4,82	6,96	9,72	11,70	13,28	37%	91%
	41		419+900	424+000	17,50	17,32	25,55	36,32	44,10	50,35	39%	97%
	42		424+000	441+040	36,92	43,80	64,48	91,48	111,64	128,04	40%	99%
		No hay cuenca	441+040	452+300								
	43		452+300	464+200	108,66	39,55	59,11	84,90	103,62	118,69	40%	101%
	44		464+200	470+860	16,09	18,98	27,96	39,89	48,53	55,47	39%	98%
	45		470+860	477+400	643,87	80,36	124,25	183,11	226,35	261,41	43%	110%
	46		477+400	480+600	21,27	17,27	25,44	36,11	43,81	50,00	38%	97%
	47		480+600	488+660	33,45	29,88	44,34	63,33	77,08	88,13	39%	99%
	48		488+660	489+100	222,50	42,20	63,97	92,87	113,95	130,98	41%	105%
	49		489+100	509+400	1.869,83	58,92	94,41	142,90	178,93	208,34	46%	121%
	50		509+400	518+500	2.858,17	85,79	138,62	211,11	265,12	309,27	46%	123%
		No hay cuenca	518+500	525+000								

En este caso se analiza el incremento de caudal para periodos de retorno entre 200 y 100 años y se observa que, para el tramo inicial, con la curva IDF de Asunción, hay un incremento del 19 al 22 %, y la relación entre los caudales para periodos de retorno de 200 y 50 años, el incremento del caudal está entre 42 % al 50 % en el caudal.

Por lo tanto, el periodo de recurrencia se aumenta 4 veces (200 años a 50 años) y el caudal aumenta 42% a 50%.

En el caso de la curva IDF de Mariscal Estigarribia, los resultados varían en comparación con la curva de Asunción. Se tiene que el incremento de TR de 100 años a 200 años da caudales 37 % a 49 % superiores y para un incremento de TR de 50 a 200 los caudales aumentan del 91 % a 133 %. El periodo de retorno aumenta cuatro (4) veces y los caudales dos (2), aproximadamente.

8 ESTUDIOS HIDRÁULICOS

8.1 Inventario de Obras

Algunos hallazgos del análisis de datos, de la lista, de los planos y del recorrido de obra.

Inventario de la cantidad de obras de arte, clasificadas en alcantarillas tubulares, celulares y puentes.

OBRA	Sub Total	Cantidad	T-C-P	SDT	Medida (m)	Nominación
Alcantarillas Tubulares	172	1	Tubular	Simple	Ø 0,60	ATS-Ø 0,60
		91	Tubular	Simple	Ø 0,80	ATS-Ø 0,80
		21	Tubular	Simple	Ø 1,00	ATS-Ø 1,00
		33	Tubular	Doble	Ø 0,80	ATD-Ø 0,80
		4	Tubular	Doble	Ø 1,00	ATD-Ø 1,00
		9	Tubular	Triple	Ø 0,80	ATT-Ø 0,80
		11	Tubular	Triple	Ø 1,00	ATT-Ø 1,00
		1	Tubular	Triple	Ø 1,20	ATT-Ø 1,20
		1	Tubular	Cuádruple	Ø 1,00	ATC-Ø 1,00
Alcantarillas Celulares	25	1	Celular	Simple	1,00	ACS-0,80 x 0,80
		9	Celular	Simple	1,00	ACS-1,00 x 1,00
		2	Celular	Doble	1,00	ACD-1,00 x 1,00
		5	Celular	Triple	1,00	ACT-1,00 x 1,00
		7	Celular	Triple	1,50	ACT-1,50 x 1,50
Puentes	106	1	Celular	Triple	1,50	ACD-2,00 x 2,00
		10	Puente		6,00	Puente-6
		47	Puente		6,50	Puente-6,5
		1	Puente		7,50	Puente-7,5
		1	Puente		8,00	Puente-8
		1	Puente		8,50	Puente-8,5
		2	Puente		12,00	Puente-12
		14	Puente		13,00	Puente-13
		8	Puente		26,00	Puente-26
		1	Puente		35,00	Puente-35
		2	Puente		39,00	Puente-39
		8	Puente		40,00	Puente-40
		1	Puente		46,00	Puente-46
		1	Puente		49,00	Puente-49
		3	Puente		52,00	Puente-52
		2	Puente		65,00	Puente-65
		1	Puente		78,00	Puente-78
		1	Puente		79,00	Puente-79
		1	Puente		90,00	Puente-90
		1	Puente		91,00	Puente-91
	303	303				TOTAL

Se contabilizaron según la lista 172 alcantarillas tubulares: de las cuales 91 son simples de 0.80 m de diámetro, 33 son dobles y 21 simple de 1.00 m de diámetro. Las alcantarillas celulares registradas, entre ellas sobresalen nueve (9) alcantarillas simples de 1.0m x 1.0 m.

Se identificaron 106 puentes en el listado, algunos no están en el plano y otros del plano no están en la lista. De los cuales 76 puentes tienen menos de 14 m de luz, aumentando el rango, se observa que

84 tienen menos de 30 m de luz y solo 22 mayores a 30 m de luz; en total 9 puentes de más de 50 m de luz.

En los planos hay algunas obras que no están en el listado y también ocurre al revés.

Se tiene además que algunos datos varían según los datos de campo.

En el caso de la progresiva 267+600 se tiene un puente sobre el río Salado, y el cartel de obra indica que tiene 85 m y no 90 m como indica la lista y los planos.

8.2 Inconvenientes o Dificultades

Para la evaluación hidráulica de las obras, se cuenta con un problema muy importante que es la falta de información, no hay topografía transversal, no hay de detalle de las obras de arte, no hay secciones de los principales cauces.

No está indicada la cota de fondo de las obras, de las alcantarillas, se asume una tapada de 0.60 m y posteriormente según la dimensión se tiene la cota de fondo, no obstante dado el nivel de taponamiento de las mismas, los cómputos de la obra debe incluir limpieza vegetal y de sedimentos del escurrimiento superficial de las obras,

Se suma a ello, que para los cauces principales, con puentes de más de 26 m o de 39 m tampoco se tiene la sección del cauce, ni siquiera la cota de fondo de proyecto de los puentes, para poder estimar una profundidad y una sección.

No hay datos de las secciones de los principales cursos de agua.

Las rutas en los tramos bajos ocasionan el denominado efecto terraplén, por la sobreelevación que tiene sobre el terreno natural. Es por ello, que muchos de los escurrimientos naturales son retenidos y debe garantizarse el mismo por medio de obras de paso y favorecerlo con zanjas de drenaje, tanto aguas arriba como aguas abajo, para asegurar la entrada y la salida de las aguas.

Los principales problemas detectados de las obras durante el recorrido de campo, es la falta de mantenimiento, limpieza de los accesos y salida, en los bordes de los muros de ala y falta realizar una remoción de la vegetación en el área húmeda de los cauces.

8.3 Parámetros para el cálculo hidráulico

En el caso de disponer de información, básicamente de topografía para poder modelar los cauces, se discutió sobre los coeficientes de escorrentía a ser utilizados, porque se observó una rugosidad muy elevada, por la falta de limpieza y mantenimiento, que disminuye la capacidad hidráulica de las obras.

Sin embargo, ante la falta de información se tiene que diseñar con flujo crítico, sin poder utilizar Manning para estimar la capacidad de las obras.

En el caso del flujo crítico, se aplica el cálculo considerando un borde libre del 10 % y un borde libre de 25 %, para alturas estimadas según el ancho de las obras y el recorrido de campo.

8.4 Metodología – Cálculo de caudal para flujo crítico

Para una primera estimación las obras se diseñan con flujo crítico a flujo libre, para un periodo de retorno definido, y se verifica su comportamiento por diferentes situaciones de borde libre.

A flujo libre, el caudal crítico se calcula por las siguientes expresiones:

$$Q_c = 1,425 \times D^{2.5} \quad (\text{Alcantarillas Tubulares})$$

$$Q_c = 1,705 \times B^{2.5} \quad (\text{Alcantarillas Celulares Cuadradas})$$

En el caso del borde libre, se reduce la altura proporcionalmente, aún para las tubulares, considerando el bajo caudal no se realizó ningún ajuste adicional a sección parcialmente llena.

Si se tiene, por ejemplo, una alcantarilla celular de 1,5 m x 1,5 m, en la tabla, la columna denominada BL =10 % indica el caudal que podría pasar dejando un borde libre de 10 %, en este caso 0.15 m; por lo tanto, con una altura de agua de 1.35 m con flujo crítico, ($H = 1,5 \times 0,9$). En el caso de la columna denominada BL=25 %, es el caudal crítico dejando un borde libre de 25 %, en este caso 0.375 m; la altura de la lámina de agua a flujo crítico sería 1.125 m ($H = 1,5 \times 0,75$),.

Cuando se tengan las secciones transversales de los cauces y la pendiente hidráulica, se deberá estimar un coeficiente de Manning para la situación actual y otro para la de proyecto, a fin de analizar la capacidad actual de las obras y la capacidad durante la ejecución del contrato tipo CREMA.

8.5 Capacidad teórica de Obras existentes

Según la metodología descrita, de calcular el caudal por medio de flujo crítico, se tiene que para los puentes pequeños de 6.0 m y 6.5 se ha tomado una altura de 1.5 m, para los puentes de 13 m se ha tomado una altura de 2.0 m; para los puentes entre 26 y 40 m se ha tomado una altura de 2,5 m; y así se ha ido incrementando la altura, algunos puentes según las fotos se han estimado alturas de 4 y hasta 5 metros, y se verificado para las menores alturas, y se ha mantenido alturas consistentes con el tamaño de los puentes.

Este es uno de los primeros pasos a realizar para el Proyecto Ejecutivo, verificar las secciones y alturas libres de los puentes.

Se presenta el resultado de la verificación para flujo lleno, para borde libre del 10 % de la altura y para el borde libre del 25 % de la altura. No se ha calculado ninguna obra como sumergida o trabajando a presión, ni a flujo lleno.

Las obras se identifican como AT para las alcantarillas tubulares, AC las alcantarillas celulares y la tercera letra S, D, T o C, corresponde a si son simples, dobles, triples o cuádruples, respectivamente.

Los puentes se identifican por el ancho y la altura estimada conforme de describió anteriormente.

Tabla 10. Capacidad hidráulica de las obras de arte existentes

Progresiva	Distancia entre obras	Flujo lleno	Capacidad BL 10 %	Capacidad BL 25 %	Tipo	Dimensión Ancho	Altura H (m)
51+130		1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
51+340	210	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
54+835	3.495	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
56+710	1.875	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
57+600	890	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
57+850	250	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
58+220	370	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
58+550	330	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
59+600	1.050	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
61+340	1.740	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
62+188	848	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
63+180	992	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
63+670	490	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
64+350	680	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
66+310	1.960	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
67+650	1.340	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
69+950	2.300	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
70+485	535	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
72+570	2.085	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
74+210	1.640	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
76+150	1.940	4,28	3,29	2,08	ATT	1,0	
76+180	30	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
76+790	610	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
78+098	1.308	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
78+507	409	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
80+225	1.718	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
82+400	2.175	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
84+250	1.850	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
86+000	1.750	4,28	3,29	2,08	ATT	1,0	
87+150	1.150	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
88+250	1.100	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
92+725	4.475	5,70	4,38	2,78	ATC	1,0	
95+500	2.775	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
98+850	3.350	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
99+650	800	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
100+600	950	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
100+610	10	4,28	3,29	2,08	ATT	1,0	
101+450	840	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
102+785	1.335	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	

Progresiva	Distancia entre obras	Flujo lleno	Capacidad BL 10 %	Capacidad BL 25 %	Tipo	Dimensión Ancho	Altura H (m)
103+400	615	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
103+740	340	2,85	2,19	1,39	ATD	1,0	
104+080	340	2,85	2,19	1,39	ATD	1,0	
104+690	610	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
104+755	65	4,28	3,29	2,08	ATT	1,0	
106+370	1.615	4,28	3,29	2,08	ATT	1,0	
107+350	980	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
107+990	640	6,74	5,18	3,29	ATT	1,2	
108+050	60	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
108+810	760	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
110+100	1.290	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
110+480	380	4,28	3,29	2,08	ATT	1,0	
110+750	270	4,28	3,29	2,08	ATT	1,0	
113+850	3.100	4,28	3,29	2,08	ATT	1,0	
114+670	820	4,28	3,29	2,08	ATT	1,0	
115+105	435	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
116+176	1.071	688,35	688,35	523,65	Puente	91,00	3,00
116+646	470	53,53	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
117+625	979	2,85	2,19	1,39	ATD	1,0	
118+150	525	4,28	3,29	2,08	ATT	1,0	
118+440	290	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
119+110	670	4,28	3,29	2,08	ATT	1,0	
120+112	1.002	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
121+950	1.838	2,45	1,88	1,19	ATT	0,8	
122+950	1.000	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
123+450	500	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
124+800	1.350	2,45	1,88	1,19	ATT	0,8	
125+850	1.050	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
127+250	1.400	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
127+471	221	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
129+573	2.102	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
130+100	527	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
130+550	450	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
131+245	695	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
132+650	1.405	1,71	1,31	0,83	ACS	1,00	
133+600	950	0,98	0,75	0,48	ACS	0,80	
134+720	1.120	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
134+850	130	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
135+150	300	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
137+450	2.300	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
138+242	792	2,45	1,88	1,19	ATT	0,8	

Progresiva	Distancia entre obras	Flujo lleno	Capacidad BL 10 %	Capacidad BL 25 %	Tipo	Dimensión Ancho	Altura H (m)
138+556	314	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
139+650	1.094	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
139+830	180	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
140+350	520	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
141+160	810	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
142+054	894	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
144+010	1.956	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
144+850	840	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
145+550	700	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
146+650	1.100	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
147+450	800	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
148+520	1.070	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
150+450	1.930	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
152+752	2.302	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
154+419	1.667	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
155+153	734	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
156+320	1.167	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
157+385	1.065	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
158+760	1.375	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
159+630	870	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
160+320	690	2,45	1,88	1,19	ATT	0,8	
160+820	500	2,45	1,88	1,19	ATT	0,8	
162+120	1.300	2,45	1,88	1,19	ATT	0,8	
162+225	105	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
163+558	1.333	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
164+223	665	575,86	491,68	374,03	Puente	65,00	3,00
167+705	3.482	2,45	1,88	1,19	ATT	0,8	
168+337	632	125,38	107,05	81,44	Puente	26,00	2,00
168+705	368	0,40	0,31	0,19	ATS	0,6	
169+008	303	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
169+892	884	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
170+308	416	175,23	149,61	113,82	Puente	26,00	2,50
170+700	392	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
171+500	800	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
172+490	990	175,23	149,61	113,82	Puente	26,00	2,50
172+681	191	460,69	393,34	299,23	Puente	52,00	3,00
172+980	299	262,84	224,42	170,72	Puente	39,00	2,50
175+548	2.568	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
175+650	102	23,49	20,06	15,26	Puente	7,50	1,50
177+138	1.488	26,62	22,73	17,29	Puente	8,50	1,50
178+522	1.384	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	

Progresiva	Distancia entre obras	Flujo lleno	Capacidad BL 10 %	Capacidad BL 25 %	Tipo	Dimensión Ancho	Altura H (m)
179+100	578	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
181+765	2.665	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
183+017	1.252	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
183+749	732	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
185+708	1.959	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
186+700	992	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
187+238	538	20,36	17,38	13,22			
189+735	2.497	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
190+950	1.215	2,45	1,88	1,19	ATT	0,8	
191+223	273	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
192+035	812	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
192+645	610	2,45	1,88	1,19	ATT	0,8	
192+892	247	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
194+397	1.505	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
195+550	1.153	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
196+171	621	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
197+228	1.057	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
198+736	1.508	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
200+289	1.553	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
200+791	502	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
201+234	443	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
201+700	466	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
205+494	3.794	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
206+692	1.198	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
207+764	1.072	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
208+732	968	991,25	846,34	643,84	Puente	52,00	5,00
209+935	1.203	934,06	797,52	606,69	Puente	49,00	5,00
210+060	125	1505,94	1285,79	978,13	Puente	79,00	5,00
211+838	1.778	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
212+838	1.000	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
213+627	789	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
214+286	659	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
215+108	822	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
215+573	465	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
223+447	7.874	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
224+214	767	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
225+429	1.215	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
226+315	886	125,38	107,05	81,44	Puente	26,00	2,00
227+454	1.139	18,79	16,05	12,21	Puente	6,00	1,50
229+130	1.676	18,79	16,05	12,21	Puente	6,00	1,50
232+431	3.301	18,79	16,05	12,21	Puente	6,00	1,50

Progresiva	Distancia entre obras	Flujo lleno	Capacidad BL 10 %	Capacidad BL 25 %	Tipo	Dimensión Ancho	Altura H (m)
234+192	1.761	62,69	53,53	40,72	Puente	13,00	2,00
235+329	1.137	18,79	16,05	12,21	Puente	6,00	1,50
236+637	1.308	18,79	16,05	12,21	Puente	6,00	1,50
237+220	583	18,79	16,05	12,21	Puente	6,00	1,50
240+131	2.911	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
241+131	1.000	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
248+256	7.125	691,04	590,02	448,84	Puente	78,00	3,00
249+824	1.568	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
251+830	2.006	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
254+500	2.670	5,12	3,93	2,49	ACT	1,00	
255+650	1.150	3,41	2,62	1,66	ACD	1,00	
255+705	55	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
255+835	130	14,10	10,83	6,87	ACT	1,50	
256+035	200	460,69	393,34	299,23	Puente	52,00	3,00
256+235	200	14,10	10,83	6,87	ACT	1,50	
257+094	859	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
257+898	804	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
258+955	1.057	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
259+908	953	14,10	10,83	6,87	ACT	1,50	
261+994	2.086	14,10	10,83	6,87	ACT	1,50	
262+880	886	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
263+983	1.103	125,38	107,05	81,44	Puente	26,00	2,00
266+531	2.548	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
267+600	1.069	1227,60	1048,14	797,35	Puente	90,00	4,00
270+900	3.300	57,87	49,41	37,59	Puente	12,00	2,00
279+700	8.800	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
282+050	2.350	354,38	302,57	230,18	Puente	40,00	3,00
282+200	150	57,87	49,41	37,59	Puente	12,00	2,00
283+020	820	269,58	230,18	175,10	Puente	40,00	2,50
284+300	1.280	269,58	230,18	175,10	Puente	40,00	2,50
287+900	3.600	14,10	10,83	6,87	ACT	1,50	
289+900	2.000	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
294+800	4.900	269,58	230,18	175,10	Puente	40,00	2,50
302+300	7.500	269,58	230,18	175,10	Puente	40,00	2,50
302+380	80	269,58	230,18	175,10	Puente	40,00	2,50
303+590	1.210	28,93	24,70	18,79	Puente	6,00	2,00
316+050	12.460	269,58	230,18	175,10	Puente	40,00	2,50
317+820	1.770	28,93	24,70	18,79	Puente	6,00	2,00
323+530	5.710	886,60	756,99	575,86	Puente	65,00	4,00
324+120	590	38,58	32,94	25,06	Puente	8,00	2,00
324+430	310	18,79	16,05	12,21	Puente	6,00	1,50

Progresiva	Distancia entre obras	Flujo lleno	Capacidad BL 10 %	Capacidad BL 25 %	Tipo	Dimensión Ancho	Altura H (m)
328+700	4.270	18,79	16,05	12,21			
330+100	1.400	18,79	16,05	12,21	Puente	6,00	1,50
331+310	1.210	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
332+920	1.610	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
333+400	480	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
335+050	1.650	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
335+550	500	2,85	2,19	1,39	ATD	1,0	
337+200	1.650	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
338+250	1.050	20,36	17,38	13,22	Puente	6,50	1,50
339+000	750	345,52	295,01	224,42	Puente	39,00	3,00
339+800	800	125,38	107,05	81,44	Puente	26,00	2,00
339+850	50	354,38	302,57	230,18	Puente	40,00	3,00
339+950	100	407,53	347,96	264,70	Puente	46,00	3,00
341+070	1.120	31,35	26,76	20,36	Puente	6,50	2,00
344+400	3.330	31,35	26,76	20,36	Puente	6,50	2,00
346+300	1.900	125,38	107,05	81,44	Puente	26,00	2,00
347+060	760	125,38	107,05	81,44	Puente	26,00	2,00
349+100	2.040	31,35	26,76	20,36	Puente	6,50	2,00
352+300	3.200	31,35	26,76	20,36	Puente	6,50	2,00
355+400	3.100	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
360+450	5.050	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
362+300	1.850	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
367+800	5.500	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
369+700	1.900	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
371+100	1.400	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
371+420	320	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
374+870	3.450	3,41	2,62	1,66	ACD	1,00	
375+520	650	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
377+520	2.000	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
379+150	1.630	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
380+720	1.570	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
382+650	1.930	31,35	26,76	20,36	Puente	6,50	2,00
385+570	2.920	31,35	26,76	20,36	Puente	6,50	2,00
396+070	10.500	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
398+400	2.330	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
409+350	10.950	1,63	1,25	0,79	ATD	0,8	
409+400	50	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
409+660	260	14,10	10,83	6,87	ACT	1,50	
409+950	290	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
410+500	550	14,10	10,83	6,87	ACT	1,50	

Progresiva	Distancia entre obras	Flujo lleno	Capacidad BL 10 %	Capacidad BL 25 %	Tipo	Dimensión Ancho	Altura H (m)
410+600	100	0,82	0,63	0,40			
410+750	150	0,82	0,63	0,40			
413+700	2.950	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
414+700	1.000	19,29	14,82	9,40	ACD	2,00	
420+600	5.900	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
422+180	1.580	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
427+600	5.420	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
428+200	600	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
429+800	1.600	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
431+600	1.800	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
435+700	4.100	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
437+000	1.300	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
438+300	1.300	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
447+000	8.700	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
473+470	26.470	390,75	333,62	253,80	Puente	35,00	3,50
474+300	830	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
480+500	6.200	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
481+120	620	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
482+220	1.100	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
483+840	1.620	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
485+600	1.760	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
486+020	420	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
487+540	1.520	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
489+300	1.760	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
490+300	1.000	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
491+200	900	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
494+900	3.700	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
498+700	3.800	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
499+740	1.040	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
502+020	2.280	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
503+920	1.900	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
506+300	2.380	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
507+480	1.180	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
508+800	1.320	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	

Progresiva	Distancia entre obras	Flujo lleno	Capacidad BL 10 %	Capacidad BL 25 %	Tipo	Dimensión Ancho	Altura H (m)
509+800	1.000	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
511+800	2.000	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
512+300	500	1,43	1,10	0,69	ATS	1,0	
513+900	1.600	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
516+100	2.200	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
518+300	2.200	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
521+500	3.200	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	
523+040	1.540	0,82	0,63	0,40	ATS	0,8	

9 ANÁLISIS Y OBRAS PROPUESTAS

Una vez realizados los cálculos hidrológicos e hidráulicos, se comparan los caudales estimados por trechos con la capacidad de las obras existentes en dicho trecho.

9.1 Verificación de la capacidad de las obras existentes por trechos

Se analiza el cumplimiento de capacidad hídrica teórica de las obras para los requerimientos de caudal de la zona de drenaje; la verificación más estricta es la comparación entre el caudal para un periodo de retorno de 200 años y un borde libre de 25 %, pero también se presenta cuando es el cumplimiento es para TR de 200 años y borde libre de 10 %, o para TR de 100 años y un borde libre de 25 %.

A continuación se presenta el resultado de dicha comparación.

Tabla 11. Verificación de la capacidad hidráulica de las Obras comparada con los requerimientos de drenaje

Descripción	Sub cuencas	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Q-HTU (m3/s)			Suma de capacidades (m3/s)			CUMPLE O NO CUMPLE	OBS
				HTU 100 años	HTU 150 años	HTU 200 años	Flujo lleno	Capacidad BL 10 %	Capacidad BL 25 %		
	1	50+000	62+000	149,7	166,4	179,2	10,8	8,3	5,3	NO	
	2	62+000	77+780	49,6	55,0	59,1	17,3	13,3	8,4	NO	
	3	77+780	85+200	44,5	49,5	53,3	86,3	73,4	55,5	Cumple	
	4	85+200	86+900	62,9	69,8	75,1	4,3	3,3	2,1	NO	
	5	86+900	97+920	85,1	94,6	101,8	28,5	23,6	17,2	NO	
	6	97+920	107+920	102,1	113,4	122,0	27,3	21,0	13,3	NO	
	7	107+920	113+220	221,1	245,9	264,8	19,4	14,9	9,4	NO	
Aguaray Guazu	8	113+220	128+460	422,2	467,6	505,0	918,6	890,1	674,1	Cumple	
	9	128+460	145+340	96,3	107,2	115,5	82,9	68,9	50,3	NO	
	10	145+340	154+520	25,7	28,5	30,7	30,1	24,9	18,0	NO	
No hay cuenca		154+520	162.780	25,7	28,5	30,7	106,7	89,1	65,5	Cumple	Al sumar las obras del siguiente tramo que no tiene cuenca
Rio Negro	11	162+780	180+200	563,4	623,7	669,4	1.917,6	1.636,5	1.244,0	Cumple	
	12	180+200	184+900	15,4	17,2	18,5	41,5	35,4	26,8	Cumple	
	13	184+900	189+120	38,0	42,3	45,6	41,5	35,4	26,8	NO	
	14	189+120	190+340	15,5	17,4	18,8	20,4	17,4	13,2	Cumple	Verifican con BL 10 % para TR de 150 años
	15	190+340	197+060	99,8	111,4	120,3	150,7	128,1	96,8	Cumple	Verifican con BL 10 % para TR de 200 años
	16	197+060	199+180	82,9	92,3	99,5	83,1	70,9	53,9	NO	Verifican a flujo lleno para TR de 100 años, trabaja en conjunto con la siguiente cuenca
	17	199+180	203+340	64,7	72,0	77,5	166,1	141,8	107,9	Cumple	
Rio Montelindo Sur	18	203+340	210+450	258,9	287,0	308,2	2.028,7	1.732,2	1.322,7	Cumple	

Descripción	Sub cuencas	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Q-HTU (m3/s)			Suma de capacidades (m3/s)			CUMPLE O NO CUMPLE	OBS
				HTU 100 años	HTU 150 años	HTU 200 años	Flujo Lleno	Capacidad BL 10 %	Capacidad BL 25 %		
				1.057,0	1.172,5	1.259,1	2.440,0	2.083,3	1.584,8	Cumple	
Rio Montelindo Norte	19	210+450	211+460	1.057,0	1.172,5	1.260,1	1.505,9	1.285,8	978,1	Cumple	Para BL de 10 % y TR de 200 años. Además, las obras de las subcuencas 18 y 19 trabajan en conjunto.
	20	211+460	223+220	77,7	86,2	92,7	164,5	140,4	106,8	Cumple	
	21	233+220	233+360	85,3	94,9	102,3	285,2	243,5	185,2	Cumple	
	22	233+360	246+800	72,8	81,1	87,4	159,8	136,4	103,8	Cumple	
Pirahu	23	246+800	251+870	198,7	220,3	236,6	731,8	624,8	475,3	Cumple	
	24	251+870	264+300	113,6	126,5	136,2	715,3	604,9	453,5	Cumple	
Rio Salado	25	264+300	271+860	224,4	248,8	267,3	1.305,8	1.114,9	848,2	Cumple	
	26	271+860	281+480	96,9	108,2	116,8	0,8	0,6	0,4	NO	
	27	281+480	297+630	170,8	190,0	204,6	1.235,9	1.054,0	800,3	Cumple	
	28	297+630	305+100	231,3	256,6	275,8	568,1	485,1	369,0	Cumple	
	29	305+100	305+740	117,5	131,0	141,2	269,6	230,2	175,1	Cumple	
Rio Verde	30	305+740	326+500	554,1	613,0	657,6	972,9	830,7	631,9	Cumple	Verifican con BL 10 % para TR de 200 años, o con BL 25 % para TR de 100 años
lateral San Carlos	31	326+500	338+700	77,6	86,3	92,9	122,7	104,4	79,1	Cumple	Verifican con BL 10 % para TR de 200 años, o con BL 25 % para TR de 100 años
Riacho San Carlos	32	338+700	342+760	653,0	723,9	777,6	1.284,5	1.096,7	834,3	Cumple	
	33	342+760	352+600	65,8	73,0	78,5	344,8	294,4	224,0	Cumple	
	34	352+600	357+640	34,4	38,2	41,2	0,8	0,6	0,4	NO	A partir de aquí faltan obras!
	35	357+640	368+100	75,8	84,3	90,8	2,4	1,9	1,2	NO	
	36	368+100	374+550	438,4	487,2	524,3	2,4	1,9	1,2	NO	

Descripción	Sub cuencas	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Q-HTU (m3/s)			Suma de capacidades (m3/s)			CUMPLE O NO CUMPLE	OBS
				HTU 100 años	HTU 150 años	HTU 200 años	Flujo lleno	Capacidad BL 10 %	Capacidad BL 25 %		
	37	374+550	403+910	130,1	159,6	183,5	72,6	61,2	45,6	NO	
Riacho González Sur	38	403+910	411+480	263,4	334,7	393,4	33,1	25,4	16,1	NO	
Riacho González Norte	39	411+500	416+600	215,8	274,2	322,2	20,1	15,4	9,8	NO	
	40	416+600	419+900	9,7	11,7	13,3	0,8	0,6	0,4	NO	
	41	419+900	424+000	36,3	44,1	50,4	0,8	0,6	0,4	NO	
	42	424+000	441+040	91,5	111,6	128,0	5,5	4,2	2,7	NO	
No hay cuenca		441+040	452+300								
	43	452+300	464+200	84,9	103,6	118,7	0,8	0,6	0,4	NO	
	44	464+200	470+860	39,9	48,5	55,5	0,8	0,6	0,4	NO	
	45	470+860	477+400	183,1	226,3	261,4	390,7	333,6	253,8	Cumple	Verifica para BL 10 % y TR de 200 años, o para BL de 25 % y TR de 150 años
	46	477+400	480+600	36,1	43,8	50,0	1,4	1,1	0,7	NO	
	47	480+600	488+660	63,3	77,1	88,1	4,3	3,3	2,1	NO	
	48	488+660	489+100	92,9	114,0	131,0	4,9	3,8	2,4	NO	
	49	489+100	509+400	142,9	178,9	208,3	9,6	7,4	4,7	NO	
	50	509+400	518+500	211,1	265,1	309,3	6,1	4,7	3,0	NO	
No hay cuenca		518+500	525+000								

9.2 Obras propuestas

A partir del análisis anterior, se presentan las obras propuestas por tramos, que responden a las necesidades de escurrimiento, también para evitar el efecto terraplén y para disminuir la vulnerabilidad de las obras al cambio climático.

Se analiza además de las necesidades de escurrimiento, la distancia entre las obras, que según el modelo digital y la experiencia de los pobladores del Chaco Central, no debería sobrepasar 2.000 metros. Acorde con experiencia de otros pobladores, se recomienda que el escurrimiento pueda realizarse cada 800 m, para evitar así el efecto terraplén de la ruta, de acumulación de las aguas por falta de obras de paso, aguas arriba, en este caso al oeste.

Estos aspectos deberán ser definidos en el diseño final de ingeniería.

A continuación se presentan las obras propuestas, en los casos que los requerimientos de caudal no sean cumplidos por las obras de arte existentes, o la distancia entre las obras no permita el paso de las aguas de escurrimiento difuso que se ve afectado por el efecto terraplén de la ruta.

Se presentan los casos o alternativas denominados con letras: A, B o C, que indican diferentes opciones. El caso denominado con la letra A es la opción más recomendada, dándole prioridad a las alcantarillas por una cuestión de precios, facilidad de construcción y porque evitarían un probable o excesivo aumento de la cota del terraplén.

No obstante esta situación también deberá ser evaluada en el diseño ejecutivo de las obras.

Tabla 12. Obras propuestas por subcuencas

Descripción	Sub cuencas	Progresiva Inicial	Progresiva Final	CUMPLE O NO CUMPLE	OBRAS PROPUESTAS				OBS
					Caso	#	TIPO	Distancia Promedio	
	1	50+000	62+000	NO	A	6,00	ACT 2,0 x 2,0	1.200	para alturas mayores a 2 m, con contrato CREMA, se toma BL de 10 %
						5,00	ACD 1,5 x 1,5	1.200	
					B	9,00	ACT 2,0 x 2,0	1.200	Es probable que no esté en el tramo pero debe considerarse verificar una obra antes de 50+000
						2,00	ACD 1,5 x 1,5	1.200	
					C	1,00	Puente de 26 m		Al inicio del tramo, Porg. 49+800
						10,00	ACD 1,5 x 1,5	1.200	reemplazar las 10 AT por ACD dobles de 1,5 X 1,5
					D	26,00	ACT 1,5 x 1,5	460	
	2	62+000	77+780	NO	A	2,00	ACT 2,0 x 2,0	1.200	para alturas mayores a 2 m, con contrato CREMA, se toma BL de 10 %, aprox 63+800
						2,00	ACD 1,5 x 1,5	1.200	
					B	1,00	Puente de 15 m	1.500	Aprox. Prog. 63+800
						11,00	ACS 1,0 x 1,0	1.500	reemplazar las 10 AT por ACS simples de 1,0 X 1,0
					C	1,00	Puente de 12 m	1.500	
						10,00	ACS 1,5 x 1,5	1.500	
					D	10,00	ACD 1,5 x 1,5	1.500	
	3	77+780	85+200	Cumple					los puentes cubren las necesidad
	4	85+200	86+900	NO	A	3,00	ACT 2,0 x 2,0		para alturas mayores a 2 m, con contrato CREMA, se toma BL de 10 %, aprox 63+800
						1,00	ACS 1,0 x 1,0		
					B	1,00	Puente de 20 m		en el lugar de la AT colocar el puente

					OBRAS PROPUESTAS				OBS
Descripción	Sub cuencas	Progresiva Inicial	Progresiva Final	CUMPLE O NO CUMPLE	Caso	#	TIPO	Distancia Promedio	
	5	86+900	97+920	NO	A	4,00	ACT 2,0 x 2,0		para alturas mayores a 2 m, con contrato CREMA, se toma BL de 10 %, aprox 63+800
						4,00	ACS 1,0 x 1,0	2.000	
					B	1,00	Puente de 20 m		cerca del puente existente
						7,00	ACS 1,5 x 1,5	1.500	agregar 7 ACS 1,5 x 1,5
	6	97+920	107+920	NO	A	4,00	ACT 2,0 x 2,0		para alturas mayores a 2 m, con contrato CREMA, se toma BL de 10 %, aprox 63+800
						4,00	ACD 1,5 x 1,5		
					B	2,00	Puente de 20 m		Dos puentes, aprox. en las Prog. 103+900 Y 104+200
					C	1,00	Puente de 20 m		Puente aprox. Progr. 103+900 y reemplazar las 10 AT por AC
						7,00	ACD 1,5 x 1,5		
						4,00	ACS 1,5 x 1,5		
	7	107+920	113+220	NO	A	8,00	ACT 2,0 x 2,0		para alturas mayores a 2 m, con contrato CREMA, se toma BL de 10 %, aprox 63+800
						8,00	ACT 1,5 x 1,5		
					B	4,00	Puente de 20 m	900	Aprox entre 110+600 y 110+900
						6,00	ACS 1,5 x 1,5	600	cambiar las AT por ACS 1,5 x 1,5
Aguaray Guazu	8	113+220	128+460	Cumple					cumple el puente solo y las otras son obras de paso
	9	128+460	145+340	NO	A	10,00	ACD 1,5 x 1,5		mantener los 3 puentes, cambiar las AT por ACD y ACS
						6,00	ACS 1,5 x 1,5		
	10	145+340	154+520	NO	A	6,00	ACS 1,5 x 1,5		cambiar las 6 primeras AT por AC
				Cumple					
Rio Negro	11	162+780	180+200	Cumple					

					OBRAS PROPUESTAS				OBS
Descripción	Sub cuencas	Progresiva Inicial	Progresiva Final	CUMPLE O NO CUMPLE	Caso	#	TIPO	Distancia Promedio	
	12	180+200	184+900	Cumple					
	13	184+900	189+120	NO	A	5,00	ACT 1,5 x 1,5		
					B	2,00	Puente de 6 m		agregar dos puentes
	14	189+120	190+340	Cumple	A	1,00	ACD 1,0 x 1,0		Verifican con BL 10 % para TR de 150 años, agregar 2 ACD
	15	190+340	197+060	Cumple	A	1,00	ACD 1,0 x 1,0		Verifican con BL 10 % para TR de 200 años, agregar 2 ACD
	16	197+060	199+180	NO	A	6,00	ACD 1,5 x 1,5		
					B	3,00	Puente de 6 m		agregar 3 puentes de 6 m que trabajan como aliviaderos
	17	199+180	203+340	Cumple					
Rio Montelindo Sur	18	203+340	210+450	Cumple					
				Cumple					
Rio Montelindo Norte	19	210+450	211+460	NO					cumple para BL 10 % y TR de 200, trabajan en conjunto con las obras de las otras cuencas
	20	211+460	223+220	Cumple					Trabaja en conjunto con las otras cuencas
	21	233+220	233+360	Cumple					
	22	233+360	246+800	Cumple					
Pirahu	23	246+800	251+870	Cumple					
	24	251+870	264+300	Cumple					
Rio Salado	25	264+300	271+860	Cumple					
	26	271+860	281+480	NO					el caudal de esta subcuenca llega a la anterior antes de llegar a la ruta, cumple
	27	281+480	297+630	Cumple					
	28	297+630	305+100	Cumple					

					OBRAS PROPUESTAS				OBS
Descripción	Sub cuencas	Progresiva Inicial	Progresiva Final	CUMPLE O NO CUMPLE	Caso	#	TIPO	Distancia Promedio	
	29	305+100	305+740	Cumple					
Rio Verde	30	305+740	326+500	Cumple					Verifican con BL 10 % para TR de 200 años, o con BL 25 % para TR de 100 años
lateral San Carlos	31	326+500	338+700	Cumple					Verifican con BL 10 % para TR de 200 años, o con BL 25 % para TR de 100 años
Riacho San Carlos	32	338+700	342+760	Cumple					
	33	342+760	352+600	Cumple					
									A partir de aquí faltan obras!
	34	352+600	357+640	NO	A	5,00	ACT 1,5 x 1,5	1.000	Aprox. Prog. 353+600
					B	1,00	Puentes de 12 m		Aprox. Prog. 353+600
						1,00	ACD 1,5 x 1,5		
					C	3,00	Puentes de 6 m		3 puentes de 6 m aprox. Prog. 353+600, 355+900 y 356+800
						1,00	ACD 1,5 x 1,5		ACD aprox. Prog. 357+100
	35	357+640	368+100	NO	A	3,00	ACT 2,0 x 2,0		
						3,00	ACT 1,5 x 1,5		
					B	2,00	Puente 12 m		
						1,00	Puentes de 6 m		
						1,00	ACD 1,5 x 1,5		
	36	368+100	374+550	NO	A	20,00	ACT 2,0 x 2,0		
						5,00	ACD 1,5 x 1,5		
					B	2,00	Puente 40 m		aprox 369+700 y 371+000
						5,00	Puentes de 6 m		

					OBRAS PROPUESTAS				OBS
Descripción	Sub cuencas	Progresiva Inicial	Progresiva Final	CUMPLE O NO CUMPLE	Caso	#	TIPO	Distancia Promedio	
					C	5,00	Puente 26 m		no se observan desniveles como para puentes de 40 m
	37	374+550	403+910	NO	A	6,00	ACT 2,0 x 2,0		
						4,00	ACT 1,5 x 1,5		
					B	2,00	Puente 26 m		se deben reemplazar los dos puentes o ubicar al costado con los canales necesarios
					C	4,00	Puente 12 m		dejar los puentes existentes
Riacho González Sur	38	403+910	411+480	NO	A	15,00	ACT 2,0 x 2,0		
						5,00	ACD 1,5 x 1,5		
					B	1,00	Puente 55 m		aprox 410+250, en caso de tener 3,5 de altura de puente
					C	3,00	Puente 26 m		
						1,00	Puente 20 m		
Riacho González Norte	39	411+500	416+600	NO	A	12,00	ACT 2,0 x 2,0		
						3,00	ACT 1,5 x 1,5		
					B	5,00	Puente 20 m		la traza no esta alta por eso son cortos los puentes
					C	9,00	Puente 12 m		
	40	416+600	419+900	NO	A	1,00	ACT 1,5 x 1,5		
						1,00	ACD 1,5 x 1,5		
					B	1,00	Puente 6 m		
						2,00	ACS 1,0 x 1,0		
	41	419+900	424+000	NO	A	5,00	ACT 1,5 x 1,5		

Descripción	Sub cuencas	Progresiva Inicial	Progresiva Final	CUMPLE O NO CUMPLE	OBRAS PROPUESTAS				OBS
					Caso	#	TIPO	Distancia Promedio	
						1,00	ACD 1,5 x 1,5		
					B	1,00	Puente 12 m		
						1,00	Puente 6 m		
	42	424+000	441+040	NO	A	4,00	ACT 2,0 x 2,0		
						5,00	ACD 1,5 x 1,5		
					B	3,00	Puente 12 m		
						5,00	ACS 1,5 x 1,5	2.000	
No hay cuenca		441+040	452+300			6,00	ACS 1,0 x 1,0	1.800	obras de paso
	43	452+300	464+200	NO	A	4,00	ACT 2,0 x 2,0		
						3,00	ACD 1,5 x 1,5		
					B	10,00	ACT 1,5 x 1,5		
						9,00	ACS 1,5 x 1,5		
					C	3,00	Puente 12 m		
						3,00	ACD 1,0x1,0	600	
	44	464+200	470+860	NO	A	2,00	ACT 2,0 x 2,0		
						2,00	ACS 1,5 x 1,5		
					B	1,00	Puente 12 m		
						1,00	Puente 6 m		
						3,00	ACD 1,0x1,0		
	45	470+860	477+400	Cumple	A	5,00	ACS 1,0 x 1,0	1.000	Verifica para BL 10 % y TR de 200 años, o para BL de 25 % y TR de 100 años, agregar obras de paso
	46	477+400	480+600	NO	A	2,00	ACT 2,0 x 2,0		
						1,00	ACS 1,0 x 1,0		

					OBRAS PROPUESTAS				OBS
Descripción	Sub cuencas	Progresiva Inicial	Progresiva Final	CUMPLE O NO CUMPLE	Caso	#	TIPO	Distancia Promedio	
					B	4,00	Puente 6 m		
	47	480+600	488+660	NO	A	3,00	ACT 2,0 x 2,0		
						2,00	ACD 1,5 x 1,5		
						1,00	ACS 1,0 x 1,0		
					B	7,00	Puente 6 m		
	48	488+660	489+100	NO	A	5,00	ACT 2,0 x 2,0		
						3,00	ACS 1,5 x 1,5		
					B	3,00	Puente 12 m		
						2,00	Puente 6 m		
	49	489+100	509+400	NO	A	6,00	ACT 2,0 x 2,0		
						6,00	ACT 1,5 x 1,5		
						2,00	ACS 1,5 x 1,5		
					B	2,00	Puente 12 m		
						2,00	Puente 20 m		
						10,00	ACD 1,0 x 1,0	1.400	
	50	509+400	518+500	NO	A	10,00	ACT 2,0 x 2,0		
						6,00	ACT 1,5 x 1,5		
						3,00	ACS 1,5 x 1,5		
					B	5,00	Puente 20 m		está muy bajo el terraplen por eso son puentes cortos
No hay cuenca		518+500	525+000			6,00	ACD 1,0 x 1,0	1.000	obras de paso

10 CONCLUSIONES

El recorrido de campo demostró que las obras tienen riesgo de colmatación, por las características descritas: un relieve con una pendiente muy baja, cauces no perennes, abanicos aluviales, régimen hidrológico de extremos.

La delimitación de las cuencas, se realiza por medio de los datos SRTM, con una aproximación adecuada, particularmente para la dimensión de las cuencas. Sin embargo, la falta del detalle de los cauces aguas arriba y aguas abajo, así como la altura de los puentes no permiten un diseño ni una verificación satisfactoria.

Con respecto a la hidrología, los eventos extremos más intensos y recurrentes que se espera tener con el cambio climático, podrían estar cubiertos con el incremento del periodo de recurrencia.

Por otro lado, la falta de una topografía de detalle no permitió realizar una verificación hidráulica detallada de las obras, particularmente de los puentes.

11 RECOMENDACIONES

Con respecto a la inclusión del cambio climático en los diseños de ingeniería, se podrían obtener curvas IDF para diferentes escenarios climáticos, lo cual requiere de mayores recursos y plazos.

Los sumideros o bocas de tormenta ubicados en los puentes tienen un diseño muy práctico y permiten drenar el agua de la ruta de manera rápida y eficiente, sin embargo falta mantenimiento de los mismos.



Figura 10. Sumideros de los puentes

Los muros de ala escalonados como los que se observaron en la zona de Pioneros, son muy prácticos para mantener el balance mientras se realiza la limpieza de los taludes, los muros mismos y el canal de acceso a las alcantarillas.



Figura 11. Muros de ala en escalón

Para las obras a ser realizadas para la relocalización potencial de población en zona de influencia, deberían tenerse en cuenta medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad el cambio climático.



Figura 12. Construcción de palafito en las orillas del río Montelindo

Una recomendación para las medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad el cambio climático es la realización de construcciones de palafito o casas elevadas en pilotes, para evitar el efecto negativo de las inundaciones, en este caso en las inmediaciones del río Montelindo, la casa tiene la altura del puente y la ruta, con un acceso a la ruta, para no quedar aislados.

BIBLIOGRAFIA

- Actualización de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de Precipitación en el Paraguay, Trabajo Final de Grado, 2010. Cuevas, L. y Rolón A. Universidad Nacional de Asunción (UNA). 2010.
 - Atlas Climático del Chaco Paraguayo. (2005). Fundación para el Desarrollo Sustentable del Chaco. Recuperado de http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadr177.pdf.
 - Atlas de Políticas Públicas del Paraguay: tendencias y retos de intervención. (2013). Ministerio de Hacienda, Paraguay. Recuperado de <http://www.hacienda.gov.py/web-hacienda/pub021.pdf>.
 - Atlas Geográfico del Chaco Paraguayo. (2009). Informe y 12 mapas temáticos. Red de Inversiones y Exportaciones, Ministerio de Industria y Comercio. Recuperado de <http://www.rediex.gov.py/userfiles/file/Atlas%20Geografico%20Chaco.pdf>
 - Atlas del Gran Chaco Americano, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Argentina y la Cooperación Técnica Alemana (GTZ), en el marco del Proyecto "Manejo Sostenible de los Recursos Naturales en el Chaco Sudamericano".
 - Comisión Trinacional del Pilcomayo. Recuperado de <http://www.pilcomayo.net/>
 - Centro de Estudios para América Latina (CEPAL), 2009. "Estudio de Economía del Cambio Climático en Sudamérica, Análisis Sectorial, Informe Final de Recursos Hídricos del Paraguay".
 - Estudio de Vulnerabilidad e Impacto del Cambio Climático en el Gran Chaco Americano, 2013. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Universidad Nacional de Formosa (Argentina), Universidad de la Cordillera – Fundación la Cordillera (Bolivia), Desarrollo, Participación y Ciudadanía (Paraguay).
- Ponce, Víctor. Sobre el periodo de retorno a ser usado para Diseño! Recuperado de http://ponce.sdsu.edu/periodos_de_retorno_articulo.html.
- Valorizando el agua en un clima y una economía cambiantes en el Gran Chaco Americano. IDRC International Development Research Center. Universidad Nacional de Formosa (Argentina), Universidad de la Cordillera – Fundación la Cordillera (Bolivia), Investigación para el Desarrollo (Paraguay) , en ejecución 2015-17.
 - UNESCO, PHI Paraguay. 1992. DHM–DINAC – "Balance Hídrico Superficial del Paraguay", Memoria Descriptiva, Asunción.
 - Salinización del agua y del suelo en el Chaco central: degradación y desertización. CONACYT, Guyra Paraguay, Informes Sectoriales, 2017.
 - Volumen I, Especificaciones Técnicas Generales para el Diseño de Puentes y Drenajes, Módulo III-B, Diseño de Obras Viales, MOPC.

ANEXOS