



# **PROVINCIA DE RÍO NEGRO**

## **CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES**

### **PROGRAMA DE DESARROLLO REGIONAL**

### **CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA Y DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN PLUVIOALUVIONAL GIRSU - ALLEN**

### **INFORME TÉCNICO**

### **EXPEDIENTE Nº 15597 34 01**

**AUTORES: RAPACIOLI RAÚL - D'AMICO VICTOR**

**MARZO 2018**



## **TABLA DE CONTENIDOS**

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>8</b>
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO HIDROLÓGICO .....</b>	<b>11</b>
4.1.	Delimitación de las cuencas.....	11
4.2.	Caracterización de Cuencas Aluvionales.....	14
4.2.1.	Parámetros Morfométricos .....	14
4.2.2.	Parámetros Físicos de Forma .....	14
4.2.3.	Parámetros Físicos de Relieve.....	15
4.2.4.	Parámetros Relativos a la Red Hidrográfica .....	19
4.2.5.	Determinación del Potencial de Escorrentía de las cuencas aluvionales.....	21
4.2.6.	Mapa de Coberturas del Suelo.....	24
4.2.7.	Mapa de Grupos Hidrológicos de Suelos.....	27
4.2.8.	Mapas de Pendientes.....	30
4.2.9.	Algebra de Mapas. Potencial de Escorrentía .....	32
4.2.10.	Precipitaciones Intensas - Tormentas de Proyecto .....	34
4.2.11.	Modelación Hidrológica – Modelo HEC-HMS.....	37
4.3.	Tiempo de viaje de la escorrentía - Isocronas .....	46
<b>5.</b>	<b>ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO.....</b>	<b>49</b>
5.1.	Producción de Sedimentos - Modelo MUSLE.....	49
5.1.1.	Erodabilidad del suelo, Factor K.....	49
5.1.2.	Topografía, Factor LS.....	54
5.1.3.	Cubierta Vegetal y Manejo, Factor C.....	56
5.1.4.	Resultados.....	60
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>7.</b>	<b>RELEVAMIENTO TOPOGRÁFICO .....</b>	<b>62</b>
7.1.	Equipos utilizados en el relevamiento .....	62
7.1.	Planificación del vuelo .....	64
7.2.	Puntos de Apoyo Terrestre .....	65
7.3.	Coordenadas de Puntos de Apoyo.....	67
7.4.	Análisis de los resultados obtenidos.....	68
<b>8.</b>	<b>EVALUACIÓN DEL RIESGO HÍDRICO.....</b>	<b>69</b>
8.1.	Metodología de evaluación del Riesgo Hídrico.....	69
8.2.	Situación observada .....	69
8.2.1.	Cauce Sur.....	71
8.2.1.	Cauce Norte.....	71
8.1.	Evaluación de sitios de emplazamiento.....	72
8.2.	Modelación hidráulica de los cauces .....	73
8.2.1.	Modelación por HEC RAS.....	73
8.2.2.	Modelación Cauce Norte.....	76
8.2.2.1.	Resultados Gráficos de la modelación Realizada. ....	78
8.2.2.2.	Conclusiones del comportamiento del Cauce Norte.....	82
8.2.3.	Modelación Cauce Sur.....	83
8.2.3.1.	Resultados Gráficos de la modelación Realizada. ....	85
8.2.3.2.	Conclusiones del comportamiento del Cauce Sur.....	89
<b>9.</b>	<b>OBRAS DE PROTECCIÓN PLUVIOALUVIONALES .....</b>	<b>89</b>
9.1.	Criterios de Diseño .....	89
9.2.	Descripción de las obras.....	90
9.3.	Verificación hidráulica de las obras propuestas .....	90
9.3.1.1.	Conclusiones hidráulicas de la obra propuesta .....	95
9.3.1.2.	Cómputo y Presupuesto .....	96
9.3.1.3.	Planos de la Obras Pluvioaluvionales propuestas .....	96



<b>10. LISTA DE AUTORES.....</b>	<b>104</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>105</b>
<b>12. ANEXOS.....</b>	<b>108</b>
12.1. Reporte topográfico de resultados procesados.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación zona de estudio.....	7
Figura 2: Áreas Ecológicas Río Negro.....	8
Figura 3: Mapa geológico <i>área de estudio</i> .....	10
Figura 4: Mapa de altimetría, cuencas y red de drenaje.....	12
Figura 5: Mapa de altimetría, cuencas y red de drenaje (detalle) .....	13
Figura 6: Curvas hipsométricas guías.....	16
Figura 7: Curvas Hipsométricas Cuencas 1 a 6. ....	17
Figura 8: Modelo cartográfico aplicando álgebra de mapas y reclasificaciones en SIG. ....	24
Figura 9: Mapa de Imagen Landsat 8 (B543).....	25
Figura 10: Mapa de Coberturas.....	26
Figura 11: Mapa de suelos-texturas.....	28
Figura 12: Mapa de Grupos Hidrológicos de Suelos. ....	29
Figura 13: Mapa de pendientes. ....	31
Figura 14: Mapa de potencial de escorrentía. ....	33
Figura 15: Hietogramas adimensionales de Huff.....	36
Figura 16: Hietogramas porcentuales - D: 2hs.....	36
Figura 17: Tormentas de proyecto - D: 2hs.....	36
Figura 18: Hietogramas porcentuales - D: 4hs,.....	36
Figura 19: Tormentas de proyecto - D: 4hs.....	36
Figura 20: Hidrograma Unitario de Snyder.....	38
Figura 21: Esquema de escorrentía en cuencas.....	41
Figura 22: Hidrograma de crecida Cuenca 1.....	43
Figura 23: Hidrograma de crecida Cuenca 2.....	44
Figura 24: Hidrogramas de crecidas Cuenca 3. ....	44
Figura 25: Mapa de velocidad de escorrentía.. ....	47
Figura 26: Mapa de curvas isocronas. ....	48
Figura 27: Nomograma de Erodabilidad del Suelo.....	51
Figura 28: Mapa del factor erodabilidad del suelo (K). ....	53
Figura 29: Mapa del factor topográfico (LS).....	55
Figura 30: Mapa del índice NDVI.....	58
Figura 31: Mapa del factor cobertura (C). ....	59
Figura 32: GPS utilizado en el relevamiento. ....	62
Figura 33: Dron utilizado en el relevamiento. ....	63
Figura 34: Imagen con pantalla del programa de planificación del vuelo.....	65
Figura 35: Punto Fijo “p2” materializado en terreno. ....	66
Figura 36: Imagen obtenida con el dron, se observa la marca del punto fijo.....	66
Figura 37: Situación actual de la zona de estudio. ....	70
Figura 38: Vista al Suroeste, se observa el cauce Sur hacia aguas abajo.....	71
Figura 39: Vista al Noreste, se observa el cauce Norte hacia aguas arriba. ....	72
Figura 40: Mapa de zonificación de Riesgo Hídrico en Franja Municipal. ....	72
Figura 41: Imagen DEM de toda la Franja Municipal.....	75
Figura 42: Imagen de lecho sin vegetación en el Cauce Norte.....	76
Figura 43: Imagen del Margen en el Cauce Norte.....	76
Figura 44: Zona de interés Cauce Norte.....	77
Figura 45: Planicie de inundación del Cauce Norte.....	78
Figura 46: Mapa de profundidades Cauce Norte.....	79
Figura 47: Mapa de velocidades Cauce Norte. ....	80



Figura 48: Sección característica Cauce Norte.....	81
Figura 49: Perfil hidráulico Cauce Norte.....	81
Figura 50: Imagen de lecho en el Cauce Sur.....	83
Figura 51: imagen del Margen en el Cauce Sur.....	83
Figura 52: Zona de interés Cauce Sur.....	84
Figura 53: Planicie de inundación Cauce Sur.....	85
Figura 54: Mapa de profundidades Cauce Sur.....	86
Figura 55: Mapa de velocidades Cauce Sur.....	87
Figura 56: Sección característica Cauce Sur.....	88
Figura 57: Perfil hidráulico Cauce Sur.....	88
Figura 58: Imagen DEM de la topografía afectada por las obras propuestas.....	91
Figura 59: Planicie inundación TR 100.....	92
Figura 60: Distribución de velocidades TR 100.....	93
Figura 61: Sección característica del Cauce Sur rectificado.....	94
Figura 62: Perfil hidráulico del Cauce Sur rectificado.....	94

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Coordenadas cierras cuencas aluvionales.....	11
Tabla 2: Parámetros morfométricos.....	14
Tabla 3: Parámetros de forma.....	15
Tabla 4: Valores de Integral Hipsométrica.....	17
Tabla 5: Parámetros de relieve.....	19
Tabla 6: Parámetros de la red hidrográfica.....	20
Tabla 7: Valores del índice CN para áreas aluvionales semiáridas (INCYTH, 1980).....	21
Tabla 8: Grupos Hidrológicos de Suelos.....	23
Tabla 9: Valores del índice CN.....	32
Tabla 10: Intensidad Media Máxima de 24 horas (mm/h).....	34
Tabla 11: Duraciones de tormentas de proyectos.....	35
Tabla 12: Precipitaciones totales (mm).....	35
Tabla 13: Valores de $FR$ .....	37
Tabla 14: Precipitaciones totales corregidas (mm).....	37
Tabla 15: Valores de tiempo de retardo $T_L$ , ecuación (29).....	40
Tabla 16: Valores de caudales máximos y volúmenes de escorrentías (Seco).....	41
Tabla 17: Valores de caudales máximos y volúmenes de escorrentías (Intermedio).....	42
Tabla 18: Valores de caudales máximos y volúmenes de escorrentías (Húmedo).....	42
Tabla 19: Coeficiente $k$ según tipo de flujo.....	46
Tabla 20: Valores del parámetro de estructura.....	50
Tabla 21: Valores del parámetro de permeabilidad.....	50
Tabla 22: Valores del Factor de Erodabilidad de Suelos, $K$ (Ton*Hora/Newton*Ha).....	52
Tabla 23: Valores Factor $K$ .....	52
Tabla 24: Valores Factor $LS$ .....	54
Tabla 25: Valores Factor $C$ .....	56
Tabla 26: Producción de sedimentos (Ton).....	60
Tabla 27: Producción de sedimentos (mm/m <sup>2</sup> ).....	60
Tabla 28: Producción de sedimentos equivalencia en camiones volcadores de 16 m <sup>3</sup> .....	60
Tabla 29: Coordenadas de puntos fijos y de apoyo.....	67
Tabla 30: Estimación de Cómputo y Presupuesto para la obra propuesta.....	96



## 1. INTRODUCCIÓN

A medida que la presencia del hombre, sus actividades e infraestructura, se extienden sobre la superficie del planeta, se produce una interferencia cada vez mayor con la naturaleza y su dinámica, como es el caso de la invasión humana de las márgenes y zonas de desbordamiento de los cursos de agua.

Los torrentes, más conocido en la región del Comahue como “aluviones”, tienen un importante potencial destructivo, producto de la gran energía del flujo, la cual a su vez proviene principalmente de la elevada pendiente de los cauces y de la presencia de materiales sólidos transportados por la corriente, los cuales junto con el agua pueden causar enormes daños al alcanzar las planicies aguas abajo, donde normalmente se concentran las actividades y la infraestructura humana.

Cuando estos cursos de agua aumentan su caudal, como consecuencia de las lluvias en su cuenca, el flujo reclama su territorio invadido por el hombre, produciéndose cada vez con mayor frecuencia catástrofes que involucran pérdidas económicas cuantiosas y de vidas humanas.

En nuestro país la situación descrita, se manifiesta, principalmente, en toda la región árida y semiárida que se extiende a lo largo una franja oeste de Norte a Sur, y parte de su región central. Como hecho demostrativo del peligro derivado del fenómeno torrencial se puede mencionar el gravísimo aluvión de Marzo de 1975, que arrasó la mayor parte de la Provincia del Neuquén y Alto Valle del Río Negro.

En base a lo detallado precedentemente, y considerando experiencias propias y ajenas, se observa que es menester que el hombre debe aprender a convivir en armonía con su medio ambiente evitando daños y perjuicios. Para que ello sea posible, es preciso conocer la dinámica de los procesos involucrados en el sistema ambiental, y en particular del fenómeno torrencial. Con ese fin, el presente trabajo tiene como objetivo la realización de un estudio hidrológico de las cuencas que afectan con su dinámica hídrica el sitio donde se desarrollará el proyecto de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), dentro del ejido del municipio de la ciudad Allen, Río Negro.

Se determinan los parámetros morfométricos, de forma, de relieve, hidrológicos e hidráulicos de cada una de las cuencas identificadas en la zona de estudio. Se establece un modelo de intensidad de precipitación, evaluándose la



escorrentía mediante modelación con el modelo matemático hidrológico HEC-HMS y se determina la producción de sedimentos con el modelo paramétrico MUSLE.

El sistema de coordenadas utilizado es el POSGAR94 - Faja2 (coordenadas planas Gauss-Krüger, datum WGS 84).

## 2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra entre las coordenadas planas:

- X1: 5.699.578            Y1: 2.598.789
- X2: 5.699.578            Y2: 2.609.362
- X3: 5.688.033            Y3: 2.609.362
- X4: 5.688.033            Y4: 2.598.789

Tiene una superficie de  $\approx 122 \text{ km}^2$ , se emplaza sobre el ejido de la municipalidad de la ciudad de Allen, hacia el Norte, en el departamento General Roca, provincia de Río Negro (Figura 1).

Debido a que las cuencas que inciden sobre la zona de estudio se extienden más allá de la misma, se amplió el *área de estudio* cubriéndose una superficie de  $\approx 455 \text{ km}^2$ , es decir, un  $\approx 375\%$  más. Todos los análisis se realizarán en el área de estudio, que a su vez contiene la zona de estudio previamente establecida.

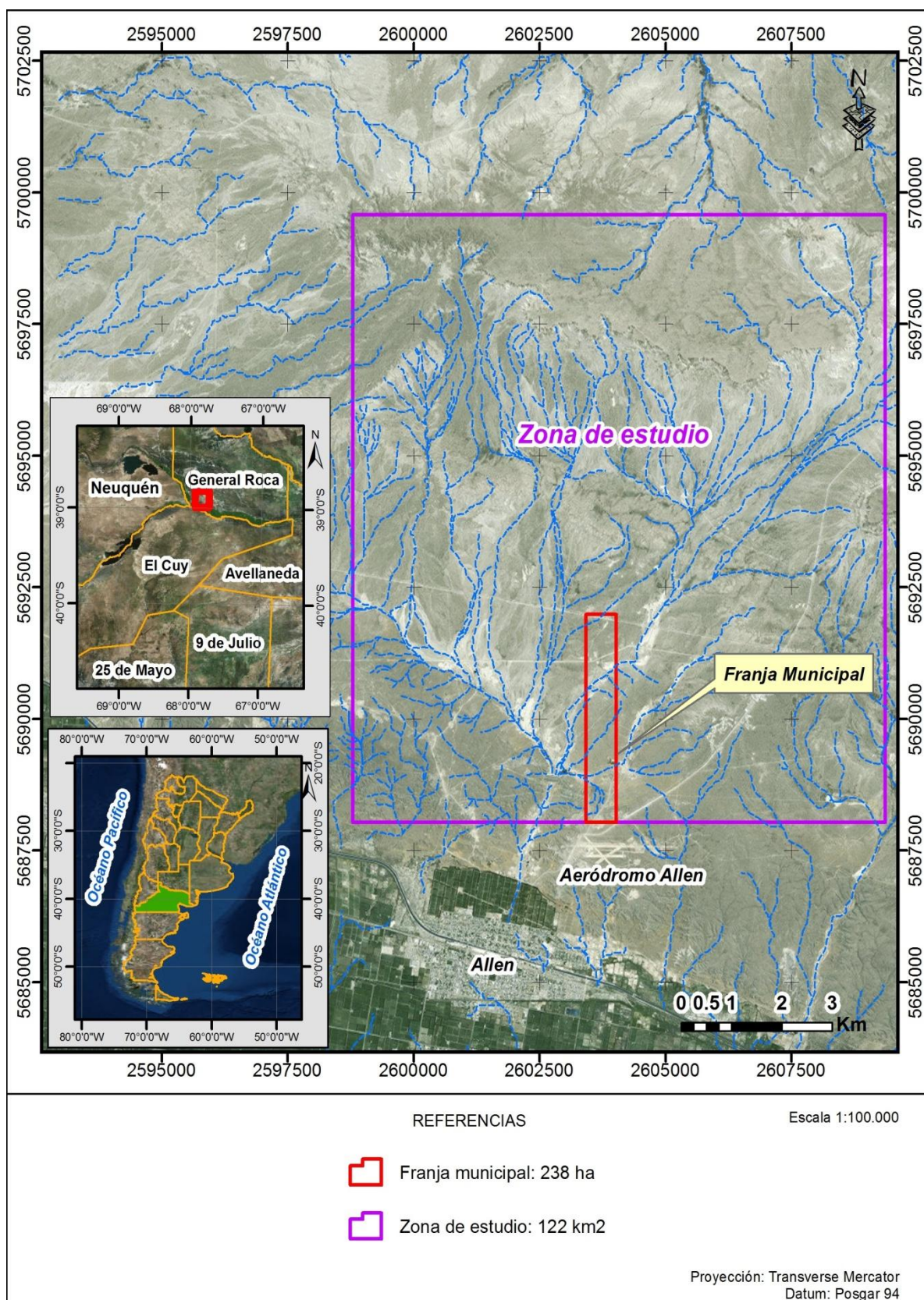


Figura 1: Mapa de ubicación zona de estudio.

### 3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el área bajo estudio los cauces son de carácter torrencial, permaneciendo secos la mayor parte del año. Éstos drenan el agua en los escasos y esporádicos episodios pluviales. No tienen un régimen permanente, sin embargo, son de importancia los caudales evacuados durante las lluvias

El *área de estudio* de donde se ubica el proyecto de GIRSU se encuentra dentro del Área Ecológica denominada Monte Austral (Bran *et al.*, 2000)(Figura 2). Este es un sistema complejo, fuertemente condicionado por la escasez de agua y los procesos de desertificación que sufre la región. Entre las principales características del ecosistema, se destaca la presencia de arbustos, subarbustos y pastos adaptados a condiciones de aridez y frío. La precipitación anual media es menor a los 200 mm, y la temperatura media de 13 a 14° C.

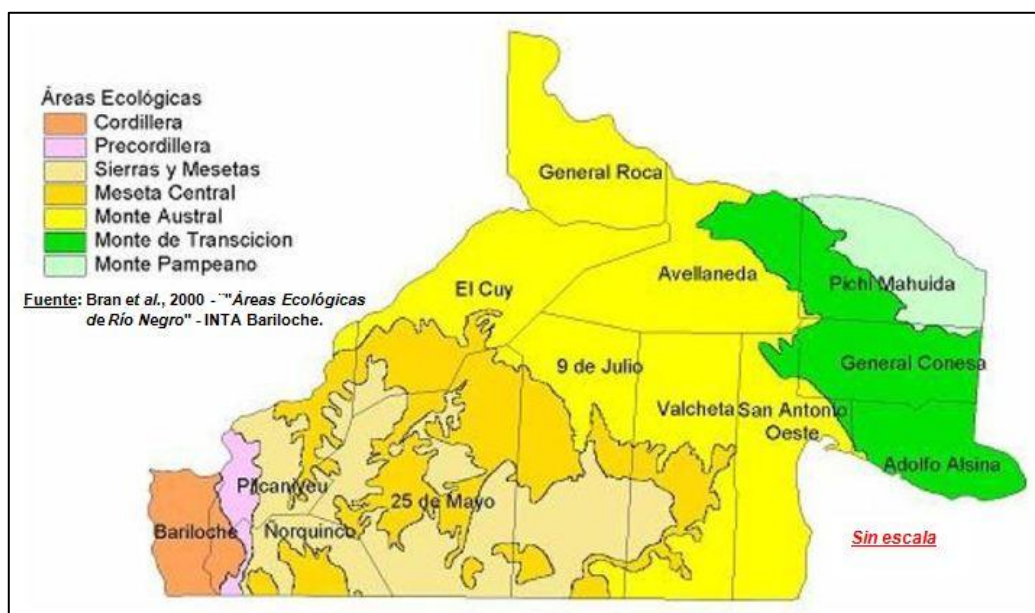


Figura 2: Áreas Ecológicas Río Negro

Predominan los suelos pobres, con síntomas de erosión hídrica y eólica (Aridisoles e Entisoles), estos son moderadamente profundos a someros, de texturas franco-arenosas, arenosos y arcillosos, comúnmente con carbonato de calcio, muy escasa de materia orgánica, de pH moderadamente alcalinos y de un fuerte déficit hídrico anual. En las áreas relativamente bajas planicies aluviales y cuencas endorreicas dominan suelos salinos-alcalinos. Se observan características de erosión combinada eólica-hídrica grave a muy grave (deflación y acumulación, pavimentos, pedestales, surcos y cárcavas).

La vegetación corresponde a la provincia fitogeográfica del Monte Austral. La fisonomía predominante es la de una estepa arbustiva media (arbustos de 1 a 2 m de altura), con una cobertura vegetal total del 20 al 40%. Los principales



componentes florísticos son: la jarilla (*Larrea divaricata*), la jarilla macho (*Larrea cuneifolia*), la zampa (*Atriplex lampa*), el alpataco (*Prosopis alpataco*), el molle (*Schinus polygamus*) y el monte negro o uña de gato (*Bougainvillea spinosa*). Por debajo de estos arbustos las especies más comunes son el tomillo (*Acantholippa seriphioides*), el olivillo (*Hyalis argentea*), el coirón amargo, el coirón pluma y la flechilla (*Stipa tenuis*). Se incluye un amplio ecotono con la provincia patagónica donde los elementos más comunes son la jarilla crespá (*Larrea nitida*), el molle, la melosa y el coirón amargo.

En el *área de estudio* predominan los *sedimento aluviales y eólicos modernos*, además de otras formaciones (Figura 3). Las característica hidrogeológica de los mismos, los agrupa dentro de los sedimentos con porosidad intersticial y permeabilidad baja, con importancia relativa de moderada a pequeña. Los antecedentes de las perforaciones realizada indican que los acuíferos explotados, en general son arenas limo arcillosas de poca potencia, raramente superan los 2 metros de espesor, intercaladas con capas de arcillas. Las profundidades promedio son de 130 metros dependiendo de la ubicación dentro de un relieve de altiplanicies con distintas cotas. Las capas captadas suelen ubicarse entre los 115 y 120 metros, con niveles estáticos entre 70 y 90 metros bajo boca de pozo (Relatorio de Geología y Recursos Naturales de la Provincia de río Negro, 1984)

Es decir, que la probabilidad de contaminación de acuíferos por migración de fluidos del repositorio donde se realizará la GIRSU, es muy baja a nula.

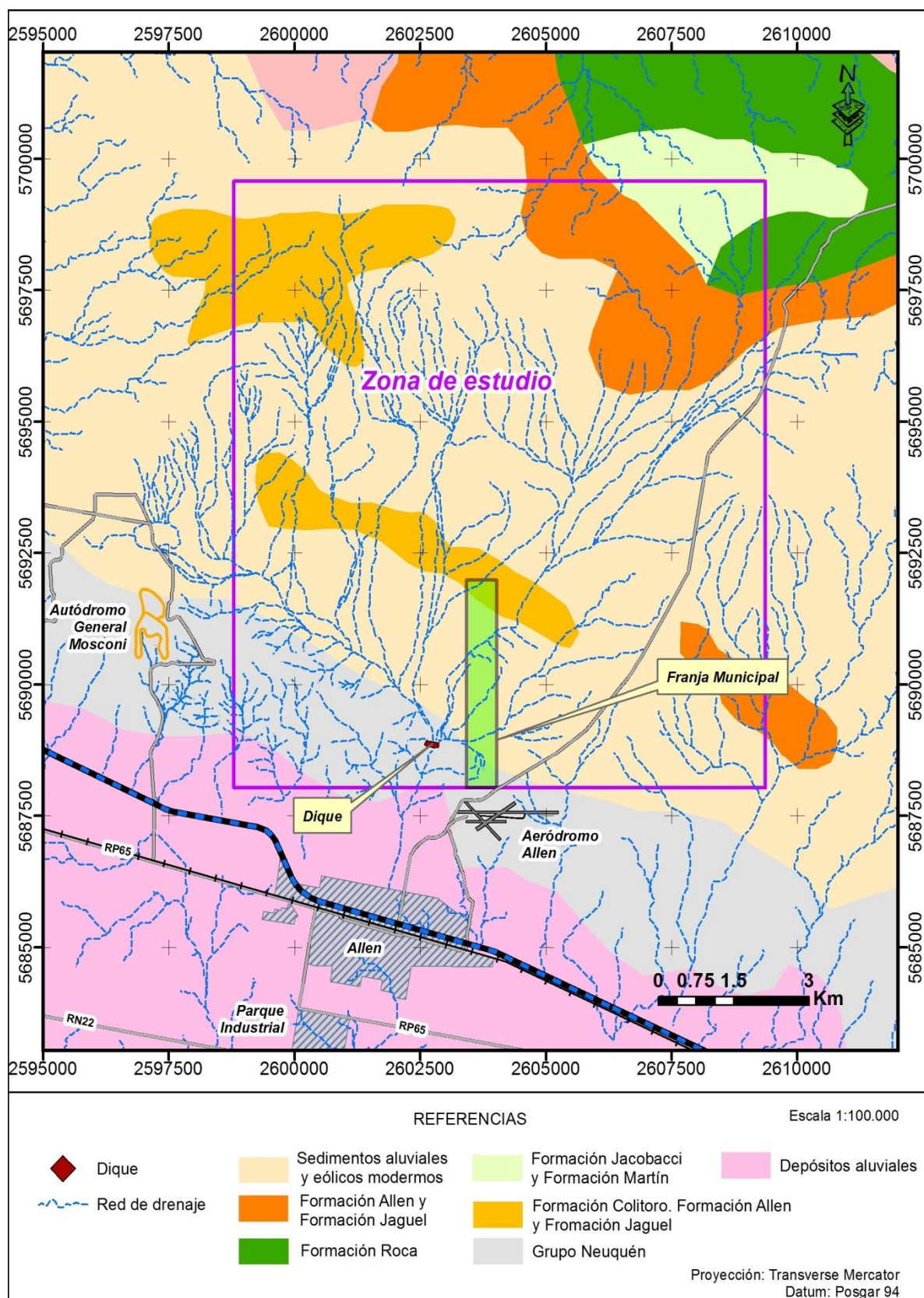


Figura 3: Mapa geológico área de estudio



## 4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

### 4.1. Delimitación de las cuencas

Con el objetivo de determinar las características aluvionales de las cuencas que afectan sector donde se desarrollará el proyecto GIRSU, se adaptó un Modelo Digital de Terreno (MDT - ALOS PALSAR<sup>1</sup>) obtenido del portal del *UAF Alaska Satellite Facility*. Éste fue retroproyectado al sistema Posgar94-Faja 2, optimizado a una grilla de 12.5 metros (MDT12.5) y procesado con el software ArcGis<sup>2</sup>.

Aplicando las herramientas de ArcToolbox (ArcGis) y en particular la extensión Spatial Analyst se delimitan e identifican cuencas aluvionales y sus respectivas redes de drenaje, desarrollando en el proceso las siguientes acciones:

- Relleno de las celdas del MDT12.5 que presenten incompatibilidades para con el proceso de escorrentía.
- Determinación de la Dirección de Flujo, identificando hacia donde fluye cada celda.
- Cálculo de la Acumulación del Flujo, evaluando el área de drenaje en áreas de celda.
- Identificación de las celdas de las corrientes, señalando aquellas celdas con un valor de acumulación de flujo superior a un cierto umbral definido.
- Identificación de los vínculos (o puntos de salida), asignando un número a cada tramo o segmento de la red de drenaje.
- Delineación de las subcuencas para cada vínculo, determinando el área incremental asociada a cada uno.

En las Figura 4 y Figura 5, se muestran las cuencas aluvionales determinadas. Tres en total que confluyen al dique de contención de crecidas que protege a la ciudad de Allen de las mismas. En la Tabla 1 se dan las coordenadas planas del cierre en el dique de las cuencas.

Tabla 1: Coordenadas cierres cuencas aluvionales.

Cierre Cuencas	X	Y
Dique	5.688.861	2.602.762

<sup>1</sup> ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) PALSAR (*Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar*).

<sup>2</sup> Copyright © 1999-2008 ESRI

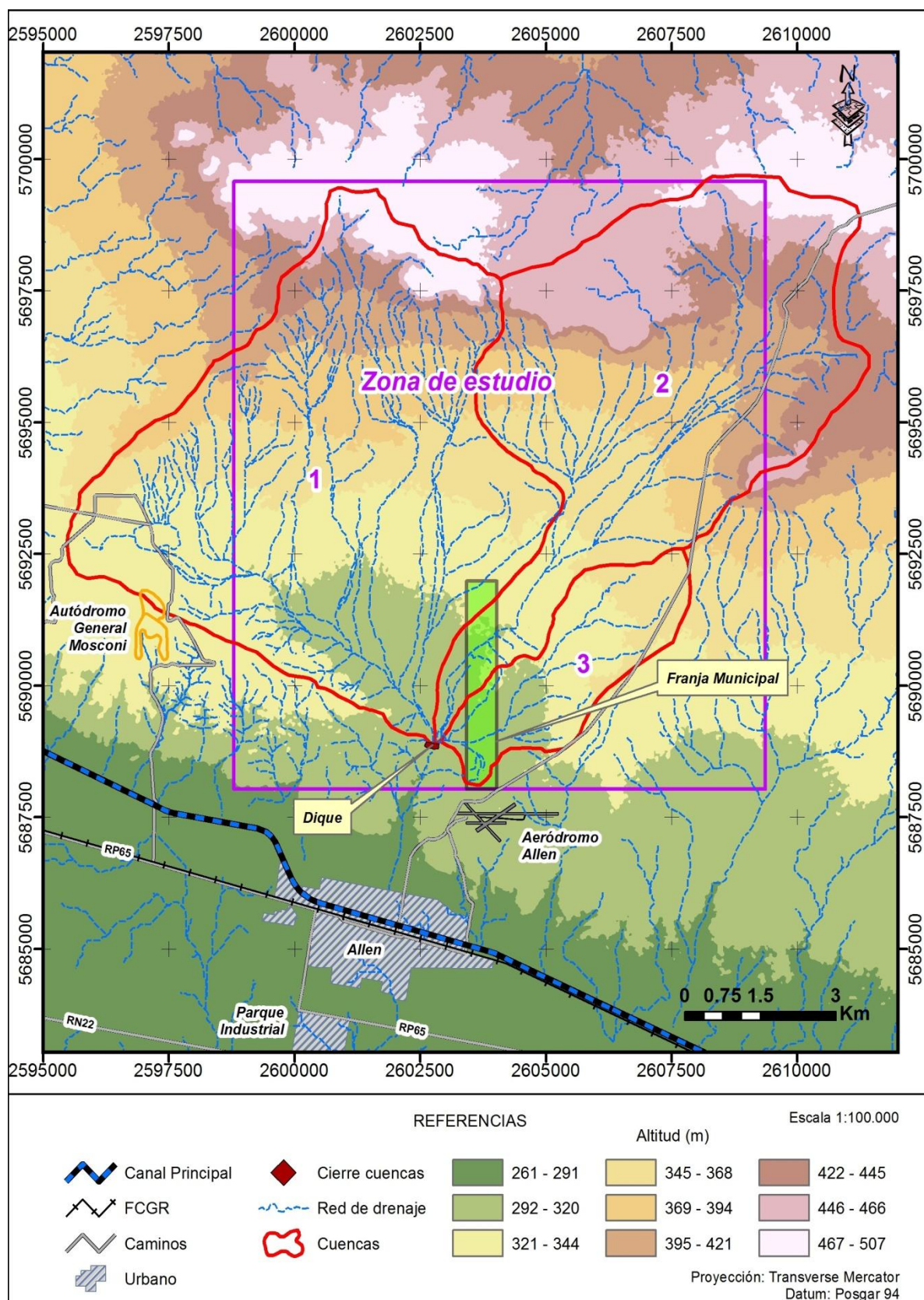


Figura 4: Mapa de altimetría, cuencas y red de drenaje.

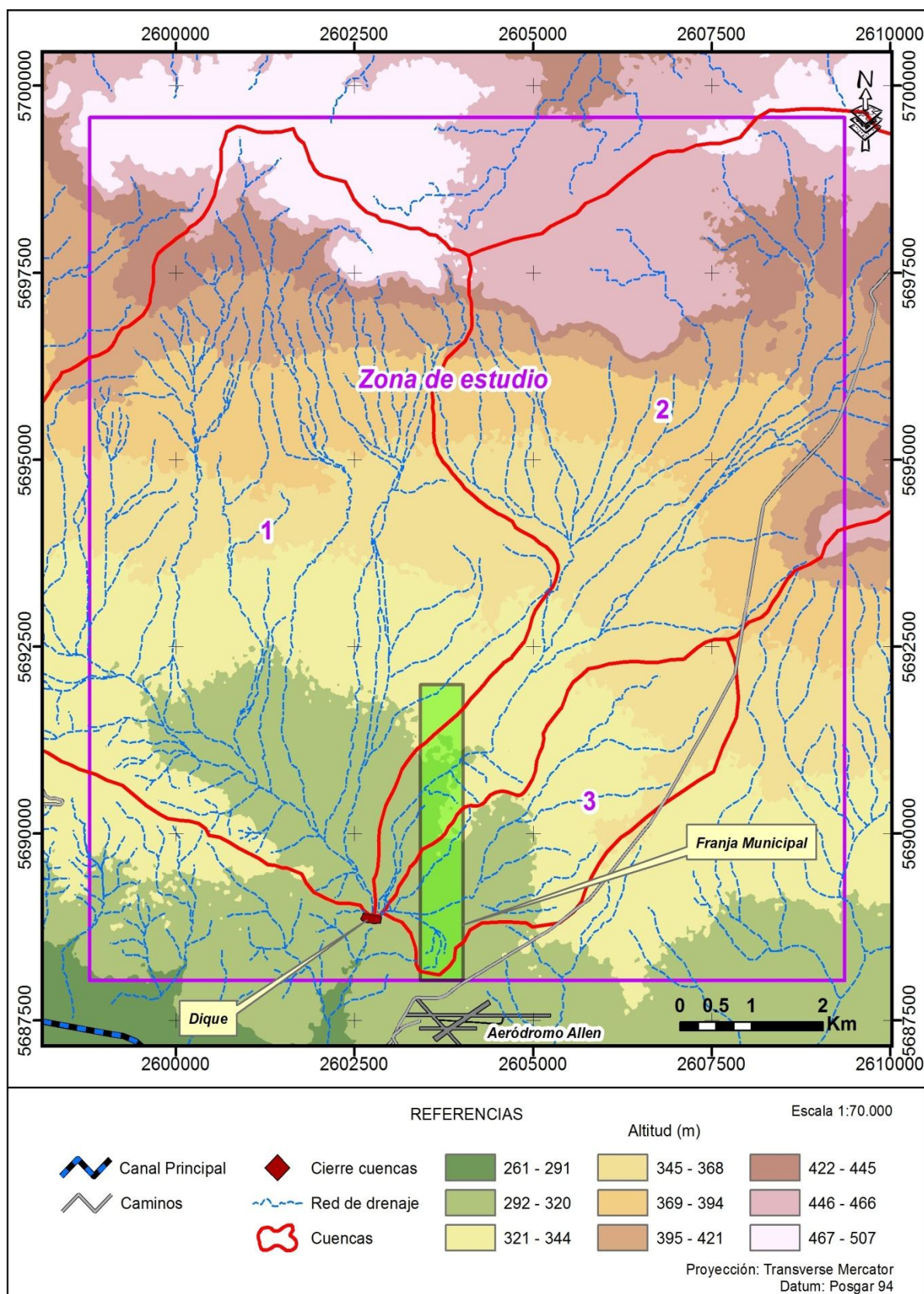


Figura 5: Mapa de altimetría, cuencas y red de drenaje (detalle)

## 4.2. Caracterización de Cuencas Aluvionales.

### 4.2.1. Parámetros Morfométricos

Los parámetros morfométricos principales que se obtienen de las cuencas son: Superficie ( $S$ ), Perímetro ( $P$ ), Altura Máxima ( $H_{m\acute{a}x.}$ ), Altura Mínima ( $H_{m\acute{i}n.}$ ), Desnivel ( $\Delta H$ ).

Otras características que interesan obtener de las cuencas, son las relativas a los *Parámetros Físicos de Forma y de Relieve*, y a los de la *Red Hidrográfica*. Estos se determinan a partir del procesamiento del MDT y de la red de drenaje de cada cuenca.

Tabla 2: Parámetros morfométricos.

Cuenca	Superficie (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Hmín. (m)	Hmáx. (m)	$\Delta H$ (m)
1	55.3	32.7	296	495	199
2	43.3	34.4	298	483	185
3	9.4	15.0	299	370	71

### 4.2.2. Parámetros Físicos de Forma

**a)- Forma de la cuenca ( $R_f$ ):** Horton (1932), sugirió un factor adimensional de forma, como índice de la forma de una cuenca:

$$R_f = \frac{S}{Lb^2} \quad (1)$$

Donde:

$S$ : Superficie de la cuenca, en km<sup>2</sup> y

$Lb$ : Longitud de la cuenca, medida desde la salida hasta el límite de la cuenca, cerca de la cabecera del cauce más largo siguiendo una línea recta, en km.

La ecuación no implica una suposición especial de la forma de la cuenca. Para un círculo  $R_f = 0.79$ ; para un cuadrado, con la salida en el punto medio  $R_f = 1$ ; y para el cuadrado con la salida en una esquina  $R_f = 0.5$ . Un valor de  $R_f$  superior a la unidad indicará el grado de achatamiento del área o un curso principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando grandes crecidas. Una cuenca estrecha y larga, con  $R_f$  bajo, presenta menor posibilidad de ocurrencia de lluvias intensas cubriendo simultáneamente toda su extensión y por consiguiente menor posibilidad de que se generen grandes crecidas. De acuerdo con la magnitud del factor de forma, las cuencas se clasifican

en tres grupos: baja, media y alta susceptibilidad a las inundaciones con factor de forma bajo, medio y alto respectivamente.

**b)- Coeficiente de Gravelius ( $C_g$ ):** Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de otra teórica circular de la misma superficie.

$$C_g = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} \quad (2)$$

Donde:

$P$ : Perímetro de la cuenca, en km y  
 $S$ : Superficie de la cuenca, en km<sup>2</sup>.

En cualquier caso el coeficiente será mayor que 1, tendiendo a la unidad cuando la cuenca se aproxima a la forma circular, y alcanzando valores próximos a 3 en cuencas muy alargadas. Este valor que crece con la irregularidad de la forma de la cuenca, permite clasificar a una cuenca como:

- $C_g = 1.00 - 1.25$  Casi redonda a oval redonda (compacta)
- $C_g = 1.25 - 1.50$  Oval oblonga
- $C_g = 1.50 - 1.75$  Rectangular oblonga
- $C_g = 1.75 - 3.00$  Casi rectangular (alargada)

Tabla 3: Parámetros de forma.

Cuenca	$R_f$	Forma de la Cuenca o Subcuenca	$C_g$	Clase de forma
1	0.36	Ligeramente alargada	1.24	Casi redonda a oval redonda (compacta)
2	0.22	Muy alargada	1.47	Oval oblonga
3	0.30	Ligeramente alargada	1.39	Oval oblonga

#### 4.2.3. Parámetros Físicos de Relieve

La topografía o relieve de una cuenca puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma de la misma. Numerosos parámetros para describir el relieve de una cuenca han sido desarrollados, siendo los más representativos los que a continuación se desarrollan:

**a)- Curva hipsométrica:** representa gráficamente las cotas de terreno en función de las superficies que éstas encierran. La curva hipsométrica muestra la potencialidad erosiva debido a la forma de distribución de sus pendientes que

comparada con curvas patrones indica la presencia de una cuenca joven, madura o vieja.

En la Figura 6 la curva superior (curva A) muestra una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria.

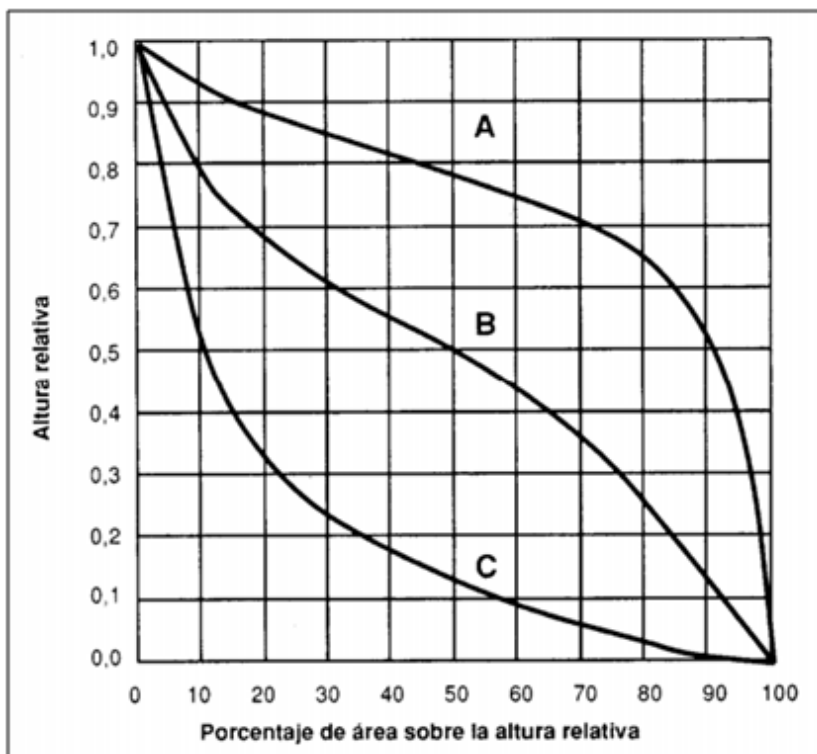


Figura 6: Curvas hipsométricas guías.

En la Figura 7 se muestran las curvas hipsométricas de las cuencas.

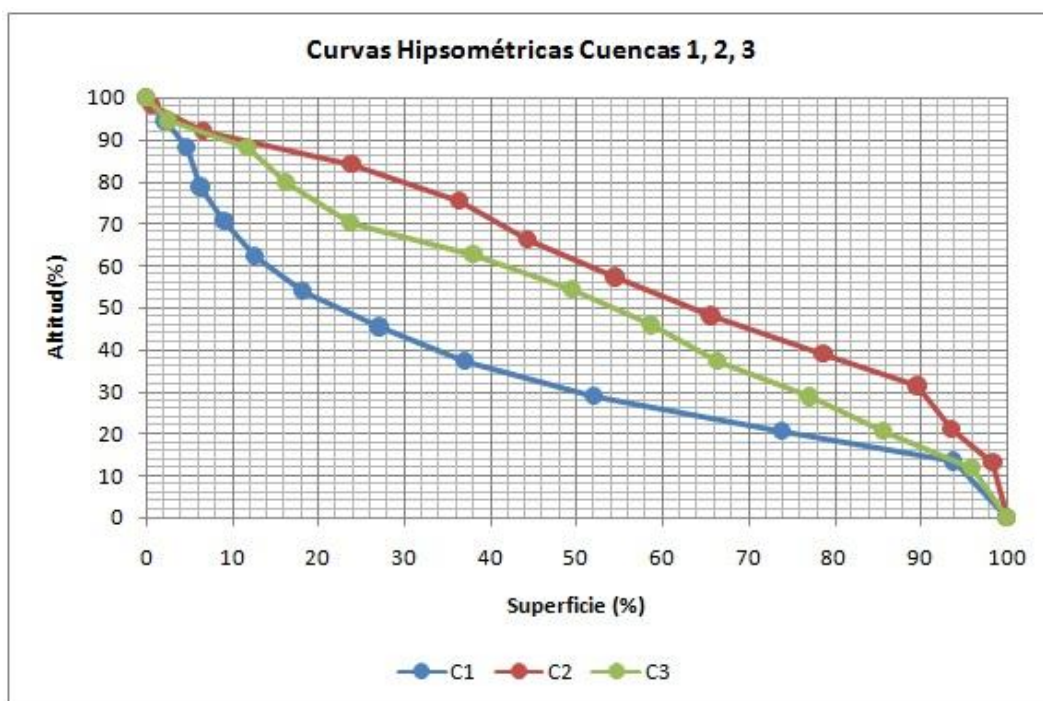


Figura 7: Curvas Hipsométricas Cuencas 1 a 6.

El área bajo la curva hipsométrica constituye la **Integral Hipsométrica (IH)**, que se utiliza como un indicador del “*ciclo de erosión*” (Strahler, 1952). El ciclo de erosión puede dividirse en tres etapas: **vejez** ( $IH < 0,35$ ), en el cual la *cuenca está completamente estabilizada*, etapa de **madurez** o equilibrio ( $IH$  entre 0,35 a 0,6) y etapa **juventud** o desequilibrio ( $IH > 0,6$ ), donde la *cuenca es altamente susceptible a la erosión* (Strahler, 1952).

Tabla 4: Valores de Integral Hipsométrica.

Cuenca	IH	Etapas
1	0.36	Madurez
2	0.61	Juventud
3	0.52	Madurez

**b)- Altura media (Hm):** se calcula como el cociente entre el volumen de la cuenca (superficie comprendida entre la curva hipsométrica y los ejes coordenados) y su superficie.

$$Hm = \frac{Vg}{S}; \quad Vg = \sum h_i S_i \quad (3)$$

Donde:

Hm: altura media (m);

$V_g$ : volumen de relieve que da la superficie del gráfico ( $m^3$ );  
 $S$ : superficie de la cuenca ( $m^2$ );  
 $h_i$ : altitud media de cada área parcial comprendida entre 2 curvas de nivel, y  
 $S_i$ : área parcial entre curvas de nivel.

**c)- Pendiente media de la cuenca ( $I_m$ ):** se calcula como la media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales en las que la línea de máxima pendiente es constante.

$$I_m = \frac{h \left( \frac{l_o}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} l_i + \frac{l_n}{2} \right)}{S} \quad (4)$$

Donde:

$h$ : diferencia de alturas entre curvas de nivel (m);  
 $l_o$ : longitud de la curva de nivel de menor cota (m);  
 $\sum l_i$ : suma de las longitudes de las curvas de nivel intermedias (m);  
 $l_n$ : longitud de la curva de nivel de mayor cota (m) y  
 $S$ : superficie de la cuenca ( $m^2$ ).

**d)- Coeficiente de masividad ( $C_m$ ):** Se representa por “tag  $\alpha$ ” y fue establecido por Martonne, su expresión es la siguiente:

$$C_m = tag \alpha = \frac{H_m}{S} \quad (5)$$

Donde:

$H_m$ : altura media de la cuenca (m) y  
 $S$ : superficie de la cuenca ( $km^2$ ).

Este coeficiente permite diferenciar netamente cuencas de igual altura media y relieve distintos, aún cuando no es suficiente para caracterizar la proclividad a la erosión de una cuenca, pues da valores iguales en el caso de cuencas diferenciadas, como es el caso en que la altura media y superficie aumenten proporcionalmente.

**e)- Coeficiente Orográfico ( $CO$ ):** Este parámetro combina los dos parámetros del relieve actuantes en los procesos erosivos: la altura media, sobre la energía potencial del agua; y la inclinación característica de las laderas de la cuenca, sobre la energía cinética del flujo de la escorrentía superficial.

$$CO = H_m \cdot tg \alpha \quad (6)$$

Donde:

*Hm*: altura media de la cuenca (m) y  
*tag α*: coeficiente de masividad.

Valores de:

- $CO < 6$  Relieve poco acentuado
- $CO > 6$  Relieve acentuado.
- $CO > 25$  indica cuencas de edad geológica reciente.

Tabla 5: Parámetros de relieve.

Cuenca	<i>Hm</i> (m)	<i>lm</i> (%)	<i>Cm</i>	<i>CO</i>
1	360.1	4.8	6.51	0.002
2	402.5	5.2	9.30	0.004
3	333.0	4.0	35.61	0.012

#### 4.2.4. Parámetros Relativos a la Red Hidrográfica

**a)- Densidad de drenaje (*Dd*):** está definida como la longitud media de curso por unidad de superficie. Su expresión matemática es la siguiente:

$$Dd = \frac{\sum Li}{S} \quad (7)$$

Donde:

*Dd*: densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>);

$\sum Li$ : suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca (km) y

*S*: superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>).

Comúnmente se señala que si  $Dd \geq 2.74$  se considera una cuenca bien drenada. Por otra parte, si sólo consideramos este índice, sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, podemos decir que cuanto mayor sea la densidad de drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo.

**b)- Pendiente media del cauce principal (*Jc*):** se calcula mediante la expresión de Taylor y Schwarz (1952):

$$Jc = \frac{Lc}{\sum_{i=1}^m \left( \frac{Lci}{\sqrt{Jci}} \right)} \quad (8)$$

Donde:

$Jc$ : pendiente media del cauce principal (m/m);

$Lc$ : longitud total del cauce principal (m)

$m$ : número de tramos a lo largo del cauce principal

$Lc1; Lc2; \dots, Lcm$ : longitud de cada tramo del cauce principal (m) y

$Jc1; Jc2; \dots, Jcm$ : pendiente de cada tramo del cauce principal (m/m)

**c)- Tiempo de concentración ( $Tc$ ):** es el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida la gota de lluvia caída en el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca. Se utiliza la ecuación del Témez (1987):

$$Tc = 0.3 \left( \frac{Lc}{Jc^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (9)$$

Donde:

$Tc$ : tiempo de concentración (hr);

$Lc$ : longitud del cauce principal de la cuenca (km) y

$Jc$ : pendiente media del cauce principal (m/m).

Tabla 6: Parámetros de la red hidrográfica.

Cuenca	$Dd$ (Km/Km2)	$Lc$ (Km)	$Jc$ (%)	$Tc$ (min.)
1	3.21	12.5	4.4	3.69
2	1.90	14.2	4.5	4.06
3	2.50	5.6	4.3	2.01

Los parámetros determinados indican que las cuencas presentan formas ligeramente alargada a muy alargada, oval oblonga, casi redonda a oval redonda (compacta), bien drenadas, presentando relieves poco acentuados, con pendientes medias que varían entre 4.0% al 5.2%, estando en etapa erosiva de madurez (cuencas 1 y 3), y juventud (cuenca 2).



#### 4.2.5. Determinación del Potencial de Escorrentía de las cuencas aluvionales

Para el cálculo de la precipitación efectiva o escurrimiento directo, se utiliza el Método del Número de Curva (CN) del U.S. Soil Conservation Service, que es un modelo semiempírico que se basa en las siguientes relaciones funcionales:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad P > Ia \quad (10)$$

$$Pe = 0; \quad P \leq Ia;$$

$$I = P - Pe \quad (11)$$

Siendo:

$Pe$ : escurrimiento (mm);  $P$ : precipitación (mm);  $S$ : retención potencial máxima (mm);  $Ia$ : abstracción inicial (mm);  $I$ : infiltración (mm).

La abstracción inicial incluye todas las pérdidas que se producen antes que se inicie el escurrimiento, retención en depresiones superficiales, intercepción por vegetación, evaporación e infiltración. La  $Ia$  es muy variable pero es posible correlacionarla con parámetros del suelo y con la cobertura vegetal. Por estudios realizados en cuencas rurales se ha correlacionado  $Ia$  y  $S$  a través de la siguiente relación empírica:

$$Ia = S^{0.55} \quad (12)$$

El valor de  $S$  está relacionado con el suelo y la cobertura vegetal a través del índice CN (Curva Número) mediante la siguiente expresión en milímetros:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (13)$$

**El índice CN expresa el potencial de escorrentía** de un terreno en función de la humedad antecedente del suelo, cobertura vegetal, grupo hidrológico de suelo y uso del mismo. El valor máximo que puede alcanzar este índice es  $CN = 100$ , que indica que el terreno que se analiza es completamente impermeable, es decir, todo lo que llueve escurre en superficie.

La Tabla 7 permiten obtener un valor estimativo del índice CN para distintas coberturas y usos del suelo, para una condición humedad antecedente media (*Antecedent Moisture Condition: AMCII*).

Tabla 7: Valores del índice CN para áreas aluvionales semiáridas (INCYTH, 1980).



DESCRIPCION DEL USO DEL SUELO Y CUBIERTA	TIPO HIDROLOGICO DE SUELO			
	A	B	C	D
- Suelo descubierto	77	86	91	94
- Estepa Arbustiva:				
a) Con menos del 5% de cobertura herbácea				
Cobertura entre el 5 - 20%	72	81	88	91
Cobertura entre el 20 - 30%	70	80	87	90
Cobertura entre el 30 - 40%	68	79	86	89
Cobertura mayor del 40%	51	70	80	84
b) Con más del 5% de cobertura herbácea				
Cobertura entre el 5 - 20%	71	80	87	90
Cobertura entre el 20 - 30%	68	78	85	88
Cobertura entre el 30 - 40%	66	77	84	87
Cobertura mayor del 40%	49	68	78	82
- Estepa halófito	70	80	87	89
- Estepa halófito - higrófito	51	70	80	84

El complejo hidrológico suelo-cobertura es muy importante para el cálculo de la precipitación efectiva o escorrentía directa. Los grupos de suelos hidrológicos identificados en la referida tabla son:

- Suelos Grupo A: Tienen alta velocidad de infiltración, aún cuando están muy húmedos. Consisten principalmente en arenas o gravas profundas, bien a excesivamente drenadas. Estos suelos tienen alta velocidad de transmisión.
- Suelos Grupo B: Tienen moderadas velocidades de infiltración cuando están bien húmedos. Consisten principalmente en suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, con textura moderadamente fina a moderadamente gruesa. Con moderada velocidad de transmisión.
- Suelos Grupo C: Tienen infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten principalmente en suelos con una capa que impide el descenso del agua, o suelos con textura moderadamente fina a fina. Tienen lenta transmisión de agua.
- Suelos Grupo D: Tienen infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten principalmente en suelos de arcilla con alto potencial de expansión. Tienen lenta transmisión de agua.



Los valores del índice *CN* de las tablas, como se expresó, se refieren a la condición media de humedad en el suelo (*AMCII*). El SCS define tres condiciones de humedad, estos son:

*AMCI*. Seca: suelo que permite una capacidad de infiltración alta, asociada con intensidades desde 0 a 635 mm/año.

*AMCII*. Media: suelo que permite una capacidad de infiltración normal, asociada con intensidades desde 635 a 1270 mm/año.

*AMCIII*. Húmeda: suelo que permite una capacidad de infiltración baja, con intensidades mayores de 1270 mm/año.

Para la obtención del índice *CN* para las condiciones seca (*AMCI*) o húmeda (*AMCIII*) se utilizan las ecuaciones (14) y (15), respectivamente:

$$CN(AMCI) = \frac{4.2 \, CN(AMCII)}{10 - 0.058 \, CN(AMCII)} \quad (14)$$

$$CN(AMCIII) = \frac{23 \, CN(AMCII)}{10 + 0.13 \, CN(AMCII)} \quad (15)$$

Donde: *CN(AMCII)*: valor de número de curva para la condición de humedad antecedente II o media, éste valor es el obtenido de tablas. *CN(AMCI)*: valor de número de curva para la condición de humedad antecedente I o seca. *CN(AMCIII)*: valor de número de curva para la condición de humedad antecedente III o húmeda.

El mapa de Grupos Hidrológicos de Suelos se confecciona a partir de la reclasificación del mapa de Tipo de Suelos según Textura de acuerdo a la Tabla 8.

Tabla 8: Grupos Hidrológicos de Suelos.

GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO	TIPO DE SUELO SEGÚN TEXTURA
A	Arenoso Arenoso franca Areno-limoso
B	Franco-arenoso Franco Franco-limoso
C	Franco-arcilloso-arenoso Franco-arcilloso Franco-arcillo-limoso

	Arcillo-arenoso Arcillo limoso
D	Arcilloso

La determinación del índice CN se realiza de manera distribuida mediante álgebra de mapas y reclasificaciones digitales de los mapas de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo, Grupos Hidrológicos de Suelos y Pendientes. Las operaciones para la determinación del índice CN se representan en el siguiente diagrama de flujo:

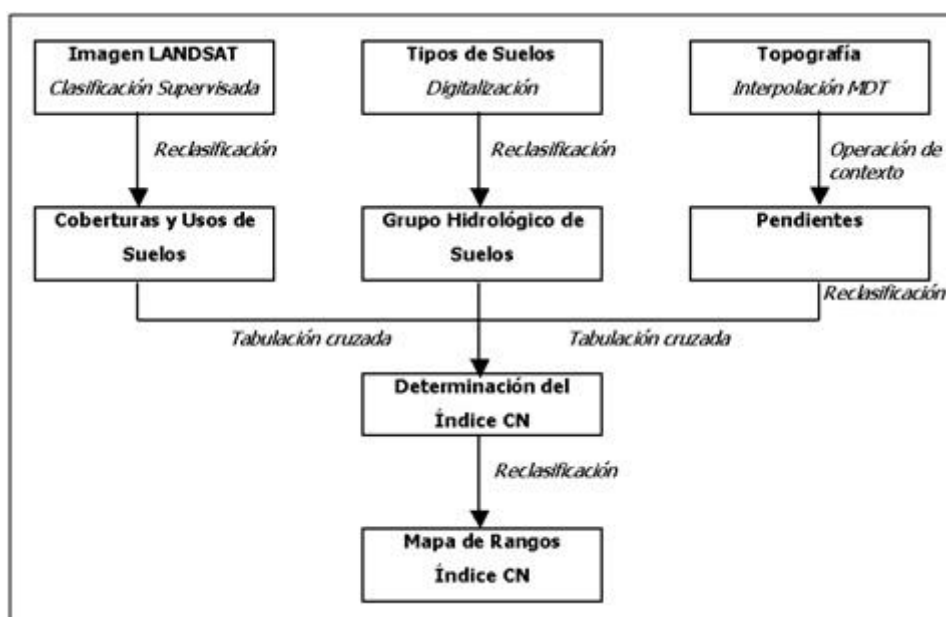


Figura 8: Modelo cartográfico aplicando álgebra de mapas y reclasificaciones en SIG.

Cálculo del índice CN distribuido

#### 4.2.6. Mapa de Coberturas del Suelo

Mediante la imagen Landsat8OLI P230R087 obtenida del portal *USGS Global Visualization Viewer* (<http://glovis.usgs.gov/>), previo procesamiento, retroproyección a Posgar94-Faja2 y circunscripción al sistema de cuencas (Figura 9), se efectuó una clasificación supervisada con el software Erdas Imagine obteniéndose el mapa de coberturas que se muestra en la Figura 10.

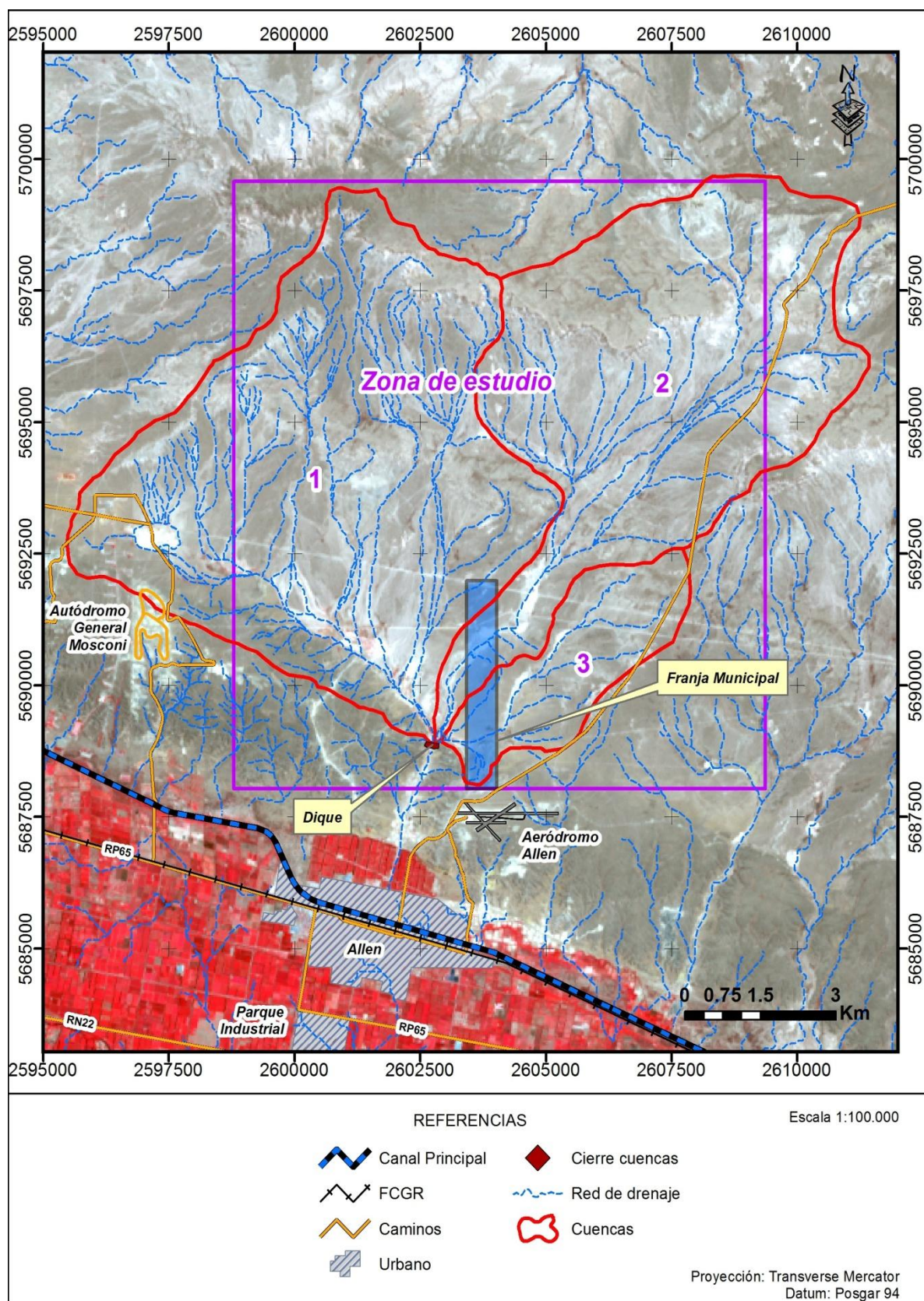


Figura 9: Mapa de Imagen Landsat 8 (B543).

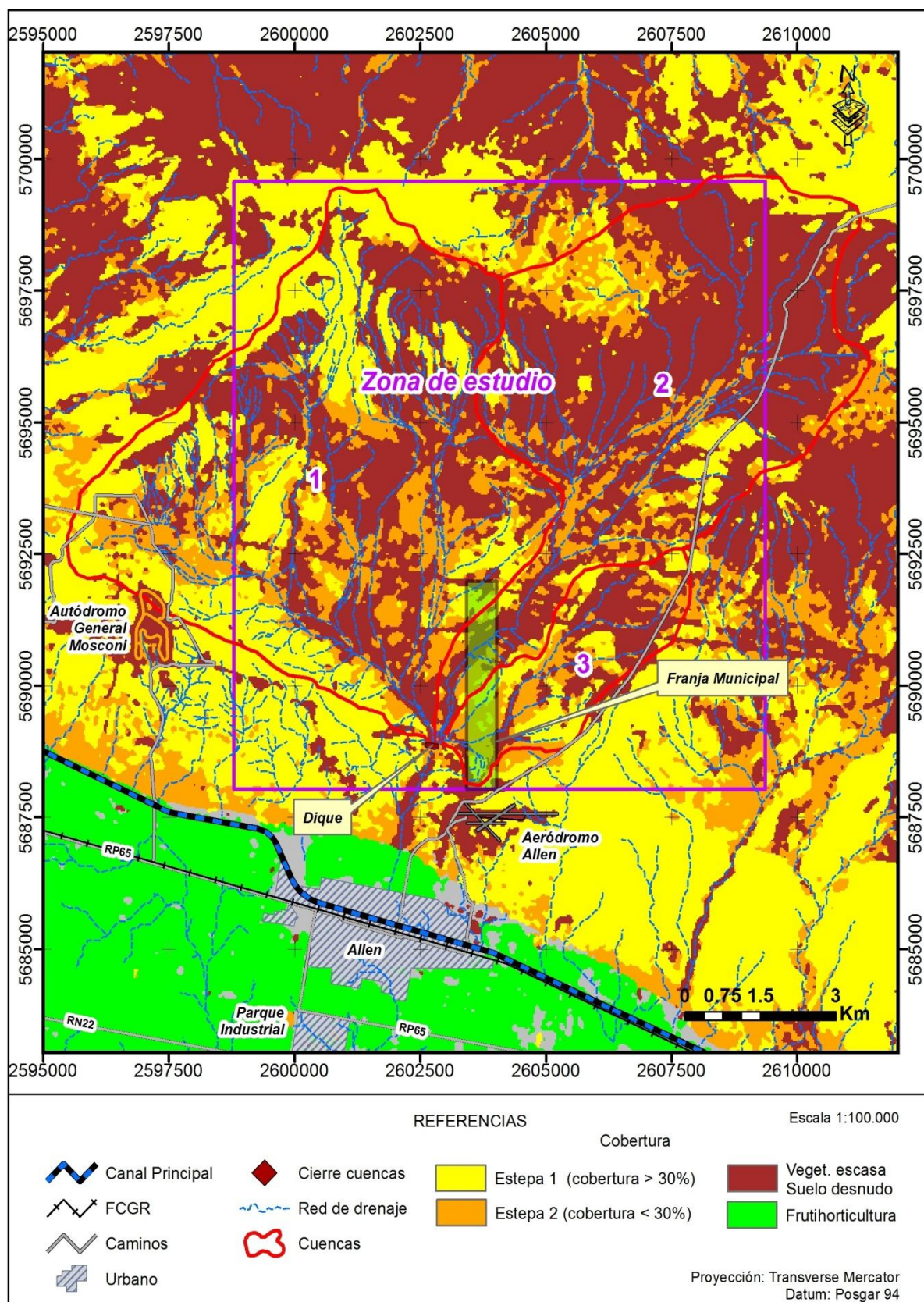


Figura 10: Mapa de Coberturas.



#### **4.2.7. Mapa de Grupos Hidrológicos de Suelos**

Del Atlas Digital de Suelos de la República Argentina elaborado por el INTA (<http://geointa.inta.gov.ar>), se obtuvieron las características de los distintos tipos de suelos que se encuentran en las cuencas.

Los suelos predominantes son los del orden Entisol. En este orden están incluidos los suelos que no evidencian o tienen escaso desarrollo de horizontes pedogenéticos. La mayoría de ellos solamente tiene un horizonte superficial claro, de poco espesor y generalmente pobre en materia orgánica.

En función de las texturas de los mismos se elaboró el mapa correspondiente (Figura 11).

Tomando los datos de la Tabla 8 y las características de texturales de los suelos de las cuencas en análisis, se confeccionó el mapa correspondiente de Grupos Hidrológicos de Suelos (Figura 12).

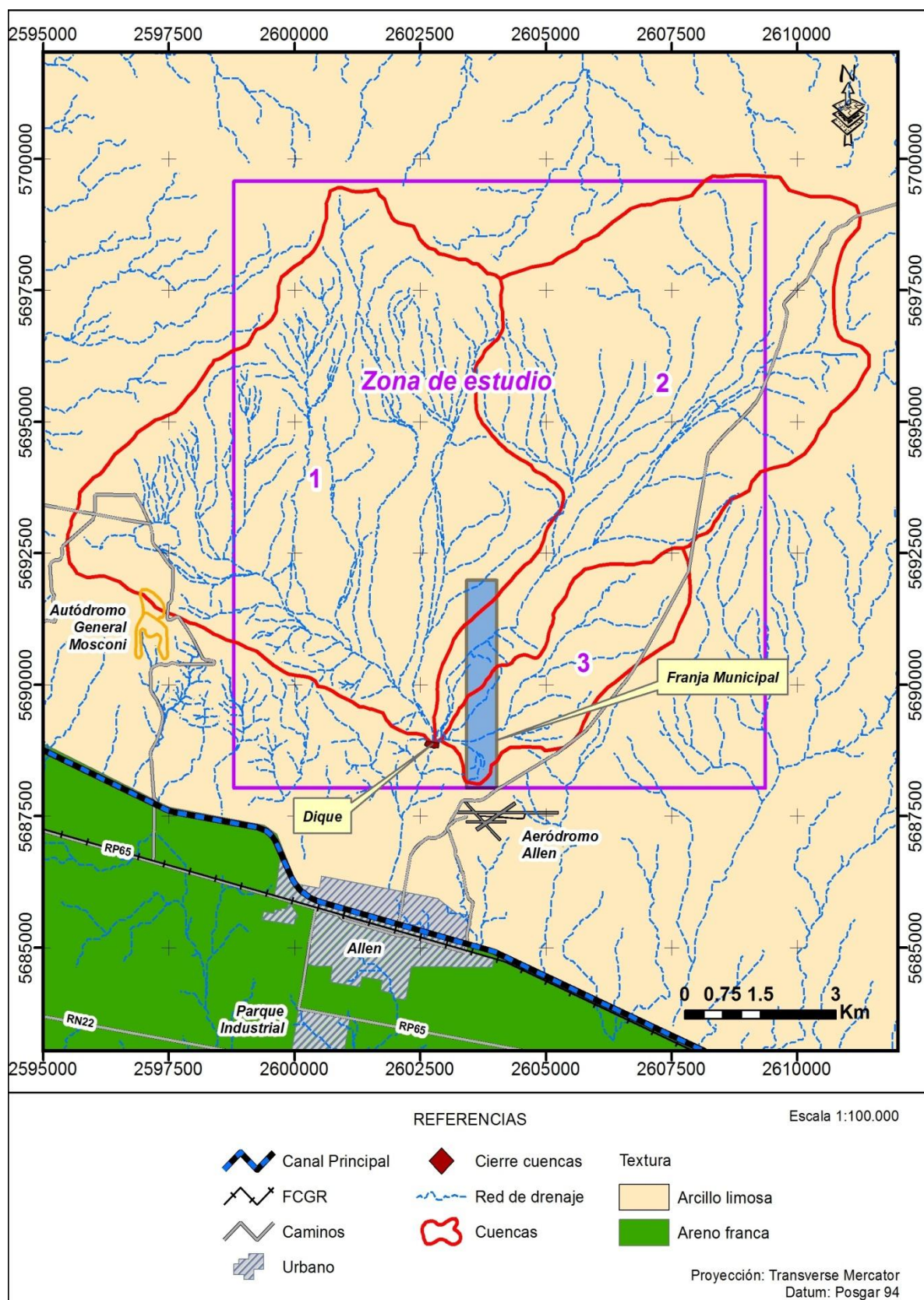


Figura 11: Mapa de suelos-texturas..

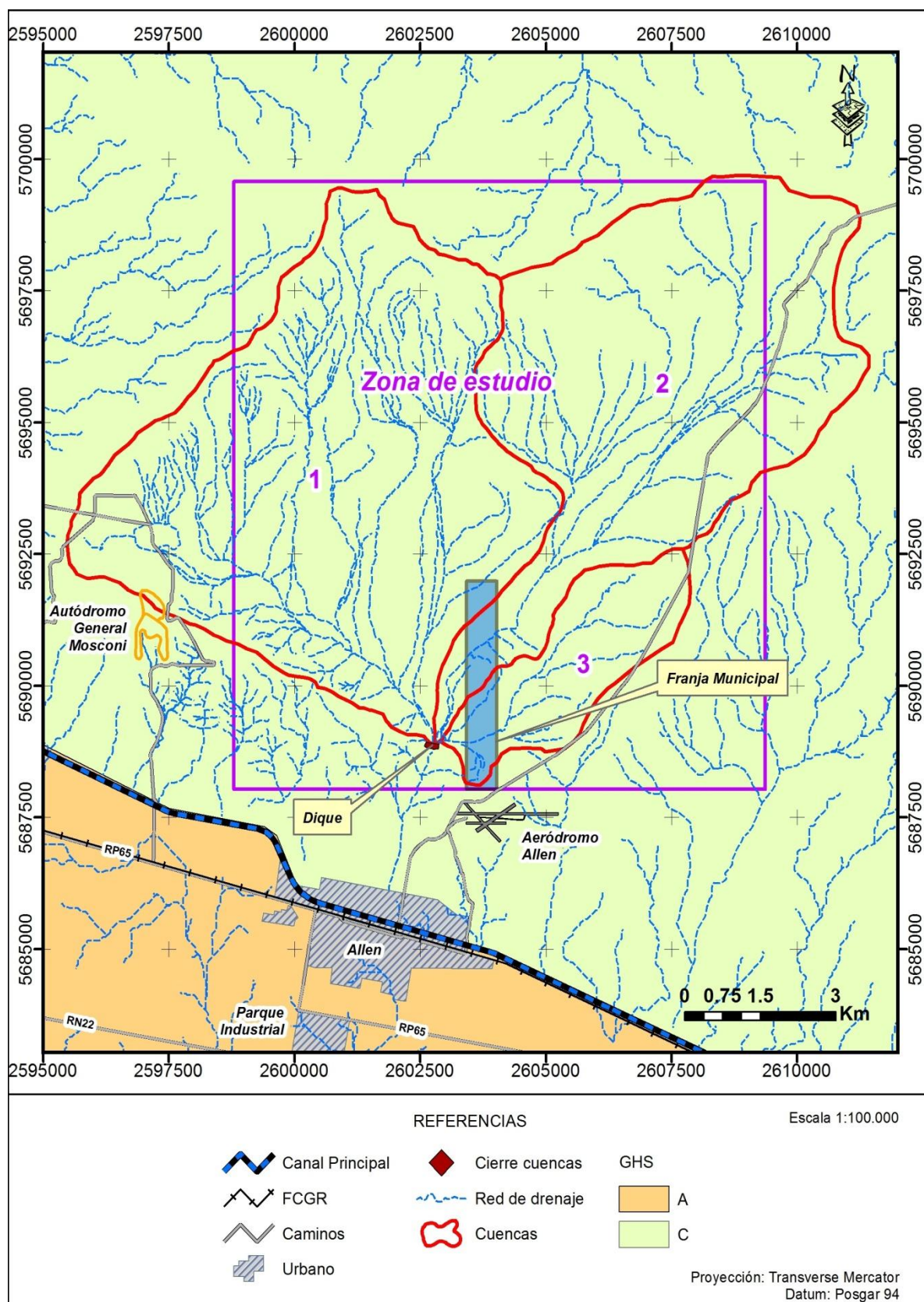


Figura 12: Mapa de Grupos Hidrológicos de Suelos.



#### 4.2.8. Mapas de Pendientes

El estudio de la pendiente se basa en el cálculo del gradiente de pendiente para las distintas cuencas estudio. La pendiente en un punto del terreno se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en ese punto y la vertical. Su estimación partir del MDT se basa en el cálculo de la pendiente de un plano de ajuste en cada punto o celda del modelo. La pendiente es calculada por:

$$\tan G = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \quad (16)$$

Donde:

z: es la altitud;  
x e y: son coordenadas axiales.

En la Figura 13 se muestra el mapa de pendientes de las cuencas aluvionales

La modificación por pendiente del índice CN, se realiza mediante la ecuación propuesta por Williams *et al* (1990):

$$CN_{ap} = \frac{(CN_{III} - CN_{II})}{3} [1 - 2 \exp(-13.86 \text{ Pend.})] + CN_{II} \quad (17)$$

Donde:

$CN_{ap}$ : Índice CN ajustado por pendiente,  
 $CN_{II}$ : Índice CN con CHA II,  
 $CN_{III}$ : Índice CN con CHA III,  
 $Pend.$ : pendiente en grados.

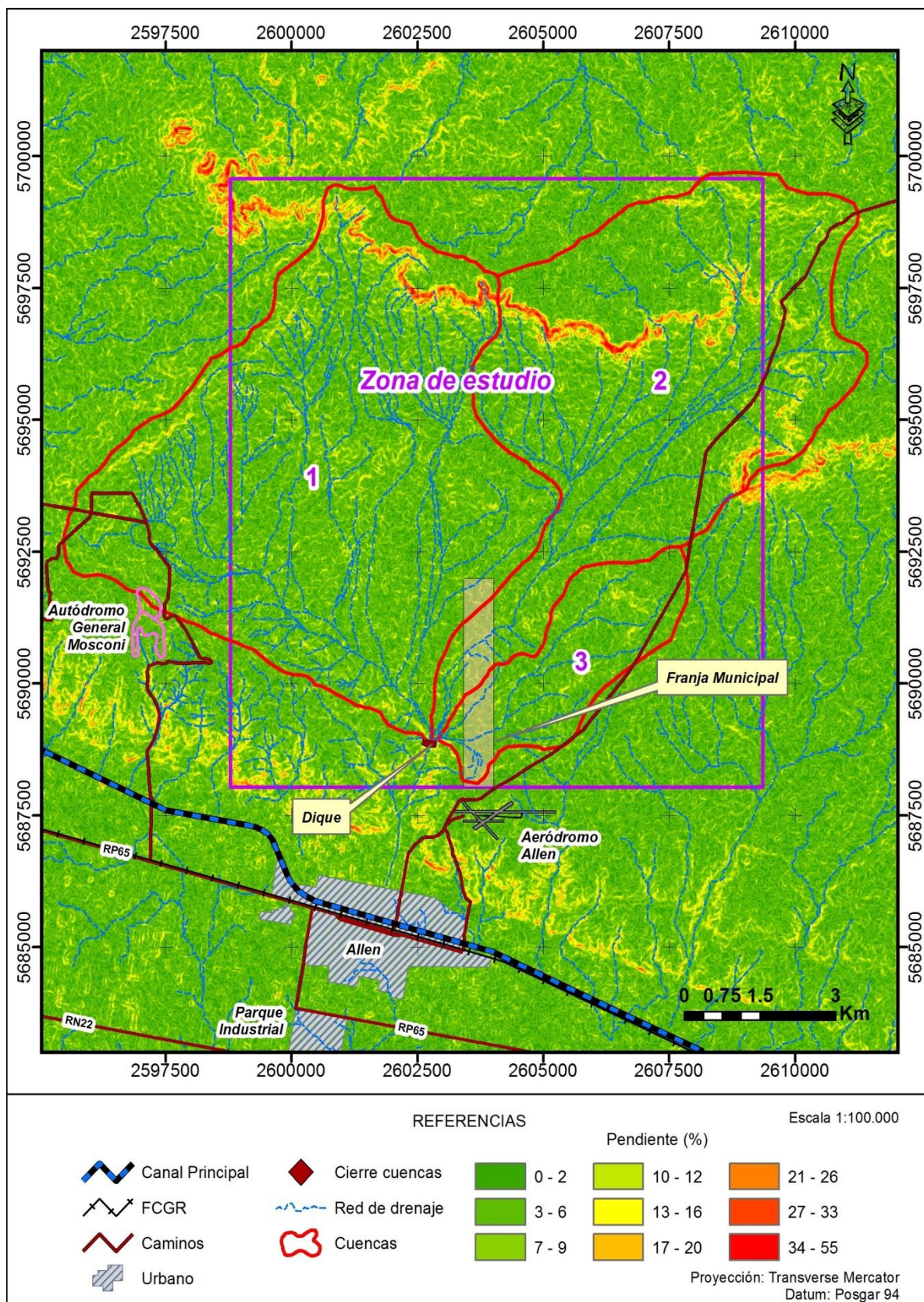


Figura 13: Mapa de pendientes.



#### 4.2.9. Álgebra de Mapas. Potencial de Escorrentía

Obtenidos los mapas del modelo cartográfico se procede a la obtención del mapa de potencial de escorrentía considerando el estado de humedad antecedente II (AMCII) (Figura 14).

En la Tabla 9 se dan los valores promedios del índice CN para los tres estados de humedad antecedente (AMC) para las cuencas en análisis.

Tabla 9: Valores del índice CN.

Cuenca	CN(AMCI)	CN(AMCII)	CN(AMCIII)
1	71	85	93
2	72	86	93
3	71	85	93

De la tabla anterior se observa que los índices CN para los estados AMCII y AMCIII son elevados, lo que implica que escurrirá por superficie la mayor parte de las precipitaciones intensas que se produzcan sobre las cuencas.

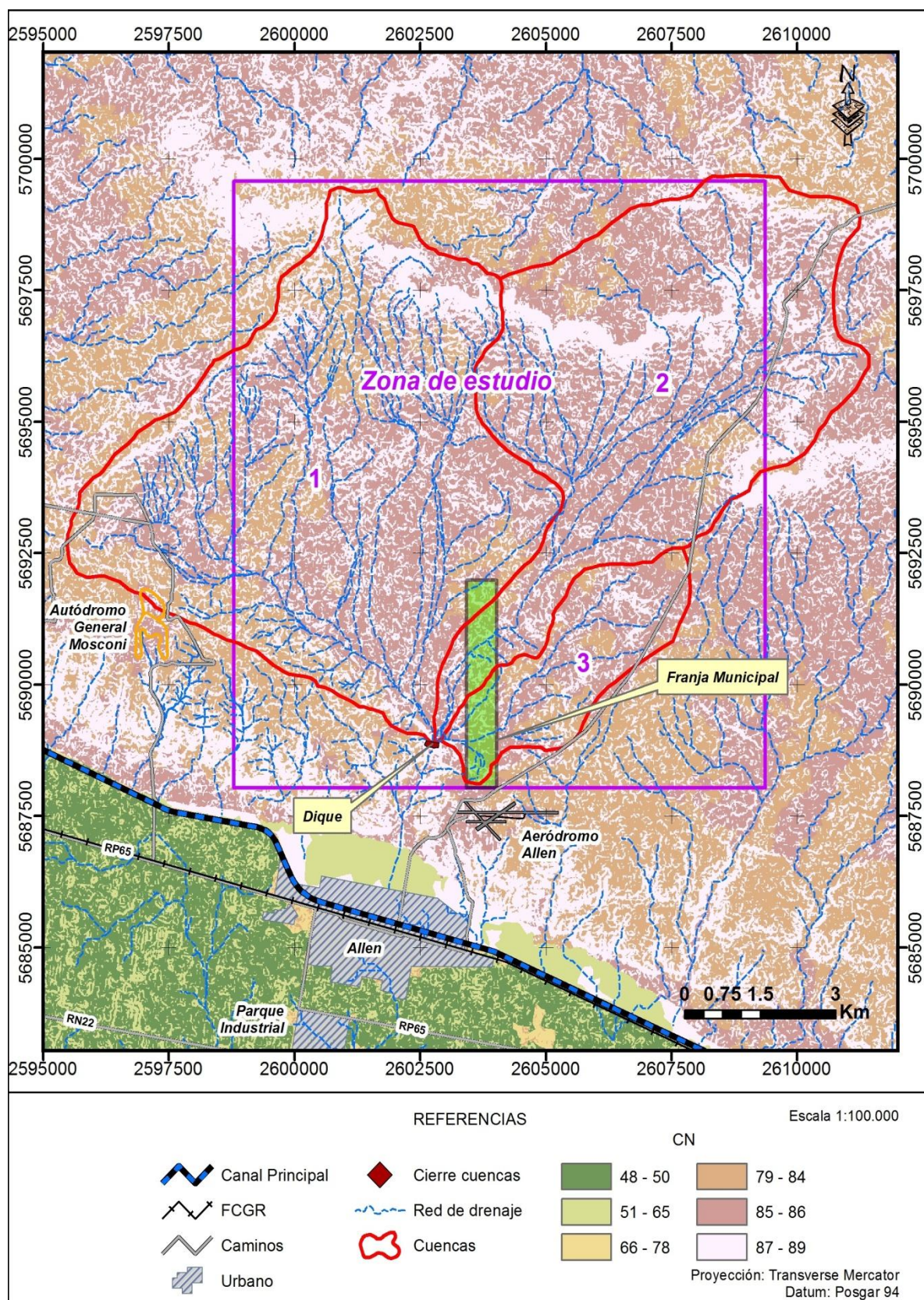


Figura 14: Mapa de potencial de escorrentía.



#### 4.2.10. Precipitaciones Intensas - Tormentas de Proyecto

Las tormentas de proyecto son patrones de precipitación definidos para utilizarse en el cálculo de la escorrentía y el diseño de obras hidráulicas. Se construyen a partir de información histórica considerando las características generales de la precipitación en la zona donde se aplicarán.

Las tormentas de proyecto en el presente estudio se definirán mediante Hietogramas Acumulados que especifican la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta de determinada duración.

Sobre la base de estudios de precipitaciones intensas en la zona de predominio climático árido y semiárido de las Provincia del Neuquén y Río Negro. Rapacioli y D'Amico (2013) utilizando el metodología Método de la Intensidad Contigua (MIC) obtuvieron curvas generalizadas de intensidad de precipitación para la cuenca superior del río Colorado. El Departamento Provincial de Aguas de la provincia de Río Negro en el Anexo I de la Resolución 2120/08, recomienda el utilización de las mismas para los estudios de riesgo hídrico aluvional utilizando siguiente ecuación para duraciones de tormentas comprendidas entre 1 hora  $\leq D \leq$  24 horas:

$$\frac{\bar{I}_D}{\bar{I}_{24}} = \left(\frac{24}{D}\right)^{0.83}; \quad \bar{I}_D = 13.98 \bar{I}_{24} D^{-0.83} \quad (18)$$

Siendo:  $\bar{I}_D$ : intensidad media máxima de duración  $D$  (h),  $\bar{I}_{24}$ : intensidad media máxima de la lluvia de 24 horas en mm/h, obtenida de la Precipitación Máxima de 24 horas (PM24) de una determinada recurrencia

Para las duraciones menores a 1 hora, la ecuación 18 se complementa con la ecuación propuesta por Cartaya (1988):

$$P_D = 0,14 D^{0,49} P_{1h} \quad (19)$$

Donde:  $D$ : duración en minutos;  $P_{1h}$ : precipitación acumulada en 1 hora

Se utilizarán las  $\bar{I}_{24}$  de la estación meteorológica de la localidad del aeropuerto de la ciudad de Neuquén (Tabla 10), que cuenta con información de calidad y se encuentra a 60 km de la zona de estudio.

Tabla 10: Intensidad Media Máxima de 24 horas (mm/h).

TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100
2	3.2	4.2	5.2	6.3	7.1

## Duraciones de tormentas

Las duraciones a utilizar surgen de analizar los tiempos de concentración de las cuencas. Se tiene que los mismos varían de 2.01 horas (cuenca 3) a 4.06 horas (cuenca 2). En base a lo anterior, las duraciones de las tormentas de proyectos se establecen iguales (próximos) o superiores a los tiempos de concentración de las cuencas analizadas.

Atendiendo a lo anterior, y aplicando la ecuación (18) se tienen los siguientes montos de precipitaciones:

Tabla 11: Duraciones de tormentas de proyectos.

Cuenca	T <sub>c</sub> (h)	Duración adoptada (h)
3	2.0	2.0
1	3.7	4.0
2	4.1	4.0

Aplicando la ecuación (18) con las duraciones adoptadas, se tienen los siguientes montos de precipitaciones:

Tabla 12: Precipitaciones totales (mm).

D (h)	PT (mm)					
	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100
2	31	50	66	82	99	112
4	35	57	74	92	111	126

## Tormentas de Proyecto Adoptadas

La confección de los hietogramas acumulados de las tormentas de proyecto se realizó con la metodología de Huff (1967, 1990), utilizando el hietograma porcentual correspondiente al primer cuartil, adecuado para precipitaciones de duraciones menores o iguales a 6 hrs (Figura 15), combinando luego con los valores de las precipitaciones totales de la Tabla 12.

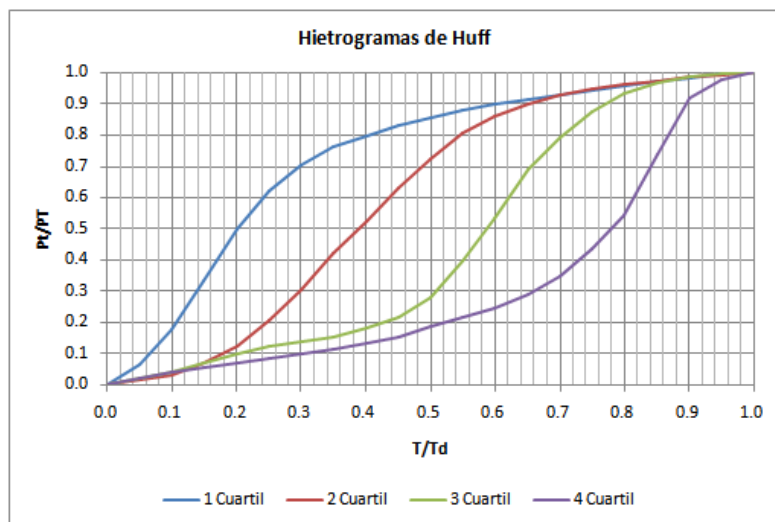


Figura 15: Hietogramas adimensionales de Huff.

En las siguientes figuras se muestran los hietogramas generados:

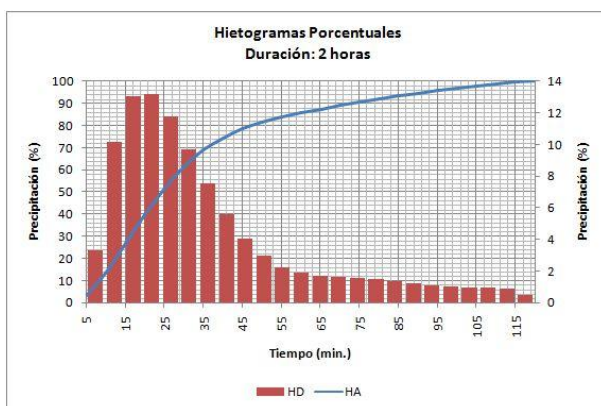


Figura 16: Hietogramas porcentuales - D: 2hs.

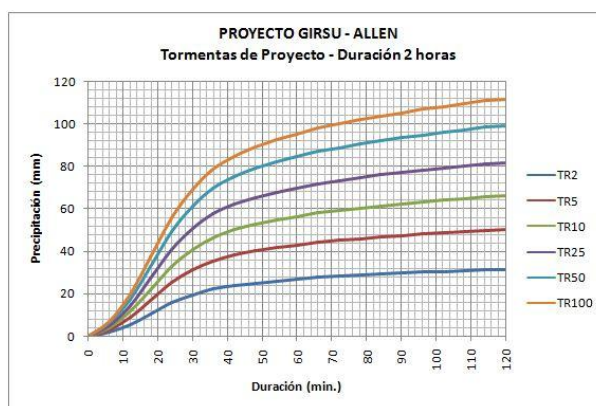


Figura 17: Tormentas de proyecto - D: 2hs.

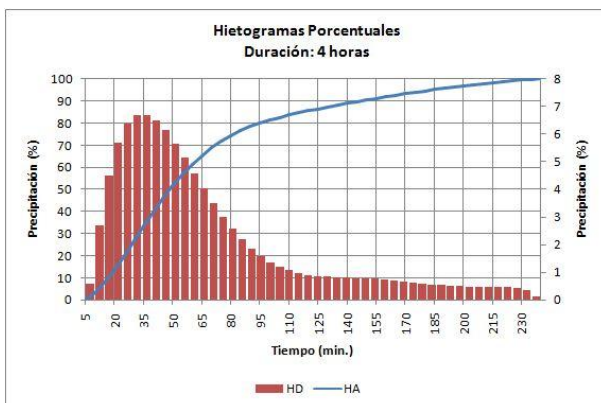


Figura 18: Hietogramas porcentuales - D: 4hs,

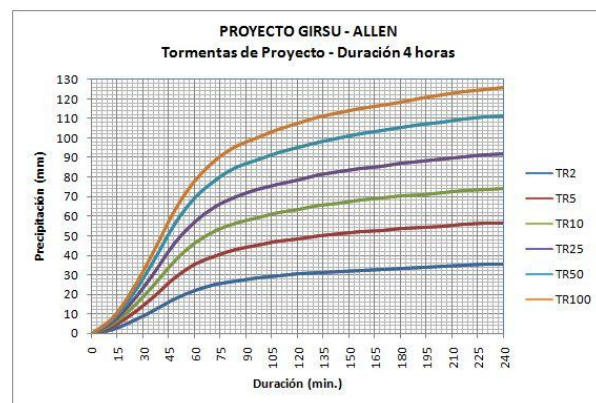


Figura 19: Tormentas de proyecto - D: 4hs.



El modelo de precipitaciones intensas adoptado es aplicable a pequeñas superficies. Para superficies mayores, a los montos de precipitaciones obtenidos (Tabla 12), se les aplica un coeficiente de reducción,  $FR$ , desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers (1990).

$$FR = 1 - (0.344 D^{-0.394}) (1 - EXP(-0.0058 S)) \quad (20)$$

Donde:

$FR$ : factor de reducción a aplicar a la precipitación puntual;

$S$ : superficie sobre la cual se produce el decremento del impulso lluvioso ( $\text{km}^2$ );

$D$ : duración de la precipitación (h).

En Tabla 13 se presentan los coeficientes reductores a ser aplicado en cada cuenca.

Tabla 13: Valores de  $FR$

Cuenca	$FR$
1	0.945
2	0.956
3	0.986

Ajustando los valores de precipitación de la Tabla 12 con los valores  $FR$  de cada cuenca se obtienen los montos de precipitaciones totales corregidos a ser aplicados en la modelación:

Tabla 14: Precipitaciones totales corregidas (mm).

Cuenca	PT corregida (mm)					
	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100
1	33	54	70	87	105	119
2	34	54	71	88	107	120
3	31	50	65	81	98	110

#### 4.2.11. Modelación Hidrológica – Modelo HEC-HMS

La aplicación del modelo HEC-HMS se realiza adoptando para el Modelo de Cuenca (*Basin Model*) una topología de cálculo independiente para cada cuenca aluvional identificada, el Método del Número de Curva (índice CN) para la estimación de las pérdidas de precipitación, el Método de Snyder (1938) para la transformación de lluvia-caudal y sin considerar el flujo base o subterráneo, dado que interesa

conocer el flujo superficial que es el que aporta mayor volumen de agua en una crecida aluvional.

Snyder (1938) publicó una descripción paramétrica de un HU que tenía desarrollado para el análisis de las cuencas hidrográficas, con superficies de 15 a 16000 km<sup>2</sup>, sin datos de caudales en los Montes Apalaches USA, y estableció relaciones para estimar los parámetros del HU.

Snyder seleccionó el tiempo de retardo, el caudal máximo, y el tiempo base como parámetros fundamentales de un HU. Definió un HU estándar que tiene como tiempo de lluvia unitaria ( $T_r$ ) relacionada con el tiempo de retardo ( $T_L$ ) de la siguiente forma:

$$T_L = 5.5 T_r \quad (21)$$

Aquí retardo es la diferencia en el tiempo del pico de HU y el tiempo asociado con el centroide hietograma del exceso de lluvias, como se ilustra en la Figura 20. Si la duración de los HU buscado para la cuenca hidrográfica de interés es diferente de la especificada por la ecuación (22), se puede utilizar la siguiente relación

$$T_{LR} = T_L - \frac{T_r - T_R}{4} \quad (22)$$

$T_R$ : duración establecida,  $T_{LR}$ : tiempo de retardo modificado

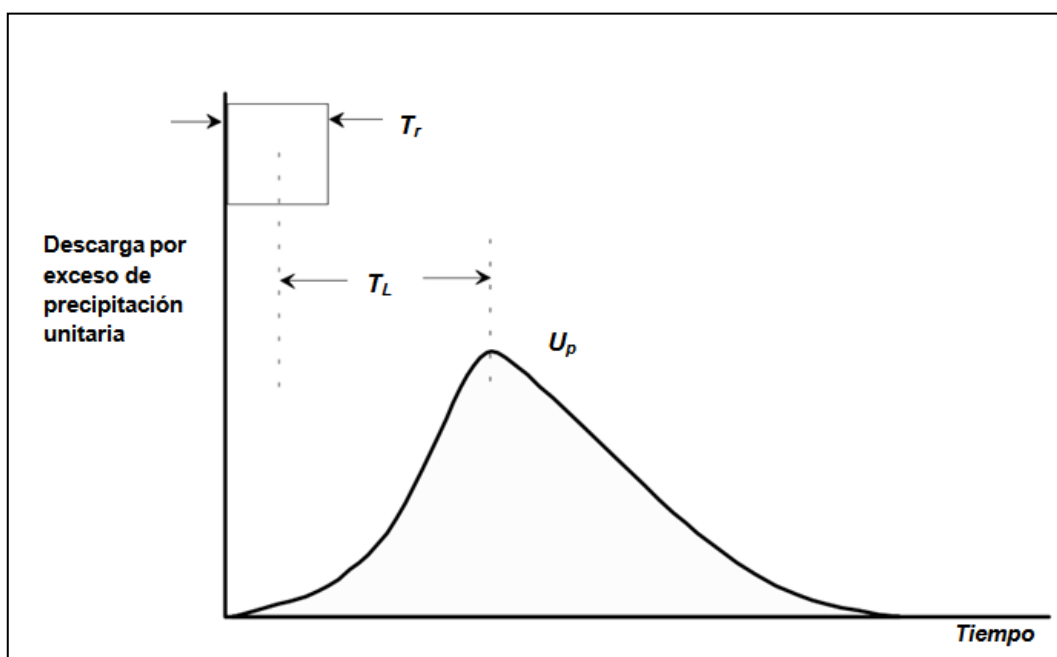


Figura 20: Hidrograma Unitario de Snyder.



En el caso normal, Snyder descubrió que el tiempo de retardo ( $T_L$ ) y el pico por unidad de exceso de precipitación por unidad de área de la cuenca se relaciona a través de:

$$\frac{U_p}{A} = C \frac{C_p}{T_L} \quad (23)$$

Donde  $U_p$ : pico del HU,  $A$ : área de drenaje de la cuencas hidrográfica;  $C_p$ : coeficiente pico del HU, y  $C$ : constante de conversión (2,75 en SI).

Para otras duraciones:

$$\frac{U_{pR}}{A} = C \frac{C_p}{T_{LD}} \quad (24)$$

Snyder estableció la siguiente relación para obtener el tiempo de retardo:

$$T_L = C C_t (L L_c)^{0.3} \quad (25)$$

Donde  $T_L$  : Tiempo de retardo (h);  $C_t$ : coeficiente de cuenca;  $L$ : longitud del cauce principal desde la divisoria a la salida de la cuenca (km);  $L_c$ : Longitud del cauce principal desde el punto más cercano al centroide de la cuenca hasta la salida de la cuenca (km), y  $C$ : una constante conversión de unidades (0,75 para SI)

Los parámetros  $C_t$  y  $C_p$  se encuentran mediante calibración ya que no son parámetros basados en la física. Bedient y Huber (1992) informan que  $C_t$  varía entre 1.8 a 2.2, aunque se ha encontrado variaciones de 0.4 en las zonas montañosas a 8.0 a lo largo del Golfo de México.

Taylor y Schwartz (1952) con datos de 20 cuencas de la zona Noreste de USA establecieron la siguiente ecuación para la determinación del coeficiente  $C_t$ :

$$C_t = \frac{0.6}{\sqrt{S}} \quad (26)$$

Donde  $S$ : Pendiente media del cauce principal (m/m)

McEnroe y Zhao (1999) reportan que  $C_p$  varía en rangos de 0.4 a 0.8 y establecen como valor promedio de  $C_p = 0.62$  para cuencas rurales de Kansas (USA). Comentan que el SCS asigna un valor constante  $C_p = 0.75$  en sus métodos de transformación lluvia-caudal.

Existen otras formas alternativa de obtención de  $T_L$ , como por ejemplo, la ecuación propuesta por Watt y Chow (1985), que fue desarrollada con datos de 44

cuencas de Canadá y USA, cuyas superficie variaron en un rango de 0.01 a 5840 km<sup>2</sup> y la pendiente del cauce principal entre 0.00121 y 0.0978 m/m.

$$T_L = 0.000326 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.79} \quad (27)$$

Donde  $T_L$ : Tiempo de retardo (h);  $L$ : longitud del cauce principal desde la divisoria a la salida de la cuenca (m);  $S$ : Pendiente media del cauce principal (m/m)

El Natural Environment Research Council (NERC, 1975) del Reino Unido, establece la siguiente ecuación de predicción para aplicar en cuencas no aforados:

$$T_L = 2.8 \left( \frac{L}{\sqrt{S_s}} \right)^{0.47} \quad (28)$$

Donde  $T_L$  : Tiempo de retardo (h);  $L$ : longitud del cauce principal desde la divisoria a la salida de la cuenca (Km);  $S_s$ : pendiente media del cauce principal (m/Km)

El SCS (1972) propone obtener  $T_L$  en función del tiempo de concentración de la cuenca  $T_C$ :

$$T_L = 0.6 T_C \quad (29)$$

Donde  $T_L$  : Tiempo de retardo (h);  $T_C$ : Tiempo de concentración (h)

Tabla 15: Valores de tiempo de retardo  $T_L$ , ecuación (29).

Cuenca	$T_L$ (h)
1	2.21
2	2.43
3	1.21

Para el Modelo de Precipitación (*Meteorologic Model*) se utilizan los hietogramas generados con el Método del Bloque Alternado para la duraciones de Tormentas de Proyecto adoptadas para cada una de las recurrencias establecidas. El Control de Especificaciones (*Control Specifications*) se realizará en un período de 24 horas y un intervalo de tiempo de 1 minuto para la determinación de los hidrogramas de crecidas.

En la Figura 21 se muestra la topología empleada para la determinación de la escorrentía en las cuencas aluvionales..

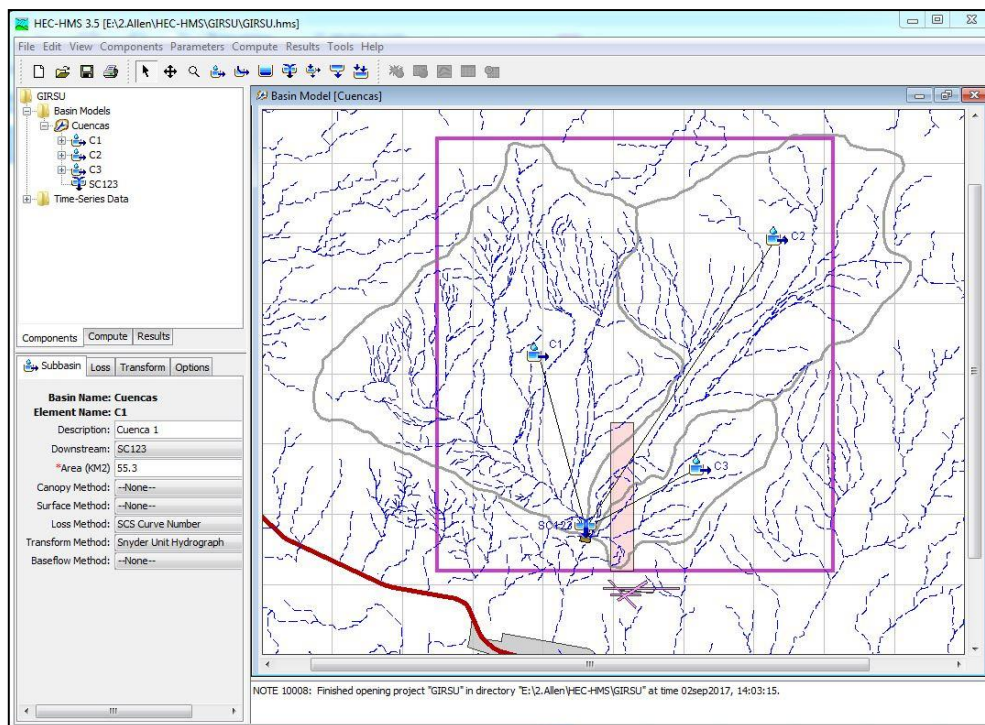


Figura 21: Esquema de escorrentía en cuencas

Los valores de caudales y volúmenes de escorrentía obtenidos con la simulación hidrológica en el sistema de cuencas analizadas, considerando los tres estados de humedad antecedente (seco, intermedio, húmedo) se dan en las Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18, respectivamente.

Tabla 16: Valores de caudales máximos y volúmenes de escorrentías (Seco).

Cuenca.	Estado de Humedad Antecedente (AMCI)					
	TR2		TR5		TR10	
	Qmáx. (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx. (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx. (m3/s)	V (1000 m3)
1	5.3	68.1	32	431	64	851
2	5.4	72.6	26	363	52	723
3	1.2	8.7	8	60	17	124

Cuenca	Estado de Humedad Antecedente (AMCI)					
	TR25		TR50		TR100	
	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)
1	105	1388	155	2034	198	2576
2	84	1156	124	1700	154	2100



Cuenca	Estado de Humedad Antecedente (AMCI)					
	TR25		TR50		TR100	
	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)
3	29	208	43	310	55	388

Tabla 17: Valores de caudales máximos y volúmenes de escorrentías (Intermedio).

Cuenca Subc.	Estado de Humedad Antecedente (AMCII)					
	TR2		TR5		TR10	
	Qmáx. (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx. (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx. (m3/s)	V (1000 m3)
1	34	451	94	1217	148	1901
2	30	409	73	999	117	1577
3	9	68	26	184	42	293

Cuenca Subc.	Estado de Humedad Antecedente (AMCII)					
	TR25		TR50		TR100	
	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)
1	209	2680	278	3543	333	4233
2	163	2192	217	2909	255	3411
3	60	417	80	557	95	658

Tabla 18: Valores de caudales máximos y volúmenes de escorrentías (Húmedo)..

Cuenca	Estado de Humedad Antecedente (AMCIII)					
	TR2		TR5		TR10	
	Qmáx. (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx. (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx. (m3/s)	V (1000 m3)
1	74	953	155	1967	221	2783
2	57	770	114	1519	164	2189
3	21	150	44	307	64	438

Cuenca	Estado de Humedad Antecedente (AMCIII)					
	TR25		TR50		TR100	
	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)	Qmáx, (m3/s)	V (1000 m3)
1	292	3667	368	4617	428	5360
2	216	2874	275	3650	316	4184
3	85	581	108	736	124	846

**Observación:** La simulación hidrológica efectuada si bien se realizó para los tres estados de humedad del suelo posible, es conveniente para el diseño utilizar el estado de humedad antecedente más frecuente. Debe tenerse en cuenta que el clima del área de estudio es árido a semiárido con precipitación anual inferior a 200

mm, por lo que resulta adecuado considerar el estado seco de humedad antecedente de los suelos como el más frecuente.

En las Figura 22 y Figura 23 se muestran las salidas de la simulación realizada con el modelo HEC-HMS en las cuencas 1 y 2, respectivamente. Se observan los hidrogramas de crecida producto de tormentas de 100 años de recurrencia de duración de 4 hs, con humedad antecedente AMCI (Seco).. La Figura 24 muestra el hidrograma de crecida en la cuenca 3, generado por una tormenta de 2 horas y TR: 100 años y AMCI.

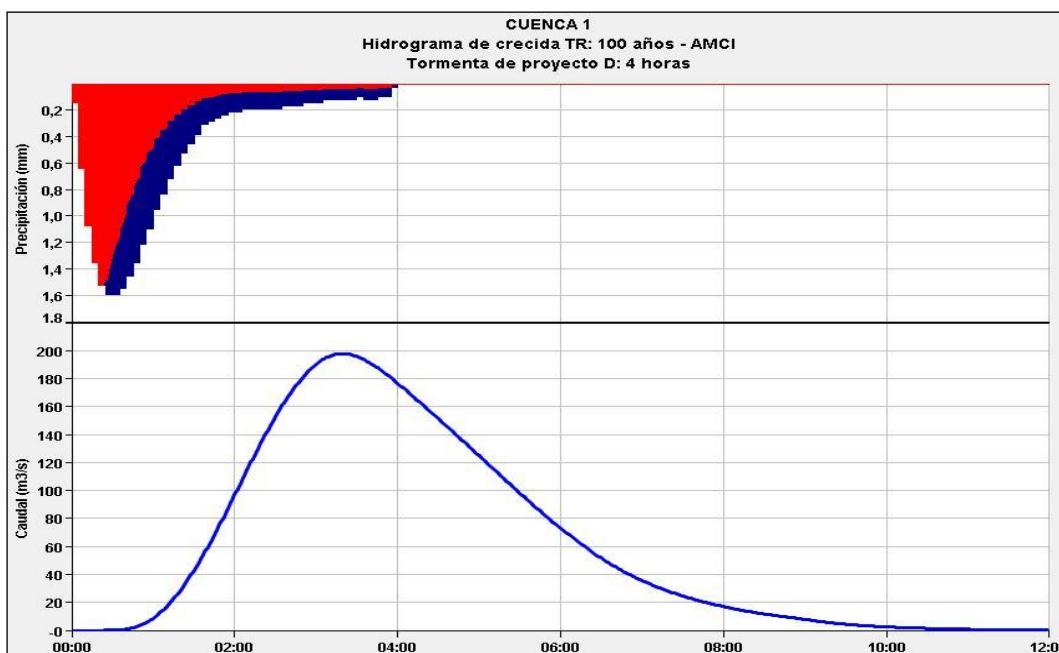


Figura 22: Hidrograma de crecida Cuenca 1.

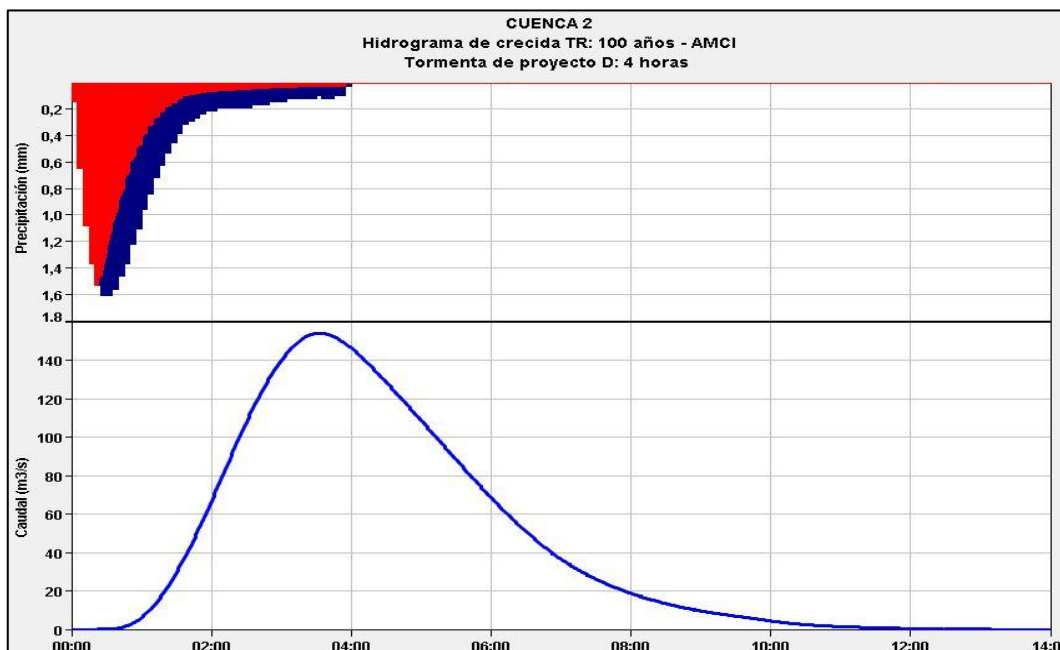


Figura 23: Hidrograma de crecida Cuenca 2.

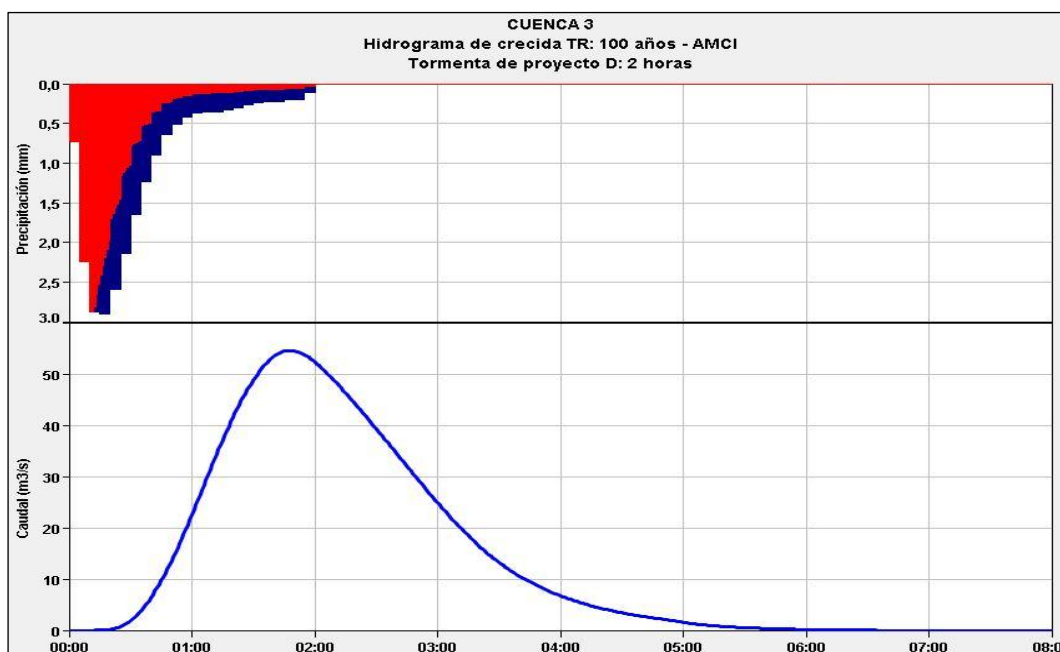


Figura 24: Hidrogramas de crecidas Cuenca 3.

Los hidrogramas de precipitación están graficados en la parte superior izquierda de la figuras de manera invertida, los mismo están discretizados en función del tiempo mínimo de análisis adoptado para la simulación.



La precipitación total está en color azul, las pérdidas por abstracción inicial e infiltración en color rojo. La diferencia entre ambas constituye la precipitación neta.



#### 4.3. Tiempo de viaje de la escorrentía - Isocronas

Otra información importante a considerar a la hora de establecer riesgo de locaciones e instalaciones, es la determinación del tiempo en el cual pueden verse afectados los mismos después de iniciada una tormenta en el zona en análisis.

Para ese fin se obtuvieron las curvas isócronas de la cuenca, realizando la determinación de las mismas a partir de la ecuación propuesta por Sorrell (2010) para la determinación de la escorrentía superficial en ambiente SIG.

$$V = K \sqrt{I} \quad (29)$$

Donde:

*K*: coeficiente que depende del tipo de flujo

*I*: pendiente del trayectoria del flujo en porcentaje (%)

*V*: velocidad (m/s)

Tabla 19: Coeficiente k según tipo de flujo.

Tipo de Flujo ( <i>Flow Type</i> )	<i>K</i>
Flujo Superficial ( <i>Sheet Flow</i> ) - Cualquier otra ruta de flujo superficial que no se ajusta a la definición de un canal de agua.	0.15
Pequeño Tributario ( <i>Small Tributary</i> ) - cursos de agua permanentes o intermitentes que aparecen como líneas azules continua o discontinua en los mapas topográficos.	0.37
Hidro vía ( <i>Waterway</i> ) - Cualquier ruta flujo superficial que es un canal de drenaje bien definida por contornos de elevación, pero no es una sección corriente como se definió anteriormente.	0.64

En la Figura 25, se muestra el mapa de velocidad de escorrentía obtenido y en la Figura 26, el de curvas isocronas, que se determinó siguiendo las pautas establecidas por Nurünnisa *et al.* (2004).

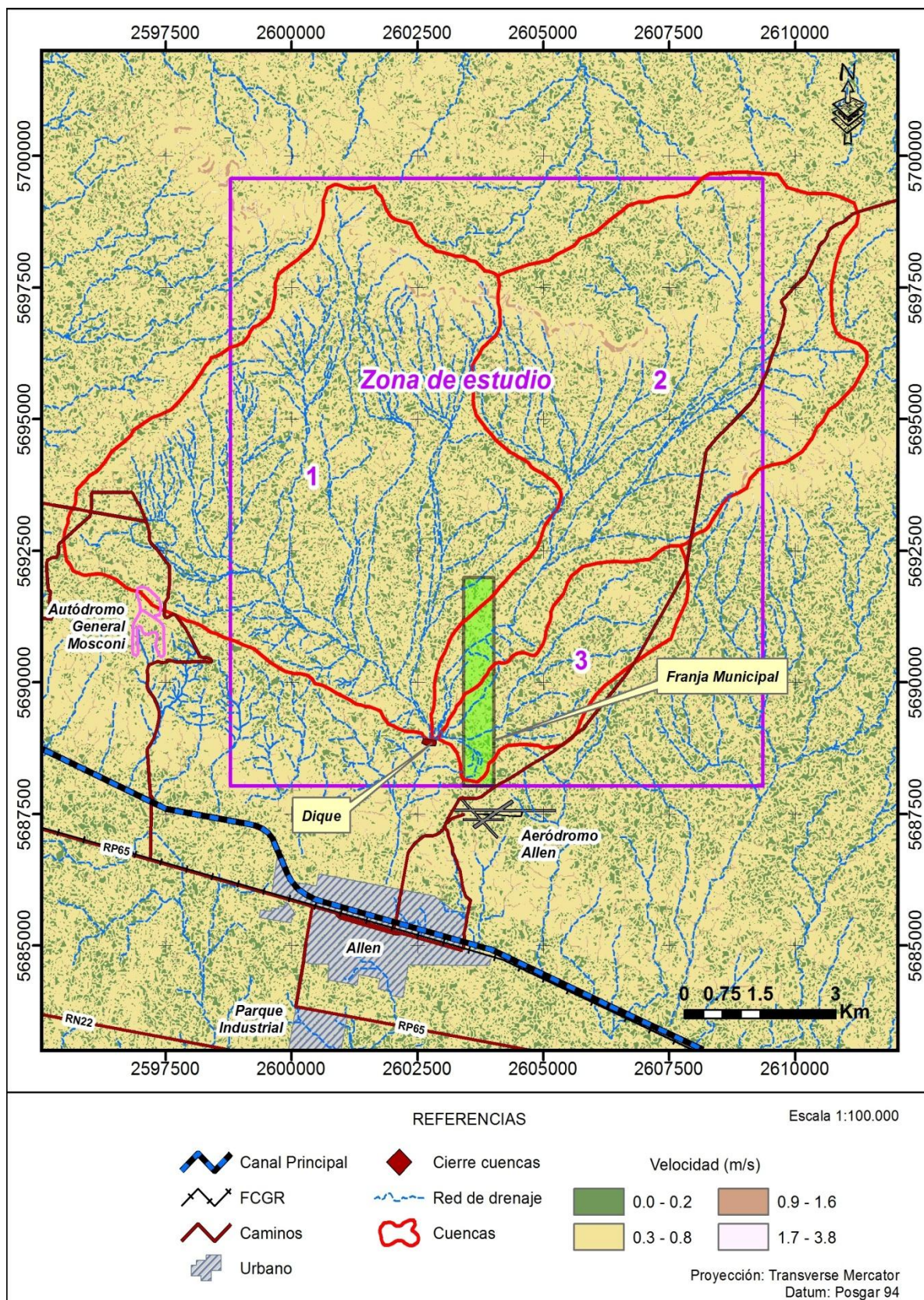


Figura 25: Mapa de velocidad de escorrentía..

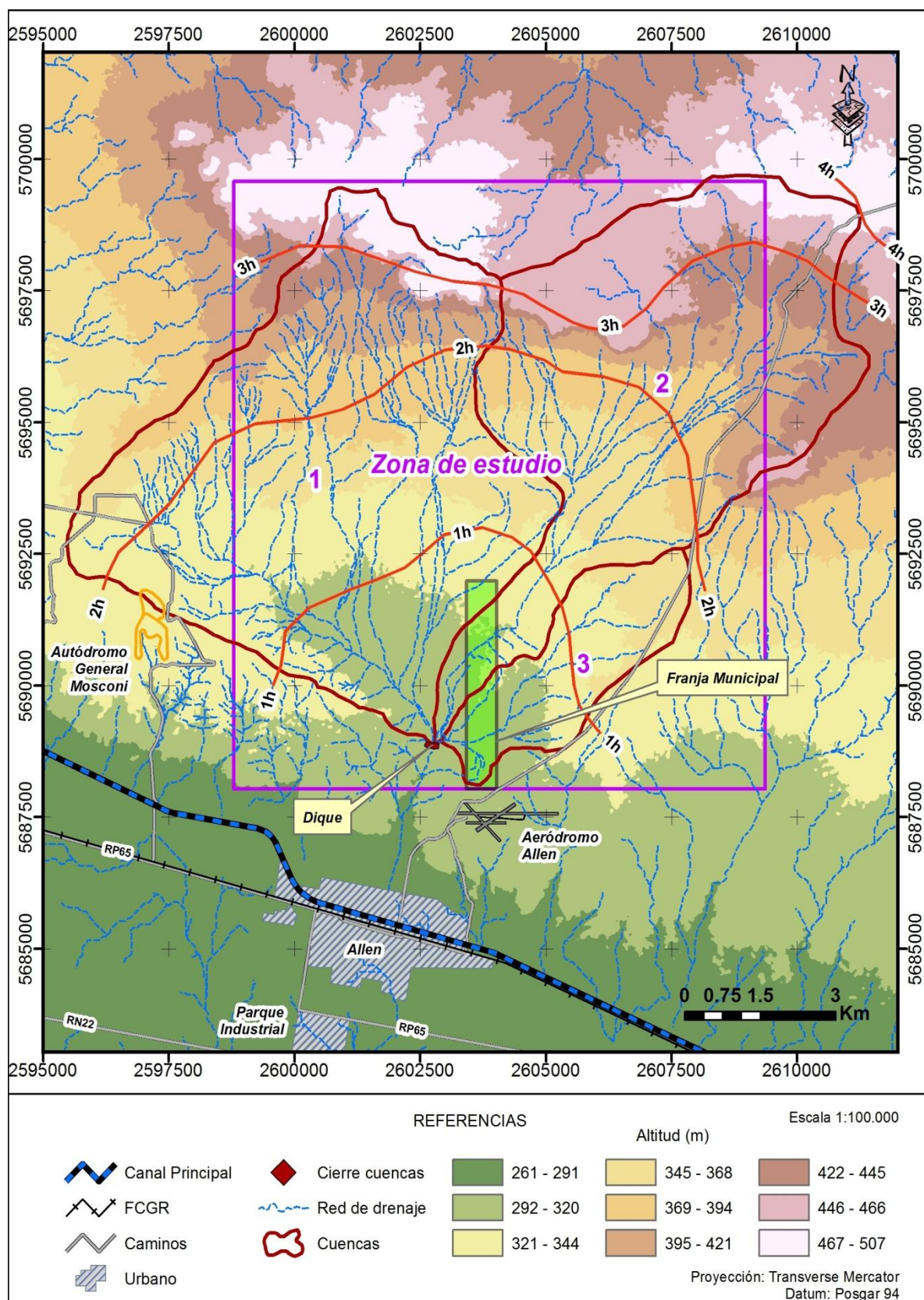


Figura 26: Mapa de curvas isocronas.



## 5. ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO

### 5.1. Producción de Sedimentos - Modelo MUSLE

Para la cuantificación de los sedimentos se hace uso del modelo empírico de producción de sedimentos, MUSLE, basado en la hidrología de la cuenca hidrográfica, presentado por Williams y Berndt (1977); el cual se basa en una modificación a la ecuación universal de pérdida de suelo, USLE. Los sedimentos producidos se refieren al sedimento a la salida de la cuenca hidrográfica considerada.

La versión de MUSLE se define por la siguiente ecuación:

$$Y = 11.8 (V_{TR} Q_{TR})^{0.56} K LS C P \quad (30)$$

Siendo:

$Y$ : Producción de sedimentos por un evento individual, en toneladas (T);

$V_{TR}$ : Volumen de escorrentía del evento ( $m^3$ );

$Q_{TR}$ : Caudal máximo ( $m^3/s$ );

$K$ : Factor de erodabilidad del suelo ( $T \cdot Hora / Newton \cdot Ha$ );

$LS$ : Factor topográfico;

$C$ : Factor cobertura y manejo;

$P$ : Factor prácticas de conservación (en este estudio se lo adopta igual a 1).

Tanto  $V_{TR}$  como  $Q_{TR}$ , se obtienen con la modelación hidrológica (punto 4.2.11).

#### 5.1.1. Erodabilidad del suelo, Factor K

La erodabilidad de los suelos es la susceptibilidad de éstos a la acción de agentes erosivos. Es una característica inherente a los suelos que es función de la acción individual y/o combinada de sus propiedades físicas, químicas y biológicas así como el manejo.

La erodabilidad varía con la textura del suelo, la estabilidad de los agregados, la resistencia al esfuerzo cortante, la capacidad de infiltración y los contenidos minerales orgánicos. Wischmeier et al. (1971), determina la erodabilidad por medio de un simulador de lluvia, un valor medio que incluye una variabilidad apreciable de tormentas y antecedente de humedad del suelo.

$$100 K = [10^{-4} 2.71 T^{1.14} 12 - MO + 4.2 E - 2 + 3.2 P - 3] \quad (31)$$

Donde:

$T$ : Parámetro de textura de los 15 cm superficiales.

$$T = [100 - A_c L + Armf] \quad (323)$$

$L + Armf$ : limo más arena fina (0.1 – 0.002 mm);  $A_c$ : arcilla (< 0.002 mm);

$MO$ : contenido en materia orgánica (%);  $E$ : parámetro de estructura;

$P$ : parámetro de permeabilidad;

Los valores del parámetro físico de estructura y de permeabilidad se dan en las Tabla 20 y Tabla 21, respectivamente.

Tabla 20: Valores del parámetro de estructura.

Parámetro de estructura para los 15 – 18 cm superficiales	
1	Granular muy fina (< 1 mm)
2	Granular fina (1 - 2 mm)
3	Granular media (2 - 5 mm) a gruesa (5 – 10 mm)
4	Laminar, maciza y cúbica (> 10 mm)

Tabla 21: Valores del parámetro de permeabilidad.

Parámetro de permeabilidad referido a todo el perfil	
1	Rápida a muy rápida (12.5 a 25 cm/hr)
2	Moderadamente rápida (6.2 a 12 cm/hr)
3	Moderada (2 a 6,2 cm/hr)
4	Moderadamente lenta (0.5 a 2 cm/hr)
5	Lenta (0.12 a 0.5 cm/hr)
6	Muy lenta (< 0.12 cm/hr)

A partir de la ecuación 32 se construye el nomograma, Figura 27, que permite determinar de manera rápida y sencilla del factor  $K$  (en unidades inglesas) (Wischmeier y Smith, 1978). El coeficiente de erodabilidad, también puede ser obtenido por la multiplicación de factores que consideran los porcentajes de arena, arcilla, limo y materia orgánica (Willians, 1995).

$$K = f_1 f_2 f_3 f_4 \quad (34)$$

$$f_1 = \left( 0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.256 m_s \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right) \quad (35)$$

$$f_2 = \left( \frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0,3} \quad (36)$$

$$f_3 = \left( 1 - \frac{0.25 \text{ orgC}}{\text{orgC} + \text{Exp} [3.72 - 2.95 \text{ orgC}]} \right) \quad (37)$$

$$f_4 = \left( 1 - \frac{0.7 \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) + \text{Exp} [-5.51 + 22.9 \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)]} \right) \quad (38)$$

Donde:

- ms*: porcentaje de contenido de arena (0.05 - 2 mm)
- msilt*: porcentaje de contenido de limo (0.002 - 0.05 mm)
- mc*: porcentaje de contenido de arcilla (< 0.002 mm)
- orgC*: porcentaje de contenido de carbón orgánico del horizonte.

De la aplicación del método anterior, se ha confeccionado la Tabla 22, que da los distintos valores de *K* en función de la textura del suelo y el contenido de materia orgánica. Esta tabla se utilizó en el presente informe, considerando un contenido de materia orgánica del 0.5%.

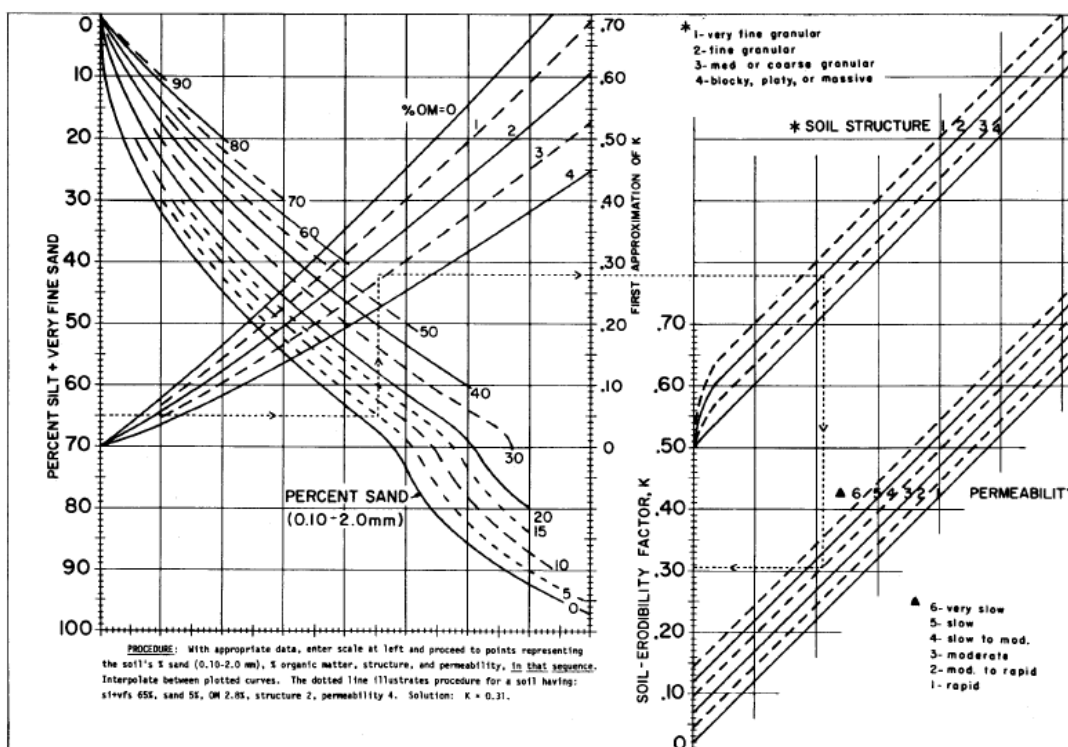


Figura 27: Nomograma de Erodabilidad del Suelo.

Tabla 22: Valores del Factor de Erodabilidad de Suelos,  $K$  (Ton\*Hora/Newton\*Ha).

Textura	Contenido de Materia Orgánica		
	0.5% $K$	2% $K$	4% $K$
Arena	0.056585	0.033951	0.022634
Arena Fina	0.181072	0.158438	0.113170
Arena Muy Fina	0.475314	0.407412	0.316876
Franco Arenoso	0.135804	0.113170	0.090536
Franco Arenoso Fino	0.271608	0.226340	0.181072
Franco Arenoso Muy Fino	0.497948	0.430046	0.339510
Arenoso Franco	0.305559	0.271608	0.215023
Arenoso Franco Fino	0.396095	0.339510	0.271608
Arenoso Franco Muy Fino	0.531899	0.463997	0.373461
Franco	0.430046	0.384778	0.328193
Franco limoso	0.543216	0.475314	0.373461
Limo	0.679020	0.588484	0.475314
Franco Arcillo Arenoso	0.305559	0.282925	0.237657
Franco Arcilloso	0.316876	0.282925	0.237657
Franco Limo Arcilloso	0.418729	0.362144	0.294242
Arcillo Arenoso	0.169755	0.147121	0.135804
Arcillo Limoso	0.282925	0.260291	0.215023
Arcilla		0.147121 0.328193	

En una cuenca hidrográfica existen varios tipos de suelos y cada uno de ellos tendrá su respectivo factor  $K$ . El valor del factor  $K$  a usar en MUSLE para cada cuenca, se pondera de acuerdo a la superficie de la cuenca con la ecuación:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i S_i}{S} \quad (39)$$

Siendo:

$K$ : Factor de erodabilidad promedio para la cuenca considerada;

$K_i$ : Factor de erodabilidad que ocupa la superficie  $S_i$  dentro de la cuenca;

$S$ : Superficie de la cuenca.

En la Figura 28 se muestra el mapa del Factor  $K$  en las cuencas en análisis, obtenidos en función del mapa de suelos, y en la Tabla 23 los valores promedios para cada cuenca.

Tabla 23: Valores Factor  $K$ .

Subcuenca Cuenca	Factor $K$
1	0.2829
2	0.2829
3	0.2829

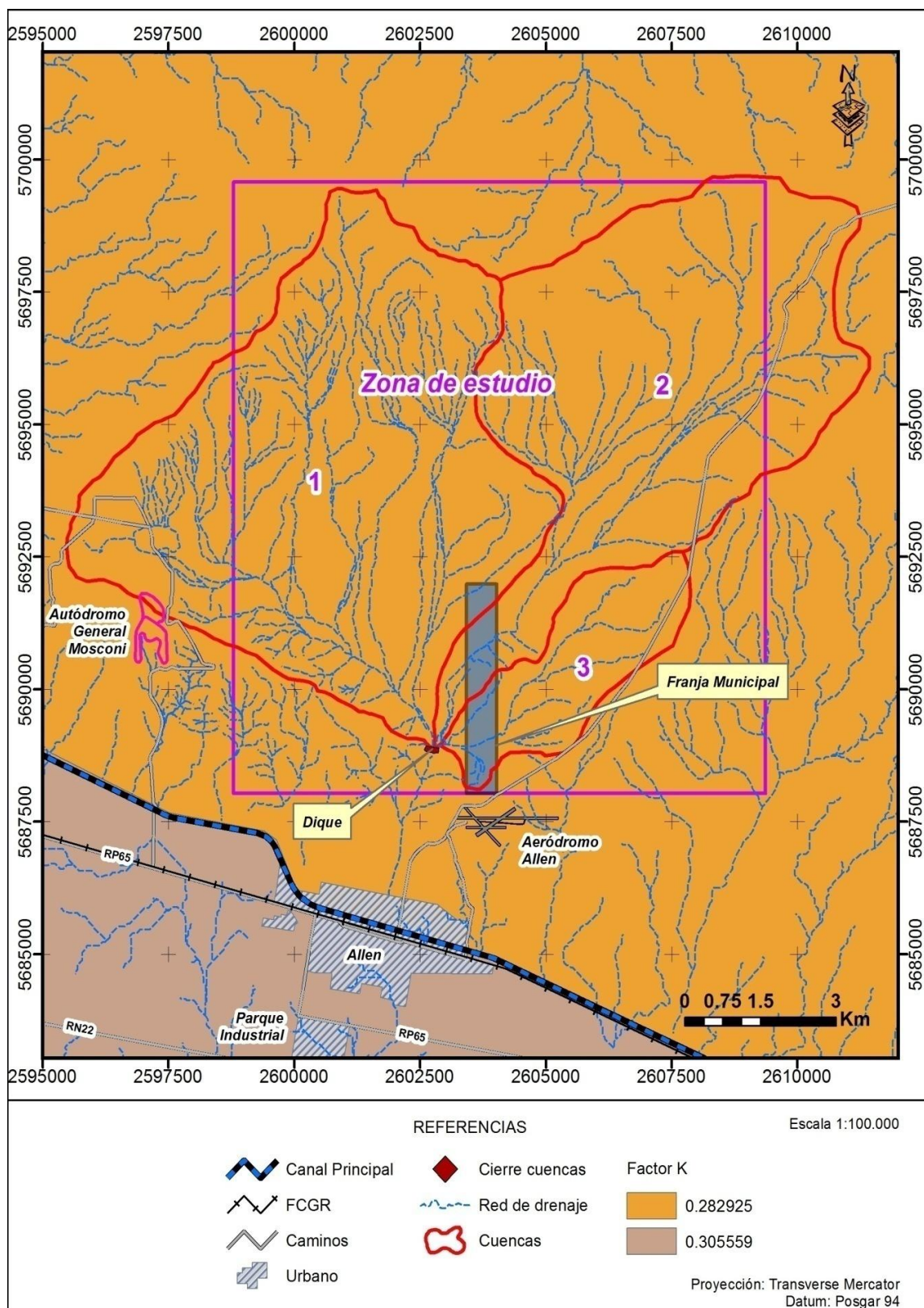


Figura 28: Mapa del factor erodabilidad del suelo (K).



### 5.1.2. Topografía, Factor $LS$

Este factor se refiere al efecto combinado de la longitud y el gradiente de la pendiente. Se obtiene multiplicando el subfactor longitud de la pendiente,  $L$ , por el *subfactor* gradiente,  $S$ . Para incorporar el impacto de la convergencia del flujo, un reemplazo de la longitud de la pendiente por el área contribuyente pendiente arriba por unidad de ancho de curva planteada por Moore y Wilson (1992) y Desmet y Govers (1996a y b) fue aplicada. El factor modificado de  $LS$  en un punto de la pendiente de montaña (*hillslope*) es:

$$LS_{(r)} = (m + 1) \left[ \frac{A_{(r)}}{22.13} \right]^m \left[ \frac{\text{sen}(\beta_{(r)})}{0.0896} \right]^n \quad (33)$$

Donde:

$A_{(r)}$ : es el área contribuyente pendiente arriba por unidad de ancho;

$\beta_{(r)}$ : es el ángulo de pendiente más inclinado;

$r_{(x,y)}$ ,  $m$  y  $n$  son coeficientes que dependen del tipo de flujo.

En la Figura 29 se muestra el mapa del Factor  $LS$  en las cuencas en análisis obtenidos en función del modelo digital de terreno (MDT), y en la Tabla 24 el valor promedio para cada cuenca.

Tabla 24: Valores Factor  $LS$ .

Cuenca	Factor $LS$
1	0.7693
2	0.8469
3	0.6262

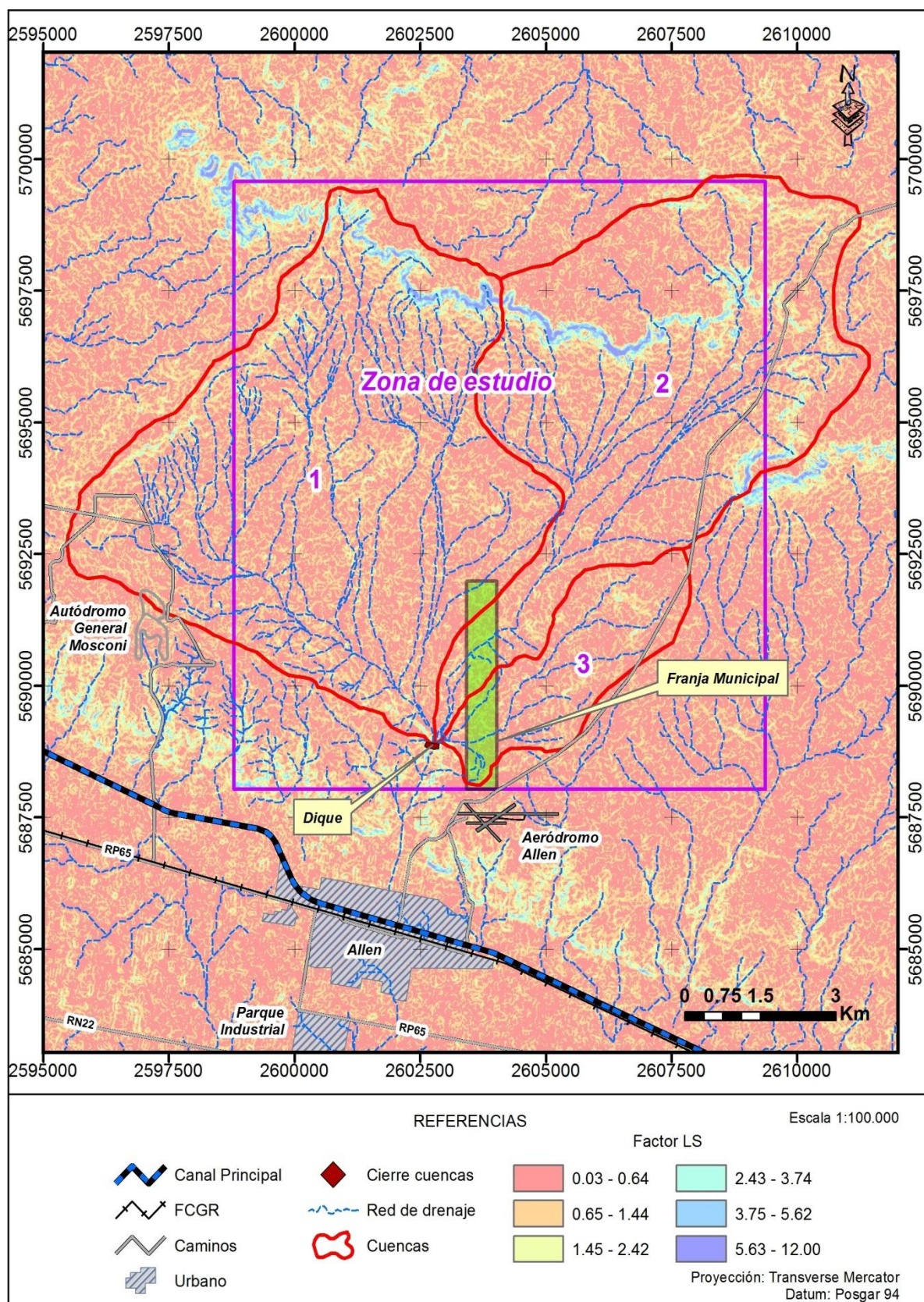


Figura 29: Mapa del factor topográfico (LS).

### 5.1.3. Cubierta Vegetal y Manejo, Factor C

Las pérdidas de tierra, ligadas a la cubierta vegetal del suelo, se ven reducidas cuando el suelo está cubierto por una vegetación permanente, bosques o prados, y por el contrario, son mayores cuando el suelo está desnudo, particularmente, si ha sido labrado para cultivos.

El valor del factor  $C$  a usar en MUSLE para cada cuenca, se pondera de acuerdo a la superficie de la cuenca con la ecuación:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i S_i}{S} \quad (34)$$

Siendo:

$C$ : Factor de cubierta vegetal y manejo promedio para la cuenca considerada;

$C_i$ : Factor de cubierta vegetal y manejo que ocupa la superficie  $S_i$  dentro de la cuenca;

$S$ : Superficie de la cuenca.

El Factor  $C$  en este estudio se determina mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado ( $NDVI$ ) (Chao-Yuan Lin et al., 2002). Este índice muestra alta correlación con la biomasa sobre el terreno y varía entre -1 y 1. Se obtiene con la ecuación 5, a partir de la Imagen Landsat8 de la zona de análisis (Figura 30).

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (35)$$

Donde:

$NIR$ : Banda 5 (infrarrojo cercano)

$R$ : Banda 4 (rojo)

La ecuación vinculante entre el Factor  $C$  y el  $NDVI$  es la siguiente:

$$Factor\ C = \frac{(1 - NDVI)}{2} \quad (36)$$

En la Figura 31, se muestra el mapa del Factor  $C$  en las cuencas en análisis obtenidos en función del índice  $NDVI$ , y en la Tabla 25 el valor promedio para cada cuenca.

Tabla 25: Valores Factor C.

Cuenca	Factor C
1	0.6219



PROGRAMA DE DESARROLLO REGIONAL  
Caracterización Hidrológica y Diseño de Obras de Protección  
Pluvioaluvional GRSU Allén – Provincia de Río Negro  
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES



CFI

Versión 03 – Hoja 57 de 108

---

2	0.6275
3	0.6254

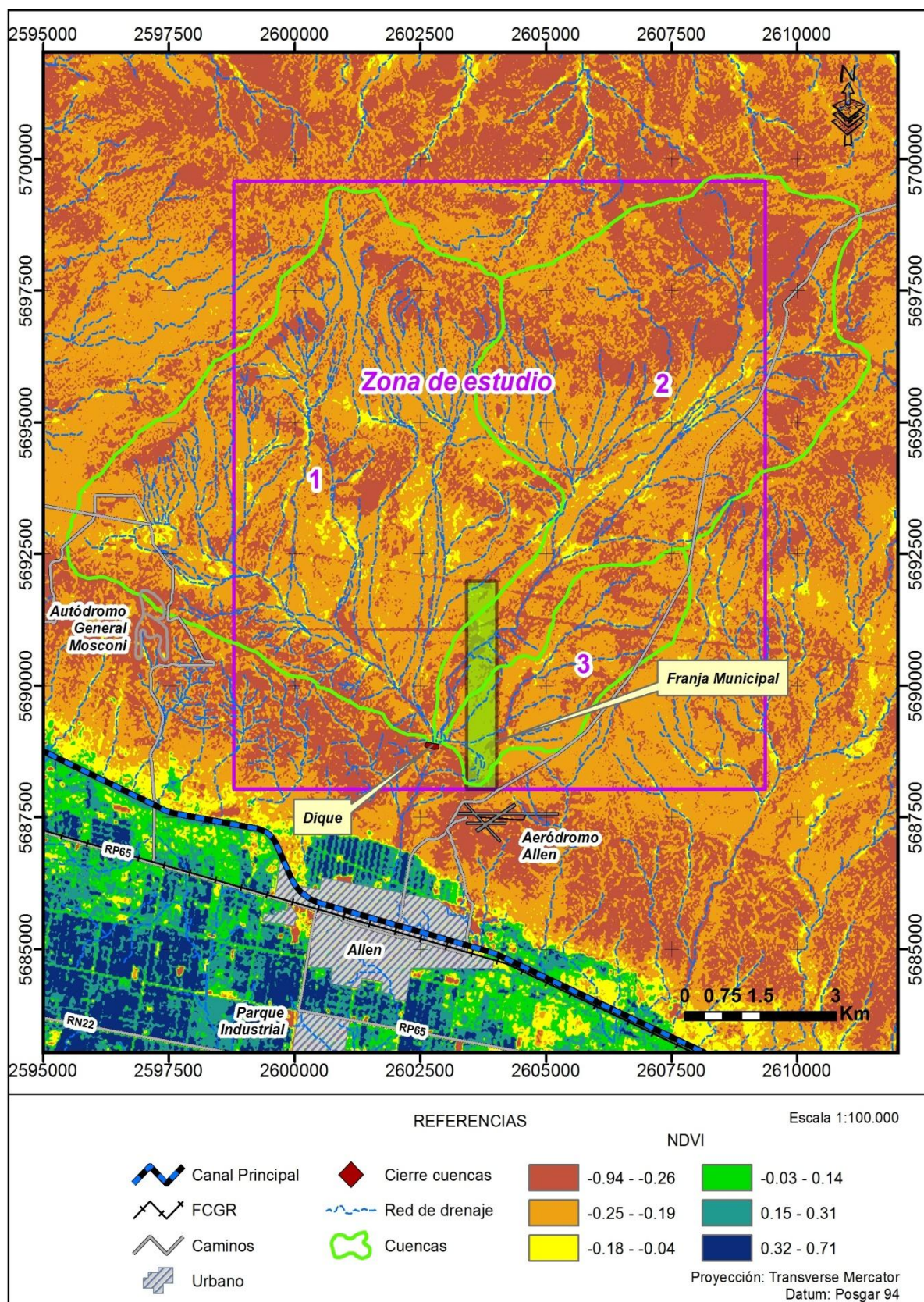


Figura 30: Mapa del índice NDVI.

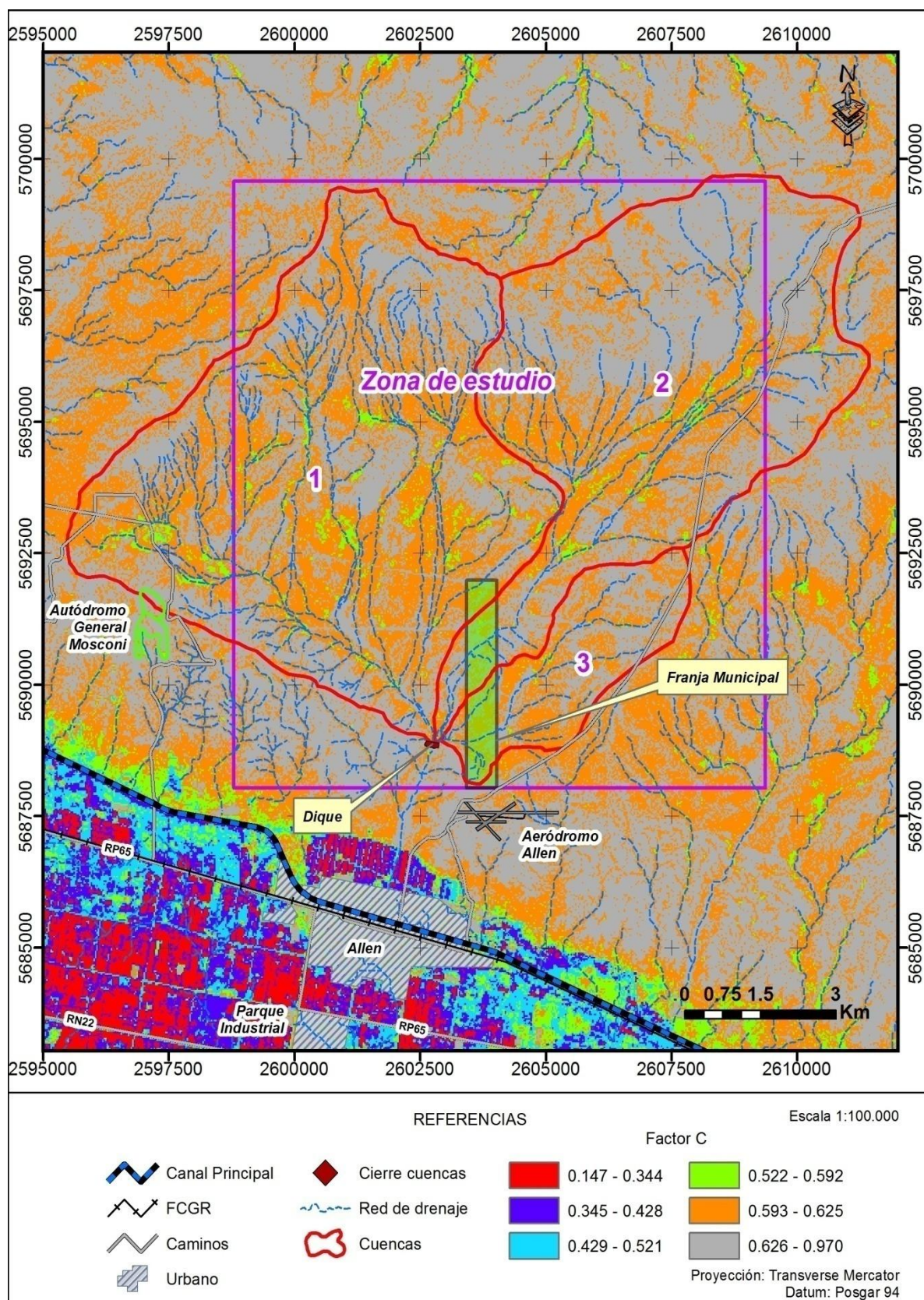


Figura 31: Mapa del factor cobertura (C).

#### 5.1.4. Resultados

Aplicando los valores de la Tabla 16; Tabla 23; Tabla 24 y Tabla 25 en la ecuación 31, se obtiene la producción de sedimentos para la cuenca considerando el estado de humedad antecedente AMCI en los suelos de la misma.

Tabla 26: Producción de sedimentos (Ton).

Cuenca	Producción de Sedimentos (Ton.)					
	$Y_{TR2}$	$Y_{TR5}$	$Y_{TR10}$	$Y_{TR25}$	$Y_{TR50}$	$Y_{TR100}$
1	2071	15939	34292	59676	91901	120098
2	2404	14303	31092	52719	81442	103366
3	236	2032	4577	8183	12840	16551

La tabla precedente demuestran de manera contundente las magnitudes de sedimentos transportados a la salida de la cuenca. Para tener una mejor visión de los resultados se realizó una conversión de toneladas a mm/m<sup>2</sup>. El resultado se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27: Producción de sedimentos (mm/m<sup>2</sup>).

Cuenca	Producción de Sedimentos (mm/m <sup>2</sup> )					
	$Y_{TR2}$	$Y_{TR5}$	$Y_{TR10}$	$Y_{TR25}$	$Y_{TR50}$	$Y_{TR100}$
1	0.02	0.2	0.4	0.7	1.0	1.4
2	0.03	0.2	0.4	0.8	1.2	1.5
3	0.02	0.1	0.3	0.5	0.9	1.1

Para tomar noción de la magnitud de material movilizado, se efectúa una equivalencia en camiones volcadores de 16 m<sup>3</sup> de capacidad, considerando el material sedimentario como arena seca (peso específico 1,6 T/m<sup>3</sup>). Se tiene:

Tabla 28: Producción de sedimentos equivalencia en camiones volcadores de 16 m<sup>3</sup>.

Cuenca	Cantidad de camiones de 16 m <sup>3</sup>					
	$Y_{TR2}$	$Y_{TR5}$	$Y_{TR10}$	$Y_{TR25}$	$Y_{TR50}$	$Y_{TR100}$
1	81	623	1340	2331	3590	4691
2	94	559	1215	2059	3181	4038
3	9	79	179	320	502	647



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El área de estudio donde se desarrollará el proyecto de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), se encuentra en una región de características aluvionales bien marcadas. Las precipitaciones que se dan en las cuencas que con sus dinámicas hídricas afectan a la misma, son en su mayoría de tipo convectivo, concentradas, de poca duración y gran intensidad. Sumado a ello las características del relieve, de los suelos y la escasa cobertura vegetal son propicias para que se generen crecidas que movilizan una gran cantidad de sedimentos hacia aguas abajo. El flujo circulante por los cauces de la red de drenaje de las cuenca analizadas, es de características bifásica (agua más sedimentos).

Las Tabla 26, Tabla 27 y Tabla 28 son demostrativas de la cantidad sedimentos movilizados en las cuencas estudiadas para los eventos lluviosos analizados. Por ello se considera recomendable prever el diseño de obras de defensa, conducción y mitigación necesarias en el predio del proyecto GIRSU, para evitar contingencias hídricas que pudieran afectar significativamente el mismo.

## 7. RELEVAMIENTO TOPOGRÁFICO

La zona a relevar indicada es la Franja Municipal de 238 Ha, en la **Figura 1** se puede observar la ubicación de la misma.

El relevamiento topográfico de la zona de estudio se desarrolla mediante la aplicación de aerofotogrametría realizada con dron, y para cubrir la superficie de interés se realizan 10 vuelos.

### 7.1. Equipos utilizados en el relevamiento

- **GPS Marca South, Modelo Galaxy G1S**



Figura 32: GPS utilizado en el relevamiento.

Las especificaciones del equipo son las siguientes:

- 220 Canales que captan L1/L2/L2C/L5 (GPS, GLONASS, COMPASS, GALILEO y SBAS).
- Inicialización de señal RTK menos de 10 s.
- Radio interna transceptora de 0.5W/2W.
- Slot para tarjeta SIM.
- Memoria interna de 4GB.

- Protocolos de comunicación: TrimTalk450s, TrimMark3, PCC EOT, SOUTH.
- Módulo de comunicación WCDMA 3.5G, GPRS/EDGE, CDMA2000/EVDO 3G opcional.
- Doble módulo Bluetooth: Bluetooth 4.0 estándar para Android e IOS, para celulares. Bluetooth 2.1 + EDR Standard.
- Conector USB para transmisión de datos.
- Formatos de datos diferenciales: CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 3.0, RTCM 3.1, RTCM 3.2.
- Construido de aleación de magnesio y aluminio.
- Peso de 970g (incluyendo batería) / Tamaño de 12.9cm x 11.2cm.
- Protección IP 67: inmersión a 1m como máximo y resistente al polvo.
- Batería de Lithium-ion recargable. Duración: 7hs modo estático, 5h con radio interna UHF en modo base, 6h en modo móvil.

- **Dron Marca DJI, Modelo Phanthon 4 Pro**



Figura 33: Dron utilizado en el relevamiento.

Las especificaciones del equipo son las siguientes:



- Peso (incluido batería y hélices): 1388 g.
- Longitud en diagonal: 350 mm.
- Velocidad máxima de ascenso: 5 á 6 m/s.
- Velocidad máxima de descenso: 3 á 4 m/s.
- Velocidad máxima: 50 á 72 km/h
- Máxima velocidad del viento de operación: 10 m/s.
- Tiempo máximo de vuelo: 30 minutos.
- Sistema de posicionamiento satelital: GPS / GLONASS
- Sensor: 1" CMOS, Pixell efectivo 20M.
- Lente: FOV 84° 8.8 mm / 24 mm - f/2.8 – f/11 autofocus
- Velocidad de obturación mecánica: 8 – 1/2000 s.
- Velocidad de obturación electrónica: 8 – 1/8000 s.
- Medidas de la imagen: 3:2 (5472 x 3648); 4:3 (4864 x 3648); 16:9 (5472 x 3078).

### **7.1. Planificación del vuelo**

Definida la zona a relevar, en gabinete se planifica el vuelo mediante el uso del software "Pix4D capture", generalmente, los parámetros utilizados son los siguientes:

- Altura de vuelo 110 m.
- Solape de las fotografías: Avance 80% - Lateral 70%.
- Velocidad 30 km/h.
- Tamaño de pixel 3.65 cm.
- Tiempo de vuelo aprox. 19 min.
- Área de cobertura del vuelo 24 ha.

Estos parámetros se ingresan en el software mencionado en la pantalla que se observa a continuación previamente a la realización del vuelo.

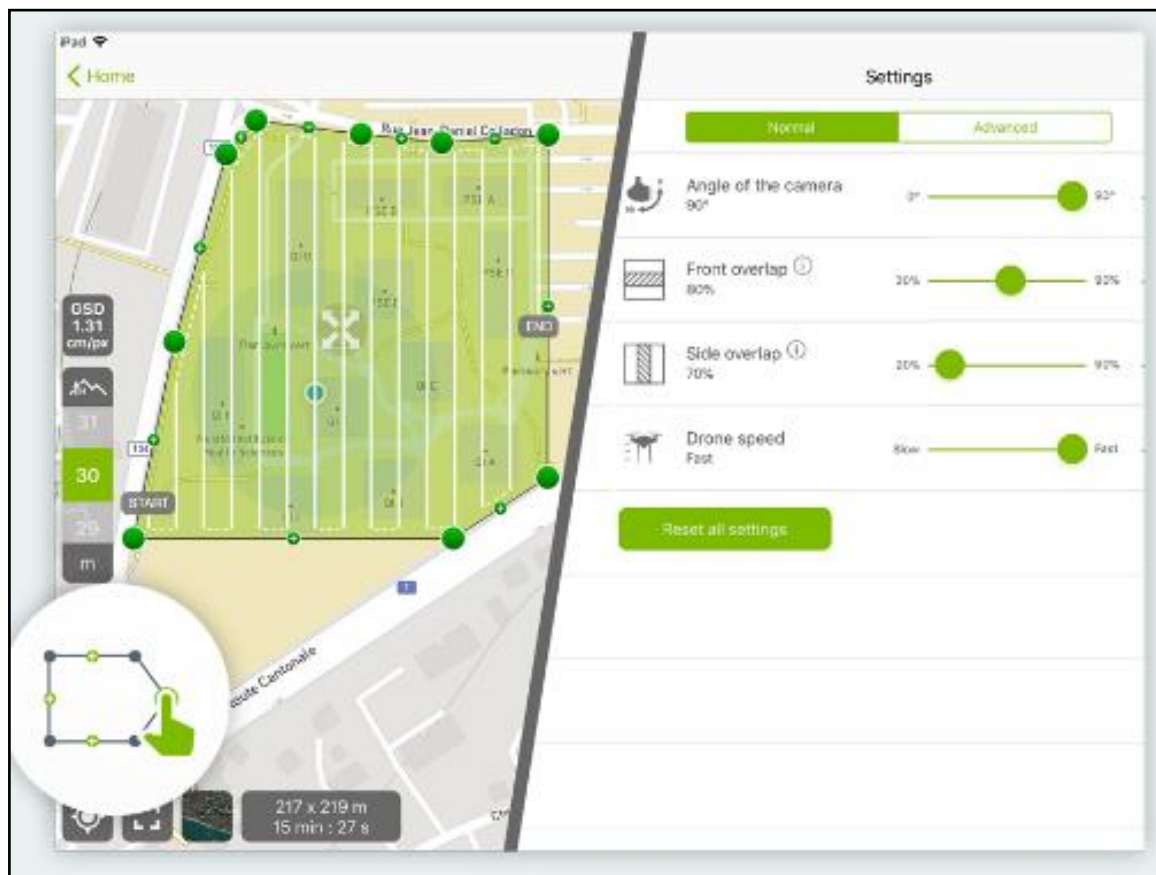


Figura 34: Imagen con pantalla del programa de planificación del vuelo.

## 7.2. Puntos de Apoyo Terrestre

El punto Geodésico utilizado para la vinculación es el MA01 (Estación permanente de Neuquén) perteneciente a la Red POSGAR 2007, con Coordenadas Geodésicas en el Marco POSGAR 2007(Época 2006.632)

- Latitud:  $-38^{\circ} 57' 03.77611''$ .
- Longitud:  $-68^{\circ} 03' 26.46568''$ .
- Altura Elipsoidal: 323.476 m.

Para la identificación de los puntos de apoyo en campo, se utilizaron cruces blancas realizadas en terreno con Cal y se midió con GPS el centro de cada una de las mismas. En total se midieron cinco (5) puntos por vuelo, de los cuales 2 de ellos se ubican en el solape de 2 vuelos contiguos, y distribuidos espacialmente de manera que permitiera lograr el mejor ajuste y georreferenciación de las imágenes obtenidas.

Así mismo, se materializaron 3 puntos fijos en terreno por medio de mojones de aproximadamente un diámetro de 10 cm. por 25 cm. de profundidad y con un hierro central.



Figura 35: Punto Fijo “p2” materializado en terreno.

También se tomaron de manera aleatoria y distribuidos en el predio, puntos con GPS en modo dinámico a los efectos de poder controlar la precisión del modelo resultante del post-proceso del vuelo.

La siguiente imagen permite observar la Marca de referencia para medir los puntos de apoyo.



Figura 36: Imagen obtenida con el dron, se observa la marca del punto fijo.



Los Puntos de Apoyo, Puntos Fijos y el resto de los puntos medidos con GPS se encuentran en el siguiente sistema:

- Marco de Referencia Geodésico Nacional IGN POSGAR 07
- Datum altimétrico (Vertical): PARN referido al nivel medio del mar como horizonte Hipsométrico, adoptado en el año 1924 para Mar del Plata. Se utilizó altura elipsoidal y modelo Geoide Ar 16. La altura sobre el nivel del mar se obtuvo procesando los vectores GPS con el soft “South Total Control” (STC) y llevando las cotas con el modelo Ar 16 (automáticamente lo hace seteando el sistema de proyección que se prefiera, sea campo inchauspe, POSGAR, etc)
- Proyección Gauss Krüger Argentina Faja 2.

### 7.3. Coordenadas de Puntos de Apoyo

Los puntos con las coordenadas procesadas se informan en la siguiente tabla.

Tabla 29: Coordenadas de puntos fijos y de apoyo.

Nombre	X	Y	Z	OBS
p1	5689996.57	2603966.88	301.181	Punto de Apoyo
p2	5690306.03	2603996.41	305.528	Punto Fijo
p3	5690411.87	2603943.45	303.843	Punto de Apoyo
p4	5690606.83	2603750.59	298.388	Punto de Apoyo
p5	5690809.11	2603993.73	300.982	Punto de Apoyo
p6	5690800.81	2603603.42	294.128	Punto de Apoyo
p7	5690409.42	2603457.32	294.095	Punto de Apoyo
p8	5691990.3	2603904.81	313.915	Punto de Apoyo
p9	5691942.5	2603473.23	310.399	Punto de Apoyo
p10	5691198.42	2603986.2	303.578	Punto de Apoyo
p11	5691055.1	2603770.2	298.966	Punto de Apoyo
p12	5691205.48	2603416.69	302.743	Punto de Apoyo
p13	5691365.81	2603624.79	302.731	Punto de Apoyo
p14	5691602.71	2603569.08	305.119	Punto de Apoyo



p15	5691597.14	2603962.58	309.35	Punto de Apoyo
p16	5691801.58	2603820.61	310.244	Punto de Apoyo
p17	5689996.49	2603966.69	301.398	Punto de Apoyo
p18	5689843.43	2604000.52	301.593	Punto Fijo
p19	5689612.24	2603997.9	294.03	Punto de Apoyo
p20	5689214.86	2603944.9	287.408	Punto de Apoyo
p21	5689243.13	2603995.14	287.793	Punto Fijo
p22	5688827.74	2604008.48	287.399	Punto de Apoyo
p23	5688724.47	2603696.78	284.676	Punto de Apoyo
p24	5688438.97	2603445.41	293.556	Punto de Apoyo
p25	5688087.23	2603555.43	296.497	Punto de Apoyo
p26	5688260.4	2603697.1	290.546	Punto de Apoyo
p27	5688460.41	2603861.73	286.128	Punto de Apoyo
p28	5688106.64	2603996.08	295.876	Punto de Apoyo
p29	5689056.9	2603674.48	284.222	Punto de Apoyo
p30	5689229.34	2603619.46	287.63	Punto de Apoyo

#### 7.4. Análisis de los resultados obtenidos

Una vez obtenidos los datos de los vuelos y los vectores GPS se procedió a realizar el proceso de los mismos en el software Pixtura 4D obteniéndose los siguientes productos:

**Ortofoto:** Se trata de un mosaico fotográfico ajustado y georreferenciado (POSGAR 2007) donde puede medirse sobre la imagen con un error igual al del pixel. Este producto es ideal para ubicar el proyecto sobre la imagen y así tenerla como referencia de control de los sucesivos trabajos de replanteo y ejecución de la misma.

**Modelo de Elevaciones (DSM):** Se trata de un modelo que reproduce todos los objetos del relevamiento (árboles, arbustos, construcciones, alambrados, etc.) en 3 dimensiones.

**Nube de puntos:** Es el resultado de la clasificación de los pixel comunes a dos o más imágenes y tienen coordenadas X, Y, Z.

Se adjuntan los reportes del proceso de ortorrectificación que genera el Pix4D (**Ver Anexo 12.1** ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) en los cuales se observan los datos estadísticos de los Puntos de Control respecto al DEM (Modelo Digital del Terreno).



## 8. EVALUACIÓN DEL RIESGO HÍDRICO

La situación hídrica será desarrollada para comprender la dinámica de la red de drenaje existente en la Franja Municipal, con la finalidad de identificar los fenómenos hídricos que se producen en la zona. Posteriormente evaluar las distintas opciones de emplazamiento del Proyecto GIRSU y diseñar, de ser necesario, las obras de protección pluvio-aluvionales que permitan controlar dichos fenómenos.

### 8.1. Metodología de evaluación del Riesgo Hídrico

La metodología se resume en los siguientes puntos:

- **Recopilación de antecedentes:** se obtuvo la información básica y antecedentes necesarios para el desarrollo posterior del estudio.
- **Tareas previas de gabinete:** en esta etapa del trabajo se efectuó la compaginación de la planimetría general del área con la red de drenaje, observando la zona de incidencia de la misma sobre la franja de estudio.
- **Tareas de campo:** se relevaron topografía, tipos de suelo, estructuras geológicas, procesos geomorfológicos, características de cobertura vegetal y capacidad de infiltración de los suelos ubicados dentro de las cuencas de aporte delimitadas en la etapa anterior, y principalmente se identificó las zonas de riesgo en función de los fenómenos observados en terreno.
- **Tareas de gabinete:** En esta etapa del estudio se desarrollaron tareas de gabinete para el procesamiento de la información obtenida.

### 8.2. Situación observada

El área de estudio donde se desarrollará el proyecto de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), se encuentra en una región de características aluvionales bien marcadas.

El drenaje global de la zona de estudio es al Sur conformando un sistema dendrítico de cauces efímeros. Se identificaron dos cauces principales, identificado como Cauce Norte y Cauce Sur, los escurrimientos de aporte a los mismos son del tipo laminados.

La Franja Municipal se emplaza en un sector donde los cauces principales poseen drenaje al Suroeste.

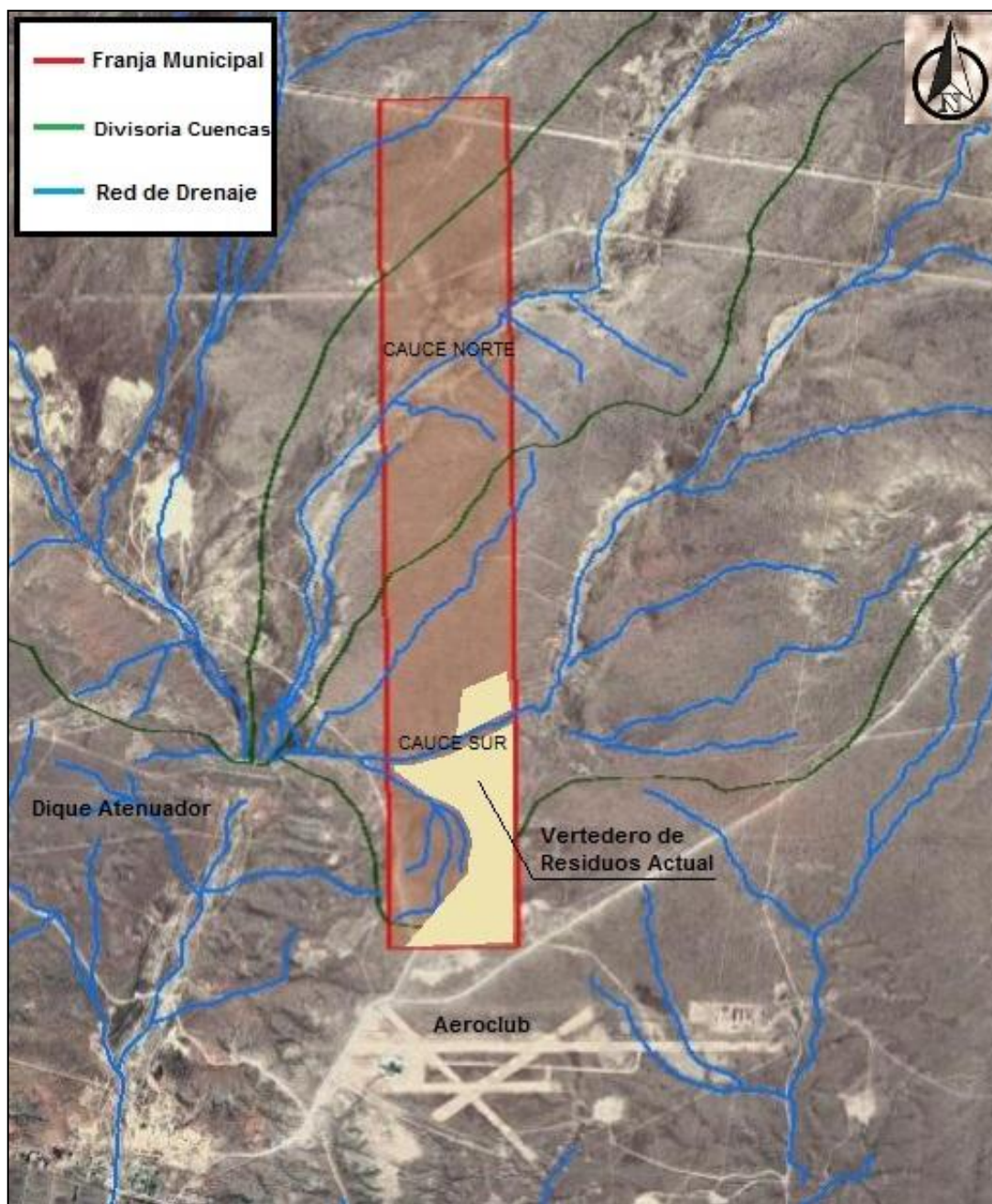


Figura 37: Situación actual de la zona de estudio.

La zona de vertido de residuos actual se encuentra en el sector Sur de la Franja Municipal y no se observó en campo un manejo de los escurrimientos de la misma.

### 8.2.1. Cauce Sur

La Cuenca 3, ubicada al Este de la Franja Municipal, posee un cauce principal que se encuentra atenuado por un sistema de planicies amplias, estas, permiten almacenar importantes volúmenes durante las tormentas. Cuando los niveles lo permiten, el escurrimiento continúa su recorrido por lo que indicamos como Cauce Sur.

El cauce Sur posee un comportamiento laminar, no se observa un cauce perfectamente localizado. Dichos escurrimientos finalizan en el Dique Atenuador existente emplazado al Oeste de la zona de evaluación.

**A la zona del Cauce Sur se le asigna un RIESGO HÍDRICO MODERADO.**



Figura 38: Vista al Suroeste, se observa el cauce Sur hacia aguas abajo.

### 8.2.1. Cauce Norte

La Cuenca 2, posee el cauce principal desarrollado en un cañadón profundo de aproximadamente 7 metros de profundidad. Este tipo de morfología genera desarrollo de cárcavas profundas en los escurrimientos que aportan al cañadón.

El cañadón se identificó para el presente estudio como Cauce Norte, y es el sector que presenta los fenómenos hídricos de mayor dinámica de la zona.

**Asignamos a la zona del Cauce Norte con un RIESGO HÍDRICO ALTO.**



Figura 39: Vista al Noreste, se observa el cauce Norte hacia aguas arriba.

### 8.1. Evaluación de sitios de emplazamiento

En función de lo observado en campo, se traza un mapa de zonificación de Riesgo Hídrico que permite identificar las zonas por su dinámica hídrica.

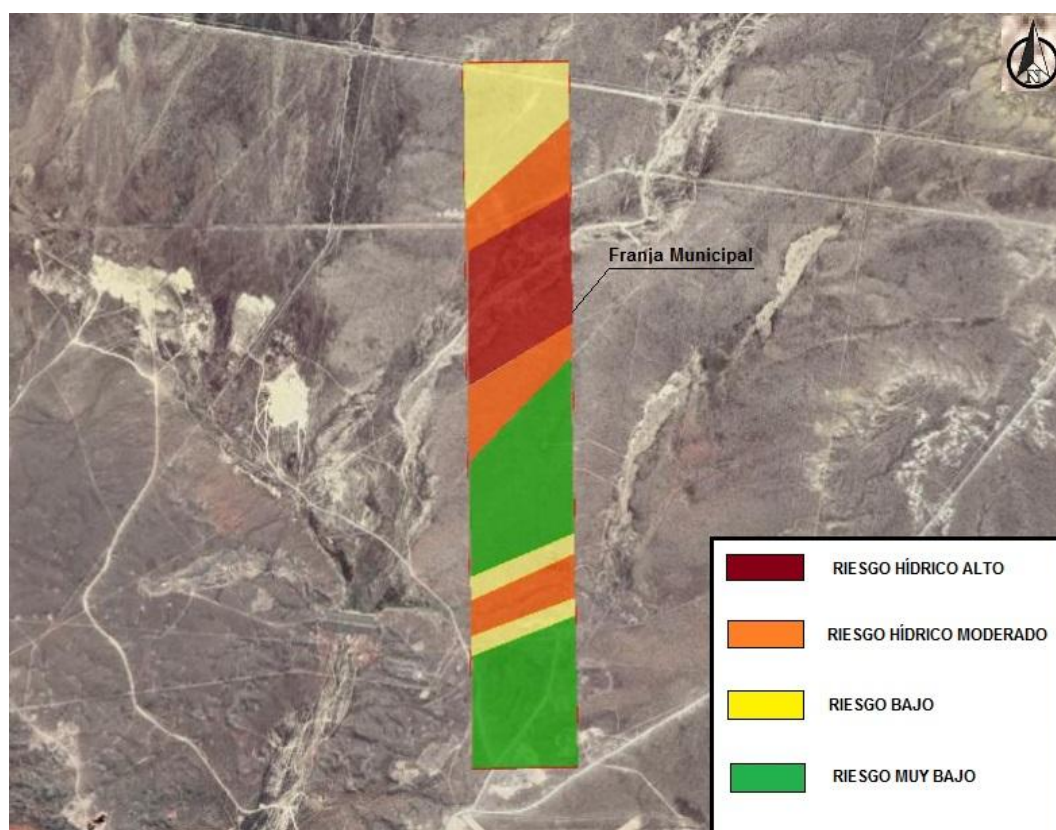


Figura 40: Mapa de zonificación de Riesgo Hídrico en Franja Municipal.



El mapa de zonificación de riesgo hídrico, permite rápidamente visualizar las zonas favorables para el emplazamiento del Proyecto GIRSU. La mitad Sur de la Franja Municipal es el sector que presenta la mejor condición para construir el vertedero.

En el sector Norte hay una zona de Riesgo Hídrico Bajo, en la que podría instalarse el proyecto, pero las distancias de transporte y las instalaciones existentes (ductos y líneas de alta tensión) desfavorecen el lugar.

## **8.2. Modelación hidráulica de los cauces**

La modelación matemática hidráulica se encuentra asociada al hidrograma y al caudal citado precedentemente, esta modelación tiene por objeto conocer las variables necesarias para el cálculo y diseño de la obra de defensa hídrica en los cauces no permanente.

A partir de la información suministrada por la topografía, se generó un modelo de elevación (DEM) del cual se extraen perfiles longitudinales y transversales para el análisis unidimensional y se demarca el área de escurrimientos para el análisis bidimensional.

Del relevamiento de campo de los cauces, se asignaron diferentes coeficientes de rugosidad de Manning tanto para cauces como para márgenes, adoptándose de acuerdo a la bibliografía, a lo observado en campo y a la experiencia los siguientes coeficientes.

- Lecho Cauce Norte igual a 0.028.
- Márgenes y Planicie Cauce Norte igual a 0.045.
- Lecho Cauce Sur igual a 0.035.
- Márgenes y Planicie Cauce Sur igual a 0.045.

### **8.2.1. Modelación por HEC RAS**

Se utiliza el modelo HEC-RAS, modelo que ha sido desarrollado por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del U.S. Corps of Engineers, y su uso se ha extendido para estudios de delimitación de llanuras de inundación o de riesgos frente a crecidas. El modelo utilizado simula cálculos hidráulicos unidimensionales o bidimensionales en canales naturales o artificiales en régimen permanente o impermanente gradualmente variado. El procedimiento computacional está basado en la solución de la ecuación de energía unidimensional, en las ecuaciones de Saint Venant en el caso bidimensional y las pérdidas de energía se evalúan por la



ecuación de Manning. El método de cálculo es el conocido como estándar por pasos y volúmenes finitos.

El modelo de elevación (DEM) obtenido se ingresa a HEC RAS una vez resuelto el modelo se determinan los perfiles que serán de interés para el análisis de resultados.

A continuación se muestra el DEM utilizado como dato de entrada para la modelación. En esta imagen se indica cuáles son las zonas de estudio tanto para el Cauce Norte como para el Cauce Sur.

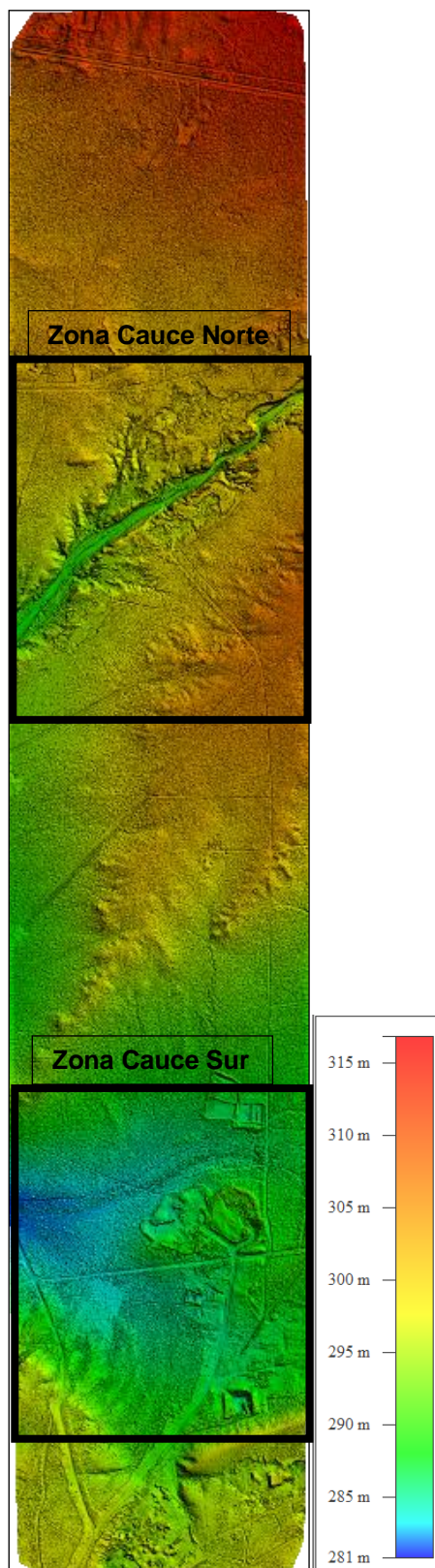


Figura 41: Imagen DEM de toda la Franja Municipal.

### 8.2.2. Modelación Cauce Norte

Para realizar la modelación de este cauce se ingresan los parámetros geométricos y los parámetro Hidráulicos en el programa HEC RAS.

El coeficiente de Manning adoptado para el lecho del cauce es de 0.028 dado que en la visita de campo se observó que el lecho no contiene vegetación y en algunos sectores se observó afloramiento de roca. Para los Márgenes de inundación se asignó un Manning de 0.045.

A continuación se muestran fotografías que muestran tanto el lecho como el margen del Cauce Norte.



Figura 42: Imagen de lecho sin vegetación en el Cauce Norte



Figura 43: Imagen del Margen en el Cauce Norte

El Hidrograma de entrada utilizado es el obtenido para la Cuenca 2 (**Ver 4.2.11**), dicho hidrograma acusa un caudal pico de 252.4 m<sup>3</sup>/s. El criterio de utilizar este estado de humedad antecedente se basa en que si bien no es habitual en la zona, puede ocurrir dicha condición, y por lo tanto las obras estarán contempladas ante esa eventualidad.

Se puede observar que el escurrimiento está bien definido en cuanto a su traza y sección, esto se debe en parte al material que constituye el lecho y los márgenes. En este tipo de morfología se espera que los caudales escurran de forma concentrada en el cauce alcanzando altas velocidades.

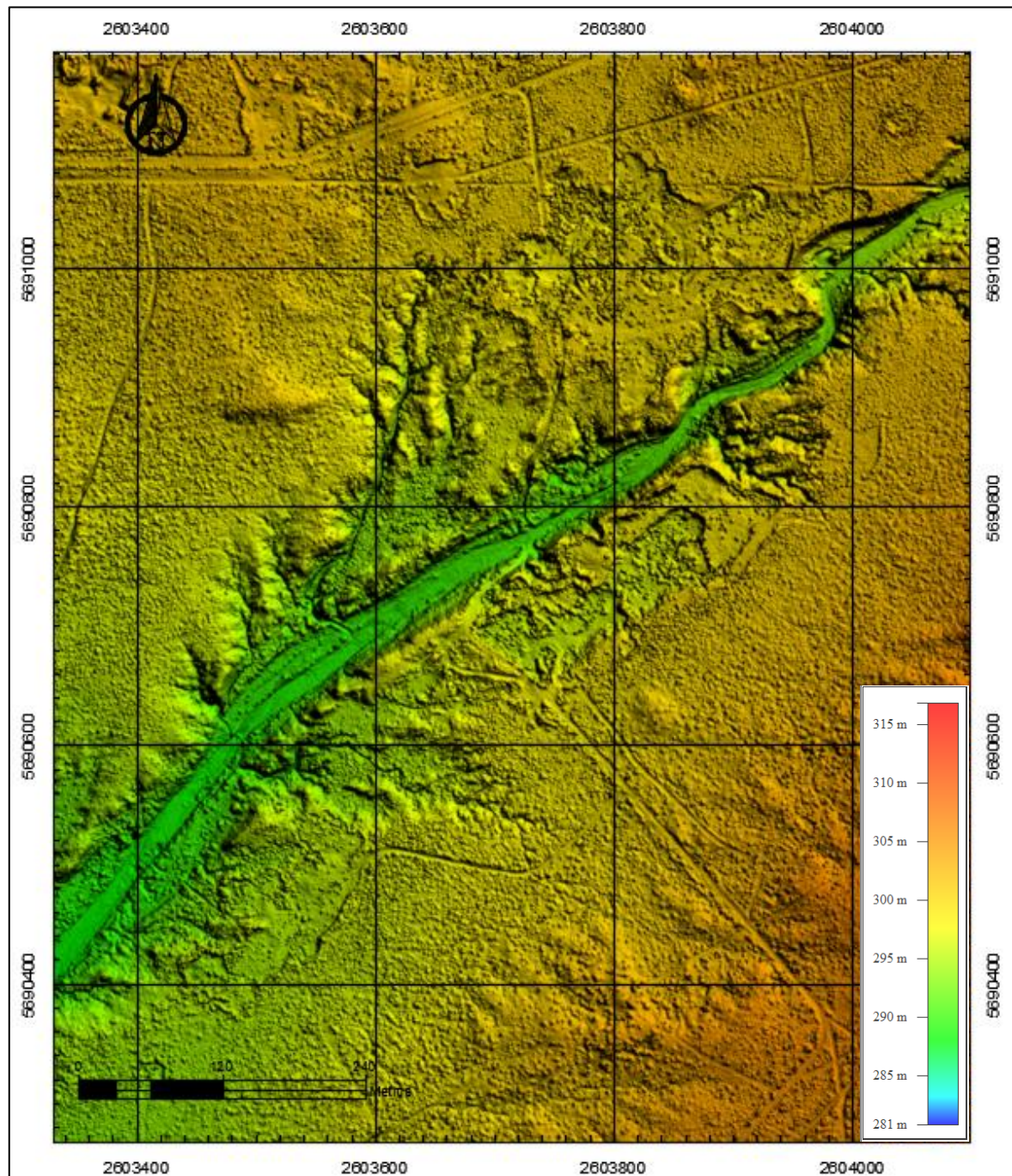


Figura 44: Zona de interés Cauce Norte.

### 8.2.2.1. Resultados Gráficos de la modelación Realizada.

A continuación se muestra el DEM del cauce y su correspondiente planicie de inundación.

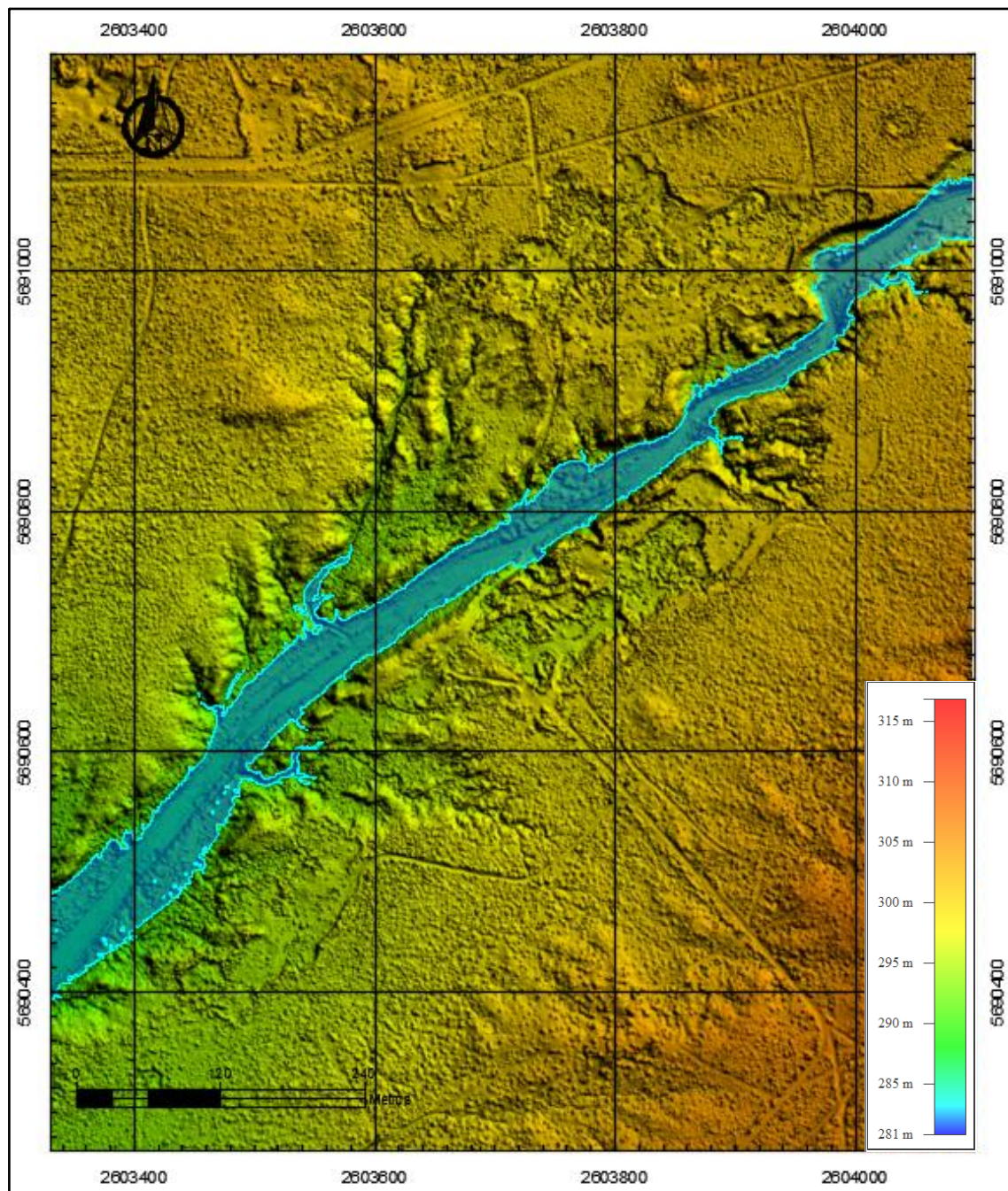


Figura 45: Planicie de inundación del Cauce Norte.

En el siguiente mapa observamos las profundidades máximas alcanzadas en el cauce.

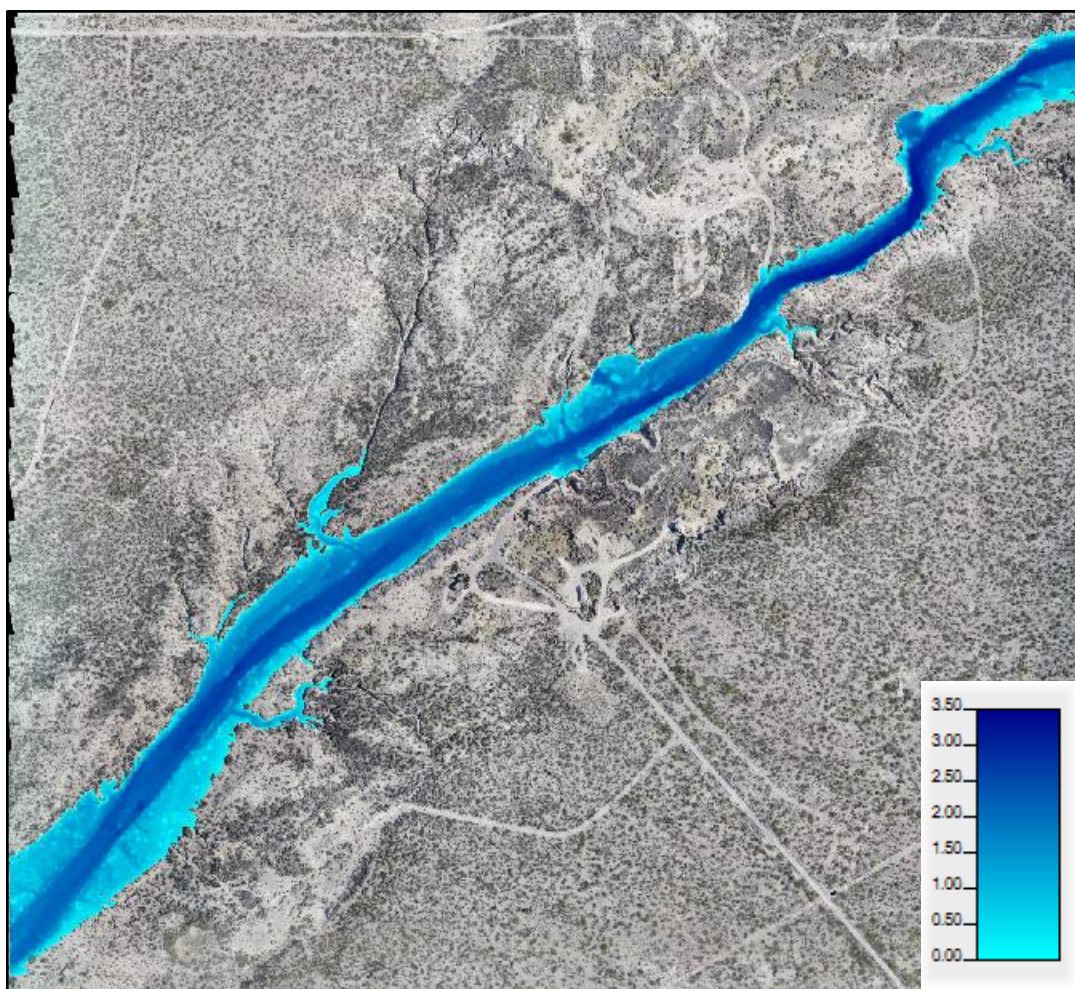


Figura 46: Mapa de profundidades Cauce Norte.

En la imagen siguiente se observa la distribución y magnitud de las velocidades de alcanzadas por el escurrimiento durante la crecida. También se observa el sitio en donde se tomó la sección de muestra.

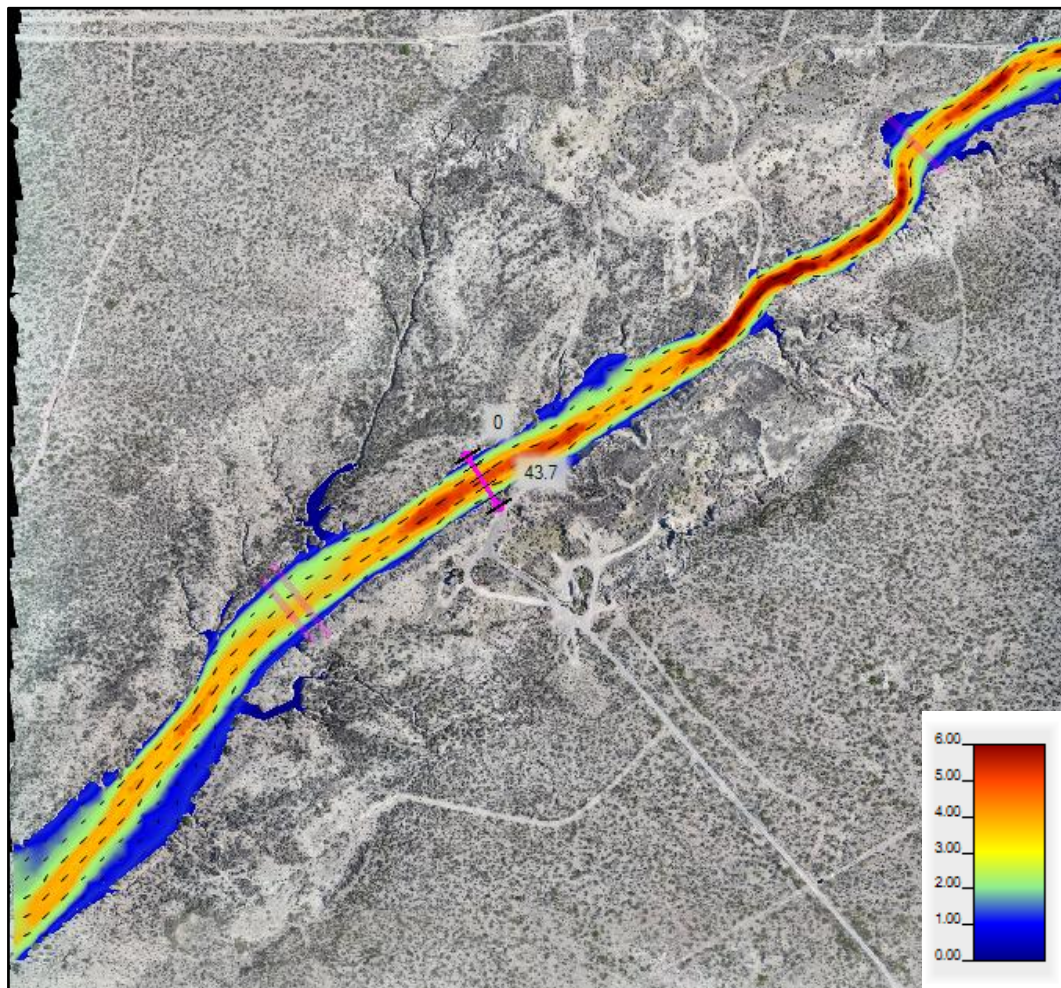


Figura 47: Mapa de velocidades Cauce Norte.

A modo de ejemplo se muestra una sección característica del cauce en estudio, en la misma se observa que la revancha natural es de aproximadamente 1 m.

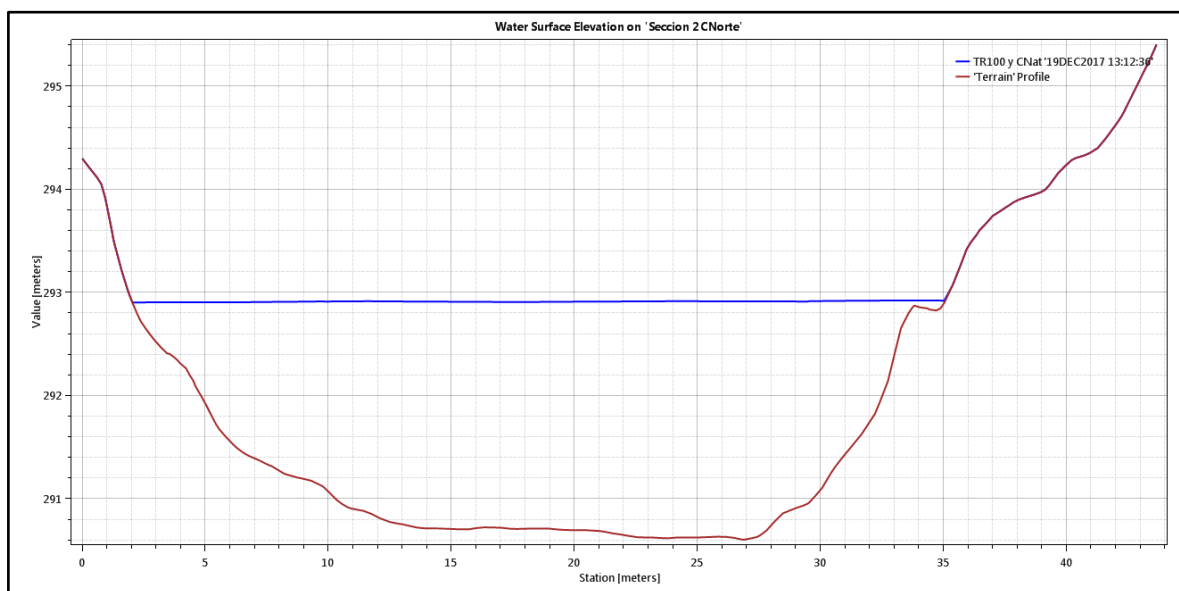


Figura 48: Sección característica Cauce Norte.

A continuación se muestra el perfil hidráulico obtenido de la modelación.

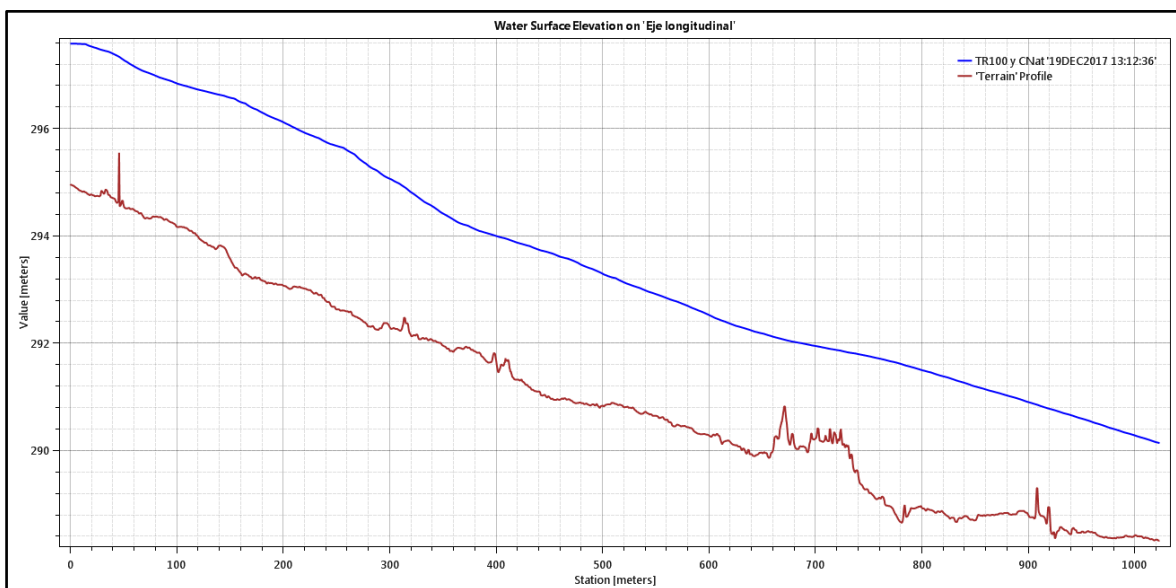


Figura 49: Perfil hidráulico Cauce Norte.



#### **8.2.2.2. Conclusiones del comportamiento del Cauce Norte**

La conclusión más importante que podemos realizar en función de los resultados de la modelación es que el cauce Natural tiene la capacidad suficiente para evacuar el caudal asociado a un TR 100. Esto es importante por cuanto al no sobrepasar los límites de dicho cauce tenemos la certeza de que para el tiempo de retorno TR=100, el cauce no afectará al Proyecto de Gestión de Residuo.

El criterio de adoptar el estado de humedad antecedente AMC II, situación poco frecuente en la zona de estudio, se fundamenta en la observación de eventos de precipitaciones sucesivas en un mismo día de moderada y alta intensidad, donde la humedad del suelo ya no corresponde a seco. El mismo es un criterio conservador y de uso frecuente en este tipo de obras aluvionales, donde es esperable que pueda ocurrir la situación descrita en algún momento de la vida útil de la obra, con lo cual las mismas responderán satisfactoriamente ante esta eventualidad.

En forma complementaria podemos decir que no solo no sobrepasa la capacidad de las secciones del cauce sino que además queda una revancha en los márgenes que en algunos sectores ronda el metro de altura.

Se observa también que en algunos sectores las velocidades alcanzadas en el cauce alcanzan magnitudes de importancia, lo cual genera erosiones generalizadas de gran magnitud. Esto es esperable en este tipo de morfología.

Como síntesis podemos decir que este cauce no requiere intervención alguna, no obstante es importante realizar visitas periódicas con el objeto de asegurar que no se realicen obras que puedan alterar el equilibrio natural en el que se encuentra el sistema analizado.

### 8.2.3. Modelación Cauce Sur

Al igual que para el cauce anterior, para realizar la modelación de este cauce se ingresan los parámetros geométricos y los parámetro Hidráulicos en el programa HEC RAS.

El Coeficiente de Manning adoptado para el lecho del cauce es de 0.035 dado que en la visita de campo se observó que el lecho contiene vegetación y presencia de arena con clastos. Para los Márgenes de inundación se asignó un Manning de 0.045.

A continuación se muestran fotografías que muestran tanto el lecho como el margen del Cauce Sur.



Figura 50: Imagen de lecho en el Cauce Sur



Figura 51: imagen del Margen en el Cauce Sur

El Hidrograma de entrada se extrajo del Cuenca 3 (**Ver 4.2.11**), dicho hidrograma acusa un caudal pico de 94.0 m<sup>3</sup>/s. El criterio de utilizar este estado de humedad antecedente se basa en que si bien no es habitual en la zona, puede ocurrir dicha condición, y por lo tanto las obras estarán contempladas ante esa eventualidad.

Se puede observar, a diferencia del cauce Norte, que el escurrimiento no está bien definido en cuanto a su traza y sección, esto se debe en parte a el material que constituye el lecho y los márgenes pero principalmente a la baja pendiente que predomina en la zona. En este tipo de morfología se espera que los caudales escurran de forma laminada y por variados surcos generando planicies de inundación de mayor amplitud.

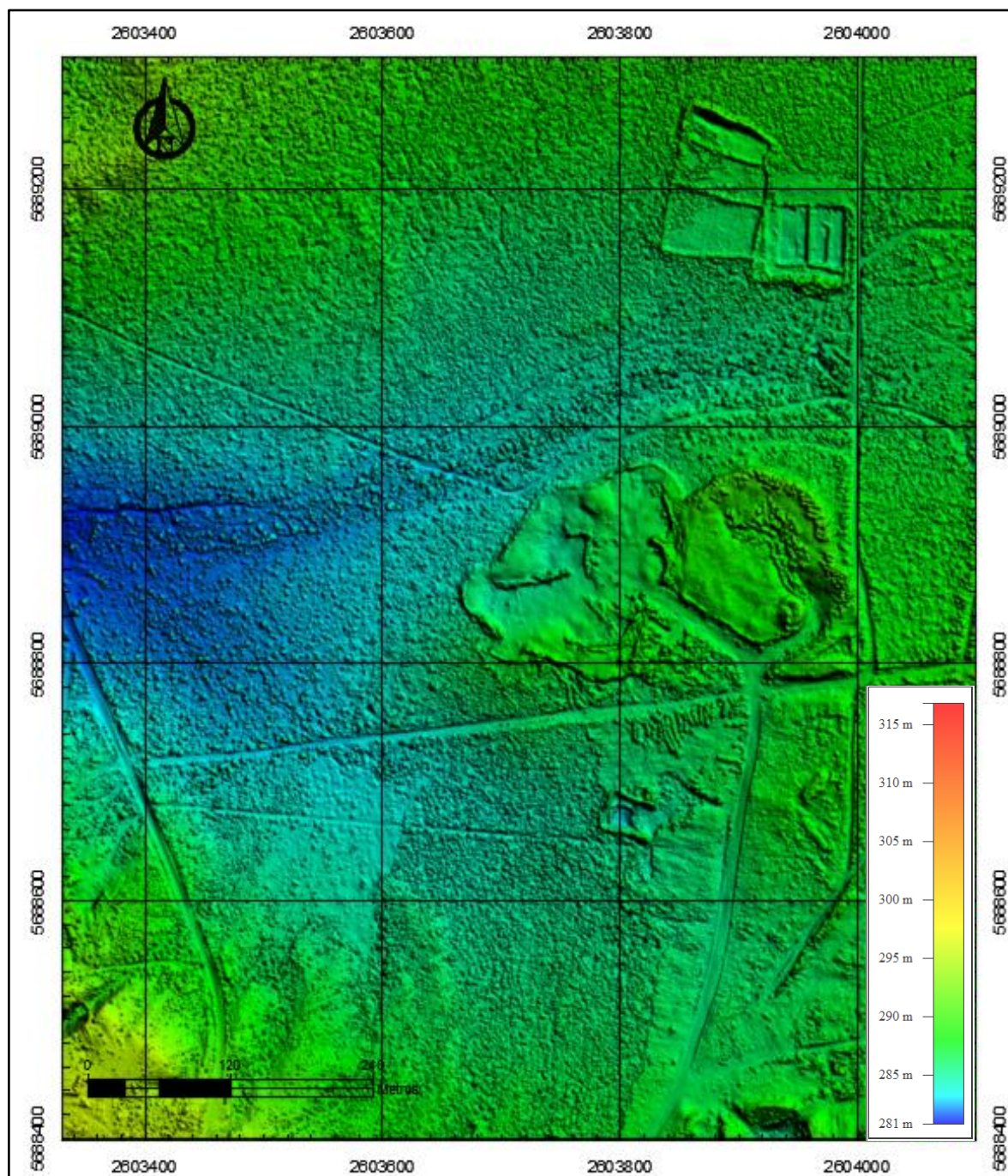


Figura 52: Zona de interés Cauce Sur.

### 8.2.3.1. Resultados Gráficos de la modelación Realizada.

A continuación se muestra el DEM del cauce y su correspondiente planicie de inundación.

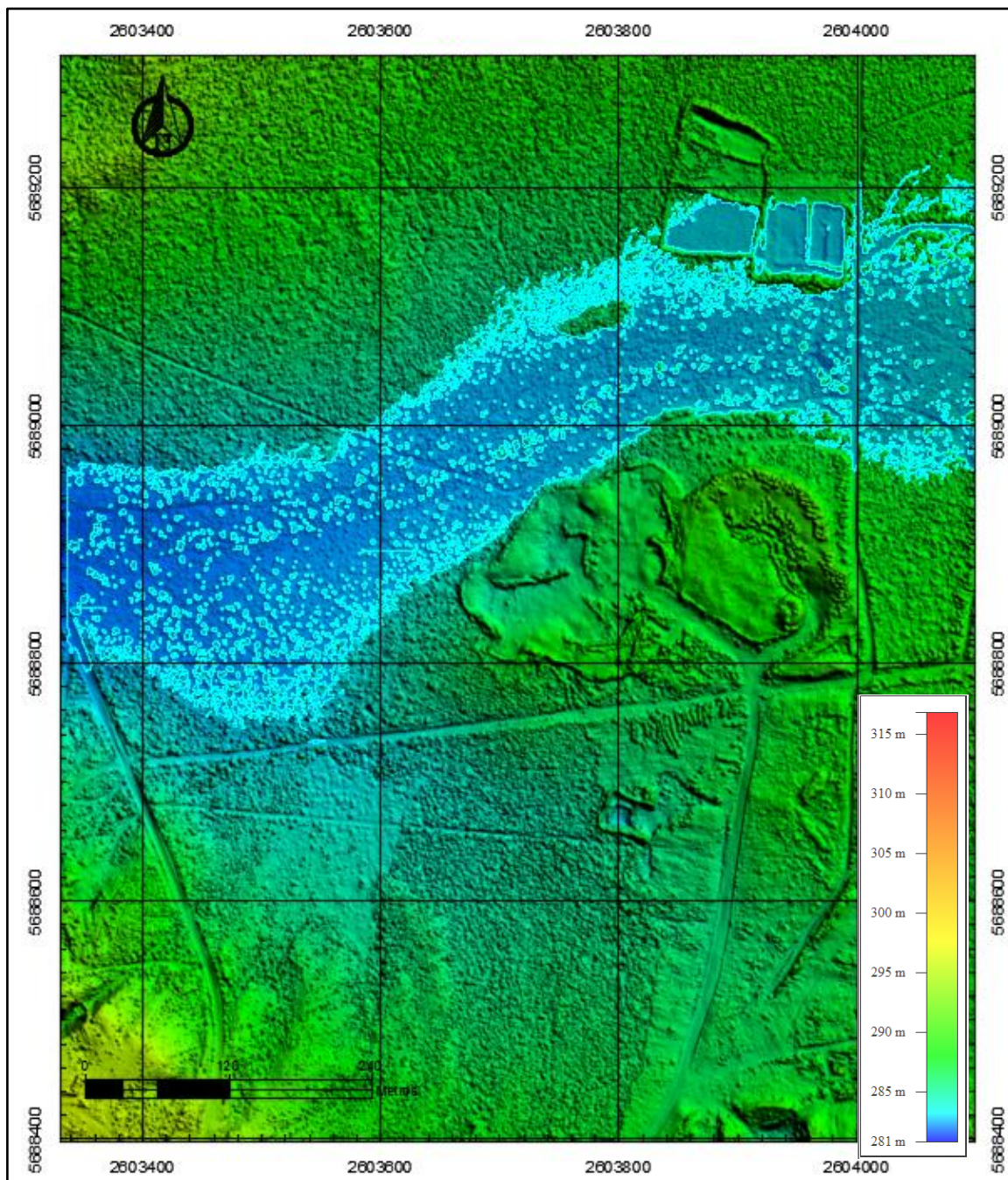


Figura 53: Planicie de inundación Cauce Sur.

En el siguiente mapa observamos las profundidades máximas alcanzadas en el cauce.

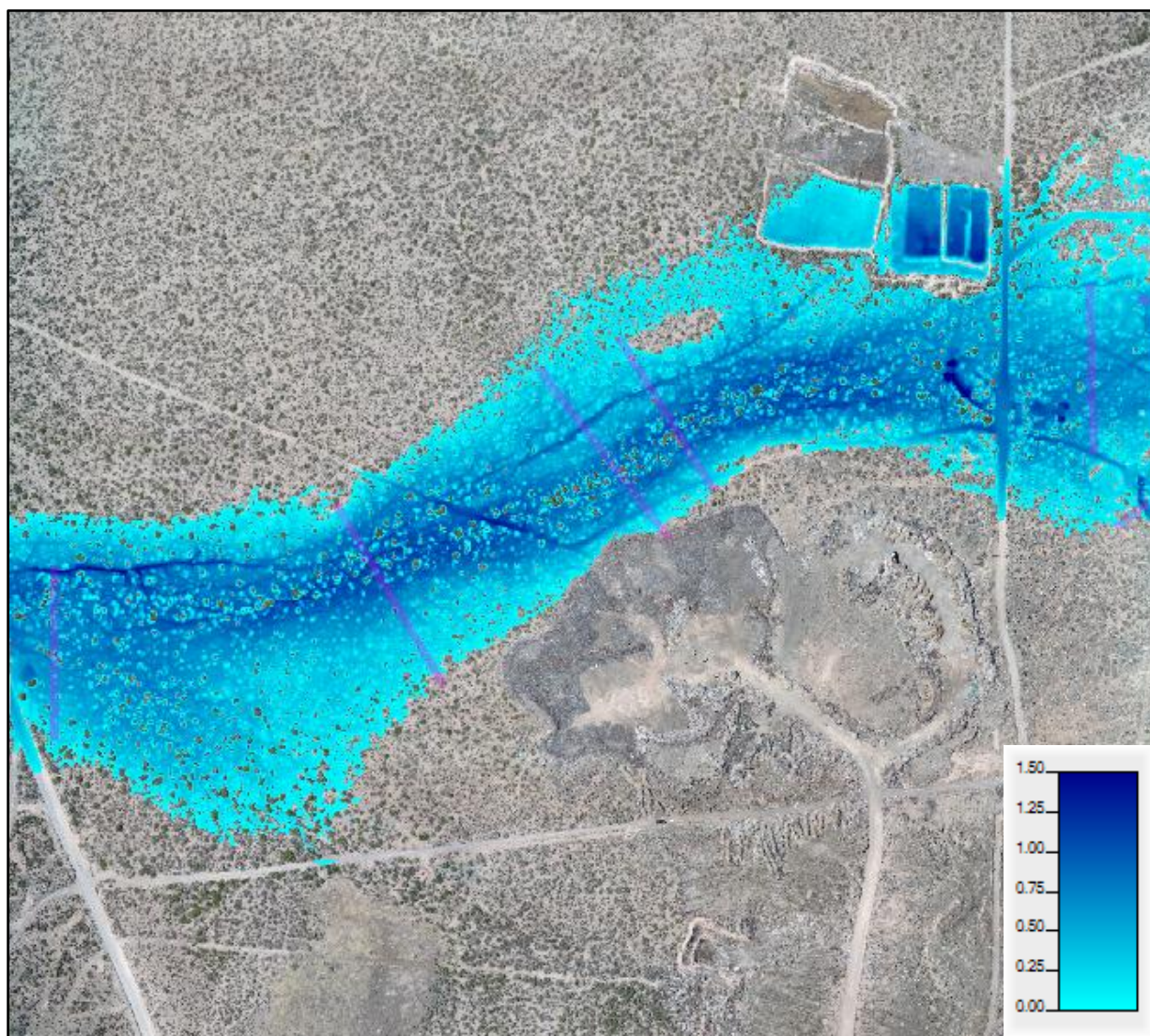


Figura 54: Mapa de profundidades Cauce Sur.

En la imagen siguiente se observa la distribución y magnitud de las velocidades de alcanzadas por el escurrimiento durante la crecida. También se observa el sitio en donde se tomó la sección de muestra.

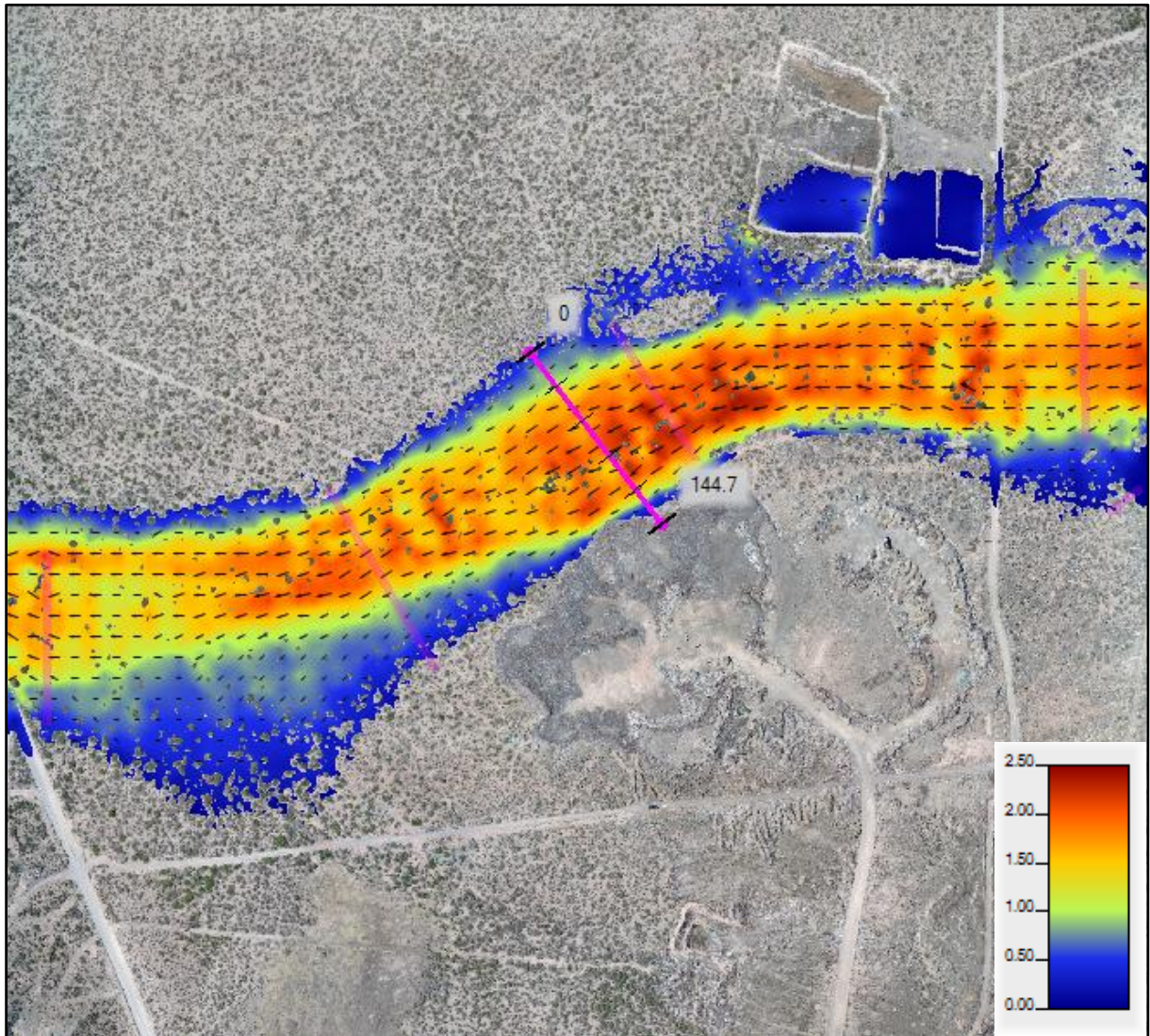


Figura 55: Mapa de velocidades Cauce Sur.

A modo de ejemplo se muestra una sección característica del cauce en estudio, a diferencia con el otro cauce se observa que no hay una sección definida, siendo el ancho de unos 140 m aproximadamente.

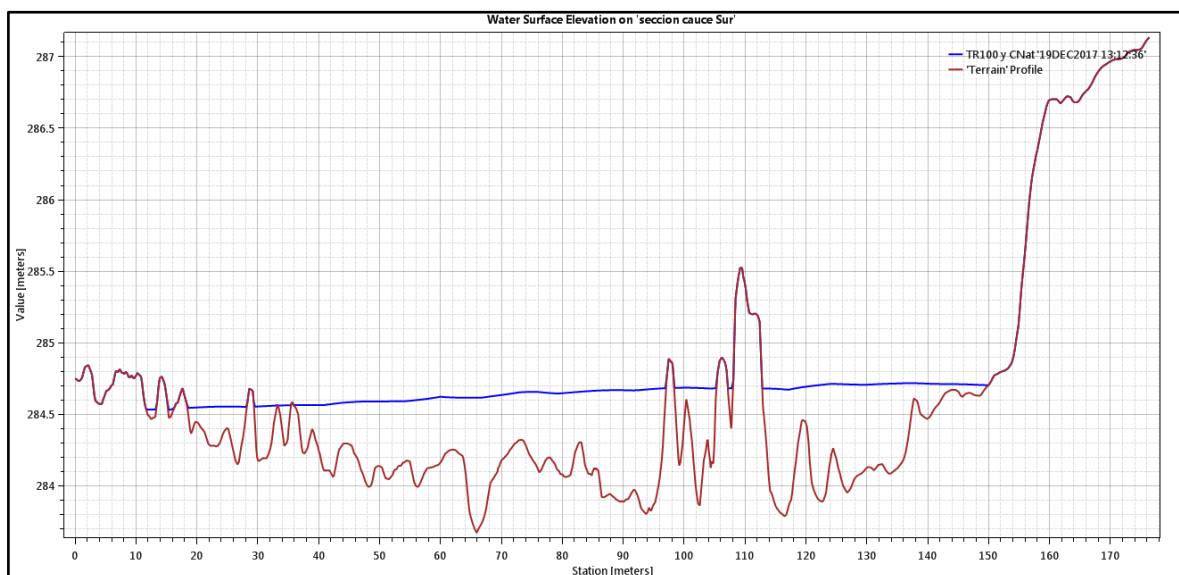


Figura 56: Sección característica Cauce Sur.

A continuación se muestra el perfil hidráulico obtenido de la modelación.

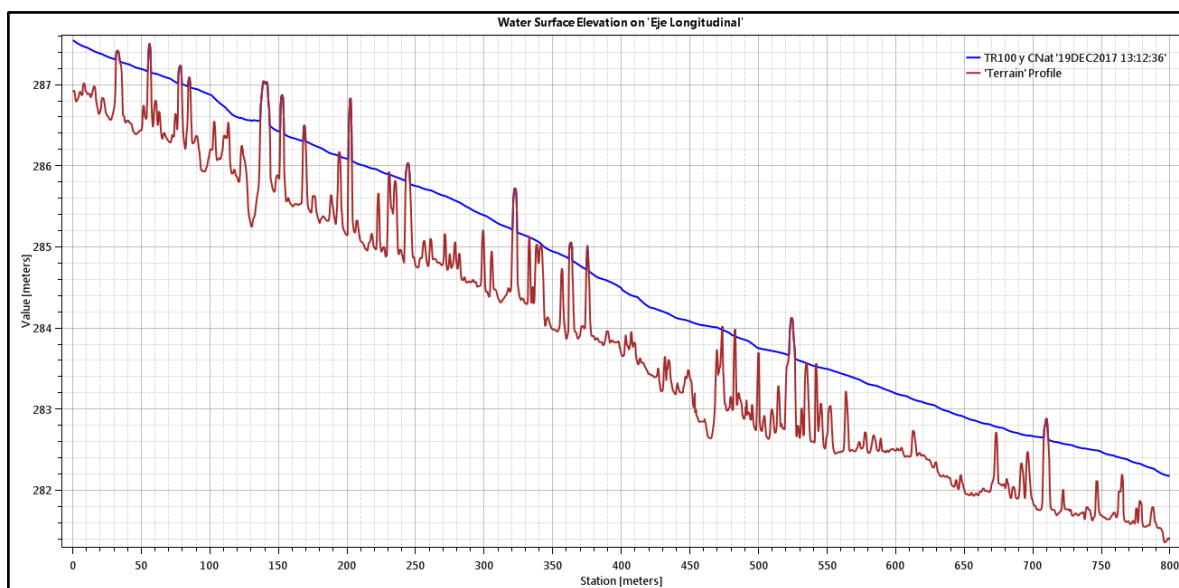


Figura 57: Perfil hidráulico Cauce Sur.



### **8.2.3.2. Conclusiones del comportamiento del Cauce Sur**

Con la información brindada por el modelo podemos concluir que este tipo de cauce tiene un escurrimiento del tipo laminar, se puede apreciar que la planicie de inundación abarca una gran superficie y que las profundidades que alcanza el agua no son de magnitud.

El criterio de adoptar el estado de humedad antecedente AMC II, situación poco frecuente en la zona de estudio, se fundamenta en la observación de eventos de precipitaciones sucesivas en un mismo día de moderada y alta intensidad, donde la humedad del suelo ya no corresponde a seco. El mismo es un criterio conservador y de uso frecuente en este tipo de obras aluvionales, donde es esperable que pueda ocurrir la situación descrita en algún momento de la vida útil de la obra, con lo cual las mismas responderán satisfactoriamente ante esta eventualidad.

El caudal modelado es suficiente como para alcanzar las piletas ubicadas sobre el margen Norte del cauce en estudio.

Con el objeto de asegurar el rápido escurrimiento de los caudales sería conveniente realizar un perfilado del cauce con terraplenes en sus márgenes que contengan el escurrimiento y lo descarguen aguas abajo.

## **9. OBRAS DE PROTECCIÓN PLUVIOALUVIONALES**

### **9.1. Criterios de Diseño**

Las obras propuestas tienen como objetivo:

- Evitar la anegación de la zona.
- Lograr un escurrimiento estable y controlado.
- Evacuar un caudal de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 100 años.

El diseño de la canalización del cauce está en función de los siguientes criterios:



DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CRITERIO USADO
Período de retorno	años	100
Sección adoptada		Triangular con terraplenes en Márgenes
Velocidad mínima	m/s	0.5
Tipo de Revestimiento Lecho		sin revestir
Tipo de Revestimiento Lateral		sin revestir
Taludes Máximo	H:V	1:1
Radio mínimo sin revestir	m	90
Revancha mínima	m	0.3
Camino de inspección	Si/No	No

### **9.2. Descripción de las obras.**

Las obras planteadas para lograr el escurrimiento estable y controlado en este punto son:

- Terraplenes de captación del escurrimiento.
- Rectificación de la traza del cauce.
- Estabilización del Margen Izquierdo.
- Estabilización del Margen Derecho.
- Perfilado y limpieza del lecho del cauce.
- Realización de badén en camino existente.

### **9.3. Verificación hidráulica de las obras propuestas**

La topografía del cauce se la afectó de las obras de contención propuestas, y se generó un nuevo modelo de elevación (DEM) del cual se extraen nuevos perfiles longitudinales y transversales para el análisis unidimensional y se demarca nuevamente el área de escurrimiento para el análisis bidimensional. La topografía afectada por la obra se observa en la siguiente Figura.

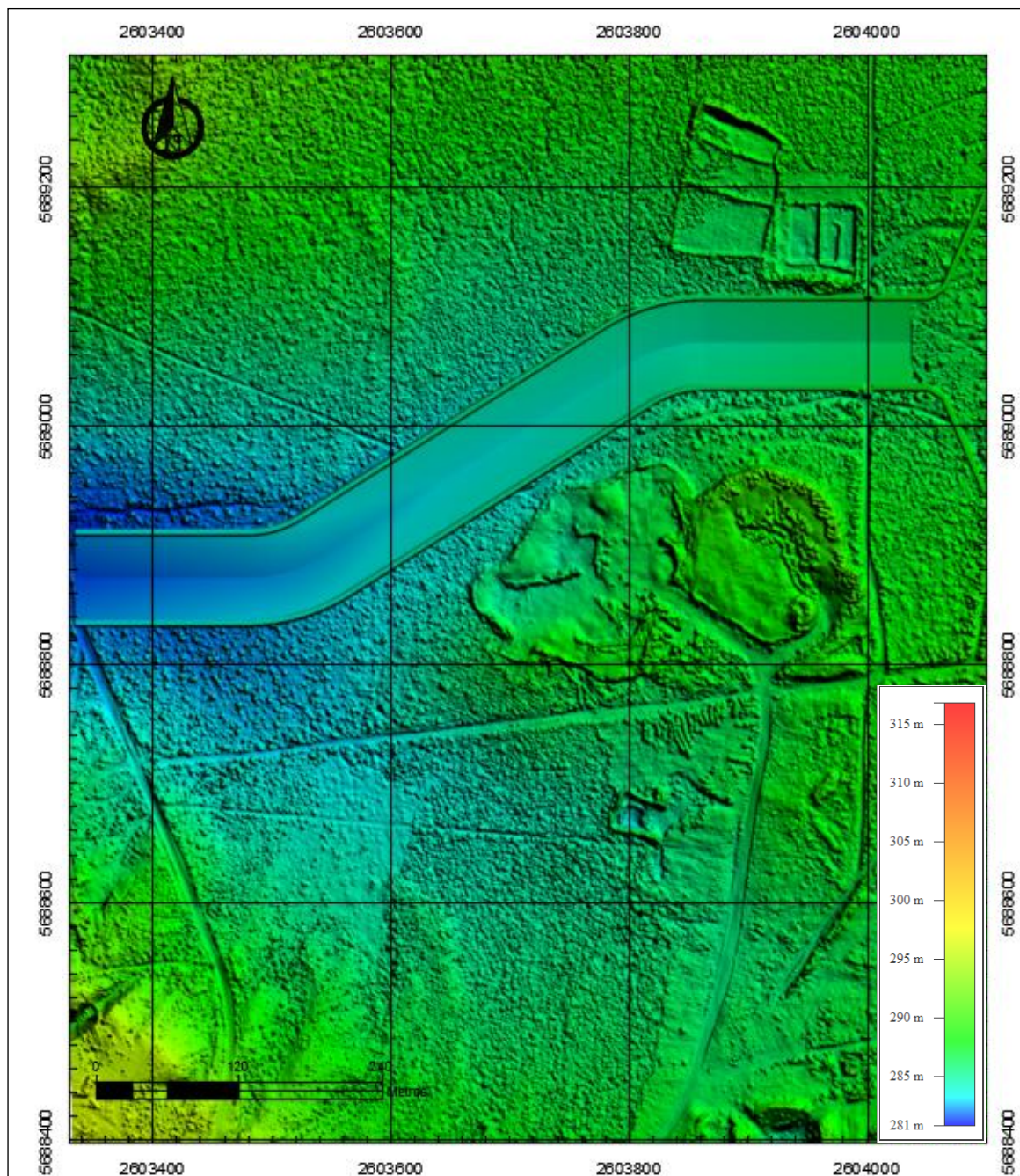


Figura 58: Imagen DEM de la topografía afectada por las obras propuestas.

A partir del modelo generado, aplicamos nuevamente el programa de modelado hidráulica HEC RAS para obtener para obtener la nueva planicie de inundación y así poder verificar el funcionamiento de la obra.

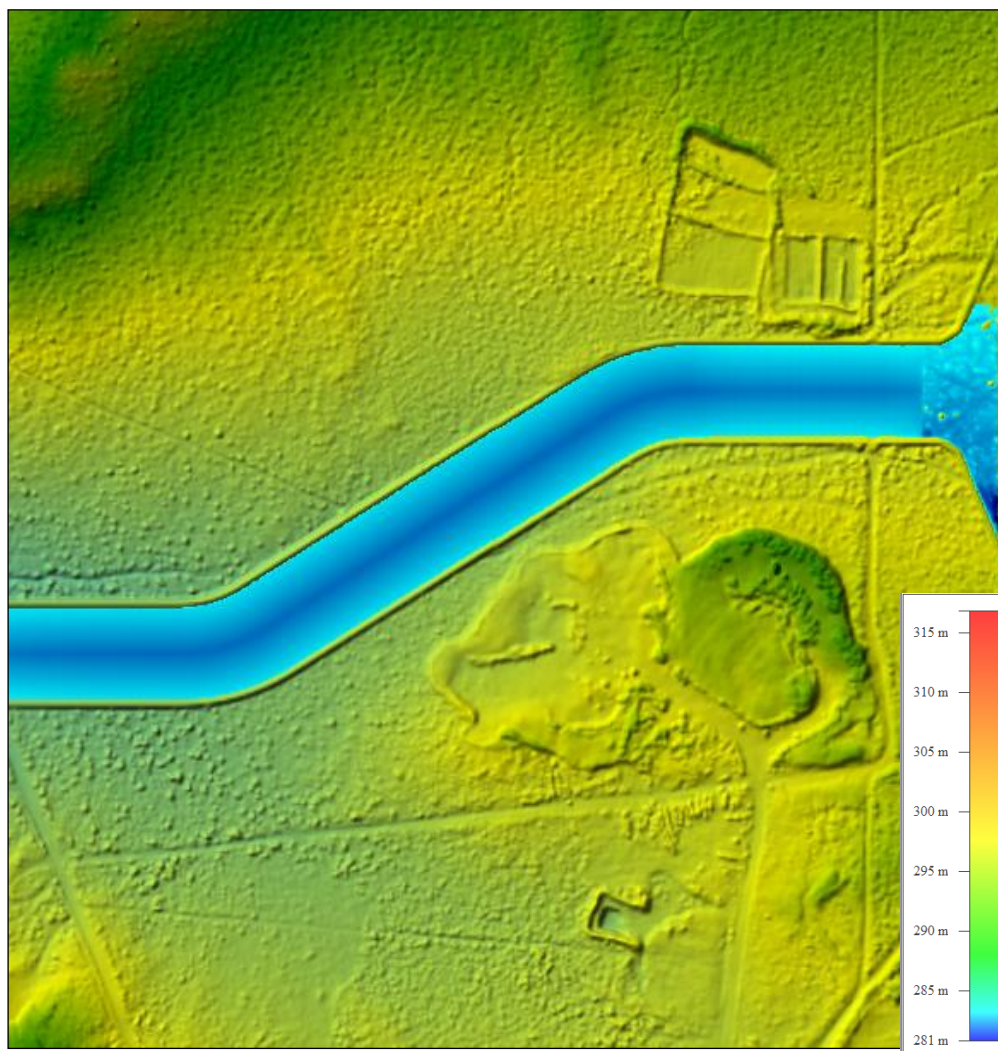


Figura 59: Planicie inundación TR 100.



Figura 60: Distribución de velocidades TR 100.

A modo de ejemplo se muestra una sección característica de la sección de la obra.

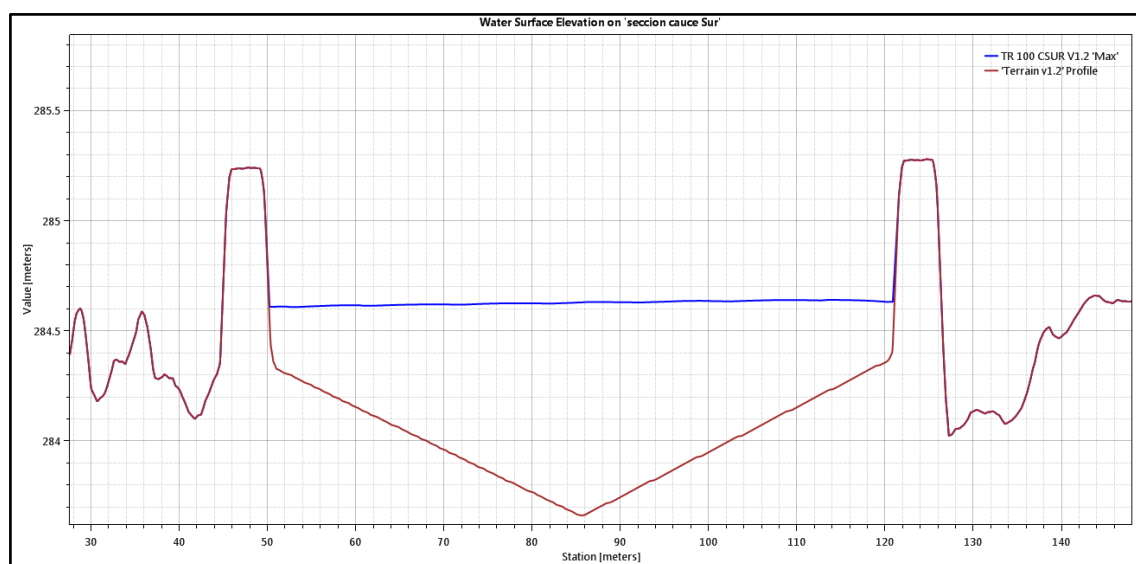


Figura 61: Sección característica del Cauce Sur rectificado.

A continuación se muestra el perfil hidráulico obtenido de la modelación.

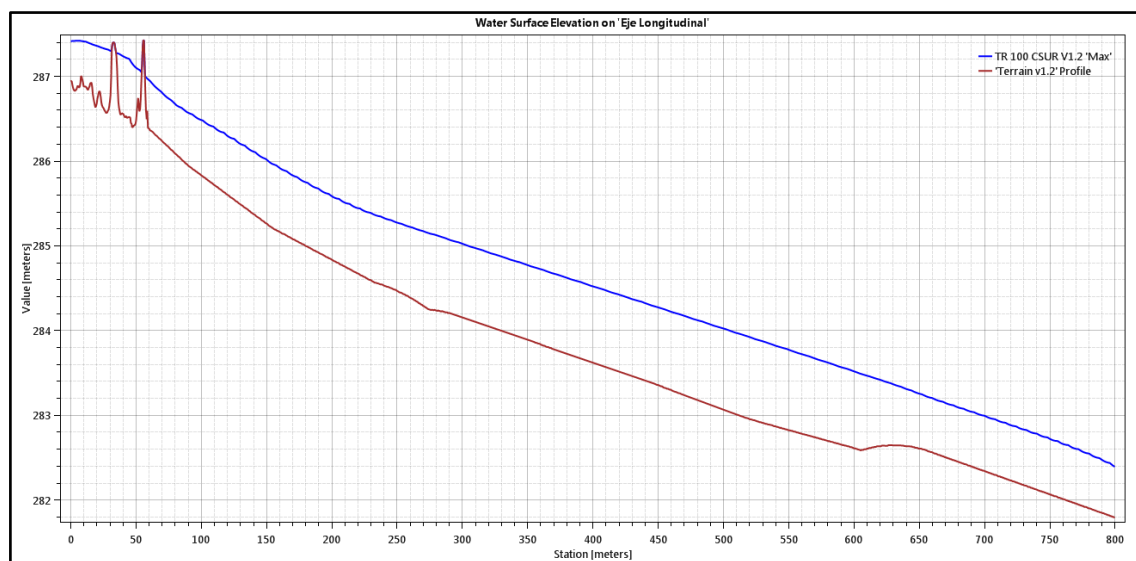


Figura 62: Perfil hidráulico del Cauce Sur rectificado.



### **9.3.1.1. Conclusiones hidráulicas de la obra propuesta**

Los volúmenes de sedimentos que arrastran las crecidas modeladas, indican alta probabilidad de ocurrencia de fenómenos de sedimentación. Para controlar parcialmente esta situación se adopta el criterio de velocidad de autolimpieza del tramo rectificado. A pesar de ello, deberá complementarse con tareas de monitoreos periódicos y principalmente posterior a eventos intensos, para observar la existencia de sedimentos y realizar las tareas de mantenimiento necesarias para evitar la pérdida de capacidad hidráulica.

Respecto al comportamiento hidráulico obtenido en la modelación, se observa que el escurrimiento se produce en forma controlada y sin anegaciones en el tramo rectificado.

Como era previsible, las velocidades máximas se ven incrementadas dado que el ancho de la sección es menor a los 140 m originales, dicha situación esperable, favorecerá a la auto limpieza del lecho.

En el criterio de diseño de la obra se opta por la presencia de fenómenos erosivos por sobre fenómenos de sedimentación. El criterio anterior se basa en varios motivos, entre los cuales, se puede resaltar la capacidad de autolimpieza y por lo tanto menor mantenimiento de la sección hidráulica. Consecuentemente si se adoptara una sección que genere velocidades menores (no erosivas) esto produciría el anegamiento y la sedimentación para caudales menores al de diseño (TR100). Estos caudales de mayor frecuencia de ocurrencia generarían acumulación de sedimentos importantes, produciendo disminución de la capacidad hidráulica.

Dada la forma triangular no se producen velocidades importantes en los márgenes, esto es beneficioso puesto no es esperable la erosión de los taludes propuestos.

No se observa inferencia importante del badén propuesto en el flujo del escurrimiento.

La revancha promedio del canal ronda los 0.60 m aproximadamente, si bien esto puede parecer excesivo, se considera que con el tiempo la vegetación crecerá nuevamente, lo cual hará que el pelo de agua se levante.



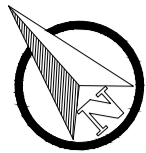
### 9.3.1.2. Cómputo y Presupuesto

Las cantidades de las obras propuestas son las que se indican a continuación:

Tabla 30: Estimación de Cómputo y Presupuesto para la obra propuesta.

CANTIDADES y ESTIMACIÓN DE PRESUPUESTO					
<u>Ítem N°</u>	<u>Designación</u>	<u>Unidad</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio Unitario</u>	<u>Monto Ítem</u>
1.1	Limpieza de la zona de obra	m <sup>2</sup>	62996.3	\$ 25.00	\$ 1,574,907.50
1.2	Desmonte - Ce = 1.3	m <sup>3</sup>	14208.1	\$ 320.00	\$ 4,546,592.00
1.3	Relleno Compactado	m <sup>3</sup>	14626.7	\$ 480.00	\$ 7,020,816.00
MONTO TOTAL ESTIMADO DE LA OBRA					\$ 13,142,315.50

### 9.3.1.3. Planos de la Obras Pluvioaluvionales propuestas



Planimetría General de MDT  
Esc. 1:6.000

**SIMBOLOGIA**

- CAMINOS DE ACCESO
- CANAL
- TERRAPLEN
- PLANICIE DE INUNDACION TR100
- CURVAS DE NIVEL (EQUIDISTANCIA CADA 2 METROS)

**LÍNEAS**

- ESCURRIMIENTO

**RIESGO HÍDRICO**

- ALTO
- MODERADO
- BAJO
- MUY BAJO

- NOTAS:
- TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN METROS (m), SALVO QUE SE ESPECIFIQUE OTRO.
  - LA SUPERFICIE DEL TERRENO NATURAL FUE OBTENIDA MEDIANTE RELEVAMIENTO TOPOGRÁFICO REALIZADO POR GEA S.A.
  - LA POSICIÓN Y DIMENSIONES DE LOCACIONES, CAUCES Y CAMINOS DE ACCESO, NO RELEVADOS POR LA TOPOGRAFÍA, FUE DETERMINADO MEDIANTE IMAGEN SATELITAL, POR LO QUE CUALQUIER TIPO DE REFERENCIA SON APROXIMATIVAS.
  - LA INFORMACIÓN PARA EL REPLANTEO DEBERÁ SER APROBADA POR EL INGENIERO EN CAMPO ANTES DEL INICIO DE LA CONSTRUCCIÓN Y VERIFICANDO LA EXISTENCIA DE INSTALACIONES NO INDICADAS EN LOS PLANOS.
  - TODO MATERIAL INADECUADO ENCONTRADO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEBE SER REMOVIDO Y REEMPLAZADO POR RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO (SI ES APLICABLE), SEGUN SEA DETERMINADO POR EL INGENIERO.
  - TODO RELLENO DEBERÁ DE SER COLOCADO DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS INDICADOS EN LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS HOMÓLOGO, TODO RELLENO DEBERÁ SER VERIFICADO Y APROBADO POR EL INGENIERO.
  - AGUAS ARRIBA DE LA ZONA DE CONJUNCIÓN, SE DEBERÁ PERFORAR EL LECHO DEL CAUCE DE MANERA DE ACOMPAÑAR LA FORMA DE LAS OBRAS.
  - COMPACTACIÓN MECÁNICA EN CAPAS DE 25CM MÁX., A UNA CANTIDAD RELATIVA DEL 95% DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO SEGUN ASTM CORRESPONDIENTE.
  - LAS CANTIDADES HAN SIDO ESTIMADAS EN BASE A LA TOPOGRAFÍA RELEVADA, SIN EMBARGO PUEDE EXISTIR VARIACIONES YA QUE LA POSICIÓN FINAL Y TAMAÑO DE LAS MORMAS PUEDE CAMBIAR DE ACUERDO A LO ESPECIFICADO POR EL INGENIERO EN CAMPO.
  - SE UTILIZÓ SISTEMA DE PROYECCIÓN PLANA GAUSS-HUSSER, FAJA 2, EN EL MARCO DE REFERENCIA POSGAR 94.

PF 1  
E: 2603998.33  
N: 5690506.06  
Latitud: 38° 55' 55.86967" S  
Longitud: 67° 46' 02.33018" O

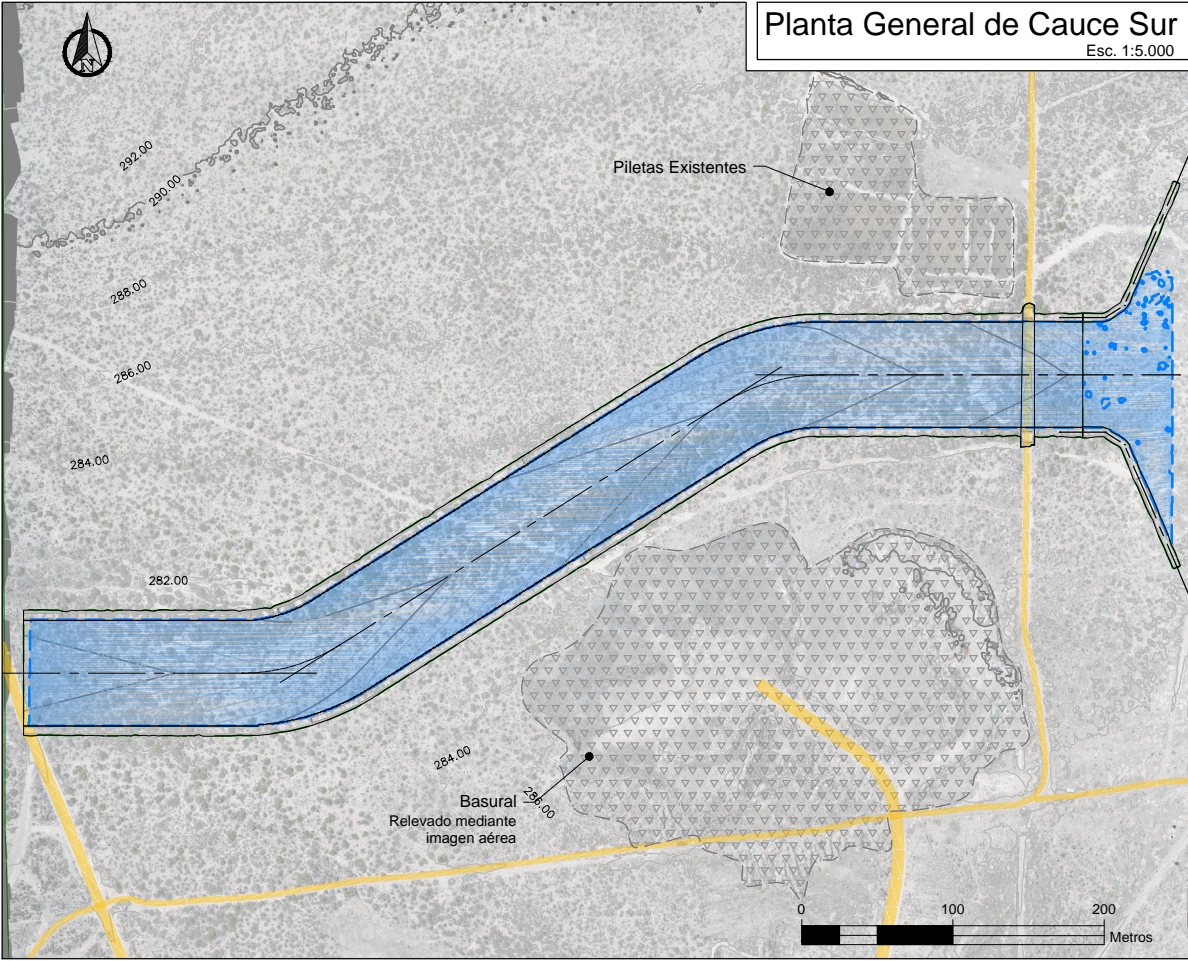
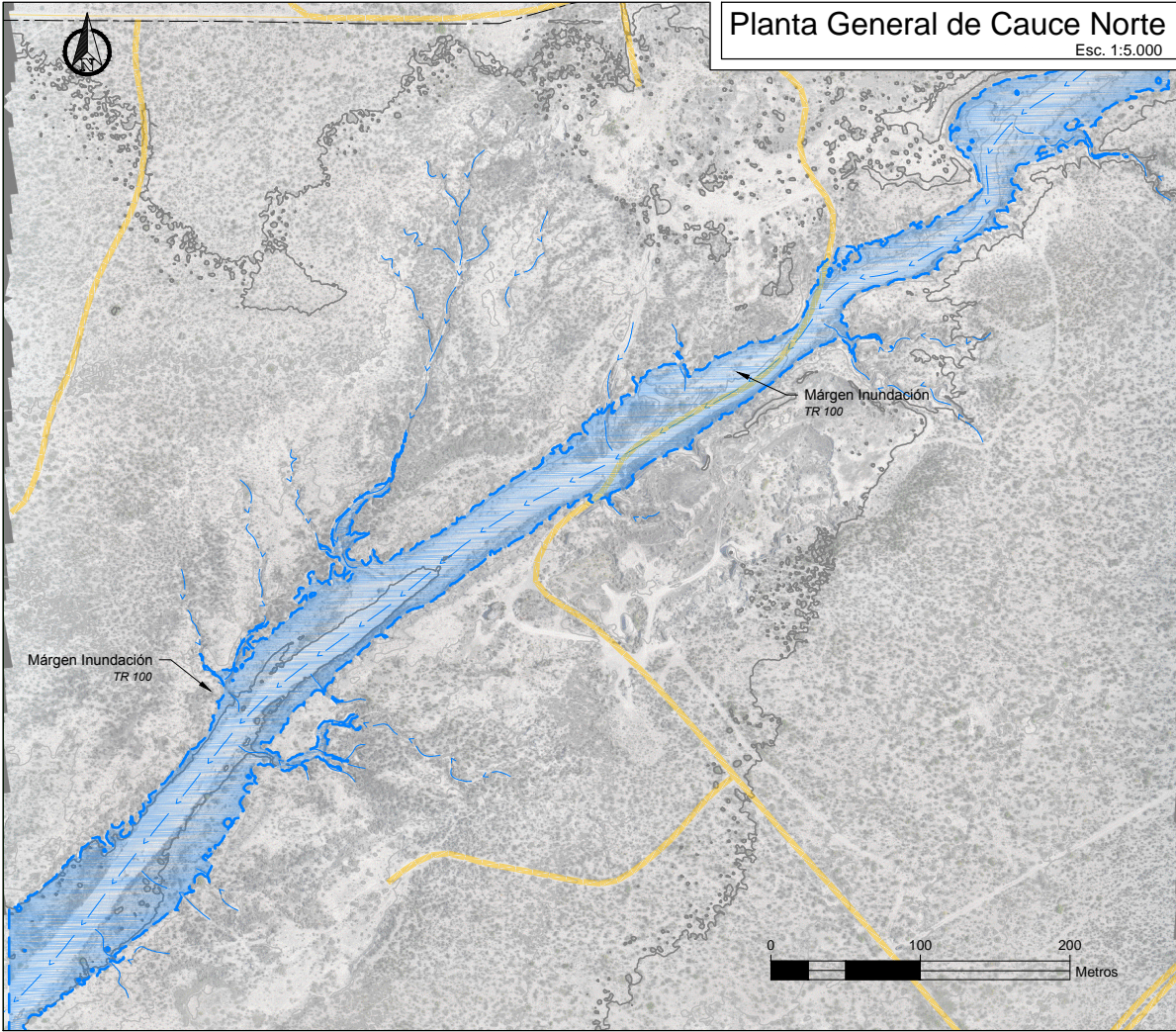
PF 2  
E: 2604000.80  
N: 5690506.37  
Latitud: 38° 55' 55.86967" S  
Longitud: 67° 46' 02.33018" O

PF 3  
E: 2603996.14  
N: 5689243.16  
Latitud: 38° 55' 55.86967" S  
Longitud: 67° 46' 02.33018" O



DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS		Nº de EMPADRONAMIENTO:
PLANO Nº 00		DESCRIPCIÓN: PLANIMETRÍA GENERAL DEL MDT
RAZÓN SOCIAL:		
TIPO DE ESTABLECIMIENTO:		
PROPIEDAD DE:		
UBICACIÓN: Departamento de Gral. Roca, Río Negro, Argentina		
PROPIETARIO	PROYECTO:	DIRECCIÓN DE OBRA:
Domicilio: .	Domicilio:	Domicilio:
CROQUIS DE UBICACIÓN		
CÓDIGO DE AGUAS - LEY Nº 2952 - RÍO NEGRO		
CONSEJO PROFESIONAL		
MESA DE ENTRADA		





NOTAS:

- TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN METROS (m), SALVO QUE SE ESPECIFIQUE OTRA.
- LA SUPERFICIE DEL TERRENO NATURAL FUE OBTENIDA MEDIANTE RELEVAMIENTO TOPOGRAFICO REALIZADO POR GEA S.A.
- LA POSICIÓN Y DIMENSIONES DE LOCACIONES, CAUCES Y CAMINOS DE ACCESO, NO RELEVADOS POR LA TOPOGRAFIA, FUE DETERMINADO MEDIANTE IMAGEN SATELITAL, POR LO QUE CUALQUIER TIPO DE REFERENCIA SON APROXIMADAS.
- LA INFORMACIÓN PARA EL REPLANTEO DEBERÁ SER APROBADA POR EL INGENIERO EN CAMPO ANTES DEL INICIO DE LA CONSTRUCCIÓN Y VERIFICANDO LA EXISTENCIA DE INSTALACIONES NO INDICADAS EN LOS PLANOS.
- TODO MATERIAL INADECUADO ENCONTRADO DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEBE SER REMOVIDO Y REEMPLAZADO POR RELLENO ESTRUCTURAL COMPACTADO (SI ES APLICABLE), SEGÚN SEA DETERMINADO POR EL INGENIERO.
- TODO RELLENO DEBERÁ DE SER COLOCADO DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS INDICADOS EN LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASIMISMO, TODO RELLENO DEBERÁ SER VERIFICADO Y APROBADO POR EL INGENIERO.
- AGUAS ARRIBA DE LA ZONA DE CONJUNCIÓN, SE DEBERÁ PERFILAR EL LECHO DEL CAUCE DE MANERA DE ACOMPAÑAR LA FORMA DE LAS OBRAS.
- COMPACTACIÓN MECÁNICA EN CAPAS DE 25CM MAX., A UNA DENSIDAD RELATIVA DEL 95% DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO SEGÚN ASTM CORRESPONDIENTE.
- LAS CANTIDADES HAN SIDO ESTIMADAS EN BASE A LA TOPOGRAFIA RELEVADA, SIN EMBARGO PUEDE EXISTIR VARIACIONES YA QUE LA POSICIÓN FINAL Y TAMAÑO DE LAS MISMAS PUEDEN CAMBIAR DE ACUERDO A LO ESPECIFICADO POR EL INGENIERO EN CAMPO.
- SE UTILIZÓ SISTEMA DE PROYECCIÓN PLANA GAUSS-KRUGER, FAJA 2, EN EL MARCO DE REFERENCIA POSGAR 94'.

**SIMBOLOGIA**

CAMINOS DE ACCESO

CANAL

TERRAPLÉN

PLANICIE DE INUNDACION TR100

BASURAL

**LÍNEAS**

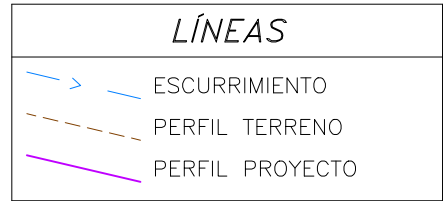
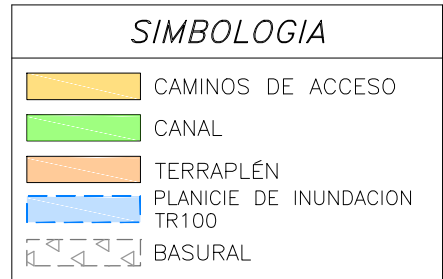
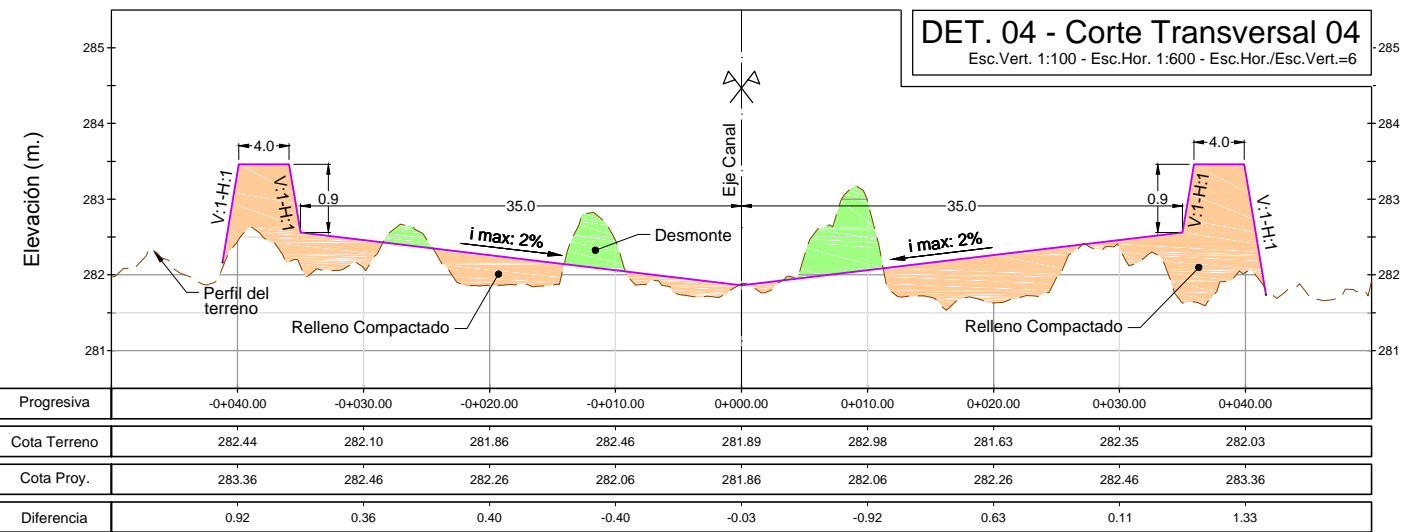
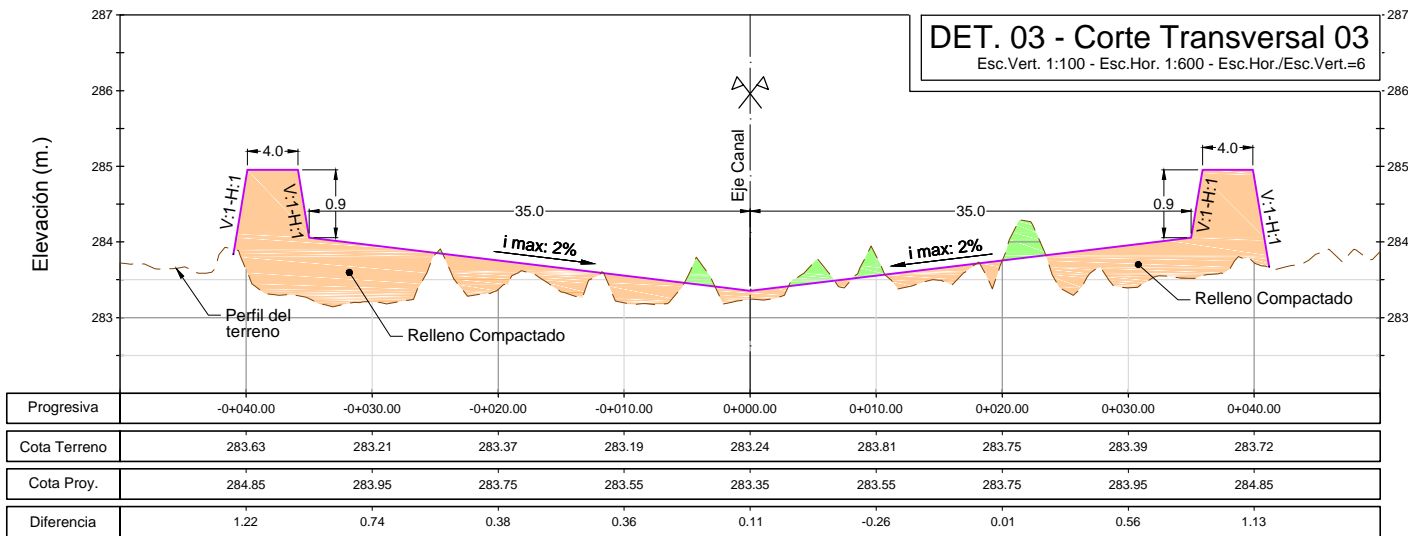
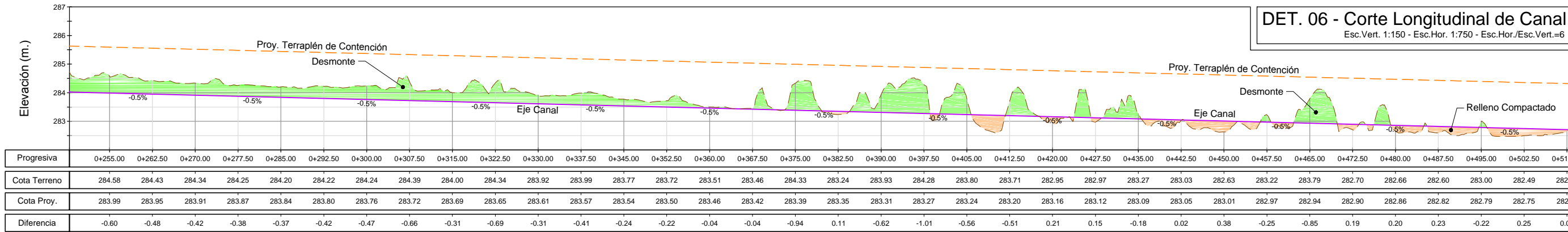
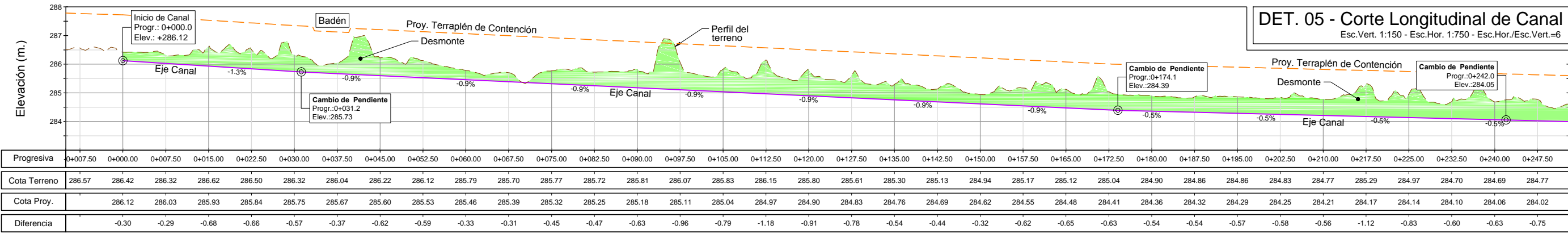
ESCURRIMIENTO

PERFIL TERRENO

RESUMEN - ESTIMACIÓN DE CANTIDADES		
Id	Designación	Cantidad
Canal y Terraplenes de Contención		
1.1	Limpieza de la zona (m²)	62996.3
1.2	Desmonte (m³)	10934.22
1.3	Relleno Compactado (m³)	18424.43

DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS		N° de EMPADRONAMIENTO: 1063
PLANO N° 01 DESCRIPCIÓN: PLANIMETRÍA GENERAL		
RAZÓN SOCIAL: YSUR Energía Argentina SRL		
TIPO DE ESTABLECIMIENTO: Industria Petrolífera		
PROPIEDAD DE: YSUR Energía Argentina SRL		
UBICACIÓN: Municipio de Gral. Roca, Río Negro, Argentina		
PROPIETARIO YSUR Energía Argentina SRL Domicilio: Talero 360, Npn., Arg.	PROYECTO: GEÓLOGOS ASOCIADOS S.A. Domicilio: Alem 1141 - Godoy Cruz, Mza, Arg.	DIRECCIÓN DE OBRA: YSUR Energía Argentina SRL Domicilio: Talero 360, Npn., Arg.
CROQUIS DE UBICACIÓN		
CÓDIGO DE AGUAS - LEY N° 2952 - RÍO NEGRO		
CONSEJO PROFESIONAL		
MESA DE ENTRADA		





DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS		N° de EMPADRONAMIENTO: 1063
PLANO N° 03		DESCRIPCIÓN: PERFILES LONGITUDINALES Y CORTES TRANSVERSALES
RAZÓN SOCIAL: YSUR Energía Argentina SRL		
TIPO DE ESTABLECIMIENTO: Industria Petrolífera		
PROPIEDAD DE: YSUR Energía Argentina SRL		
UBICACIÓN: Municipio de Gral. Roca, Río Negro, Argentina		
PROPIETARIO: YSUR Energía Argentina SRL Domicilio: Talero 360, Ngn., Arg.	PROYECTO: GEÓLOGOS ASOCIADOS S.A. Domicilio: Alem 1141 - Godoy Cruz, Mza, Arg.	DIRECCIÓN DE OBRA: YSUR Energía Argentina SRL Domicilio: Talero 360, Ngn., Arg.
CROQUIS DE UBICACIÓN		
CÓDIGO DE AGUAS - LEY N° 2952 - RÍO NEGRO		
CONSEJO PROFESIONAL		
MESA DE ENTRADA		

A

B

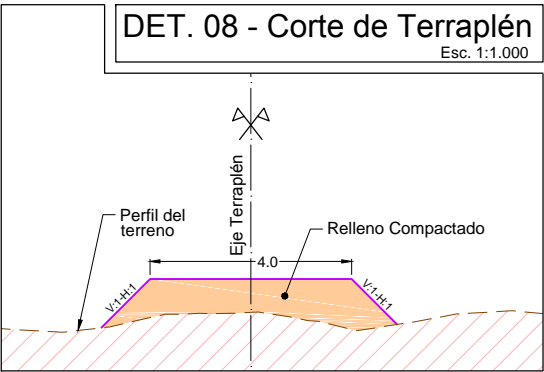
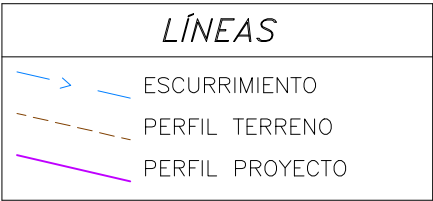
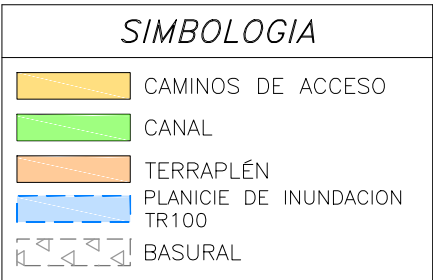
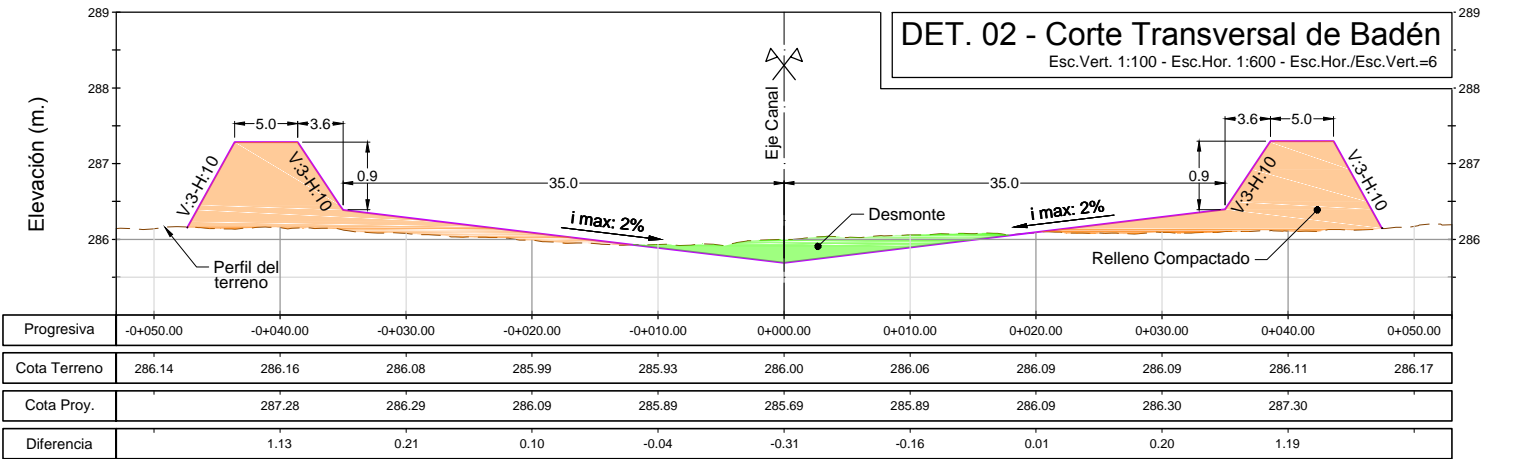
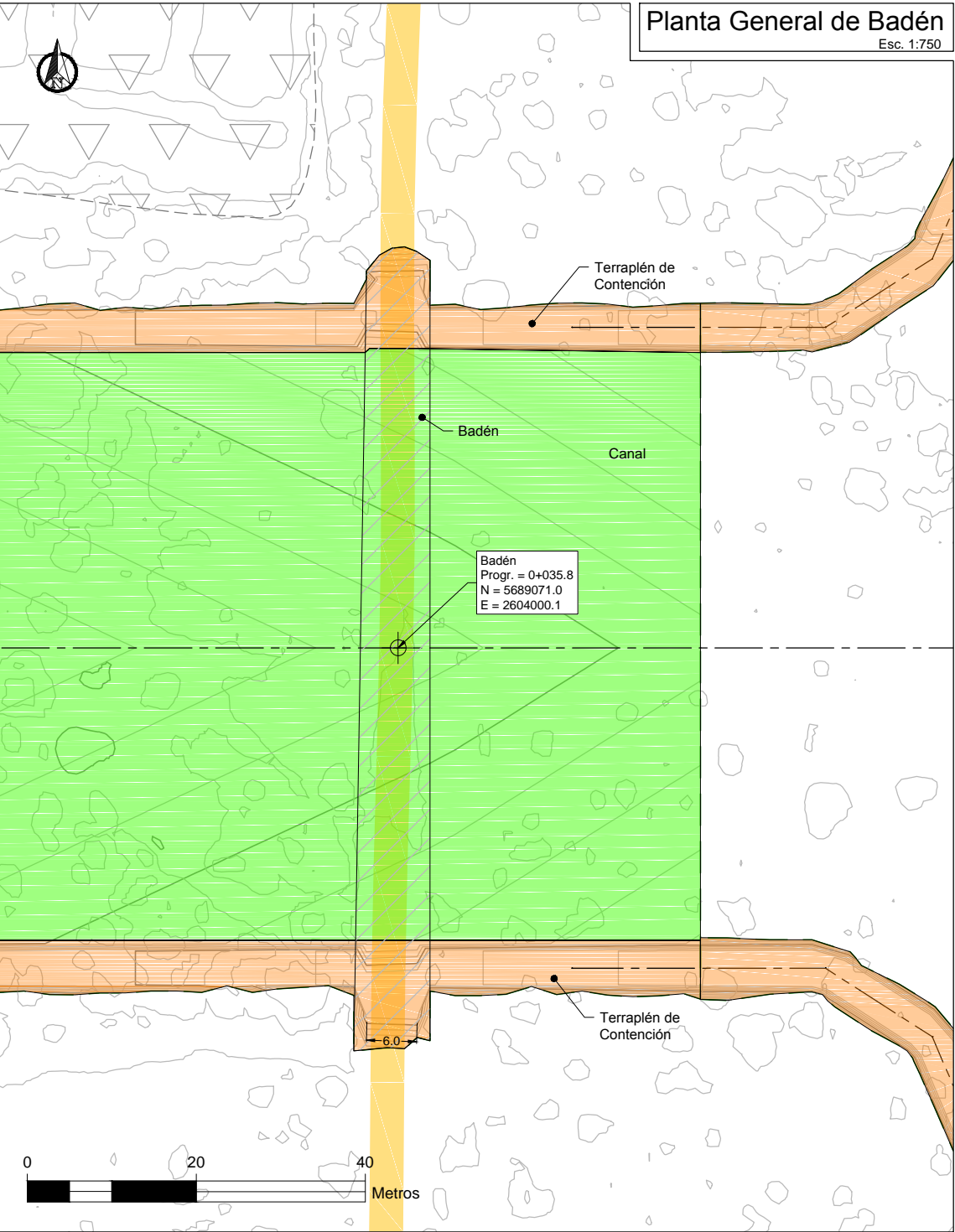
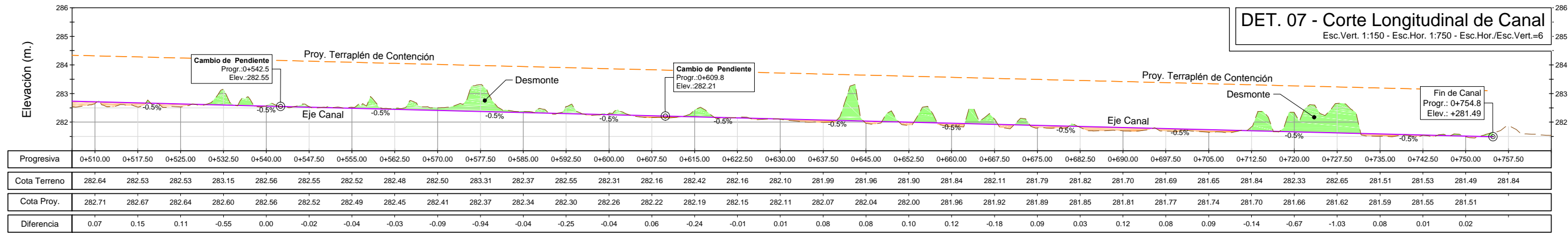
C

D

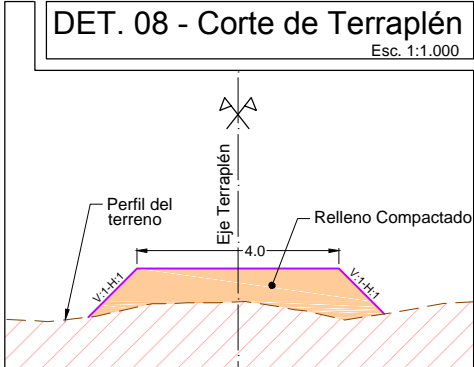
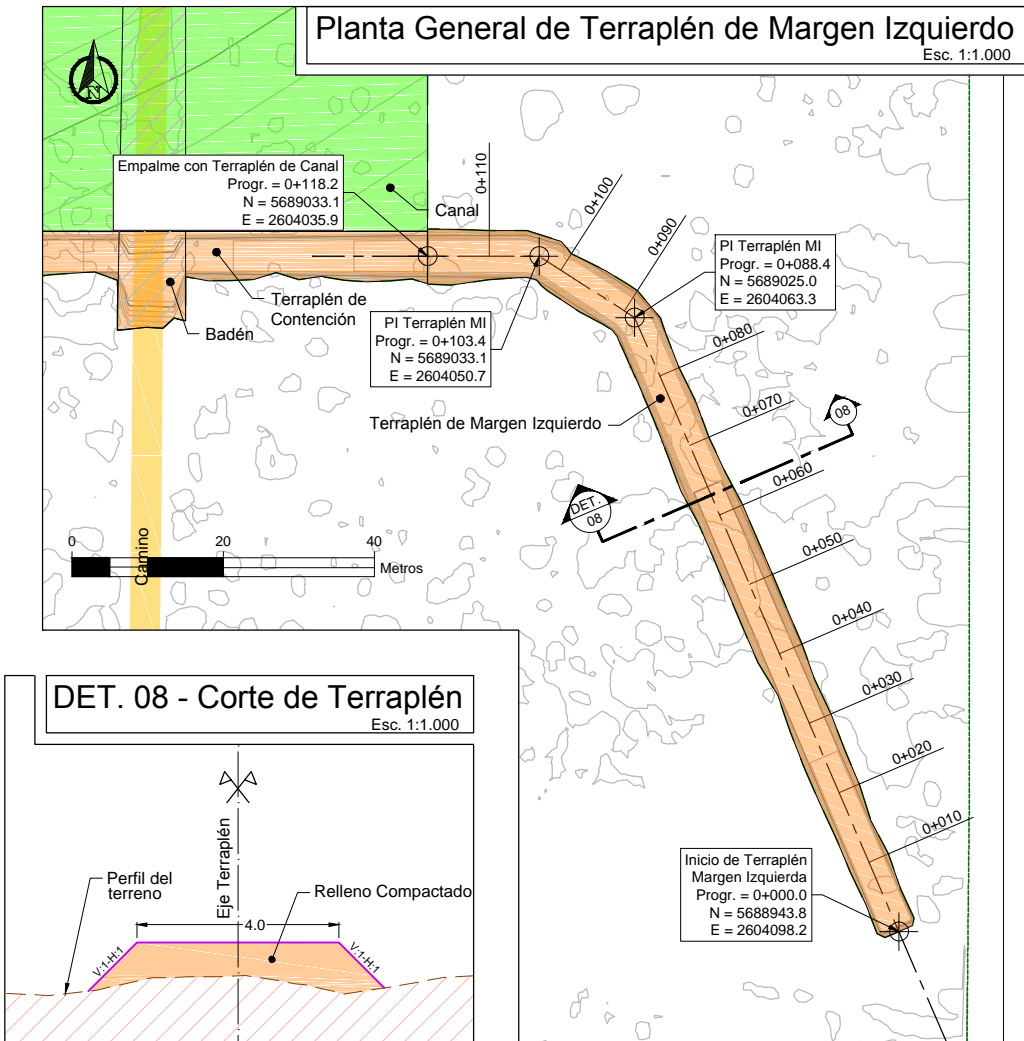
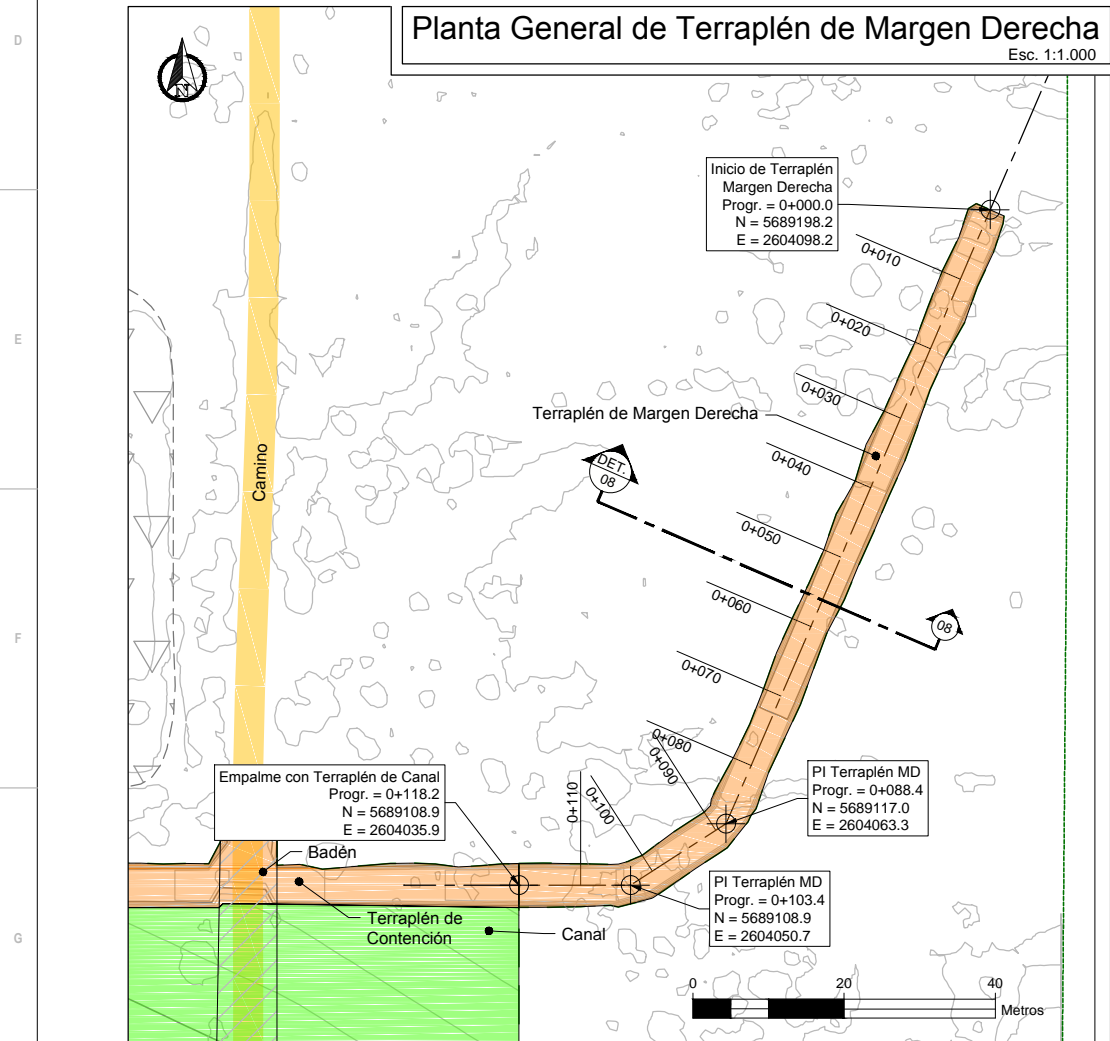
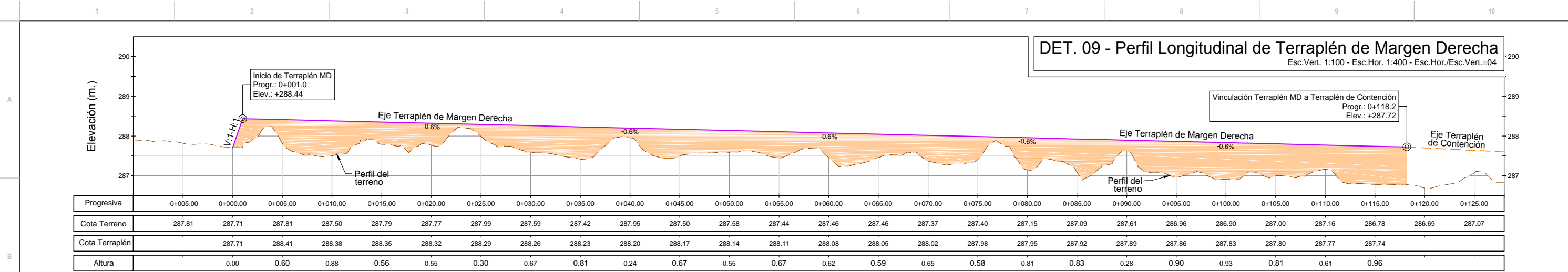
E

F

G



DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS		N° de EMPADRONAMIENTO: 1063
PLANO N° 04 DESCRIPCIÓN: PERFILES LONGITUDINALES Y BADÉN		
RAZÓN SOCIAL: YSUR Energía Argentina SRL		
TIPO DE ESTABLECIMIENTO: Industria Petrolífera		
PROPIEDAD DE: YSUR Energía Argentina SRL		
UBICACIÓN: Municipio de Gral. Roca, Río Negro, Argentina		
PROPIETARIO YSUR Energía Argentina SRL Domicilio: Talero 360, Ngn., Arg.	PROYECTO: GEÓLOGOS ASOCIADOS S.A. Domicilio: Alem 1141 - Godoy Cruz, Mza, Arg.	DIRECCIÓN DE OBRA: YSUR Energía Argentina SRL Domicilio: Talero 360, Non., Arg.
CROQUIS DE UBICACIÓN		
CÓDIGO DE AGUAS - LEY N° 2952 - RÍO NEGRO		
CONSEJO PROFESIONAL		
MESA DE ENTRADA		



DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS		N° de EMPADRONAMIENTO: 1063
PLANO N° 05		DESCRIPCIÓN: TERRAPLÉN DE MARGEN DERECHA E IZQUIERDA
RAZÓN SOCIAL: YSUR Energía Argentina SRL		
TIPO DE ESTABLECIMIENTO: Industria Petrolífera		
PROPIEDAD DE: YSUR Energía Argentina SRL		
UBICACIÓN: Municipio de Gral. Roca, Río Negro, Argentina		
PROPIETARIO YSUR Energía Argentina SRL Domicilio: Talero 360, N°n., Arg.	PROYECTO: GEÓLOGOS ASOCIADOS S.A. Domicilio: Alem 1141 - Godoy Cruz, Mza, Arg.	DIRECCIÓN DE OBRA: YSUR Energía Argentina SRL Domicilio: Talero 360, N°n., Arg.
CROQUIS DE UBICACIÓN		
CÓDIGO DE AGUAS - LEY N° 2952 - RÍO NEGRO		
CONSEJO PROFESIONAL		
MESA DE ENTRADA		



## 10. LISTA DE AUTORES

**Mg. Ing. Raúl A. Rapacioli**

**Ing. Víctor E. D'Amico**



## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Bedient, P.B., and Huber, W.C. (1992). "*Hydrology and floodplain analysis*". Addison-Wesley, New York, NY.
- Bell, F. C. (1969). "Generalized rainfall-duration-frequency relationships" J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng., 95 (1), 311–327.
- Burgos V. H. y Salcedo A.P. (2016). "*Avance en el conocimiento de la respuesta hidrológica y sedimentológica de la Cuenca del arroyo seco Casa de Piedra, Las Heras, Mendoza*" IFRH 2016. 3er Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos, Ezeiza, Buenos Aires.
- Chow V.T., Maidment D., Mays L. (1994) - "*Hidrología Aplicada*" - McGraw Hill Interamericana S.A. - ISBN: 958-600-171-7.
- Devoto G.A. (2002) – "*Regionalización de Lluvias Intensas en Argentina*" – XIX Congreso Nacional del Agua, 15 al 16 de Agosto 2002, Villa Carlos Paz, Córdoba. ISBN:967-20378-1-7.
- Fattorelli S., Fernández P. (2011) - "*Diseño Hidrológico*" - Segunda Edición. INACRA. ISBN:978-987-05-2738-2.
- Ferrer Polo F.J. (1993) - "*Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas*". Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, CEDEX, 76 p., Madrid
- HEC-HMS Hydrologic Modeling System (2004) - "*Technical Reference Manual*", Arlen D. Feldman, Editor. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. Davis. California.
- Huff, F.A. (1967): "*Time distribution of rainfall in heavy storms*" - Water Resources Research, v. 3, no. 4, p. 1007–1019.
- Huff, F.A (1990): "*Time distributions of heavy rainstorms in Illinois*" - Champaign, Illinois, Illinois State Water Survey Circular 173, 18 p.
- INTA (1990). "*Atlas de Suelos de la República Argentina*". Proyecto PNUD ARG: 85/019. ([www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar)).
- McEnroe B. M. and Zhao H. (1999) - "*Lag Times and Peak Coefficients for Rural Watersheds in Kansas*" - Report No. K-TRAN: KU-98-1. Final Report. University of Kansas. Lawrence, Kansas



- Natural Environment Research Council (1975) - "*Flood studies report, Hydrological studies*". Vol. 1, NERC, London, UK.
- Nurünnisa Usul and Musa Yilmaz (2004) - "*Estimation of instantaneous unit hydrograph with clark's technique in GIS*". METU, Civil Eng. Department, Ankara, Turkey.
- Ponce V.M. (1989, 2014) - "*Engineering Hydrology: Principles and Practices*" - Prentice Hall, New Jersey. ISBN-10: 0133154661. ISBN-13: 9780133154665
- Pusineri G.M.B., D'Elia M.P., Pedraza R.A., Marano R. P. (2002) - "*Uso de los Sistemas de Información Geográfica y Teledetección para la Estimación del Parámetro Número de Curva*". Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral.
- Rapacioli R.A. (2007) - "*La Problemática Aluvional en el Desarrollo Urbano de la Región del Alto Valle del Río Negro*" – Tesis de Maestría GADU – FI, UNC – Neuquén.
- Rapacioli R.A., D'Amico V. (2013) - "*Determinación de Curvas IDF en la Cuenca Superior del Río Colorado*" – Universidad Nacional del Comahue.
- Rapacioli R.A., D'Amico V. (2013) - "*Determinación de Curvas IDF en la Cuenca Superior del Río Colorado - Segunda Parte*" – Universidad Nacional del Comahue.
- Rapacioli R. y - D'Amico V. (2015) - "*Duraciones de Tormentas de Proyecto*" Universidad Nacional del Comahue, Neuquén.
- Roby H.O. (1986) - "*Determinación de la Escorrentía a partir de la Precipitación sobre una Cuenca, Metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos*" – Traducción y adaptación – INCYTH, Centro Regional Andino – Mendoza.
- Snyder, F. F. (1938). "*Synthetic Unit Graphs*," *Trans. Am. Geophys. Union* 19, pp. 447-454.
- Soil Conservation Service (1972). "*Chapter15: Travel Time, Time of Concentration and Lag - Section 4: Hydrology, National engineering handbook*". USDA, Springfield, VA.



- 
- Sorrell R. C. (2010) - "*Computing Flood Discharges For Small Ungaged Watersheds*" - Michigan Department of Natural Resources and Environment Land and Water Management Division.
  - Strahler A. N. (1952) - "*Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography*". Bulletin of the Geological Society of America 63: 1117-1142.
  - Taylor A.B. y Schwarz, H.E. (1952) - "*Unit hydrograph lag and peak flow related to basin characteristics*". Trans. Amer. Geophys. Union, 33, 235-246.
  - Témez J.R. (1987) - "*Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*" - Dirección General de Carreteras. MOPU.
  - Wanielista M., Kersten R., Eaglin R. (1997) - "*Hydrology. Water Quantity and Quality Control*". John Wiley & Sons, Inc. New York.
  - Watt, W. E. & Chow, K. C. A. (1985) - "*A general expression for basin lag time*". Can. J. Civ. Eng. 12, 294-300.
  - Williams J.R., Jones C.A., Dyke P.T. (1990) - "*The Epic Model*" - Technical Bulletin Number 1768. Agricultural Research Service, USDA.



## **12. ANEXOS**

### ***12.1. Reporte topográfico de resultados procesados***

# Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 4.0.25



**Important:** Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

## Summary



Project	Jose Salinas Prueba_v2
Processed	2017-12-13 15:21:01
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_3283x2189 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.51 cm / 1.77 in
Area Covered	3.2136 km <sup>2</sup> / 321.361 ha / 1.2414 sq. mi. / 794.513 acres

## Quality Check



Images	median of 31175 keypoints per image	
Dataset	4710 out of 4710 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	4.23% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 16700.7 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 26 GCPs (26 3D), mean RMS error = 0.054 m	

## Preview

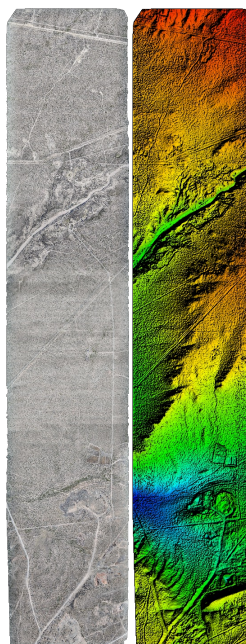


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

# Calibration Details



Number of Calibrated Images	4710 out of 4710
Number of Geolocated Images	4710 out of 4710

## Initial Image Positions

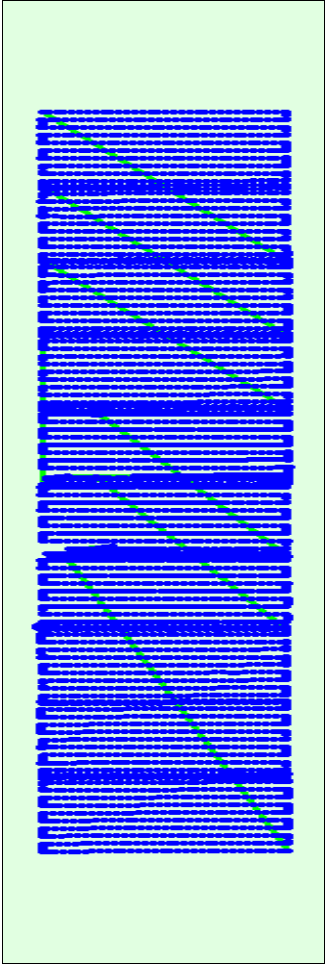
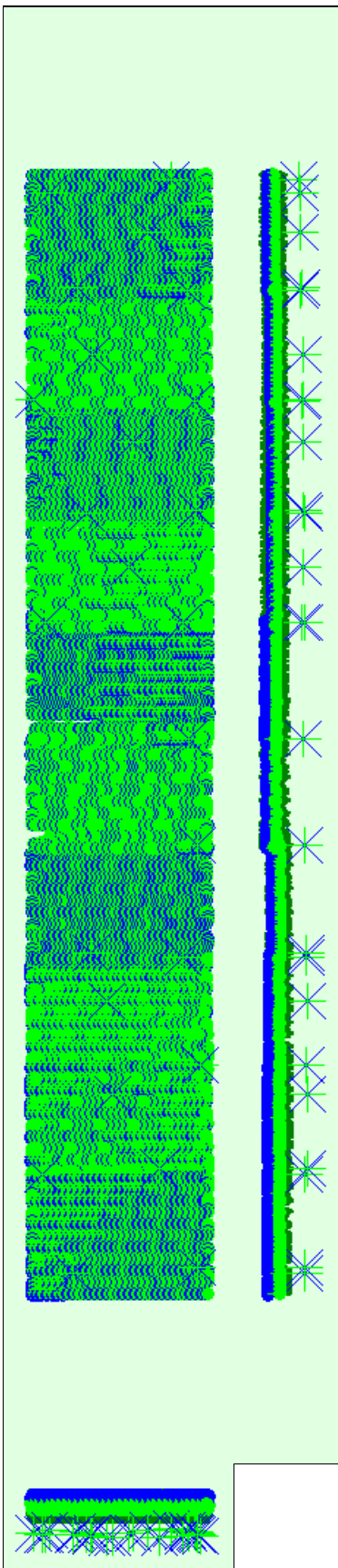


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

## Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 500x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

### ? Absolute camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.011	0.009	0.086	0.004	0.006	0.001

Sigma	0.001	0.001	0.004	0.001	0.001	0.000
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

**Overlap**

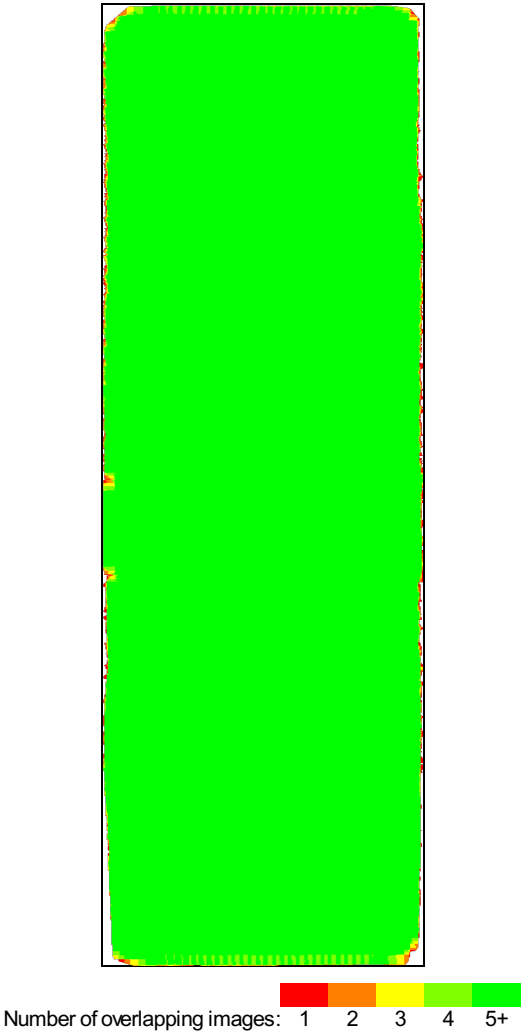


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

**Bundle Block Adjustment Details**



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	80410092
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	17463421
Mean Reprojection Error [pixels]	0.098

**Internal Camera Parameters**

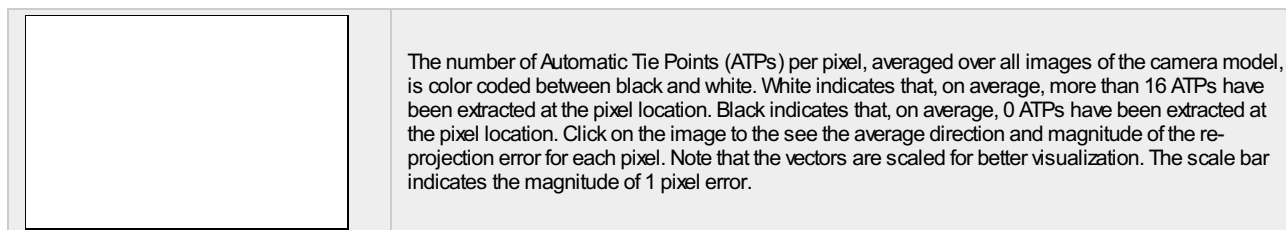
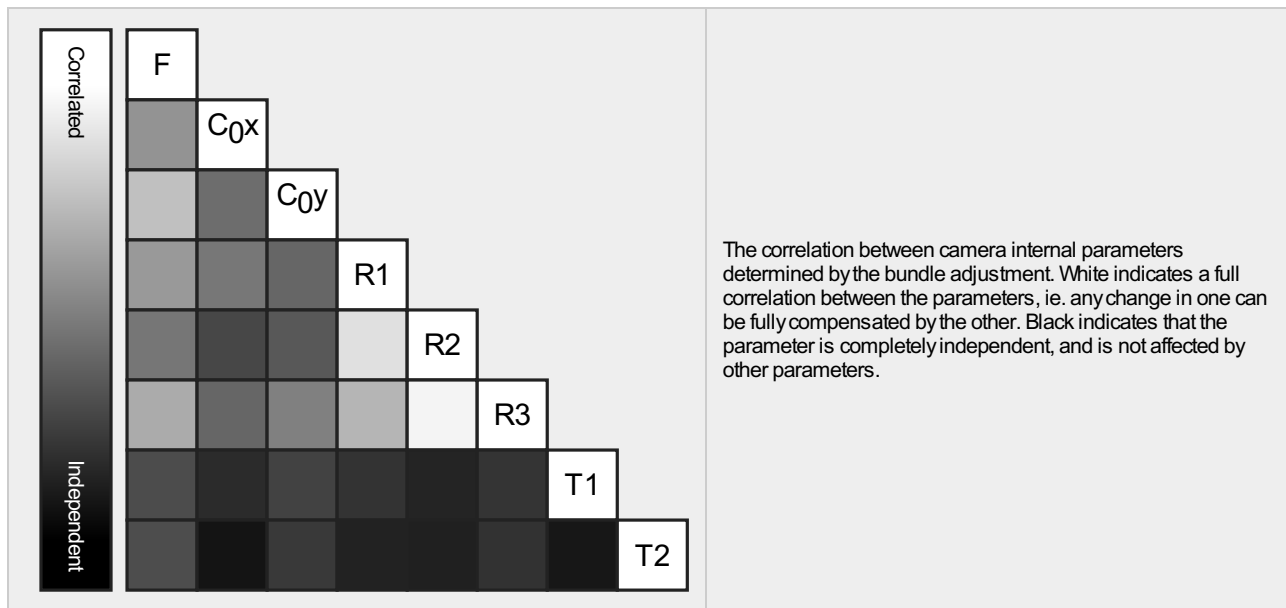
**FC6310\_8.8\_3283x2189 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.557 [mm]**



EXIF ID: FC6310\_8.8\_3283x2189

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	2251.200 [pixel] 8.800 [mm]	1641.500 [pixel] 6.417 [mm]	1094.500 [pixel] 4.278 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized Values	2155.881 [pixel] 8.427 [mm]	1627.311 [pixel] 6.361 [mm]	1110.956 [pixel] 4.343 [mm]	-0.000	-0.008	0.008	0.000	-0.000

Uncertainties (Sigma)	1.887 [pixel] 0.007 [mm]	0.054 [pixel] 0.000 [mm]	0.064 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-----------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------	-------	-------	-------	-------



## ? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	31175	16701
Min	15303	4669
Max	42049	28070
Mean	30730	17072

## ? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	7399830
In 3 Images	3244688
In 4 Images	1843224
In 5 Images	1215342
In 6 Images	729970
In 7 Images	503274
In 8 Images	383752
In 9 Images	308082
In 10 Images	258456
In 11 Images	208090
In 12 Images	182832
In 13 Images	163288
In 14 Images	152807
In 15 Images	138297
In 16 Images	106144
In 17 Images	94087
In 18 Images	84848
In 19 Images	78041
In 20 Images	70906
In 21 Images	50048

In 22 Images	43080
In 23 Images	38471
In 24 Images	33691
In 25 Images	28861
In 26 Images	19897
In 27 Images	15163
In 28 Images	12325
In 29 Images	9997
In 30 Images	8434
In 31 Images	6868
In 32 Images	5543
In 33 Images	4646
In 34 Images	3934
In 35 Images	3484
In 36 Images	2871
In 37 Images	2094
In 38 Images	1542
In 39 Images	1248
In 40 Images	981
In 41 Images	844
In 42 Images	603
In 43 Images	493
In 44 Images	393
In 45 Images	323
In 46 Images	271
In 47 Images	200
In 48 Images	179
In 49 Images	154
In 50 Images	103
In 51 Images	118
In 52 Images	97
In 53 Images	87
In 54 Images	70
In 55 Images	68
In 56 Images	44
In 57 Images	46
In 58 Images	32
In 59 Images	31
In 60 Images	28
In 61 Images	24
In 62 Images	19
In 63 Images	11
In 64 Images	7
In 65 Images	9
In 66 Images	18
In 67 Images	7
In 68 Images	6

 2D Keypoint Matches





Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

## Geolocation Details



## Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
p1 (3D)	0.020/ 0.020	0.105	0.028	-0.246	0.537	4 / 4
p3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.099	0.041	0.086	0.911	3 / 3
p4 (3D)	0.020/ 0.020	0.023	-0.067	0.105	0.195	4 / 4
p5 (3D)	0.020/ 0.020	0.056	0.053	-0.079	0.134	3 / 3
p6 (3D)	0.020/ 0.020	0.019	0.007	-0.065	0.756	6 / 6
p7 (3D)	0.020/ 0.020	0.027	0.004	-0.014	0.561	10 / 10
p8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.033	0.019	0.013	0.827	4 / 4
p9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.004	0.001	0.339	5 / 5
p10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.025	-0.019	-0.054	0.664	6 / 6
p11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.069	0.001	0.108	0.575	5 / 5
p12 (3D)	0.020/ 0.020	0.113	0.003	-0.031	0.892	4 / 4
p13 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	0.001	0.117	0.696	3 / 3
p14 (3D)	0.020/ 0.020	0.026	0.058	-0.025	1.016	4 / 4
p15 (3D)	0.020/ 0.020	-0.037	0.008	0.053	0.210	4 / 4
p16 (3D)	0.020/ 0.020	0.039	-0.006	-0.010	0.655	3 / 3
p17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.082	-0.046	0.046	0.314	4 / 4
p19 (3D)	0.020/ 0.020	-0.013	0.016	-0.051	0.374	3 / 3
p20 (3D)	0.020/ 0.020	-0.061	0.001	-0.012	0.421	4 / 4
p22 (3D)	0.020/ 0.020	-0.073	0.003	-0.036	0.162	3 / 3
p23 (3D)	0.020/ 0.020	0.025	0.008	0.027	0.775	4 / 4
p24 (3D)	0.020/ 0.020	0.087	0.008	-0.064	0.764	4 / 4
p25 (3D)	0.020/ 0.020	0.023	-0.044	-0.057	0.217	4 / 4
p27 (3D)	0.020/ 0.020	-0.104	-0.034	-0.035	0.472	3 / 3
p28 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.007	-0.094	0.113	3 / 3
p29 (3D)	0.020/ 0.020	0.064	0.049	0.004	0.301	3 / 3
p30 (3D)	0.020/ 0.020	0.045	0.015	0.003	0.878	6 / 6
Mean [m]		0.002226	0.003987	-0.011897		
Sigma [m]		0.058792	0.029031	0.074302		
RMS Error [m]		0.058834	0.029303	0.075248		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

## Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	10.96
-15.00	-12.00	0.00	0.00	8.11
-12.00	-9.00	0.04	0.00	7.90
-9.00	-6.00	14.99	0.00	8.56
-6.00	-3.00	16.90	2.00	2.21
-3.00	0.00	17.05	43.01	8.83
0.00	3.00	19.47	51.80	5.84
3.00	6.00	15.77	2.29	10.81
6.00	9.00	15.75	0.89	11.36
9.00	12.00	0.02	0.00	8.32
12.00	15.00	0.00	0.00	11.74
15.00	-	0.00	0.00	5.37
Mean [m]		-0.757551	-1.277910	25.486064
Sigma [m]		4.865949	1.632616	10.835926
RMS Error [m]		4.924566	2.073280	27.693984

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.757551	-1.277910	25.486064

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

### Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	59.81	98.64	51.95
[-2.00, 2.00]	99.98	100.00	99.98
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

## Initial Processing Details



### System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-4790K CPU @ 4.00GHz RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce GTX 960 (Driver: 23.21.13.8813), Intel(R) HD Graphics 4600 (Driver: 20.19.15.4835)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

### Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS84 (egm96)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	POSGAR 2007 / Argentina 2 (egm2008)
Output Coordinate System	WGS84 / UTMzone 19S (egm2008)

### Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

## Point Cloud Densification details



### Processing Options



Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no

Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	06h:45m:51s
Time for 3D Textured Mesh Generation	28m:23s

Results

Number of Processed Clusters	3
Number of Generated Tiles	3
Number of 3D Densified Points	151891411
Average Density (per m <sup>3</sup> )	49.99

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (4.52 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: yes Google Maps Tiles and KML: yes
Time for DSM Generation	01h:36m:59s
Time for Orthomosaic Generation	03h:47m:44s