172 (ciento setenta y dos

ANEXO 6

DOCUMENTOS ADICIONALES

171 (ciento setenta y uno)

CONTRATISTA TOCSA		FISCALIZACIÓN MOPC
Mayor Eduardo Vera 6.750 c/ Boggiani Tel.:(595 21) 511 967 Email: tocsa@tocsa.com.py	MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES — GOBIERNO NACIONAL CONTRATO S.G. MINISTRO N° 386/2017 OBRAS DE PAVIMENTACIÓN TIPO ASFÁLTICO DE TRAMOS DE CAMINOS VECINALES EN LOS DEPARTAMENTOS DE SAN PEDRO, CANINDEYÚ, CAAZAPÁ, PARAGUARÍ Y ÑEEMBUCÚ. LLAMADO MOPC N° 188/2019	

LIBRO DE OBRA

LOTE 7

Empalme Alberdi - Pilar - San Juan Ñeembucú - Longitud 24+079 km.

Nº 0000078

PARA: Supervisor FIRMA:

DE: Contratista FECHA: 10-08-2021

ASUNTO: Cambio paquete estructural SJÑ

OBRA: Llamado N° 188/2019, Lote N° 7

Por la presente se propone cambiar el paquete estructural de mezclada de 13 cm. de espesor y base granular de e=15 cm por un paquete de base granular estabilizada de e=20 cm entre las progresivas 23+000 y 24+080 comprendidas en la zona urbana de San Juan Ñeembucú donde las condiciones topográficas regular la rasante debido al nivel de construcción de las estructuras. Este cambio se refiere en resultado estructural similar para el pavimento.

RECIBIDO POR: FIRMA:

CARGO: FECHA:

TOCSA

FISCALIZACIÓN — Ic. Sara M. Blanco de Dose, Representante Legal — Ing. Carlos Beltramino, Representante Legal — CONTRATISTA

170 (ciento setenta)

CONTRATISTA TOCSA		FISCALIZACIÓN MOPC
Mayor Eduardo Vera 6.750 c/ Boggiani Tel.:(595 21) 511 967 Email: tocsa@tocsa.com.py	MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES — GOBIERNO NACIONAL CONTRATO S.G. MINISTRO N° 368/2017 OBRAS DE PAVIMENTACIÓN TIPO ASFÁLTICO DE TRAMOS DE CAMINOS VECINALES EN LOS DEPARTAMENTOS DE SAN PEDRO, CANINDEYÚ, CAAZAPÁ, PARAGUARÍ Y ÑEEMBUCÚ. LLAMADO MOPC N° 188/2019	

LIBRO DE OBRA
LOTE 7
Empalme Alberdi - Pilar - San Juan Ñeembucú - Longitud 24+079 km.

Nº 0000083

PARA: Supervisor FIRMA:

DE: Contratista FECHA: 07-10-2021

ASUNTO: Item nº 20 Cordón cuneta y cuneta revestida de Hormigón

OBRA: Llamado 188/2019 Lote 7

Por la presente se propone reducir las cantidades del Item nº 20 Cordón cuneta y cuneta revestida de hormigón de 999,86 m³ a 405,17 m³ a partir del relevamiento realizado en la zona urbana de San Juan Ñeembucú dado que el proyecto propuesto que se encuentra optimo para el escurrimiento de las aguas de lluvia.

RECIBIDO POR: FIRMA:

CARGO: FECHA:

TOCSA

Ic. Sara M. Blanco de Dose — Representante Legal

Ing. Carlos Beltramino — Representante Legal

FISCALIZACIÓN — CONTRATISTA

169 (ciento sesenta y nueve)

CONTRATISTA TOCSA	OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES — GOBIERNO NACIONAL — CONTRATO S.G. MINISTRO N° 300/2017	FISCALIZACIÓN MOPC
Mayor Eduardo Vera 6.750 c/ Boggiani Tel.:(595 21) 511 967 Email: tocsa@tocsa.com.py	OBRAS DE PAVIMENTACIÓN TIPO ASFÁLTICO DE TRAMOS DE CAMINOS VECINALES EN LOS DEPARTAMENTOS DE SAN PEDRO, CANINDEYÚ, CAAZAPÁ, PARAGUARÍ Y ÑEEMBUCÚ. LLAMADO MOPC N° 188/2019	

LIBRO DE OBRA

0000085

LOTE 7

Empalme Alberdi - Pilar - San Juan Ñeembucú - Longitud 24+079 km. Nº

PARA: Supervisor FIRMA:

DE: Contratista FECHA: 19-11-2021

ASUNTO: Cambio Item 35 Empastado

OBRA: Llamado 188/2019 Lote 7

Por la presente se propone el reemplazo del Item nº 35 Empastado por otro Item de obra protección vegetal de taludes. Esta propuesta se presenta en consecuencia al optimo resultado obtenido en la obra anexa (Obra Alberdi-Pilar Tramo Nº 2) tal como se considera en la EIAS; además de la imposibilidad de obtención de tepes en la zona. Se adjunta EIAS.

RECIBIDO POR: FIRMA:

CARGO: FECHA:

TOCSA

FISCALIZACIÓN — Lic. Sara M. Blanco de Dose, Representante Legal — Ing. Carlos Beltramino, Representante Legal — CONTRATISTA

169 (ciento sesenta y ocho)

CONTRATISTA TOCSA	OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES — GOBIERNO NACIONAL — CONTRATO S.G. MINISTRO N° 360/2017	FISCALIZACIÓN MOPC
Mayor Eduardo Vera 6.750 c/ Boggiani Tel.:(595 21) 511 967 Email: tocsa@tocsa.com.py	OBRAS DE PAVIMENTACIÓN TIPO ASFÁLTICO DE TRAMOS DE CAMINOS VECINALES EN LOS DEPARTAMENTOS DE SAN PEDRO, CANINDEYÚ, CAAZAPÁ, PARAGUARÍ Y ÑEEMBUCÚ. LLAMADO MOPC N° 188/2019	

LIBRO DE OBRA
LOTE 7
Empalme Alberdi - Pilar - San Juan Ñeembucú - Longitud 24+079 km.

Nº 0000087

PARA: Supervisor FIRMA:

DE: Contratista FECHA: 06 - 12 - 2021

ASUNTO: Modificación de Cantidades de Obra

OBRA: Llamado 188/2019, lote 7

En relación a lo propuesto en la hoja Nº 78 del Libro de Obra se realizan nuevas mediciones para la modificación de las cantidades de Obra p/ los siguientes ítems:

- Ítem Nº 24 Hacedor en Roca Tipo A
  Cantidad CM Nº1: 43.174,86 m³, Cantidad Nueva: 45.00,76 m³
- Ítem Nº 25 Base Granular
  Cant. CM Nº1: 39.116,88 m³, Cant. Nueva: 39.439,81 m³
- Ítem Nº 26: Riego de Imprimación
  Cant. CM Nº1: 223.834,08 m², Cant. Nueva: 224.500,00 m²
- Ítem Nº 27: Riego de Liga
  Cantidad CM Nº1: 223.876,23 m², Cant. Nueva: 219.601,48 m²
- Ítem Nº Concreto Asfáltico (e=9cm)
  Cant. CM Nº1: 11.193,81 m³, Cant. Nueva: 10.982,96 m³

RECIBIDO POR: FIRMA:

CARGO: FECHA:

FISCALIZACIÓN — TOCSA — CONTRATISTA

Lic. Sara M. Blanco de Dose — Representante Legal

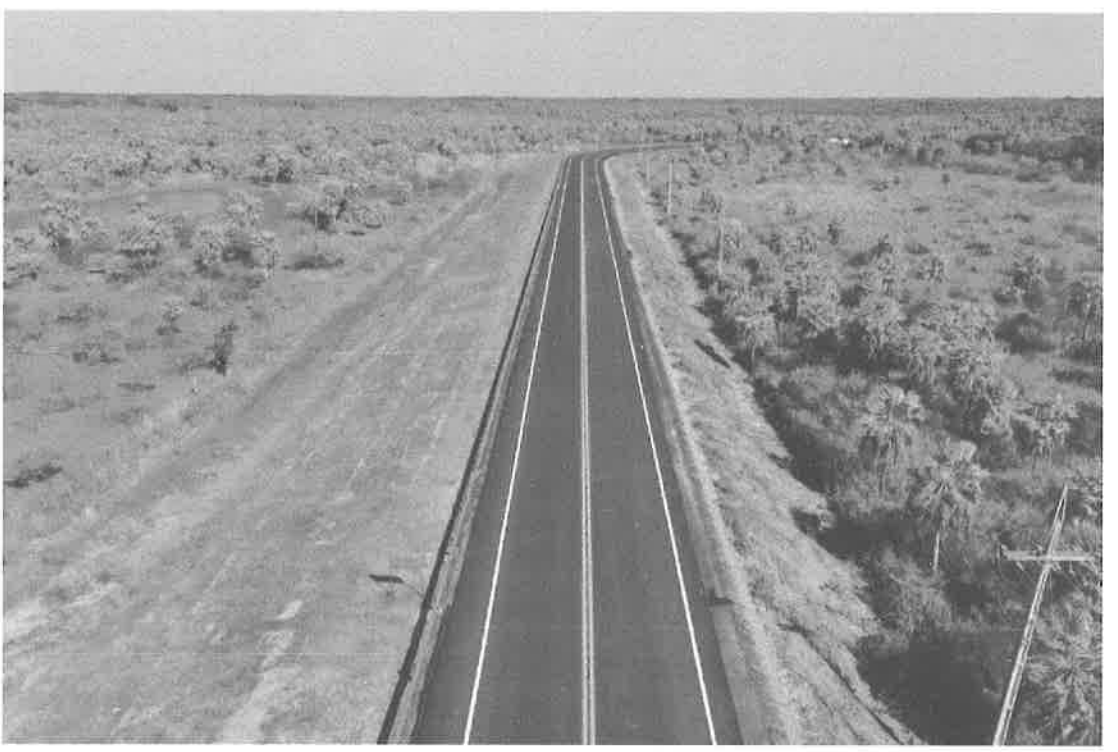
Ing. Carlos Beltramino — Representante Legal

167(ciento sesenta y siete)

TIRSA

ESTUDIO HIDROLÓGICO Y DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO

SAN JUAN DEL ÑEEMBUCÚ



Informe Final

Consultor Responsable: Ing. Alberto Grissetti, MSc.

Julio 2022

Rev.	Descripción	Preparado por	Controlado por	Aprobado por	Fecha
1	Emisión inicial	Ing. Rodrigo Carreras	Ing. Manuel Mazó	Ing. Alberto Grissetti, MSc.	07/07/2022

TOCSA

Lic. Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal

Ing. Carlos Beltramino
Representante Legal

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 3
2. ÁREA DE ESTUDIO 3
3. METODOLOGÍA EMPLEADA 5
3.1. Datos Utilizados 5
3.2. Actividades Realizadas 5
4. HIDROLOGÍA 6
4.1. Características de la cuenca 6
4.1.1. Cálculo del área 6
4.1.2. Cálculo de la Infiltración 11
4.1.3. Tiempo de Concentración 14
4.1.4. Tiempo de Retorno y Precipitación de Diseño 14
4.1.5. Método racional 16
4.1.6. Cálculo del Coeficiente de Escorrentía 17
4.1.7. Hidrograma Unitario Triangular de la SCS 17
4.2. Caudales calculados 20
5. MODELO HIDRÁULICO 21
5.1. Puentes 21
5.1.1. Puente 3+615 21
5.1.2. Puente 4+071 22
5.1.3. Puente 7+620 22
5.1.4. Puente 13+015 23
5.2. Alcantarillas 23
6. Conclusiones 26
7. Anexos 27

TOCSA
Sara M. Blanco de Dose — Representante Legal
Ing. Carlos Beltramino — Representante Legal

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene como objetivo la determinación de los caudales generados en cada cuenca y posterior dimensionamiento de puentes y/o alcantarillas, según corresponda. Para el análisis se utilizan modelos matemáticos de simulación hidrológica e hidráulica. Los cálculos se realizan de acuerdo con el Manual de Carreteras del Paraguay (MOPC, 2019). El estudio se rige además por los criterios establecidos en el Manual de Drenagem de Rodovias, DNIT, Brasil.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en su totalidad en el departamento de Ñeembucú, componiéndose las cuencas por esteros en su totalidad. Se tienen 35 cuencas, para 45 obras de arte, de las cuales 41 son alcantarillas y 4 constituyen puentes existentes. Para mayor detalle, en la Figura 1 se observa una imagen satelital de la zona.

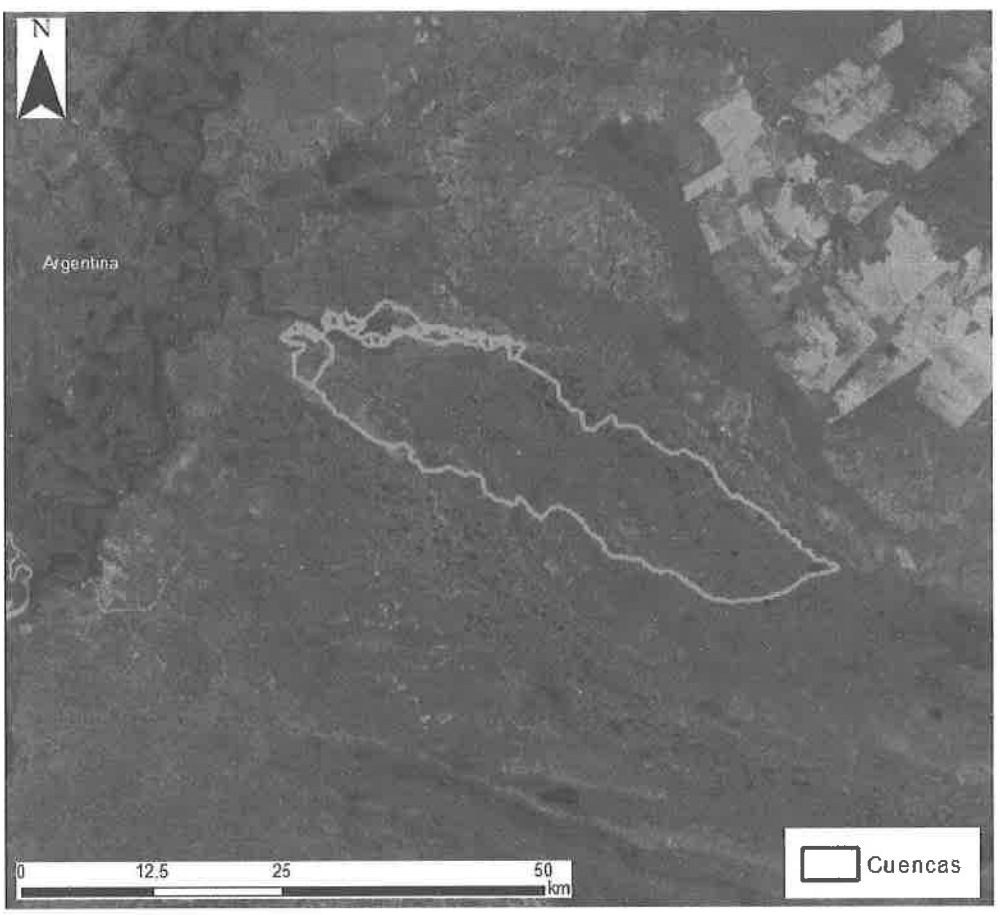


Figura 1. Imagen satelital de las obras de arte.

TDCSA

Lic. Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal

Ing. Carlos Beltramino
Representante Legal

Las coordenadas de ubicación de las obras de arte a verificar y dimensionar, además de las progresivas correspondientes al eje del proyecto, se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de las obras de arte.

N° Obra de arte	Prog.	Tipo	X	Y
1	0+770	Alcantarilla	388040	7050759
2	1+280	Alcantarilla	388547	7050819
3	1+880	Alcantarilla	389143	7050891
4	2+580	Alcantarilla	389827	7050775
5	3+060	Alcantarilla	390290	7050651
6	3+420	Alcantarilla	390641	7050566
7	4+640	Alcantarilla	391538	7051214
8	5+205	Alcantarilla	392085	7051378
9	5+280	Alcantarilla	392146	7051391
10	5+900	Alcantarilla	392720	7051225
11	6+180	Alcantarilla	392967	7051102
12	6+420	Alcantarilla	393170	7051003
13	8+700	Alcantarilla	395296	7050618
14	9+724	Alcantarilla	396308	7050597
15	10+176	Alcantarilla	396704	7050418
16	11+250	Alcantarilla	397718	7050472
17	11+733	Alcantarilla	398198	7050500
18	12+000	Alcantarilla	398447	7050599
19	12+370	Alcantarilla	398782	7050759
20	13+260	Alcantarilla	399527	7051218
21	13+600	Alcantarilla	399821	7051409
22	14+180	Alcantarilla	400380	7051549
23	14+900	Alcantarilla	401120	7051524
24	15+080	Alcantarilla	401249	7051522
25	15+860	Alcantarilla	402033	7051502
26	15+900	Alcantarilla	402091	7051499
27	16+820	Alcantarilla	402936	7051252
28	17+173	Alcantarilla	403221	7051125
29	18+183	Alcantarilla	404226	7050901
30	18+523	Alcantarilla	404557	7050806
31	18+890	Alcantarilla	404914	7050732
32	19+035	Alcantarilla	405056	7050698
33	19+522	Alcantarilla	405525	7050803
34	20+025	Alcantarilla	406015	7050838
35	20+968	Alcantarilla	406882	7050465
36	21+493	Alcantarilla	407370	7050271
37	21+866	Alcantarilla	407737	7050286
38	22+102	Alcantarilla	407939	7050300
39	22+807	Alcantarilla	408613	7050285
40	23+240	Alcantarilla	408971	7050200
41	23+705	Alcantarilla	409364	7049874

N° Obra de arte	Prog.	Tipo	X	Y
42	3+615	Puente	390829	7050523
43	4+071	Puente	391179	7050767
44	7+620	Puente	394276	7050460
45	13+015	Puente	399331	7051093

3. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Datos Utilizados

Los modelos hidrológicos e hidráulicos requieren datos, tanto físicos como temporales, para representar adecuadamente el fenómeno modelado en el sitio de estudio. Se utilizaron los siguientes datos:

- Modelo Digital de Elevación (DEM), del satélite ALOS-PALSAR, con resolución espacial de 12.5m x 12.5m.
- Imágenes satelitales de Google Earth georreferenciadas.
- Mapas digitales de la DGEEC (vías, cauces) producidos en base a las ortofotocartas de 1994, del Servicio Nacional de Catastro, con resolución espacial de 0,30 metros.
- Curvas de nivel cada 10m de las ortofotocartas del vuelo 1994 (CEITE, 1997).
- Curvas IDF desarrollada por la Facultad de Ingeniería de la UNA / DINAC y actualizada al año 2009 por Cuevas-Rolón.
- Mapas de tipo de suelo del PRUT (Programa de Racionalización y uso de la tierra).
- Imágenes Satelitales del año 2022, del satélite LANDSAT 8, con resolución espacial de 30m x 30m.
- Relevamiento topográfico.

3.2. Actividades Realizadas

- Preparación de la cartografía base del área de estudio.
- Delimitación de cuencas. Además de observar el DEM de la zona, se tuvo en cuenta puntos altos que auspician como parteaguas, como línea de árboles, caminos, entre otros, por tratarse de una zona de humedales. También, se definió la red de drenaje y se determinaron los datos geomorfológicos (pendiente, ancho, superficie, etc.).
- Definición del uso y tipo de suelo: Los mapas de uso de suelo se elaboran en base a información digital disponible.
- Cálculo del tiempo de concentración y definición de la precipitación de diseño, según la distribución temporal adoptada.
- Cálculo de caudales con el método HUT, para un tiempo de retorno (por sus siglas, TR) de 25, 50 y 100 años, según corresponda.
- Implementación del software H-Canales para la verificación del puente y HY8, para el dimensionamiento y verificación de alcantarillas.

TUCSA
Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal
Ing. Carlos Beltramino
Representante Legal

4. HIDROLOGÍA

En el presente capítulo se describe brevemente los parámetros empleados para el cálculo de los caudales generados en la cuenca para su posterior estudio hidráulico.

4.1. Características de la cuenca

4.1.1. Cálculo del área

En primer lugar, se procede a la delimitación de la cuenca. Para ello a partir del DEM se han generado curvas de nivel con una equidistancia de 10m que servirán como base para el geoprocesamiento. Una vez determinadas las cuencas han sido verificadas con las curvas de nivel de las ortofotocartas y con la imagen georreferenciada de Google Earth, y modificadas en caso de ser necesario. Para determinar los parámetros necesarios para el cálculo del caudal, se realiza un geoprocesamiento, utilizando como dato de entrada el DEM.

Debido a las características de la zona de estudio, marcada por la presencia de esteros y humedales de gran extensión, las cuencas, en general, no presentan un comportamiento regular, con cauces o canales bien definidos, por lo que, para la verificación, el aporte de la cuenca es distribuido en cierta cantidad de alcantarillas, buscando que la capacidad total de estas sea mayor al caudal a calcular.

A continuación, se ilustran las cuencas delimitadas, con su imagen satelital de fondo y el DEM respectivamente.

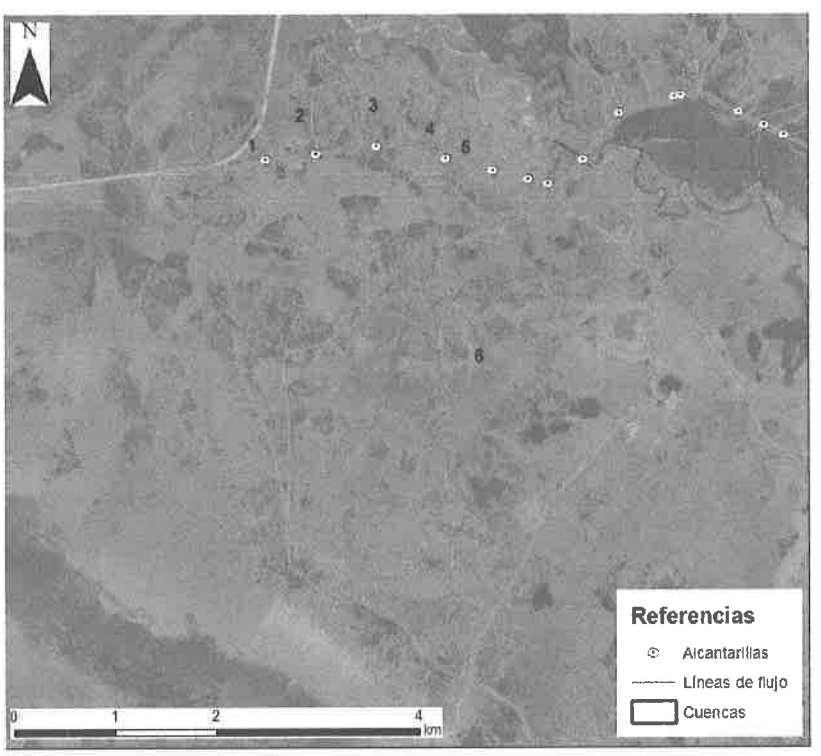


Figura 2. Imagen satelital de las cuencas 1 a 6.

IUCSA
Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal
Ing. Carlos Beltramino
Representante Legal

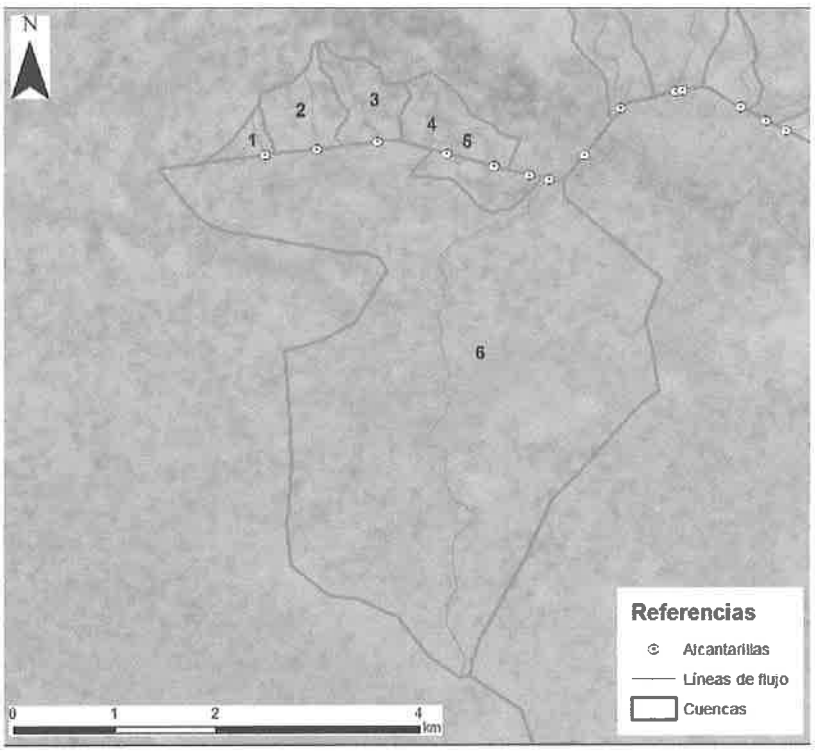


Figura 3. DEM de las cuencas 1 a 6.

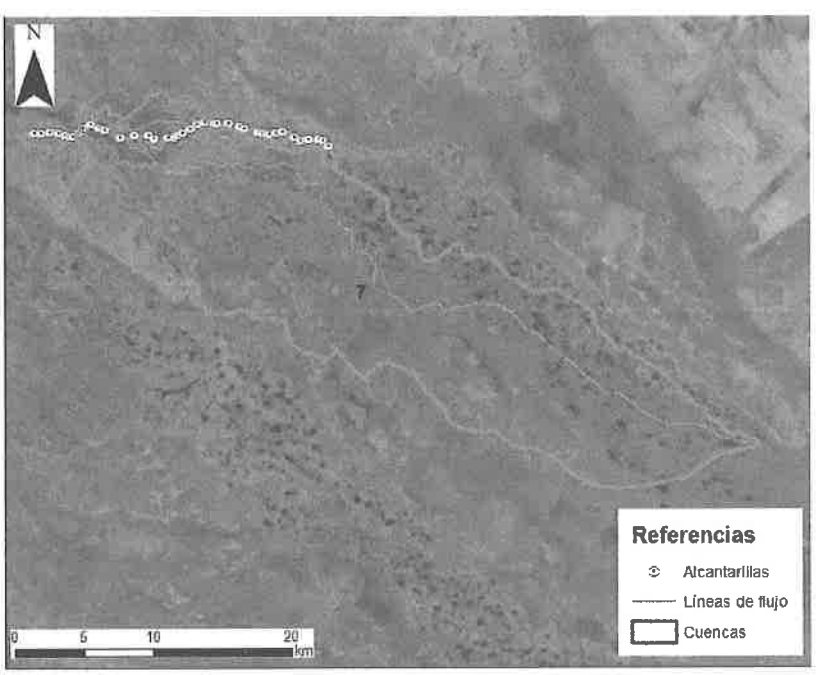


Figura 4. Imagen satelital de la cuenca 7.

TOCSA
Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal
Ing. Carlos Beltramino
Representante Legal

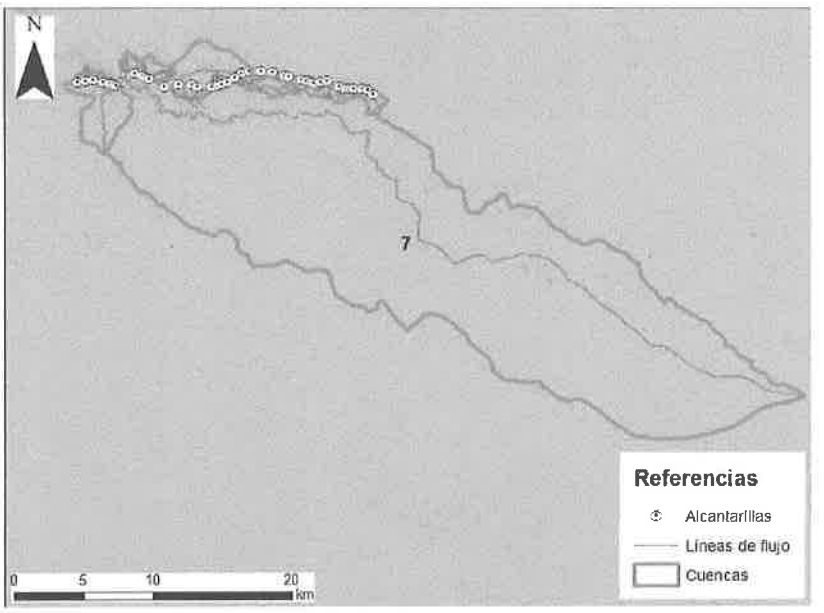


Figura 5. DEM de la cuenca 7.

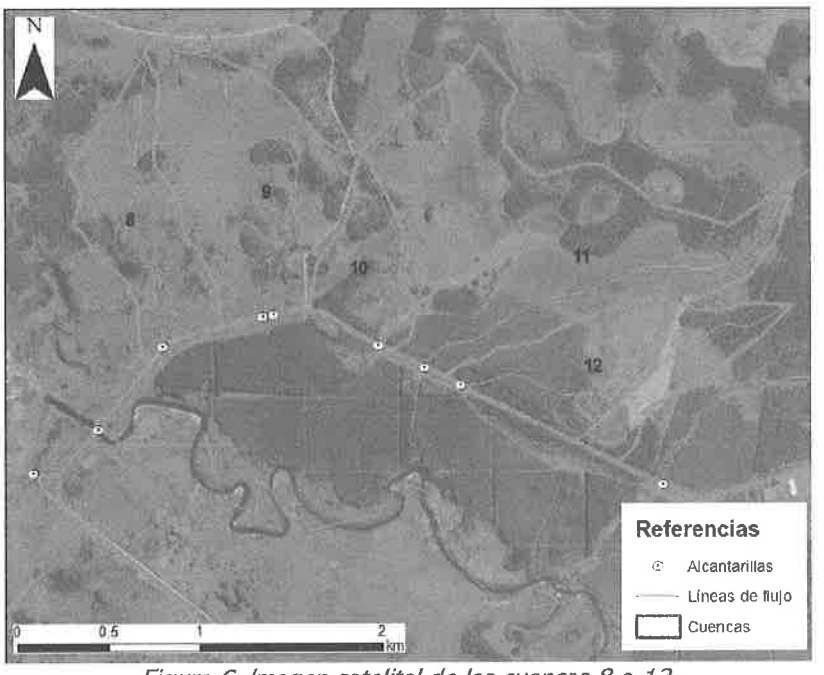


Figura 6. Imagen satelital de las cuencas 8 a 12.

IUCSA

Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal

Ing. Carlos Beltramino
Representante Legal

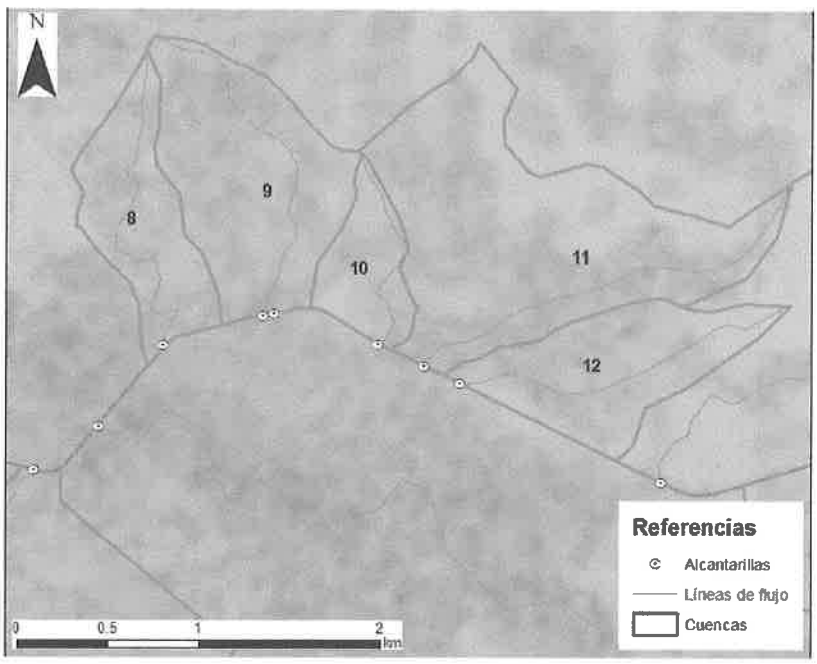


Figura 7. DEM de las cuencas 8 a 12.

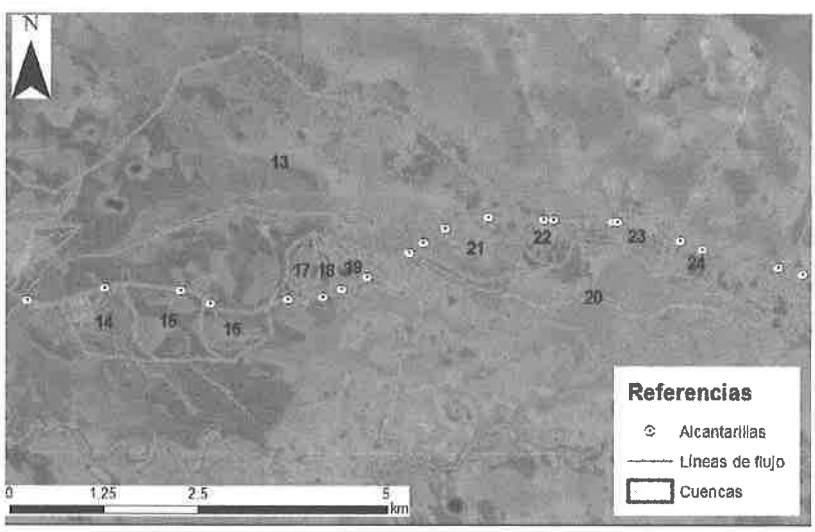


Figura 8. Imagen satelital de las cuencas 13 a 24.

TUCSA

Lic. Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal

Ing. Carlos Beltramin
Representante Legal

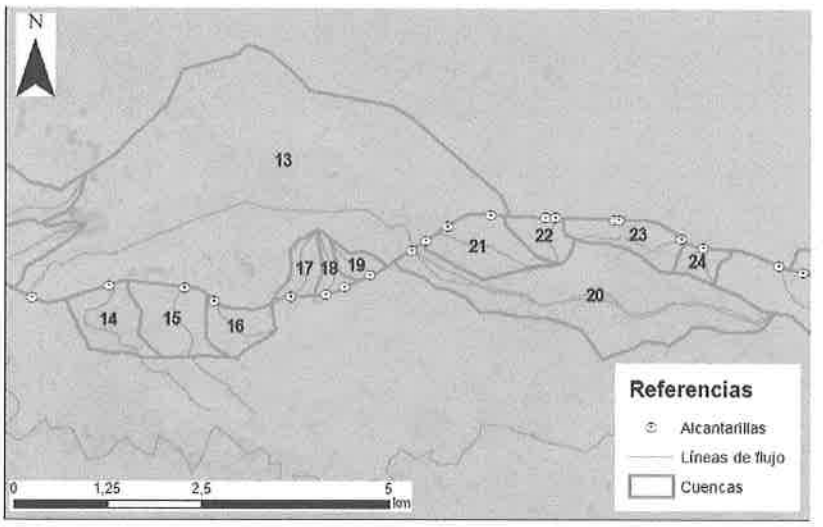


Figura 9. DEM de las cuencas 13 a 24.

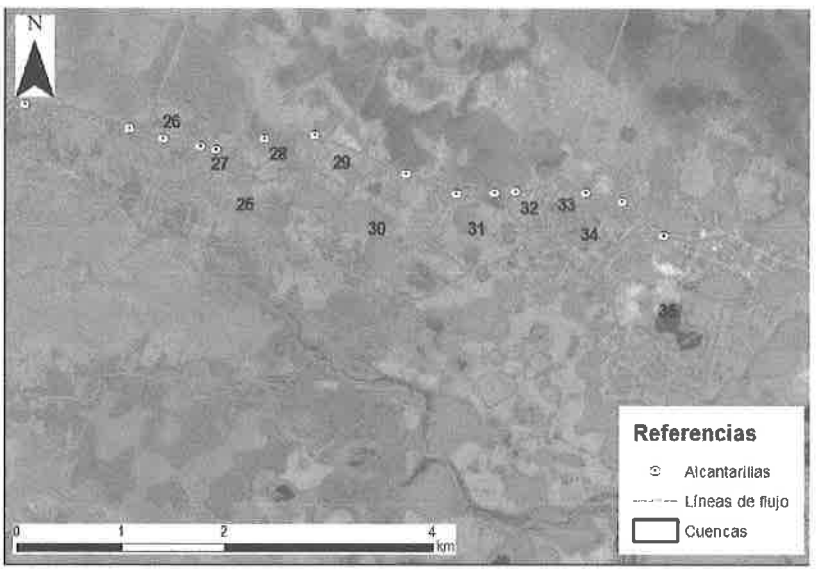


Figura 10. Imagen satelital de las cuencas 25 a 35.

TOCSA

Ing. Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal

Ing. Carlos Beltraminc
Representante Legal

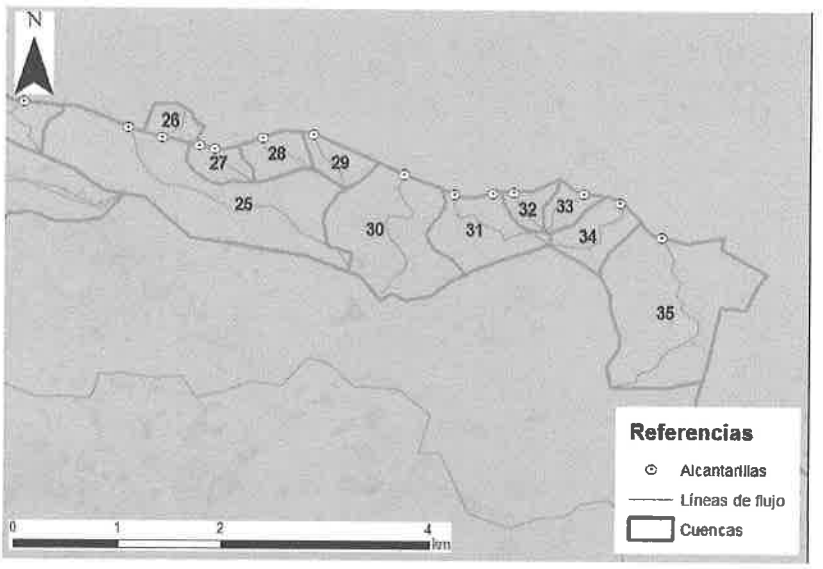


Figura 11. DEM de las cuencas 25 a 35.

Un modelo hidrológico requiere diversos datos y parámetros para lograr una representación correcta del sistema, algunas de los cuales son: capacidad de infiltración, pendiente promedio, porcentaje impermeable, longitud, tiempo de concentración, etc. Estos parámetros se determinan a través de la topografía, utilizando el DEM descargado de ALOS-PALSAR, se determinan las líneas de flujo (dirección en que se mueve el agua). Una vez obtenidas estas líneas se procede a calcular la longitud y pendiente de las mismas.

4.1.2. Cálculo de la Infiltración

El cálculo de la infiltración es necesario para determinar la precipitación efectiva, es decir, la precipitación causante de escorrentía superficial. Uno de los métodos más utilizados, y que se aplica en este estudio, es el Método de Abstracciones o Número de Curva del SCS, debido a la cantidad de información empírica que se ha generado para el mismo.

El Método del Número de Curva (CN) fue desarrollado por el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos. El método consiste en asignar un CN promedio para toda una subcuenca, en función de su tipo y uso de suelo.

Con respecto al tipo de suelo, en el marco del PRUT (Programa de Racionalización y Uso de la Tierra) se desarrollaron mapas de orden y taxonomía de suelos, indicando los grupos hidrológicos de la Región Oriental, representando la capacidad de drenaje e infiltración. Los principales tipos se detallan a continuación.

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento y limos agregados.
- Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento y marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

A continuación, se ve el uso de suelo que corresponde a la zona bajo estudio, así como su taxonomía y grupo hidrológico.

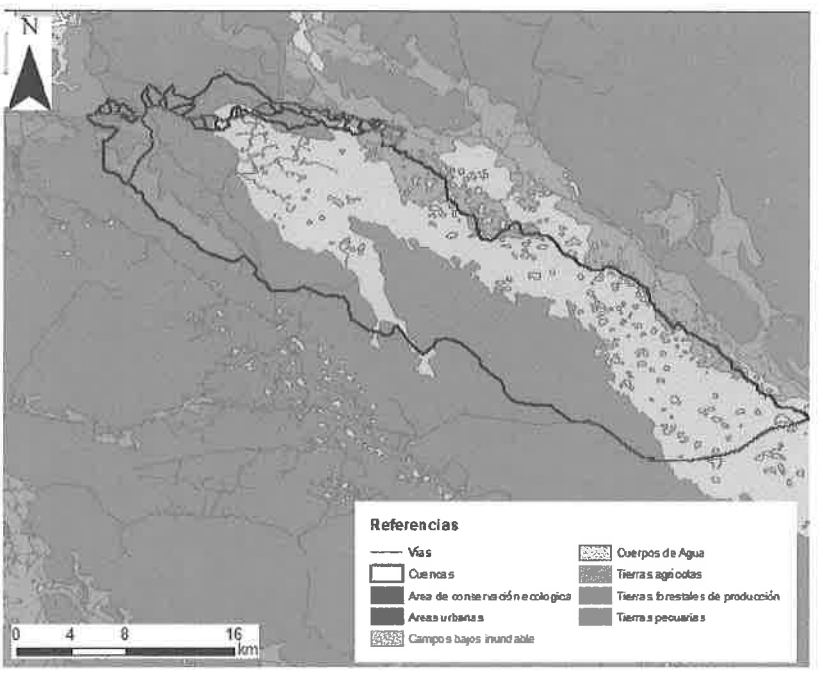


Figura 12. Clasificación de suelos.

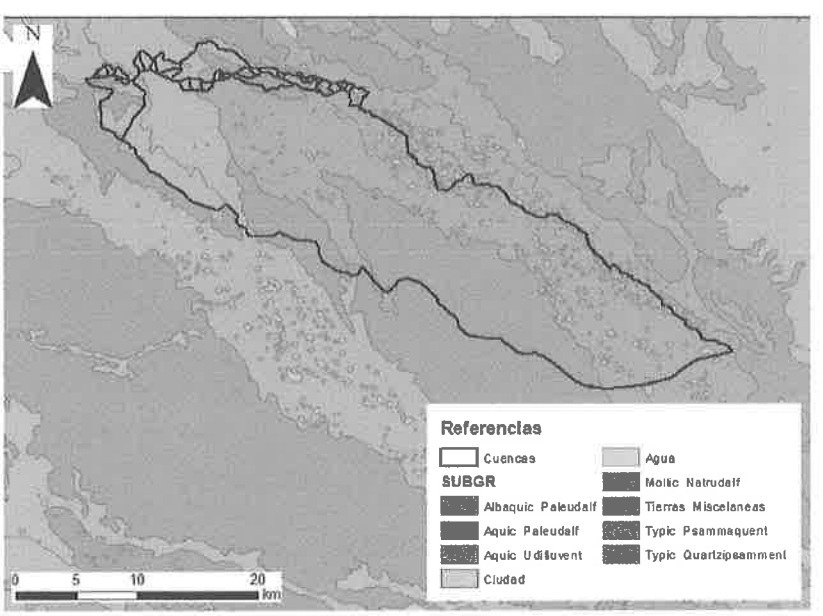


Figura 13. Taxonomía de suelos.

TUCSA

c. Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal

Ing. Carlos Beltramino
Representante Legal

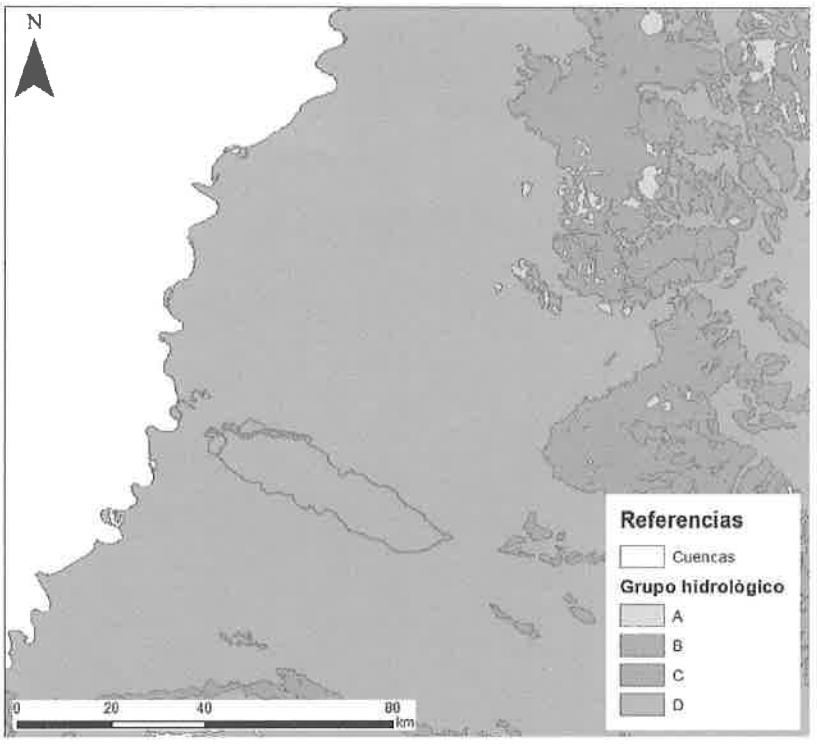


Figura 14. Grupo hidrológico de la zona de estudio.

Con respecto al uso, se utilizó los datos del PRUT, contrastándolos con imágenes satelitales a la fecha.

Cada uso de suelo posee un valor diferente de CN, dependiendo del tipo de suelo. Los valores utilizados en este estudio son mostrados en la tabla siguiente.

Tabla 2. Valores de CN.

	AMC (II)			
Uso de Suelo	A	B	C	D
Cuerpos de Agua	98	98	98	98
Campos Bajos Inundados	30	58	71	78
Área de Conservación Ecológica	30	60	70	77
Áreas silvestres protegidas	25	55	62	68
Tierras Forestales de Protección	36	59	65	69
Tierras Forestales de Producción	45	65	67	70
Tierras Pecuarias	49	55	71	73
Tierras Agrícolas	60	66	72	75
Asentamientos Indígenas	51	58	63	69
Áreas urbanas	66	75	84	87

Estos valores han sido estimados a partir de los valores presentados en el libro de Hidrología Aplicada (Ven te Chow, 1994).

Se realizó un cruzamiento digital del uso de suelo y del tipo de suelo, en cada cuenca, y se obtuvieron valores ponderados de CN en cada caso, los cuales se han introducido al HUT.

4.1.3. Tiempo de Concentración

La duración del evento de precipitación se debe seleccionar en base al tiempo de concentración (Tc) de la cuenca.

El tiempo de concentración de una cuenca se encuentra en función de la pendiente media, la longitud del cauce, la forma de la cuenca, la cobertura del suelo y en menor escala de otros parámetros fisiográficos. Para calcular el tiempo de concentración se utilizó la fórmula del DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamiento, Brasil), expresada a continuación.

$$Tc = \frac{10}{K}\frac{A^{0.3}\,L^{0.2}}{I^{0.4}}$$

Siendo Tc el tiempo de concentración (min), A el área de la cuenca (has), L la longitud del curso de agua (m), I la pendiente en %.

El coeficiente "K" depende de las características geológicas de la cuenca, conforme lo descrito a continuación. (Extraído del Manual de Hidrologia Básica para Estructuras de Drenagem, DNIT).

- Terreno areno-arcilloso, cubierto de vegetación intensa, elevada absorción K=2.0
- Terreno común, cubierto de vegetación, absorción apreciable K=3.0
- Terreno arcilloso, cubierto de vegetación, absorción media K=4.0
- Terreno arcilloso de vegetación media, poca absorción K=4.5
- Terreno con roca, escasa vegetación, baja absorción K=5.0
- Terreno rocoso, vegetación pobre, reducida absorción K=5.5

Para condiciones medias, con K=4, se tiene en promedio una velocidad de 1.4 m/s para cuencas pequeñas y 1.6 m/s para cuencas mayores, por lo tanto, el método es aceptable para cualquier tamaño de cuenca. Fuente: Manual de Hidrologia Básica para Estructuras de Drenagem, DNIT.

Por definición el Tc es el tiempo que tarda en llegar el agua desde el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca. Aplicando este concepto, al hacer que la duración de la lluvia hipotética sea igual al tiempo de concentración, se asegura que toda la cuenca se encuentra generando escorrentía que aporta al caudal de diseño.

4.1.4. Tiempo de Retorno y Precipitación de Diseño

Se calculan los caudales de diseño con un tiempo de retorno de 100 años y se verifica con un tiempo de retorno de 150 años, para puentes, tal como lo establece el Manual de Carreteras. Para las alcantarillas, se utilizan 50 y 100 años para diseño y verificación, respectivamente.

Para el cálculo de caudales y posterior simulación hidrológica, se requiere introducir una precipitación de diseño, y para determinar la misma se utilizó una curva IDF. La expresión para calcular las intensidades en cada estación responde a la fórmula siguiente:

$$I = \frac{c\,Tr^{n}}{(tc + d)^{m}}$$

TOCSA
Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal
Ing. Carlos Beltraminc
Representante Legal

En donde I es la intensidad expresada en mm/h; tc es el tiempo de concentración en minutos; Tr es el tiempo de retorno en años; c, d, m, n son coeficientes determinados empíricamente. Mediante polígonos de Thiessen, se determina que las cuencas se encuentran afectadas por la curva IDF de Pilar, por lo que, los parámetros mostrados en la tabla son los utilizadas en el estudio.

Tabla 3: Parámetros para la Curva IDF de Pilar.

Parámetros	Pilar
c	11872.82
n	0.19873
m	1.18582
d	40

Fuente: Cuevas-Rolón (2009).

Por lo tanto, la expresión anterior se reduce a la siguiente fórmula:

$$I = \frac{11872.82\, Tr^{0.19873}}{(tc+40)^{1.18582}}$$ .....Curva IDF Pilar

Por su parte, en la siguiente figura, se observa la curva IDF desarrollada para diferentes tiempos de retorno.

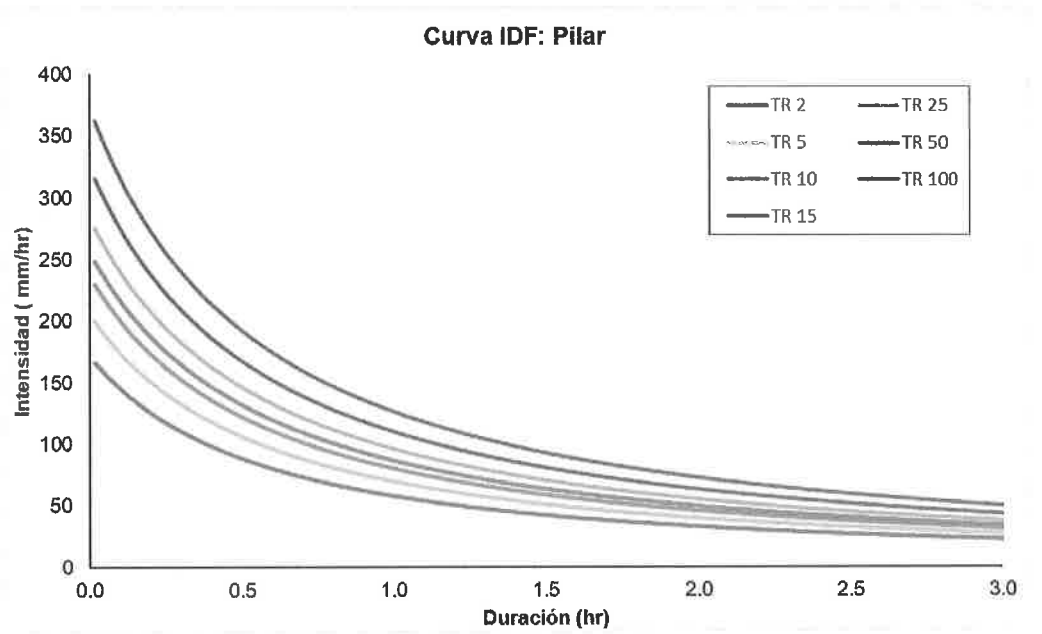


Tabla 4: Periodos de retorno para diseño y verificación de obras. Fuente: Manual de Carreteras del Paraguay

El tiempo de retorno de una precipitación viene relacionado con la probabilidad de un evento y el riesgo de inundación que ello puede conllevar. El tiempo de retorno a utilizar se define de acuerdo con la Tabla 4, extraída del Manual de Carreteras del Paraguay. Por ello, para el caudal de diseño, se utilizan tiempos de retorno de 25, 50 y 100 años.

IUCSA
Ing. Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal
Ing. Carlos Beltramino
Representante Legal

Tipo de obra	Tipo de Ruta	Período de Retorno (años)		Vida útil Supuesta (n: años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño[4]	Verificación[5]		Diseño	Verificación
Estructuras Especiales [1]	RVP	200	300	50	22	15
Puentes[2]	α	200	300	50	22	15
	β	100	150	50	40	28
Alcantarillas (S>1.75 m^2) o $H_{terrap.}$ ≥ 10 m y Estructuras Enterradas[3]	α	100	150	50	40	28
	β	50	100	30	45	26
Alcantarillas (S<1,75 m^2)	α	50	100	50	64	40
	β	25	50	30	71	45
Defensas de Riberas	α	100	-	20	18	-
	β	100	-	20	18	-

4.1.5. Método racional

Para el cálculo de caudales se ha utilizado el método racional para subcuencas con áreas menores a 2 km2, tal como lo expresa el Manual de Carreteras MOPC, 2011 y a su vez en su actualización del 2019.

Dentro de esta metodología de estimación de caudales, el cálculo de la infiltración es necesario para determinar la precipitación efectiva, es decir, la precipitación causante de escorrentía superficial, para ello se utiliza el coeficiente de escorrentía.

El método racional es un método empírico, pero de amplio uso, tanto para proyectos viales como de hidrología urbana. El mismo posee ciertas limitaciones, y por lo tanto es aplicable a cuencas pequeñas, de áreas no mayores de 200 has. Mediante este método, se puede calcular el caudal "Q" de escurrimiento utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = c.I.A$$

En donde Q= Caudal de escorrentía; c=Coeficiente de escorrentía o escurrimiento; I=Intensidad de lluvia; A= Área de la cuenca.

El coeficiente C se determina a partir del uso, tipo de suelo de la cuenca, la pendiente media de la cuenca y el tiempo de retorno considerado. Diversos actores proponen distintas metodologías para la estimación de este coeficiente, el cual tiene gran impacto en el resultado. Cualquier documentación al respecto debe ser tomada con cautela para aplicar a nuestro medio, ya que en la mayoría de los casos este valor se determina por experimentación, en condiciones distintas a la nuestra. Para determinación del coeficiente de escorrentía, se utiliza la Tabla 5, y se adoptan los valores indicados en la misma.

Tabla 5. Coeficientes de escorrentía

Uso del suelo	C
Cultivos	0.52
Bosques	0.4
Pastizal	0.45

TOCSA
Lic. Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal
Ing. Carlos Beltramino
Representante Legal

4.1.6. Cálculo del Coeficiente de Escorrentía

Para la estimación del coeficiente de escorrentía, se realizó una ponderación en base al uso y tipo de suelo de la cuenca, así como de la pendiente en cada una. Para ello, se realizó una clasificación supervisada de una imagen satelital de Google Earth, a la fecha más reciente y que cubra toda el área de influencia y se estimó un valor de C para cada cuenca, en base al suelo y la distribución de cada uso en las cuencas. El C ponderado para cada cuenca se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$C\ ponderado = \frac{\sum(C \times Área)}{\sum Área}$$

Posteriormente, este valor fue utilizado para el cálculo del caudal por el método seleccionado.

En los anexos, junto a los cálculos de caudal, se presentan los valores obtenidos de esta variable.

4.1.7. Hidrograma Unitario Triangular de la SCS

El método fue desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service (S.C.S.), y es utilizado para el estudio de las cuencas hidrográficas con áreas mayores a 2 km². 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.

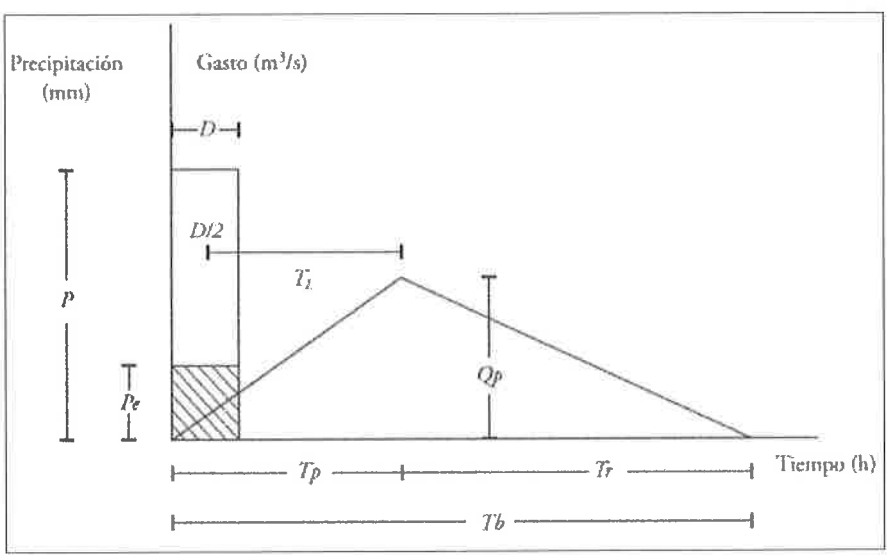


Figura 15: Esquema de cálculo del SCS HUT.

Procedimiento de cálculo para la determinación del caudal máximo

IUCSA
Ing. Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal
Ing. Carlos Beltramino
Representante Legal

$$Q_P = PRF\frac{A}{T_p}$$

- Qp: caudal pico del hidrograma unitario, en m3/s/mm.
- A: área de la cuenca, en Km2.
- Tp: tiempo de ocurrencia del caudal pico, en horas.

En donde se cumple lo siguiente,

- $T_P = \frac{D}{2} + T_l$
- $T_l = 0.6t_c$
- $Tr = XT_p$
- $D = \frac{t_C}{12}$
- $T_b = T_P + T_r$

Siendo

- D: tiempo de duración de la precipitación efectiva, en horas.
- tc: 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 horas.

Factor Pico del Hidrograma (PRF)

El Factor pico del hidrograma representa el efecto amortiguador de la ola de inundación y el almacenamiento en la cuenca. Silveira (2015) en su artículo "*Fator de Pico para Hidrogramas*" Unitários Sintéticos Triangulares, estableció parámetros y valores para calcular el PRF en cuencas donde no se cuentan con datos, dado la morfología de la cuenca.

Donde:

$$PRF = f\beta$$

f es un factor de conversión donde f = 645 es el factor para el PRF en unidades inglesas y f = 2,78 es para el PRF en unidades métricas. El coeficiente β se encuentra en función de x, conocido como el factor de recesión del hidrograma y representa la relación entre la recesión y la hora pico. La relación entre los mismos es dada por la siguiente fórmula:

$$\beta = \frac{2}{(1+x)}$$

TUCSA
Ing. Sara M. Blanco de Dose
Representante Legal
Ing. Carlos Beltramino
Representante Legal

En la Tabla 6 se encuentran los valores de factores de recesión sugeridos por Wanielista, Kersten e Eaglin (1997) utilizados en este estudio.

Tabla 6. Factores de pico y de recesión sugeridos por Wanielista, Kersten y Eaglin (1997)

Cuenca	PRF	x	β
Urbana	575	1.25	0.89
Típicas del SCS	484	1.67	0.75
Urbano/Rural mezclado	400	2.25	0.62
Rural de pendiente alta	300	3.33	0.46
Rural de pendiente media	200	5.5	0.31
Rural de baja pendiente	100	12	0.15

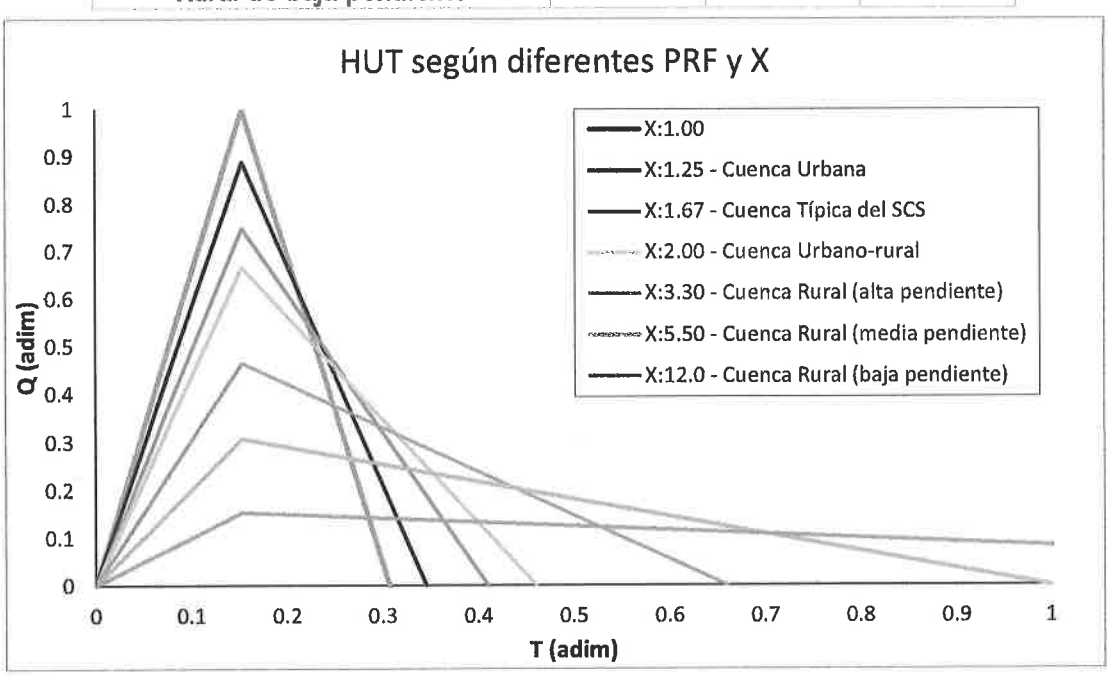


Figura 16: SCS HUT para cada PRF.

Precipitación efectiva

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

- $Pe = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S}$
- $CN = \frac{25400}{254+S}$

TUCSA
Sara M. Blanco de Dose — Representante Legal
Ing. Carlos Beltramino — Representante Legal

De donde:

- P: precipitación real total, en cm. Obtenida de las curvas IDF.
- S: máxima retención potencial.
- CN: Número de Curva

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