



SEGUNDO INFORME DE AVANCE

**ESTUDIO GEO-HIDROLÓGICO DEL RÍO GUANUSACATE EN
SU PASO POR EL ÁREA URBANA DE JESÚS MARÍA**

Córdoba, JULIO 2017

Proyecto: ESTUDIO GEO-HIDROLÓGICO DEL RÍO
 GUANUSACATE EN SU PASO POR EL
 ÁREA URBANA DE JESÚS MARÍA

Comitente: Municipio de Jesús María

Expediente: Expediente INA N° 16056/16

Protocolo INA 1452

Presupuesto Oficial: \$ 400.000,00 (cuatrocientos mil pesos)

Fecha de Firma Acta Complementaria: 21 de Octubre de 2016

Responsables: Ing. Carlos Catalini (Dirección)
 Ing. Andrea Rico (Hidrología)
 Geol. Osvaldo Barbeito (Geomorfología)

Equipo de Trabajo: Geol. Osvaldo Barbeito
 Geol. Clarita Dasso
 Geol. Silvio Ambrosino
 Ing. Andrea Rico
 Bec. Ana Laura Rydzewski
 Geol. María Eugenia Capone
 Geol. Nadia Mortarino
 Geol. Mauro Lanfranco
 Bec. David Moya
 Ing. María Pía Cruz
 Ing. Agr. Sabrina Tomasini
 Ing. Tomás Vaschalde

INA-CIRSA

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 2 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar		

I.- INDICE

I.- Indice.....	3
II.- Resumen Ejecutivo.	5
III.- Introducción.....	6
III.1.- Objeto y Alcance de los Estudios	6
III.2.- Estructura del presente Informe.....	6
IV.- GEOMORFOLOGIA DEL EJIDO URBANO	7
IV.1.- Piedemonte – Depresión Periférica	7
IV.1.a. Faja fluvial.....	7
IV.2.- Llanura Oriental – Pampa Loéssica Alta	10
IV.2.a. Faja fluvial.....	10
IV.3.- ANALISIS TEMPORAL Y TENDENCIA EVOLUTIVA FLUVIAL	13
IV.3.a. Tramo 1.....	14
IV.3.b. Tramo 2.....	21
IV.4.- CONCLUSIONES PRELIMINARES	25
V.- MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DE APORTE	26
V.1.- LLUVIAS DE DISEÑO	26
V.1.a. Definición del núcleo de atenuación y de la duración.	28
V.1.b. Estimación de los coeficientes de decaimiento areal.	29
V.2.- DETERMINACION DE PERDIDAS DE LA PRECIPITACION	32
V.3.- IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO	34
V.4.- RESULTADOS OBTENIDOS	36
VI.- CAMPAÑA GEOFÍSICA. ESTABILIDAD DE TALUDES EN DOS SECTORES DEL RÍO GUANUSACATE – JESÚS MARIA	38
VI.1.- DESCRIPCIÓN.....	38
VI.2.- ETAPA II: CAMPAÑA EXPLORATORIO INDIRECTA.....	39
VI.2.a. Objetivo general:	39
VI.2.b. Objetivos específicos:	39
VI.2.c. Tareas realizadas in situ como gabinete:	39
VI.2.d. Descripción de la metodología geofísica utilizada.....	42

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 3 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

VI.2.e. Análisis y complemento de resultados	48
VI.2.f. Tareas pendientes	51
VII.- Aclaración	51
VIII.- Bibliografía	52
IX.- Anexo.....	53
IX.1.- Carta 1. Geomorfología 2016	53
IX.2.- Carta 2. geomorfología 2013.....	53
IX.3.- Erosión de tramo 1	53
IX.4.- Erosión de tramo 2	53
IX.5.- PLANO G1	53

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 4 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

II.- RESUMEN EJECUTIVO.

El presente documento constituye el segundo informe de avance del Convenio Marco firmado entre el Instituto Nacional del Agua y la Municipalidad de Jesús María.

La dinámica y alcance de las inundaciones y los procesos asociados (encajamiento, avulsión, erosión lateral, etc.), se rigen por las condiciones hidrogeomorfológicas de la faja fluvial.

En consideración a esto, las tareas realizadas para cumplimentar esta etapa, involucraron la evaluación, análisis, caracterización de la información antecedente recopilada y de las mediciones realizadas en campo sobre aspectos geológicos y geomorfológicos de la faja fluvial del río Guanusacate, desde la confluencia con los ríos Ascochinga y Santa Catalina, hasta la Ea San Javier comprendiendo el ejido urbano de la Ciudad y sus inmediaciones.

Se realizó un reconocimiento y caracterización de los elementos y ambientes hidrogeomorfológicos, con relación en la dinámica y alcance de las inundaciones repentinas y los procesos fluviales asociados (erosión de márgenes y avulsión).

Para determinar la evolución de los procesos se efectuó un análisis temporal mediante el empleo de imágenes satelitales y fotografías aéreas de distinta escala y fechas, que considera la situación antecedente a la crecida del año 2015 y la situación posterior a la misma.

Los resultados obtenidos constituyen la base de información requerida para el análisis y determinación de las situaciones de peligrosidades actuales y potenciales, que serán sistematizadas en la elaboración de la cartografía de amenaza correspondiente al tercer avance del presente convenio.

En cuanto al estudio hidrológico se enfocó en el análisis de la información recabada y procesada, específicamente en la selección de la idT que caracteriza la cuenca de estudio con el fin de obtener caudales de diseño asociados a distintas recurrencias, intentando palear, de esta forma, la falta de mediciones de caudales históricos en los cursos de agua que la conforman.

Las características morfométricas de las distintas subcuencas y la idT seleccionada distribuida areal y temporalmente según metodologías desarrolladas en trabajos antecedentes realizados en el CIRSA, conformaron los principales datos de entrada del modelo de transformación que permitió, previa calibración a partir de eventos medidos, estimar caudales parciales de diseño a nivel de cierre de cuenca.

En cuanto al avance geotécnico, se complementó el estudio de la estabilidad del talud en uno de los dos sectores ya estudiados, en la etapa anterior.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 5 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

III.- INTRODUCCIÓN

Atendiendo a los requerimientos del Municipio de Jesús María, como consecuencia de los efectos del evento hidrológico severo acontecido en marzo de 2015, y considerando tanto los efectos hidrológicos, así como los procesos erosivos acontecidos por la consiguiente crecida del río Guanusacate, el Municipio y el Instituto Nacional del Agua, junto con su Centro de la Región Semiárida rubrican el 4 de Junio de 2015 el Convenio Marco y el Acta Complementaria N° 1 del mismo el 21 de Octubre de 2016, la cual da origen al presente informe de avance.

III.1.- OBJETO Y ALCANCE DE LOS ESTUDIOS

El presente documento presenta el grado de avance obtenido durante el segundo trimestre de disponibilidad de fondos correspondiente al Acta Complementaria N°1.

Las tareas realizadas para cumplimentar esta segunda etapa, involucraron la evaluación, caracterización de la información antecedente recopilada y de las mediciones realizadas en campo sobre aspectos geológicos, geomorfológicos, hidrometeorológicos e hidrológicos de las cuencas de aporte del río Guanusacate así como su posterior análisis.

Estas tareas son requeridas como punto de partida para concretar un estudio de la cuenca que permita estimar la Amenaza Hídrica sobre el área urbana, con objeto de planificación, prevención y mitigación de los efectos producidos por eventos hidrometeorológicos severos sobre las márgenes ribereñas del río Guanusacate, dentro del ejido municipal.

III.2.- ESTRUCTURA DEL PRESENTE INFORME

Según lo estipulado en el anexo de especificaciones técnicas del Convenio y a fin de ser consistente con el contenido del mismo, el presente informe está articulado en dos áreas temáticas principales y un anexo de actividades geofísica/geotécnica, a saber:

1. AVANCES EN GEOLOGÍA-GEOMORFOLOGÍA.
2. AVANCES EN HIDROLOGÍA.
3. AVANCES GEOFÍSICA Y GEOTÉCNICA.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 6 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

IV.- GEOMORFOLOGIA DEL EJIDO URBANO

La faja fluvial del río Guanusacate, se superpone a dos regiones geomorfológicas y sus respectivos ambientes: La Región del Piedemonte que incluye el ambiente de la Depresión Periférica y la Región de la Llanura Oriental, que incluye la Pampa Loésica Alta, con particularidades distintivas según el caso (Carta 1-Geomorfología 2016).

IV.1.- PIEDEMONTES – DEPRESIÓN PERIFÉRICA

El ambiente constituye una depresión longitudinal N-S de origen tectónico que desde el pie de la Sa. Chica, hasta los cerros aislados en la parte oriental del ejido urbano, tiene una amplitud del orden de los 13 km.

El relleno de la depresión se vincula a una antigua bajada aluvial conformada por coalescencia de numerosos conos aluviales que soporta una cubierta sedimentaria más moderna de carácter eólica.

La litología se compone de materiales aluviales aterrazados y depósitos fluvioaluviales de conos, cubiertos por una cubierta limo-loésica de espesor variable. Completan el marco afloramientos de rocas graníticas en forma de cerros aislados y lomas aisladas constituidas por conglomerados (Fm. Villa Belgrano- Terciario Cretácico).

El relieve medio es suavemente ondulado con pendientes entre el 0.1% a 1% en la parte central de la depresión y entre 2% y 6% en los bordes.

IV.1.a. Faja fluvial

En este ambiente la faja fluvial superpuesta, entendiéndose como tal el aporte longitudinal histórico del río, adopta un diseño meandriforme desde la confluencia de los ríos Ascochinga y Santa Catalina. Su sinuosidad es variable, a partir de la confluencia se presenta marcada, disminuye en la zona urbana y aumenta en el tramo comprendido entre el puente ferroviario y el puente de la Ruta Nac. Nº 9.

La máxima amplitud de la faja fluvial del orden de los 700 mts. se ubica aguas abajo en la confluencia y disminuye en la progresión hacia el este. En la parte media a la altura del Bº Los Nogales, por efecto del control de la falla de los cerros aislados que delimitan la Depresión Periférica, sufre un brusco cambio de rumbo de O-E a N-S en un recorrido de 1.1 km., para luego seguir el rumbo precedente.

Se presenta aterrazada en tres niveles no-apareados o asimétricos, un nivel superior antiguo, un nivel medio y un nivel inferior reciente en formación. El nivel superior a margen derecha incluye improntas fluviales de paleodesbordes.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 7 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos Nº 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano Nº 235 – Bº Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

La altura de los bordes de terrazas abarrancados varía según los niveles. El nivel superior cuando da con el lecho ordinario, tiene alturas del orden de los 7 m (margen izquierda Bº Los Molinos), el nivel medio oscila entre los 5 y 6 m. Por último el nivel inferior presenta una altura menor a los 2m. (fig. 1 y 2).



Fig. 1. Margen derecha lecho ordinario en Bº Barracas- Los Molinos. Arriba: Contacto nivel de terraza media con nivel de terraza inferior cancha de tenis en Bº Barracas. Abajo: Contacto nivel de terraza media con nivel de terraza inferior sector Los Molinos.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 8 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	



Fig. 2. Margen lecho ordinario con Nivel de Terraza media Loteo Alto los molinos y Bº Los Molinos.

El material geológico constitutivo de los niveles se corresponde con depósitos aluvionales coronados con cubierta eólica de potencia variable en el caso del nivel superior antiguo (fig. 3), y arenas finas a medias con lentes de grava, en el caso de los niveles medio e inferior en formación. Las características friables del conjunto de estos depósitos definen una alta susceptibilidad a la erosión hidráulica de las márgenes.

La sinuosidad del cauce define el alcance del proceso. Es activa en la parte externas de las curvas y presenta acumulación aluvional, en las internas.

El lecho ordinario con pendiente longitudinal del orden del 1.42 % incluye un canal de estiaje de carácter múltiple con confluencias y difluencias de flujo e inclusión de barras islas en la mayor parte del recorrido, excepto en la zona urbana en donde presenta un diseño unitario por rectificación de cauce a partir de obras de defensa de márgenes.

En este tramo los análisis temporales empleando fotos aéreas e imágenes satelitales indican migración de curvas en el sentido del flujo, acortamiento de meandro y ausencia de estrangulamientos.

La pendiente longitudinal en porcentaje es del orden del 1.42 % lo que define un cierto equilibrio en la relación acumulación-transporte de carga del flujo.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 9 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

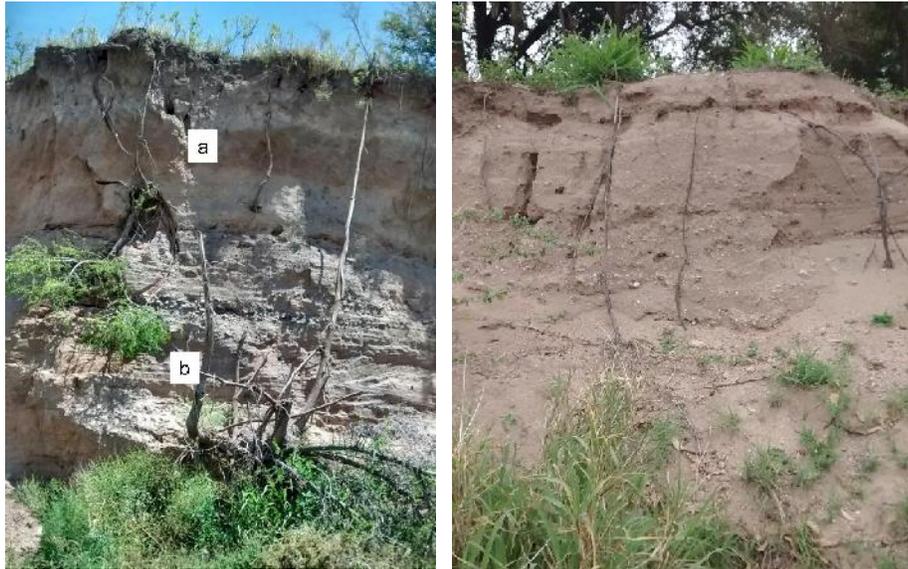


Fig. 3. Der. Borde nivel superior de terraza: (a) cubierta eólica y (b) aluvión. Izq. Borde nivel medio de terraza fluvial (aluvión).

IV.2.- LLANURA ORIENTAL – PAMPA LOÉSSICA ALTA

Este ambiente desde el punto de vista estructural, se corresponde a un bloque de basamento cristalino profundo algo elevado hacia el oeste y basculado suavemente en dirección este.

El relieve es plano ondulado con pendiente regional suavemente inclinada en dirección este, que varía de 2% en el sector occidental, a 0.5% en el sector oriental. La ondulación obedece a la alternancia de interfluvios amplios plano-convexos y bajos plano-cóncavos que actúan como ejes de avenamiento.

El material geológico se trata de una cubierta limo-loésica potente con espesores mayores a los 30 mts. (loess franco-limoso) a partir del cual evolucionaron suelos profundos de texturas medias (molisoles Capacidad de uso Clase III).

IV.2.a. Faja fluvial

Con ápicе inmediatamente al este del trazo de la ruta Nac. Nº 9, el río Guanusacate ha generado en el pasado geológico sub-reciente y reciente un extenso paleoabanico por efecto de acumulación y divagación, por el cual en la situación evolutiva actual el curso del río corre por su parte media.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 10 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos Nº 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano Nº 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

La faja fluvial en concordancia con la particularidad geomorfológica, pierde sinuosidad, adopta trazo recto y disminuye la pendiente longitudinal a 1.15% favoreciendo los procesos de avulsión (levantamiento del fondo del cauce) y a diferencia del tramo antecedente, el nivel superior antiguo y medio de terraza no está presente. El nivel inferior reciente en formación, se presenta en forma no aparedada en ambas márgenes compuesto por materiales aluvionales con una altura próxima al metro. (fig 4.).

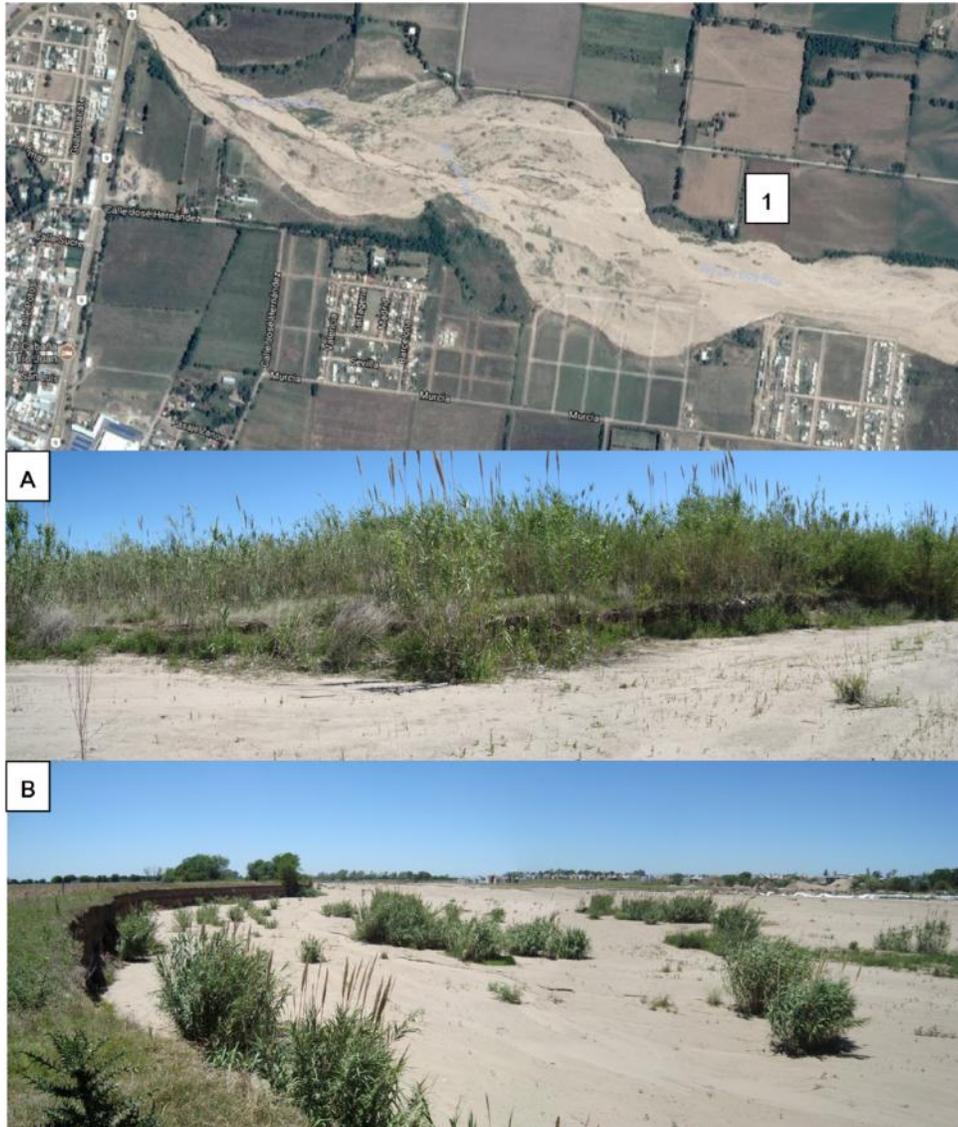


Fig. 4. Margen izquierda sector B Sta Elena. A- Nivel inferior de terraza. B- Contacto lecho ordinario con planicie fluvio eólica.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 11 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

Cuando el lecho ordinario limita con las orillas conformadas por el material constitutivo del paleoabánico, (complejo fluvio-eólico) el borde abarrancado es del orden de los 2 a 3 mts. (fig 5).



Fig. 5. Margen lecho ordinario complejo fluvio-eólico.

El canal de estiaje mantiene su carácter múltiple con difluencias y confluencias de flujo e inclusión de barras islas y alcanza una amplitud cercana a los 600 mts.

A diferencia del tramo anterior la erosión de márgenes sujeta al cambio del fondo por efecto de avulsión, tiene lugar en ambas orillas favorecida también por el carácter friable del material que las componen. El proceso implica ampliación de canal con migración de curvas amplias en el sentido del flujo.

Completan las geoformas en el paleoabánico, dos paleocanales a partir del ápice en las cercanías del trazo de la ruta Nac. Nº 9 . Uno más antiguo de baja definición geomorfológica en el límite sur (b) y otro más reciente de clara definición a la margen norte (a). Ambos sin conexión hidrológica con el cauce actual y solo son funcionales por aporte pluvial local (fig. 6).

Dentro del marco del ejido urbano se incluye un canal de abánico activo que tiene origen en un nuevo ápice en formación a 8 km. al este del trazo de la ruta Nac. Nº 9, a margen derecha del cauce actual (c). Esta geoforma a diferencia de los paleocanales norte y sur, tiene conexión hidrológica por desborde del cauce en crecidas de magnitud afectando la zona de la Ea. Cruz del Quemado para luego de un recorrido de 16 km. integrarse al canal activo (Fig.6).

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 12 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	



Fig. 6. Paleoabánico del río Guanacaste. (a) paleocanal de baja definición geomorfológica, (b) Paleocanal de clara definición geomorfológica (+ reciente) y (c) canal actual activo.

IV.3.- ANALISIS TEMPORAL Y TENDENCIA EVOLUTIVA FLUVIAL

Se realizó un análisis temporal empleando imágenes satelitales QuickBird años 2013 , 2016 y fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro años 1970 y 1987. Para evaluar la tendencia evolutiva de los procesos fluviales considerando dos tramos: TRAMO 1 desde la confluencia de los ríos Santa Catalina y Ascochinga y la ruta N.º 9 y el TRAMO 2, desde dicha ruta, hasta la planta de tratamiento de líquidos cloacales aguas abajo del B.º Santa Elena.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanacaste
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 13 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – B.º Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

IV.3.a. Tramo 1

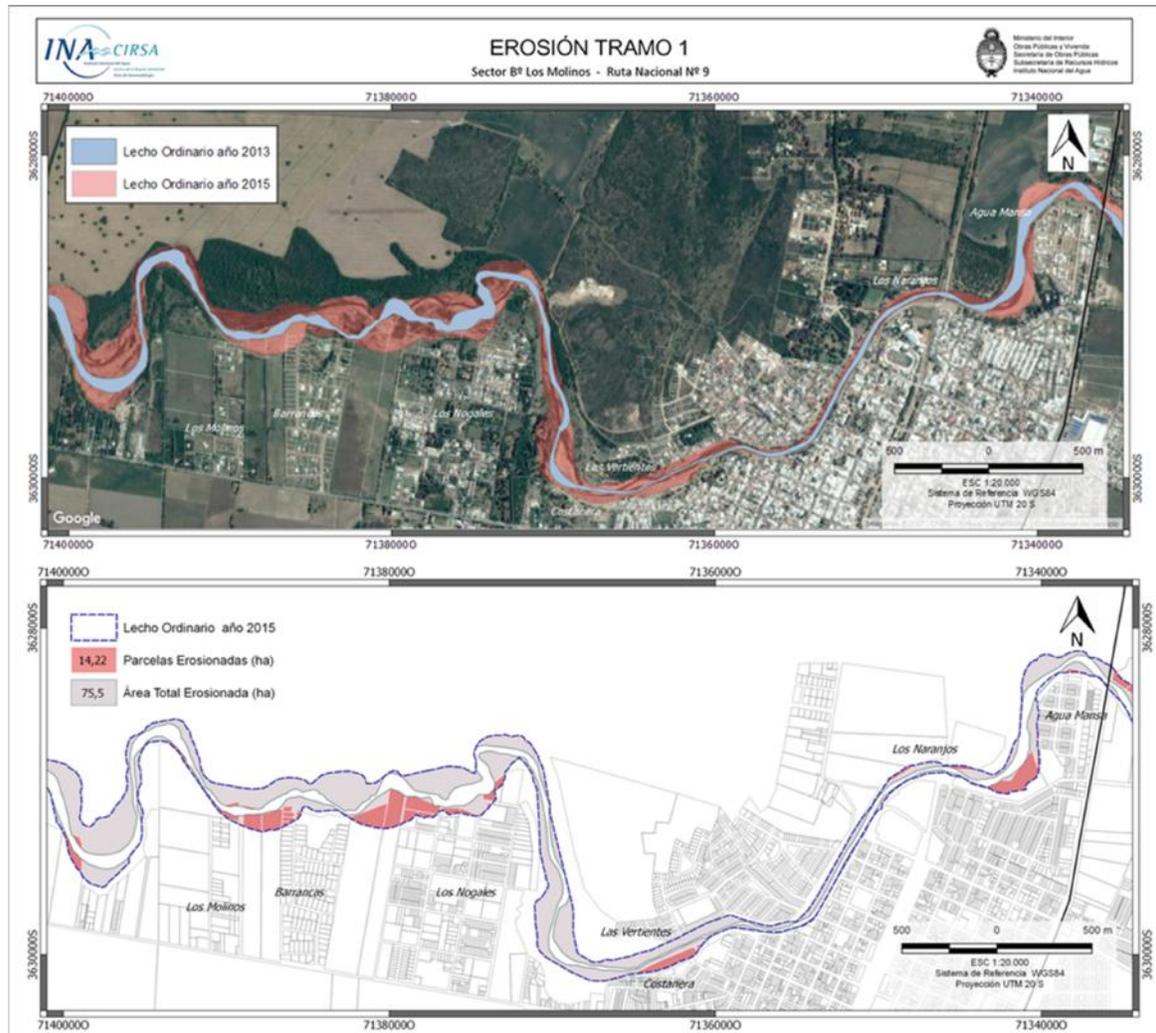


Fig. 7. Erosión Tramo 1- Sector Bº Los Molinos- Ruta Nac. Nº 9

El tramo se desarrolla en el ambiente de la depresión Periférica. Las características de sinuosidad del cauce, pendiente longitudinal (1.42 %), caudales, duración del flujo, sumado a las condiciones de saturación inicial y los materiales constitutivos de las orillas del canal. Definen que el proceso fluvial de mayor peligrosidad esté representado por la erosión de márgenes, más que por la inundabilidad a causa de desborde del lecho ordinario (canal).

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 14 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar	

Desde la confluencia de los ríos Ascochinga y Santa Catalina hasta aguas abajo del Bº Las Barrancas, la mayor sinuosidad del cauce condiciona la tendencia del proceso, que se manifiesta por una fuerte erosión en las partes externas de las curvas y deposición aluvial en las internas (fig.7).

El análisis temporal del lecho ordinario (canal) indica procesos de fuerte ampliación por erosión de márgenes con arrasamiento por sectores del nivel inferior reciente en formación (COMPARACIÓN Carta 1 y Carta2), migración de curvas externas en sentido del flujo y acortamiento de meandro.

En el sector comprendido entre el Loteo del Bº Alto los Molinos y El Bº Los Molinos, la ampliación del lecho ordinario superó los 240m y en la parte externa de la curva sobre la margen derecha inmediatamente aguas arriba del Bº Las Barrancas, sufrió una migración del orden de los 500 mts. (fig.7 y fig.8).



Fig. 8. (a) Migración de curva meándrica en el sentido del flujo y (b) activación de brazo de acortamiento de meandro. Bº las Barrancas.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
Página 15 de 53	
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

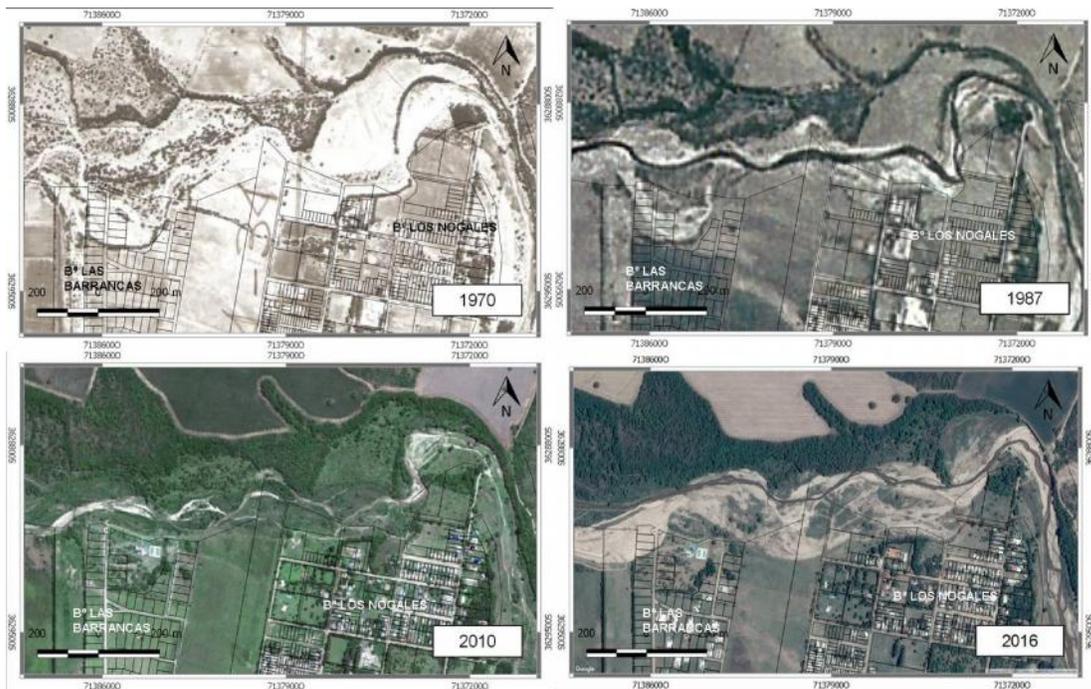


Fig. 9. Análisis temporal del sector de Bº Las Barrancas y Bº Los Nogales.

En Bº Las Barrancas se activó el acortamiento de meandro como brazo de crecida, elemento hidromorfológico claramente evidente en la fotografía aérea del año 1987 (fig. 9). En este sector la erosión de márgenes afectó a cuatro parcelas. También se produjo inundación por desborde en el Club House y a la cancha de tenis del barrio, esta última se ubica en el límite del nivel de terraza inferior y el medio.

Agua abajo hasta la altura del Bº Los Nogales la sinuosidad del lecho ordinario (canal) siguió favoreciendo la ampliación del canal por acción de erosión de márgenes. Luego por efecto de control estructural (fallamiento en profundidad), el canal pierde sinuosidad adoptando trazo semi-recto. En primera instancia con rumbo N-S y luego con rumbo E-O, hasta ingresar a la zona céntrica del ejido urbano. Esto determinó una disminución en la ampliación del canal por menor avance erosivo de márgenes.

Al final del tramo N-S por efecto de desborde a margen derecha se afectó el nivel inferior de terraza ocasionando severos problemas de inundación en el Bº Costanera (fig. 10).

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 16 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bº Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar	



Fig. 10. Activación del nivel inferior de terraza bajo inundable. Barrio Costanera.

En la zona céntrica las obras de defensa (gaviones) si bien limitaron en alguna medida la erosión de márgenes y los desbordes en el período considerado, se generaron significativas situaciones de inestabilidad.

A margen izquierda en Bº Las Vertientes la erosión de márgenes y desbordes afectaron severamente la calle costanera y viviendas (fig 11).

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 17 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar	



Fig. 11. Bº Las Vertientes. Calle costanera y viviendas afectadas por desbordes y erosión de márgenes 2015.

Aguas abajo fueron afectados por erosión de márgenes los estribos del puente pasarela de la calle Estrada (fig. 12) y del puente de la calle Colón en 2015 (fig. 13)



Fig. 12. Afectación de estribos de pasarela calle Estrada (2015).

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código:	2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión:	Julio de 2017	
	Revisión:	02	Página 18 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar		



Fig. 13. Fuerte erosión de margen derecha y afectación de estribo del puente Colón 2015.

Desde el puente Centenario, hasta el puente de la ruta Nac. Nº 9 el aumento de la sinuosidad del lecho ordinario (canal) y ausencia de obras de defensa, generó un significativo avance de la erosión en la partes externas de las curvas meándricas. En primera instancia a margen izquierda, en el Bº Los Naranjos (fig. 14) y aguas abajo, la migración en el sentido del flujo de la curva meándrica afectó la margen derecha severamente a la Ea. Agua Mansa y al barrio homónimo y a margen izquierda, el estribo del puente sobre la ruta Nac. Nº 9 (fig. 15 a 18).



Fig.14. afectación de predios en Bº Los Naranjos.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 19 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	



Fig. 15. Severa erosión de margen derecha Ea. Agua Mansa.



Fig. 16. Migración de curva meándrica y afectación de Bº Agua Mansa (margen derecha).



Fig. 17. Bº Agua Mansa severa erosión de márgenes con afectación de infraestructura urbana.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código:	2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión:	Julio de 2017	
	Revisión:	02	Página 20 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar		



Fig. 18. Migración de curva meándrica y afectación de estribo a margen izquierda. Puente ruta Nac. Nº 9.

IV.3.b. Tramo 2

Este tramo se incluye en el ambiente de la Pampa Loéssica Alta en lo que corresponde al paleoabanico que describió el río en el pasado geológico sub-reciente y reciente.

El lecho ordinario adopta trazo semirecto de baja sinuosidad y bajo grado de encajamiento e incluye canal de estiaje de franco diseño trenzado, evidencia de la alta carga de fondo (Fig. 19.)

En este tramo la disminución de la pendiente longitudinal favorece la acumulación y levantamiento del fondo del canal por efecto de avulsión. Esto ocasiona una disminución de la sección, lo que ante la ocurrencia de crecidas de magnitud condiciona la acción de la erosión lateral a ambas márgenes.

La acción del proceso se evidencia claramente en el análisis temporal en donde se observa que afecto severamente ambas márgenes. A margen izquierda la zona de La Cotita (fig. 19) y a margen derecha los loteos Palma del Caranday - El Iván y aguas abajo, el Bº Quinta de Santa Elena (fig. 20, 21 y 22), en donde el nivel inferior por sectores fue arrasado.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 21 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bº Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

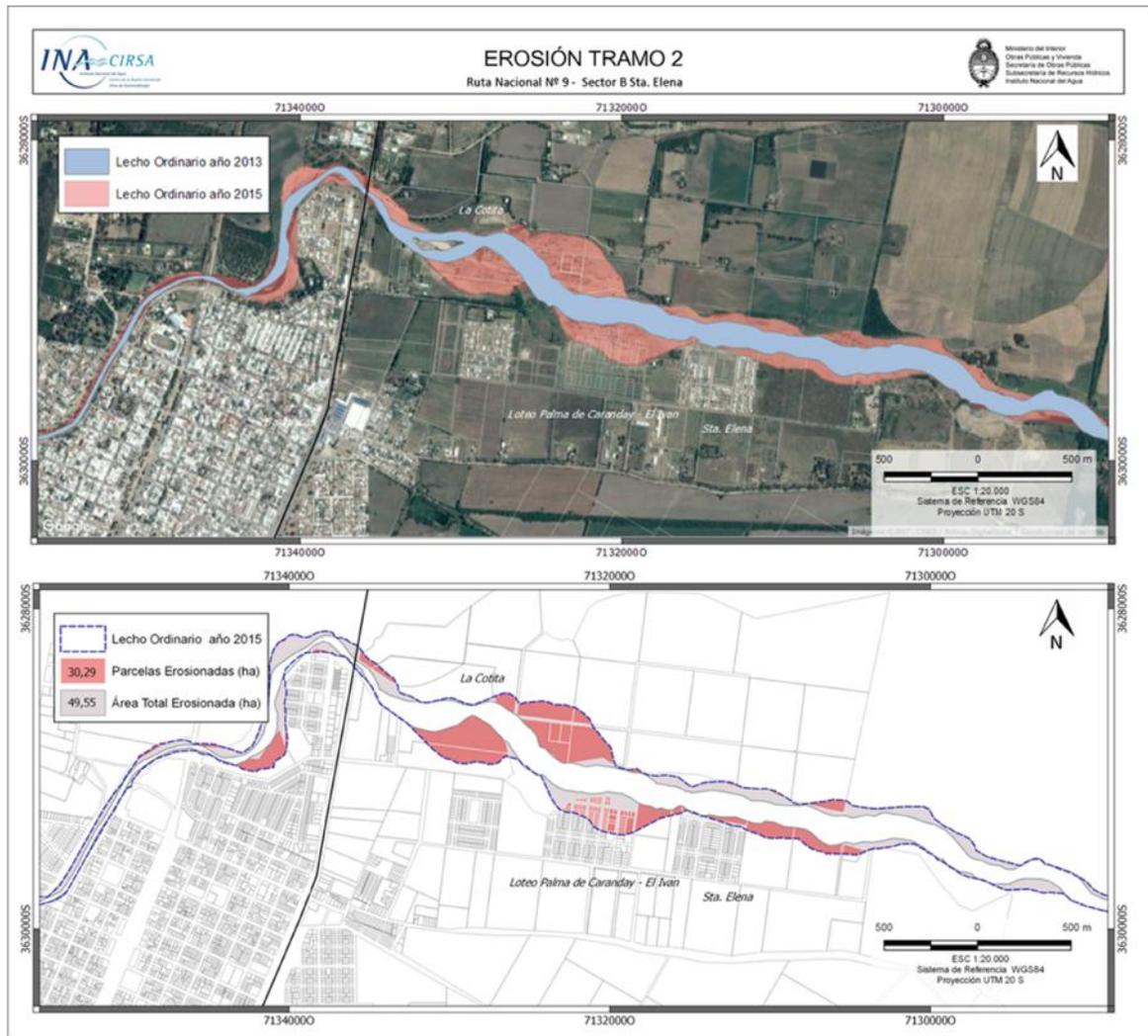


Fig. 19. Erosión Tramo 2. Ruta Nacional N°9- Sector B° Santa Elena.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código:	2 informe de avance. Río Guanuscate	
	Emisión:	Julio de 2017	
	Revisión:	02	Página 22 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – B° Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar		

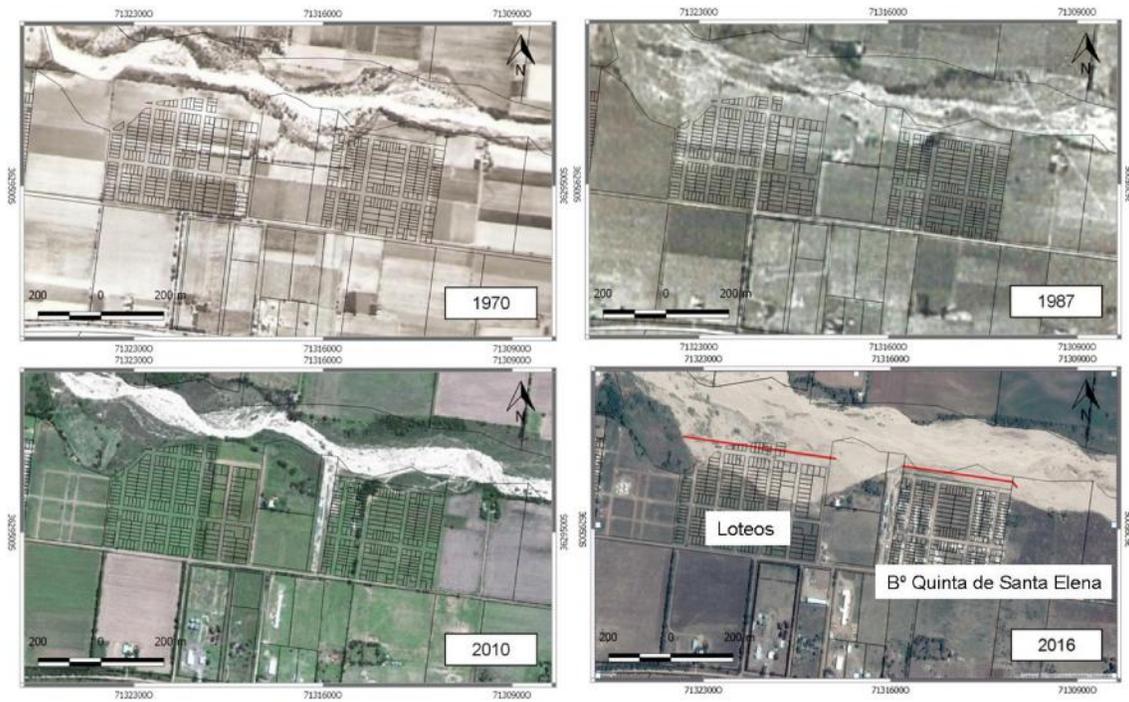


Fig. 20.Arriba:Análisis temporal zona de los loteos Palma del Caranday y El Ivan y B° Santa Elena.

Abajo: Vista aerea de los loteos erosionados.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 23 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – B° Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar	



Fig.21. Zona de los loteos Parque del Caranday y El Ivan fuertemente amenazados por erosión de márgenes.



Fig. 22. Afectación por erosión de márgenes (margen derecha). Bº Quinta de Santa Elena.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 24 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

IV.4.- CONCLUSIONES PRELIMINARES

En este informe de avance se evalúan las condiciones hidrogeomorfológicas de la faja fluvial considerando los elementos que la componen, los procesos fluviales activos y su tendencia.

Para tal fin se consideraron dos tramos: TRAMO 1 comprendido desde la confluencia de los ríos Ascochinga y Santa Catalina hasta la ruta Nac. N° 9 y el TRAMO 2, desde dicha ruta hasta el límite este del ejido urbano.

De tal análisis se desprende que en el TRAMO 1 el diseño del lecho ordinario (canal sinuoso), pendiente longitudinal, los caudales erogados y en particular el carácter friable de las orillas, condicionaron severos procesos erosivos por ensanchamiento y migración de curvas meándricas en la parte externa de estas y en un sector por acortamiento de meandro.

En este tramo los desbordes del lecho ordinario afectaron por inundación el sector norte del Bº Las Barrancas en donde tuvo lugar el acortamiento de meandro y Bº La Costanera, ambos a margen derecha.

Por su parte en el TRAMO 2, el trazo recto de baja sinuosidad, la disminución de la pendiente longitudinal que favorece los procesos de avulsión, el levantamiento del fondo del canal y el ensanchamiento del canal, determinan procesos erosivos severos y con acción en ambas márgenes.

Queda en evidencia que en este tramo el proceso de amenaza está representado con exclusividad por la erosión de márgenes sin desbordes del lecho ordinario (canal).

Es importante tener en cuenta que los procesos detectados en ambos tramos, están condicionados en su mayor parte por parámetros de orden natural regidos por las condiciones geológicas y geomorfológicas de la faja fluvial, hecho que a la vez se corrobora con datos históricos.

La información obtenida constituye la base de partida para la elaboración de la carta final de amenaza por crecidas repentinas.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 25 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

V.- MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DE APORTE

V.1.- LLUVIAS DE DISEÑO

En base a los antecedentes analizados en la primera etapa del estudio en cuanto a las lluvias de diseño, se seleccionó la estación Alto de Fresco que integra la red regional de lluvias de diseño de la Provincia de Córdoba como estación satélite de la zona Sierras, cuya estación base, pluviográfica, es la Estación la Suela, permitiendo obtener por medio de la transposición de sus valores estadísticos las funciones idT en la ubicación analizada.

Esta estación cuenta con una serie pluviométrica apta, por longitud y continuidad, para predecir lluvias máximas locales registrando una serie histórica de 38 años, la cual fue analizada oportunamente mediante test estadísticos de homogeneidad y estacionariedad, habiéndose seleccionado exclusivamente por ser la más representativa de toda la cuenca en cuanto a su ubicación y altitud. En las figuras V1 y V2 se grafican las curvas idT en la Estación Alto de Fresco (888 msnm), para T 5, 10, 25, 50 y 100 años, hasta 24 hs de duración.

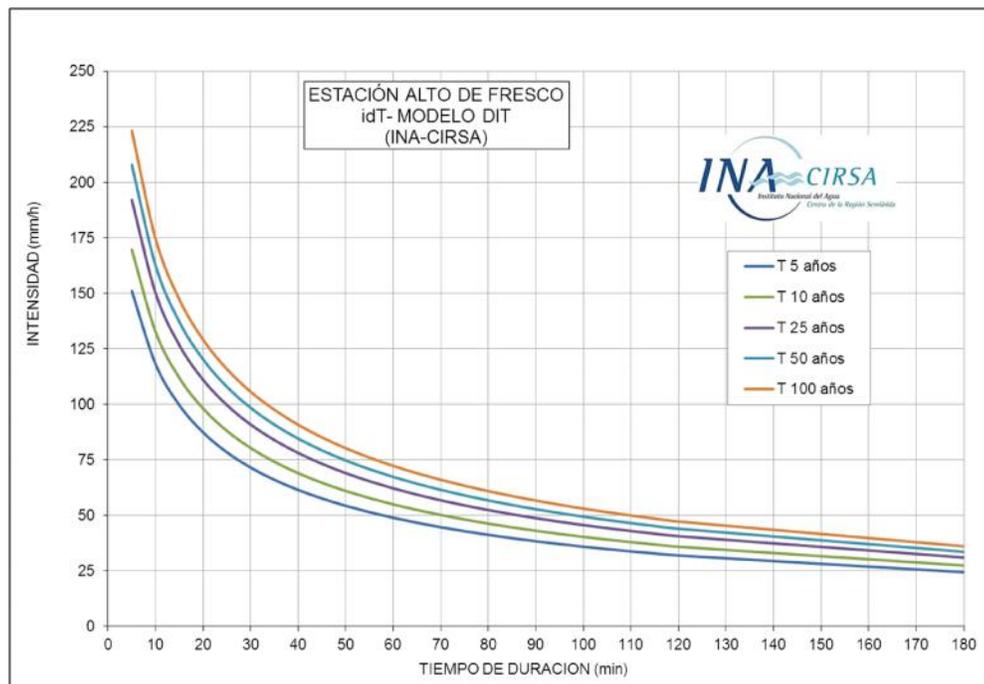


Figura V.1. idT Alto de Fresco para T 5,10,25,50y 100 años y d hasta 180 min.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
Página 26 de 53	
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

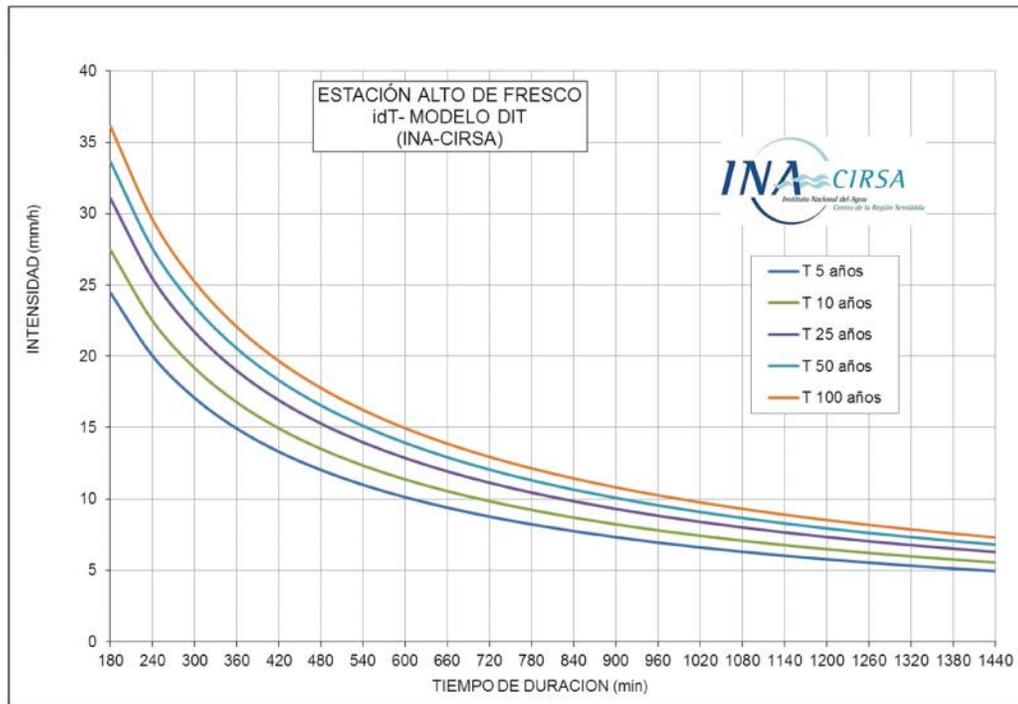


Figura V.2. idT Alto de Fresco para T 5,10,25,50y 100 años y d entre 180 y 1440 min.

Para predecir los caudales de diseño, uno de los aspectos más importantes, es la distribución espacial característica de la lluvia en la zona. Dicha estimación requiere asumir un valor medio de lluvia (sea sobre la cuenca completa o sobre cada subcuenca en que esté dividida) con base en registros puntuales, de limitada representatividad espacial.

Se asume generalmente que las láminas locales son válidas en un radio de pocos kilómetros en torno al pluviógrafo. Para extensiones mayores, la precipitación debe ser reducida mediante coeficientes asociados, para cada región, a la superficie que ocupa y a la duración del evento.

En este estudio, se utilizó el algoritmo de atenuación espacial de láminas de diseño, denominado CoDA, desarrollado y recalibrado para el área serrana de la provincia de Córdoba en el INA-CIRSA, el cual se aplica con el fin de determinar las láminas de lluvia a ingresar en cada subcuenca requerida por la modelación hidrológica para predecir los caudales de diseño asociados a distintas recurrencias. (CATALINI, CAAMAÑO NELLI, DASSO, 2011).

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
Página 27 de 53	
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

V.1.a. Definición del núcleo de atenuación y de la duración.

La duración de las lluvias críticas, en la cuenca de aporte del río Guanusacate, fue definido entre 3 y 6 horas, en virtud del estudio de los mayores eventos hidrológicos registrados en la cuenca, desencadenantes de grandes crecidas.

La distribución temporal de las láminas de tales duraciones se realizó mediante los patrones de hietogramas de tipo Ordenamiento de Intervalos en sextiles. (Caamaño Nelli, Dasso, 2003)

Con respecto a estas lluvias, es de esperar que, en sistemas de este tipo, las caídas en la parte alta sean sensiblemente mayores, debido a la influencia orográfica. El análisis comparativo de datos pluviométricos registrados en la estaciones Estancia Las Minas (1723 msnm) y Ascochinga-La Paz (672 msnm) así lo demuestran. INA-CIRSA. (2016). (Figura V.3)

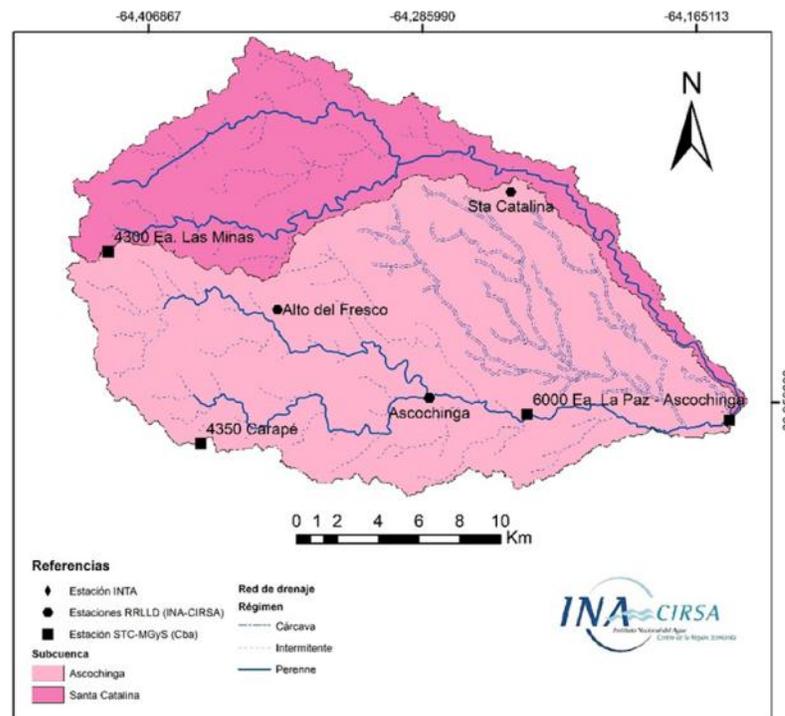


Figura V.3. Ubicación de estaciones pluviométricas.

En consecuencia, las láminas predichas para la estación satélite se multiplicaron por un factor promedio, interpretando que es la proporción mínima que podría encontrarse en la cuenca alta, donde no hay una estación que pueda emplearse como núcleo de atenuación.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02 Página 28 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar	

De esta manera, aunque Alto de Fresco sea mencionada como estación núcleo, el origen de la reducción areal está situado en las coordenadas de la estación Estancia Las Minas, en la cuenca alta. Sin embargo, esta estación, con solo dos años de registros pluviométricos, carece de función i-d-T, no cumpliendo con uno de los requisitos básicos que debe tener la estación núcleo de atenuación espacial. Por este motivo, las láminas locales de la i-d-T transpuesta en Alto de Fresco fueron afectadas por un factor crítico, de 1.7. Este aumento de la lluvia local, aplicado para reflejar la incidencia orográfica por ubicación del núcleo, se compensó al reducir las láminas. Así, las atribuidas al sector donde se sitúa Alto de Fresco, superan a las generadas por la i-d-T local, en sólo un 13 %, para el caso de una duración de 6 hs y subestima en un 5% las láminas generadas para duraciones de 3 hs, aproximadamente, para las recurrencias analizadas.

En las tablas V.1 Y V.2 se muestran las láminas de diseño locales generadas en Alto de Fresco y las láminas a atenuar, para duraciones de 3 y 6 horas y recurrencias de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Tabla V.1. Láminas en mm en Estación Alto de Fresco.

DURACION		Recurrencia T (años)				
Horas	Min	5	10	25	50	100
3	180	73,3	82,3	93,2	100,9	108,3
6	360	89,6	100,6	113,8	123,2	132,3

Tabla V.2. Láminas en mm en Estancia Las Minas.

DURACION		Recurrencia T (años)				
Horas	Min	5	10	25	50	100
3	180	124,6	140,0	158,4	171,5	184,1
6	360	152,2	171,0	193,5	209,5	224,9

V.1.b. Estimación de los coeficientes de decaimiento areal.

La decisión de simular los procesos hidrológicos de interés con un modelo distribuido, hizo necesario definir las partes de la cuenca a diferenciar, como así también determinar los principales parámetros morfométricos de cada subcuenca para lo que se tuvo en cuenta la cartografía realizada en la etapa inicial mediante MDT y fotointerpretación.

En La Figura V.4 se muestra la división de la cuenca para la modelación hidrológica mientras que en la Tabla V.3 las áreas, parciales y totales, según el esquema adoptado con sus

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02 Página 29 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

respectivos parámetros morfométricos, los cuales serán los datos de entrada para el modelo de cuenca definido y en la Tabla V.4 las caracterizaciones de los tramos correspondientes a los cauces definidos anteriormente.

Establecida la duración de la lluvia causal y las áreas parciales de la cuenca, la aplicación de las ecuaciones del modelo CoDA (Coeficiente de Decaimiento Areal) condujo a la estimación del coeficiente en cada subsistema.

Las tasas de atenuación de las láminas precipitadas se estimaron suponiendo, para cada recurrencia, una tormenta que abarcara la totalidad de la cuenca, con el núcleo de intensidad en su parte alta. Allí es donde se originan normalmente las grandes crecientes, no solo por lluvias mayores, sino también por terrenos con menor capacidad de infiltración, más empinados, con red de avenamiento convergente y densa.

Estos coeficientes variaron de 0,97 y 0.96 para la parte alta de la cuenca a 0.61 y 0.5 para el cierre de la subcuencas bajas para las duraciones de 6 y 3 hs respectivamente. Por su parte, el Coeficiente de decaimiento Areal para toda la cuenca en el punto de cierre de la misma arrojó un valor de 0.70 para una duración de 6 hs y 0.61 para el caso de 3 hs.

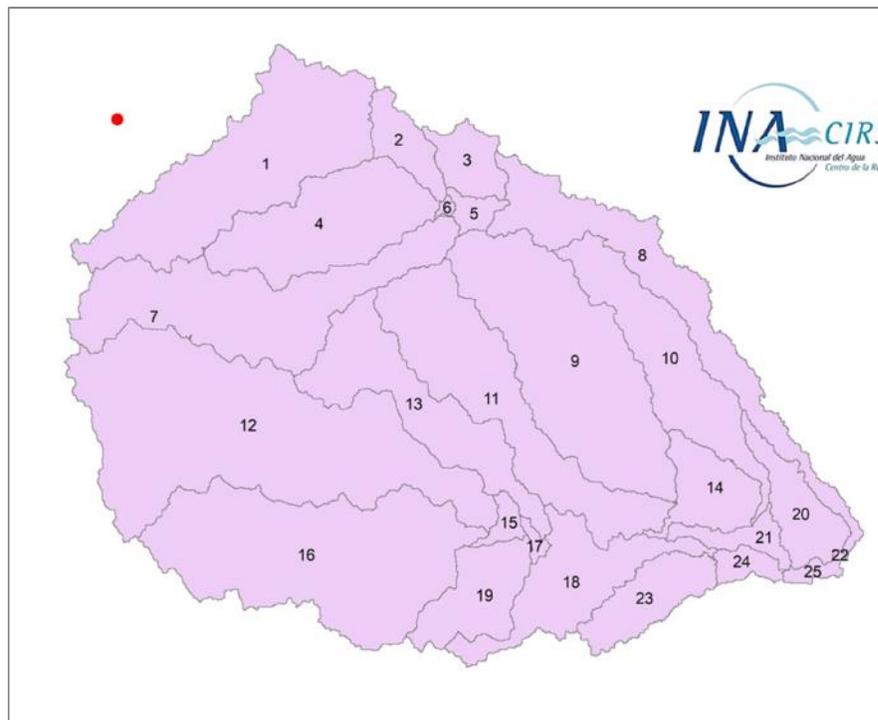


Figura V.4. Subcuencas para modelación hidrológica.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 30 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

Tabla V.3. Características morfométricas de las subcuencas.

Subcuenca	Area [km ²]	Longitud [km]	ΔH [m]	Pendiente cauce [m/m]	Pendiente cauce [%]	Pendiente de la cuenca [m/m]	Longitud de escurrimiento en lámina [Km]
1	35,52	12,42	623	0,05	5,02	0,31	0,4
2	5,28	4,52	101	0,02	2,23	0,22	0,6
3	5,40	2,95	69	0,02	2,34	0,13	0,3
4	21,76	10,23	491	0,05	4,80	0,24	0,7
5	2,02	1,98	18	0,01	0,91	0,14	0,3
6	0,34	0,83	16	0,02	1,93	0,19	0,4
7	31,94	19,34	724	0,04	3,74	0,24	1,1
8	22,91	24,49	268	0,01	1,09	0,11	0,9
9	39,14	13,48	237	0,02	1,76	0,09	1,5
10	19,79	13,17	168	0,01	1,28	0,06	2,0
11	29,00	14,38	290	0,02	2,02	0,15	0,9
12	61,89	21,83	737	0,03	3,38	0,28	2,5
13	20,24	12,56	376	0,03	2,99	0,17	1,4
14	8,46	3,71	23	0,01	0,62	0,03	3,0
15	1,72	1,47	11	0,01	0,75	0,14	0,6
16	45,52	16,91	569	0,03	3,36	0,28	1,0
17	0,75	0,86	8	0,01	0,93	0,14	0,7
18	15,91	7,64	63	0,01	0,82	0,08	1,6
19	10,45	5,92	60	0,01	1,01	0,13	0,7
20	8,02	3,96	47	0,01	1,19	0,03	2,4
21	3,51	2,38	18	0,01	0,76	0,04	1,3
22	0,15	0,24	10	0,04	4,10	0,05	0,4
23	8,88	5,08	58	0,01	1,14	0,05	2,5
24	2,39	3,34	27	0,01	0,81	0,05	1,2
25	1,24	2,25	22	0,01	0,98	0,03	1,1
Cuenca	402,21	64,09	1272	0,02	1,98	0,14	1,2

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02 Página 31 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

Tabla V.4. Características físicas de los cauces.

Canales	Longitud [m]	Longitud [Km]	Pendiente [m/m]	DH [m]	X	K [hs]
Reach-1	4519,1	4,5	0,022	101,0	0,3	0,57
Reach-2	829,9	0,8	0,019	16,0	0,3	0,11
Reach-3	1984,3	2,0	0,009	18,0	0,3	0,39
Reach-4	12243,0	12,2	0,011	134,0	0,3	2,22
Reach-5	1473,9	1,5	0,007	11,0	0,3	0,20
Reach-6	855,9	0,9	0,009	8,0	0,3	0,11
Reach-7	7639,8	7,6	0,008	63,0	0,3	1,00
Reach-8	3343,2	3,3	0,008	27,0	0,3	0,71
Reach-9	2245,4	2,2	0,010	22,0	0,3	0,52
Reach-10	243,8	0,2	0,041	10,0	0,3	0,06
Reach-11	3711,3	3,7	0,006	23,0	0,3	0,56
Reach-12	2382,4	2,4	0,008	18,0	0,3	0,40
Reach-13	12243,0	12,2	0,011	134,0	0,3	2,22

V.2.- DETERMINACION DE PERDIDAS DE LA PRECIPITACION

La determinación del potencial de escurrimiento se realizó en función del número de curva (CN; metodología del U.S. Soil Conservation Service, hoy NRCS) y se llevó a cabo de forma distribuida utilizando el SIG ArcGis 10.3.1 y tablas de clasificación (WSDOT Highway Runoff Manual).

La metodología aplicada requirió la confección de mapas de tipo hidrológico de suelos como así también el procesamiento de imágenes Landsat 8 para detectar diferentes zonas con cobertura vegetal o suelo desnudo (figuras V.5 y V.6) los que posteriormente fueron cruzados espacialmente por medio de un procesamiento de álgebra de mapas y se obtuvo para cada cuenca el CN ponderado por área, debido a que el modelo hidrológico utilizado es del tipo concentrado.

Para realizar este mapa se tomó como base un mapa de suelos obtenido del Servicio de mapas GeolINTA Manfredi y se procedió a reclasificarlo según las propiedades texturales del suelo, así como su desarrollo en profundidad.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02 Página 32 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar	

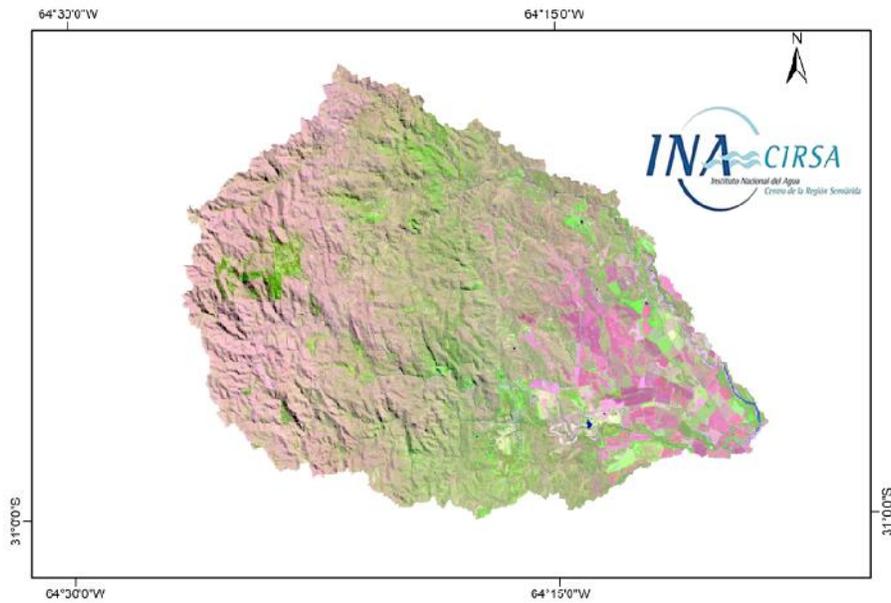


Figura V.5. Imagen Landsat 8 Combinación 6,5,2.

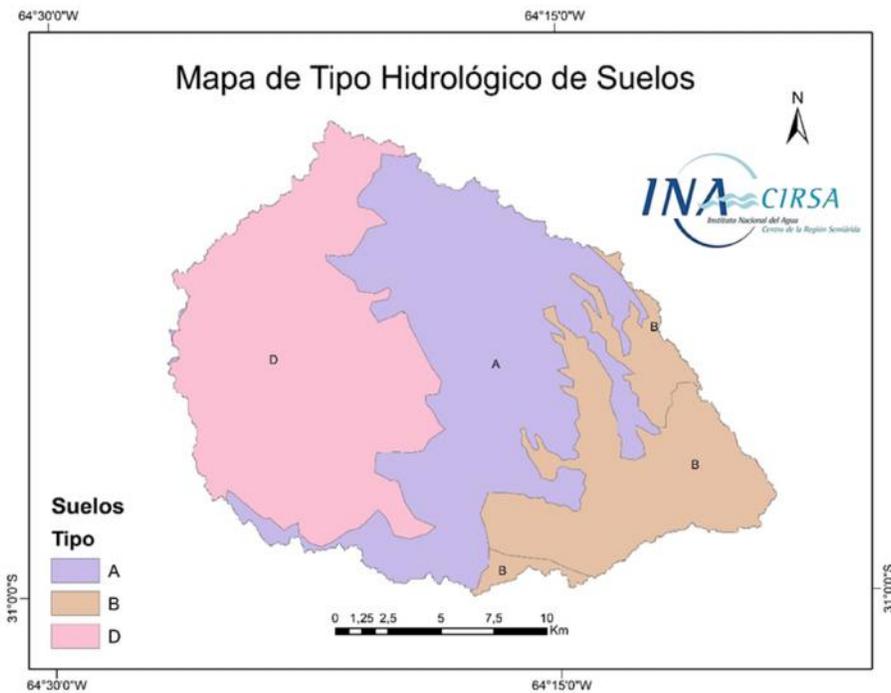


Figura V.6. Mapa de Tipo Hidrológico de Suelos según SCS.

El mapa está clasificada en cuatro grupos establecidos por el SCS:

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanuscate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 33 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

A. En ellos el agua se infiltra rápidamente, aun cuando estén muy húmedos. Profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno-limosas), están excesivamente drenados.

B. Cuando están húmedos tienen capacidad de infiltración moderada. La profundidad de suelo es de media a profunda y su textura es franco-arenosa, franca, franco-arcillosa o franco-limosa. Están bien o moderadamente drenados.

C. Cuando están muy húmedos la infiltración es lenta. La profundidad de suelo es inferior a la media y su textura es franco-arcillosa, franco-arcillo-limosa o arcillo-arenosa. Son suelos imperfectamente drenados.

D. Cuando están muy húmedos la infiltración es muy lenta. Tienen horizontes de arcilla en la superficie o próximos a ella y están pobremente o muy pobremente drenados. También incluyen aquí los terrenos con nivel freático permanentemente altos y suelos de poco espesor (litosuelos).

V.3.- IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO

La Herramienta empleada para la simulación hidrológica fue HEC-HMS (U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering) versión 4.2. Esta fue desarrollada para simular la respuesta precipitación-escorrentía de una cuenca, representando la misma como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos. En la Figura V.7 se muestra la configuración del modelo de cuenca para la modelación hidrológica.

Para disminuir la incertidumbre generada debido a la falta de mediciones de caudales sistemáticos en la cuenca en estudio se procedió a calibrar el modelo hidrológico para obtener caudales por crecidas pluviales mediante la incorporación de tormentas medidas a partir de Octubre de 2016, es decir, a partir de la incorporación del sensor de nivel en la Estación Ascochinga-La Paz. Se seleccionaron entonces las más significativas aun cuando las magnitudes de tales tormentas en este último año no han alcanzado valores asociados a grandes crecidas.

Fue necesario, para tal fin, realizar el levantamiento topográfico del perfil transversal en la ubicación del sensor de nivel para contar con una herramienta de cálculo práctica determinando una curva h-Q a través de las ecuaciones de la geometría. (RODRIGUEZ, R.M.,2004)

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02 Página 34 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

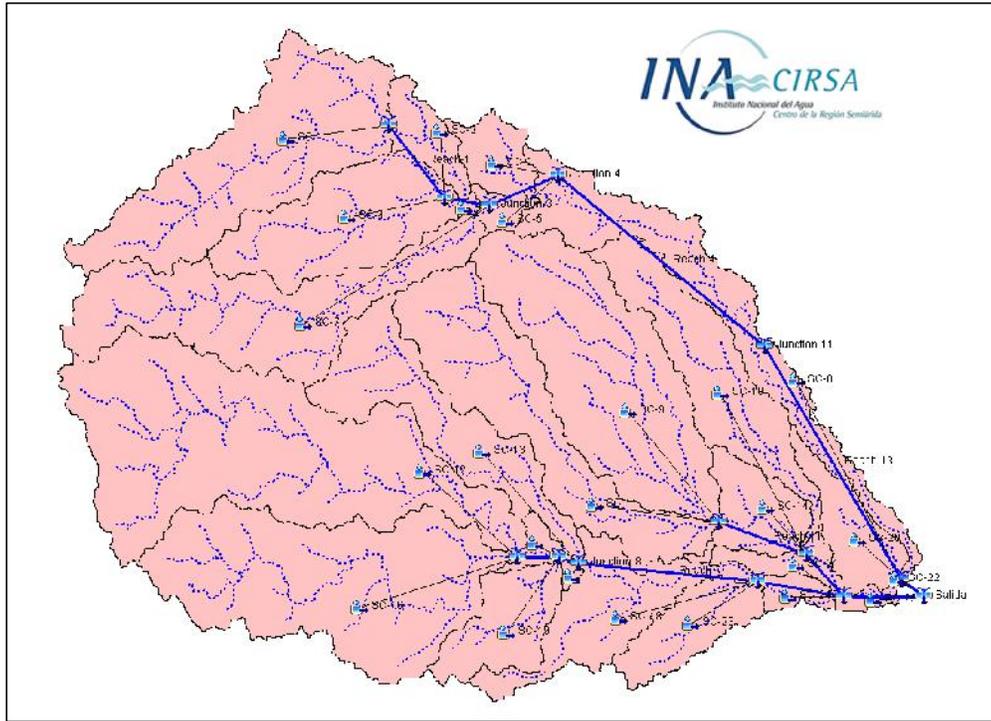


Figura V.7. Configuración del Modelo de cuenca para la modelación hidrológica.

En la figura V.8 se grafica el perfil transversal medido en el Río Ascochinga en la sección con datos limnimétricos y en la figura V.9 la Curva h-Q establecida en la misma.

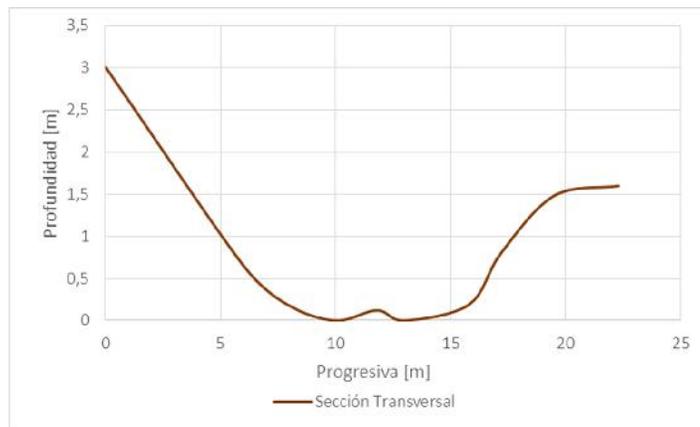


Figura V.8. Perfil transversal Río Ascochinga en Ea. La Paz.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código:	2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión:	Julio de 2017	
	Revisión:	02	Página 35 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar		

Realizada la modelación hidrológica del tramo del Río Ascochinga hasta el cierre en Estancia La Paz, se validó la formulación utilizada para la obtención de los Tiempos de Concentración para dicha cuenca y por extensión a toda el área de estudio, como así también se evaluaron los CN obtenidos para los eventos seleccionados, aunque debido a que estos no han sido relevantes en cuanto a su magnitud no reflejan de manera completa el proceso físico de infiltración.

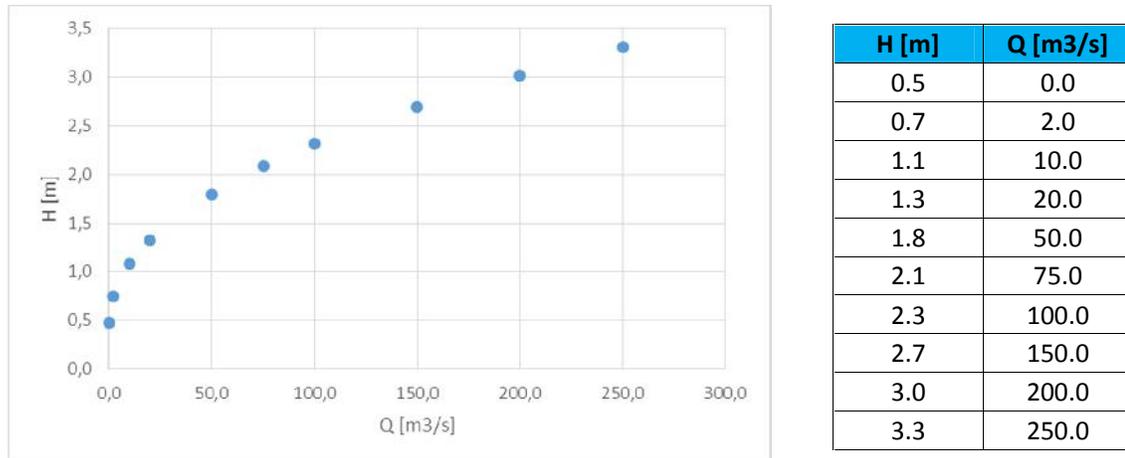


Figura V.9. Curva h-Q en Río Ascochinga- Ea La Paz.

En cuanto al tiempo de concentración de la cuenca, el mismo fue deducido aplicando gran variedad de formulaciones para su cálculo, optando por la fórmula de Kerby-Kirpich, que tiene en cuenta tanto el flujo mantiforme como el flujo en canales reflejando, en este caso, de manera aproximada, el comportamiento de la cuenca. El mismo arrojó un tiempo de concentración aproximadamente 8 hs.

V.4.- RESULTADOS OBTENIDOS

Habiendo incorporado la información procesada y luego de haber calibrado los modelos, con los datos disponibles, se realizaron simulaciones para las duraciones y recurrencias establecidas, estimando hidrogramas de diseño a la entrada de Jesús María.

Los caudales pico resultantes, para lluvias de recurrencias 5, 25, 50 y 100 años (Figura 8), fueron de 644, 798, 994, 1138 y 1282 m³/seg. (Tabla V.5) Dichas magnitudes, ante la falta de datos de caudales máximos aforados en la cuenca, que permitan una calibración más exhaustiva

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 36 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

de los modelos de transformación lluvia-escorrentía, se encuentran sujetos a futuros ajustes en base a la incorporación de nuevos datos del registro continuo de nivel en el Río Ascochinga.

Tabla V.5. Características morfométricas de las subcuencas.

Duración 3hs	
TR [años]	Caudal Pico [m3/s]
5	643,9
10	798,2
25	993,6
50	1138,3
100	1281,5

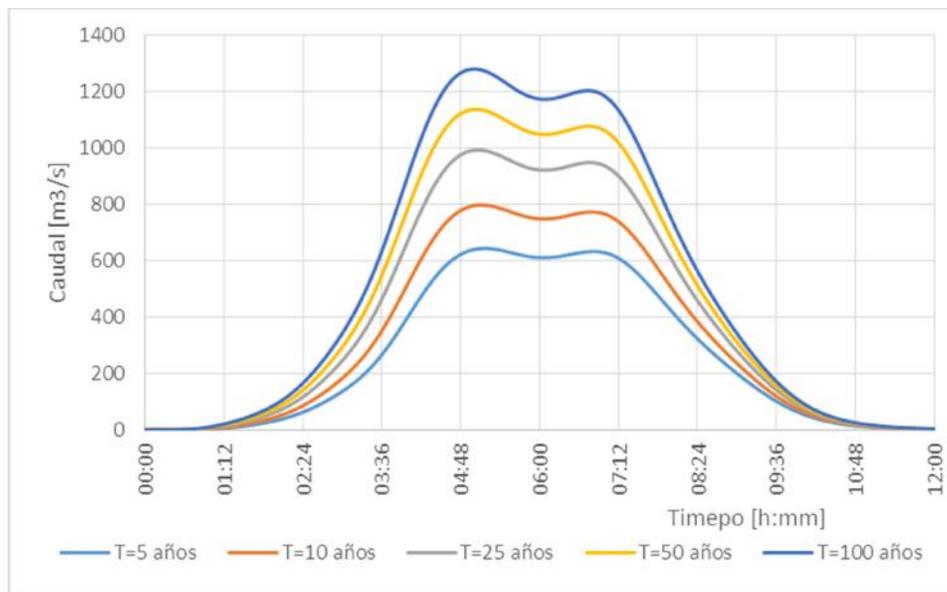


Figura V.10. Hidrogramas de Proyecto para el Río Guanusacate en el cierre de la cuenca.

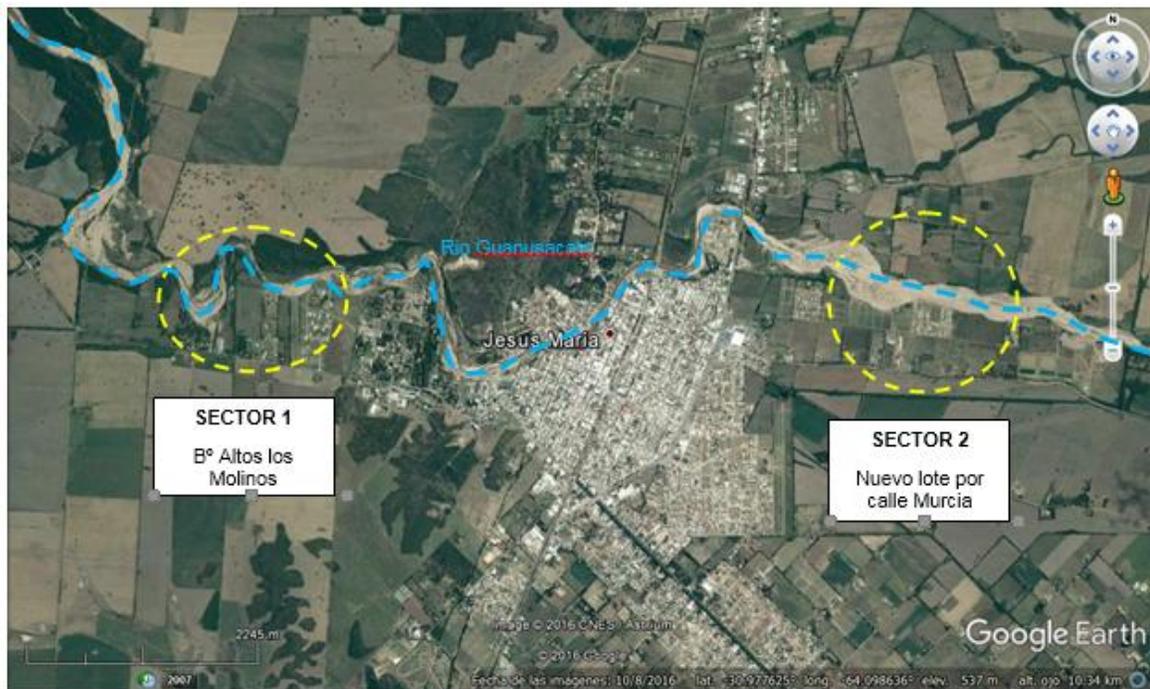
Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
	Página 37 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

VI.- CAMPAÑA GEOFÍSICA. ESTABILIDAD DE TALUDES EN DOS SECTORES DEL RIO GUANUSACATE – JESÚS MARIA

VI.1.- DESCRIPCIÓN

El segundo informe de avance geotécnico, tiene el objetivo final de complementar el estudio de la estabilidad del talud en uno de los dos sectores ya estudiados cuya zona de influencia erosiva sigue siendo el río Guanusacate. Particularmente, el sector en estudio es el identificado como, sector 2 en la Figura VI.1.

Figura VI.1. Ubicación de los dos sectores estudiados.



A modo de reseña, se mencionan los alcances de cada etapa del legajo técnico geotécnico general. Además cada etapa tendrá su estado de entrega junto a los objetivos particulares correspondientes:

- **Primera etapa o exploratoria directa** permitiría identificar los perfiles de suelos geotécnicos principalmente en la margen sur del río Guanusacate de ambos sectores. Además en esta Primer etapa, se contempla la búsqueda de antecedentes geotécnicos a

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02 Página 38 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

lo largo de la zona de influencia urbana del Río Guanusacate. La fecha de campaña geotécnica fue el día 15 de Febrero del 2017. Su estado es DESARROLLADO y ENTREGADO.

- **Segunda Etapa o exploratoria indirecta**, complementará la Primer etapa con la realización de un perfil geofísico en el sector 2. La fecha de campaña geotécnica fue el día 12 de Junio del 2017. Su estado es DESARROLLADO y por ENTREGAR el 14 de Junio del 2017.
- **Tercera Etapa o análisis**, responde al análisis de resultados total, estudio de la estabilidad de los taludes en los dos (2) sectores y propuesta del sostenimiento factible. Su estado es NO DESARROLLADO Y NO ENTREGADO.

VI.2.- ETAPA II: CAMPAÑA EXPLORATORIO INDIRECTA

Fecha ejecutiva: 1º quincena de Junio o sea el día 12 de Junio del 2017.

VI.2.a. Objetivo general:

- Obtener un perfil geofísico indirecto transversal al Río Guanusacate en el sector 2 ya explorado en forma directa.
- Complementar los resultados estratigráficos profundos e indirectos con los resultados estratigráficos superficiales directos de la primer campaña en el sector de estudio.

VI.2.b. Objetivos específicos:

- Realizar siete (7) perfiles transversales superpuestos a fin de lograr un alcance de traza total transversal de al menos 885m por el nuevo loteo de calle Murcia (o sea, el sector 2).
- Realizar un perfil transversal de 885m con los resultados geofísicos y geotécnicos en el sector de estudio. Determinar en dicha traza total, distintos estratos que componen el perfil y sus espesores proponiendo el método geofísico de tomografía sísmica. Determinar la profundidad del acuífero freático y los acuíferos inferiores (si correspondieran).

VI.2.c. Tareas realizadas in situ como gabinete:

- Ejecutar los siete (7) perfiles transversales superpuestos; comenzando desde la calle Murcia esquina con calle sin nombre de nuevo loteo en estudio (o sea margen Sur del río Guanusacate casi la proyección de la calle perirural de la margen Norte, ver Figura VI.2. Cabe aclarar que no se considero adecuado subir el talud de la margen norte hasta llegar netamente a dicha calle perirural ya que existía mucha relleno antrópico vertido; siendo esto totalmente contraproducente a la hora de poder definir un óptimo perfil de suelos por el método geofísico utilizado. Para la ejecución de las mediciones se empleó un equipo Geometrics Geode 24. Cada uno de los tendidos se realizó con 24 geófonos con separaciones de 5 m entre ellos. Los sensores se clavaron en el suelo mediante insertos

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código:	2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión:	Julio de 2017	
	Revisión:	02	Página 39 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar			

- de 8 cm de longitud asegurando siempre su fijación. La energización en cada punto se realizó utilizando masas de golpeo de 7 kg impactando sobre placas de aluminio de una pulgada de espesor. La profundidad alcanzada con los dispositivos descriptos se determinó en 40 m. Mientras que en la Tabla VI.1. se especifican las respectivas coordenadas globales de inicio y fin del perfil (o traza) relevado/a y algunas fotos de referencia.
- Relevar con estación total, el relieve de la traza total transversal, ver Figura VI.3. Se utilizó una estación total con lectura angular al segundo con precisión de 5mm + 2 ppm.
 - Realizar una caracterización geotécnica (directa e indirecta) complementaria del sector explorado en gabinete.

Tabla VI.1. Características morfométricas de las subcuencas

Puntos de traza	Inicio	Final
Localizada en margen:	Sur	Norte
Coordenadas globales	-30.975924° - 64.066805°	-30.969163° -64.068919°
Fotografía general	 Sensor	 Lecho de inundación en 2ª campaña
Fotografía detalle	 Placa de aluminio	 Talud margen norte en la zona del fin de la traza

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02 Página 40 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	



Figura VVI.1. Ubicación de la traza total relevada.



Figura VVI.2. Ubicación de la base de la estación total.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanuscate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
Página 41 de 53	
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar	

VI.2.d. Descripción de la metodología geofísica utilizada.

En el método geofísico de tomografía sísmica, se mide el tiempo en que una onda elástica de compresión o corte llegan a través del medio geológico a los distintos sensores que se encuentran dispuestos a lo largo de una línea de prospección. Esta línea se conoce también como tendido sísmico o línea de refracción. Las ondas elásticas, se generan en los extremos y puntos intermedios del tendido por medio de martillos, caídas de masas, rifles, explosivos, etc. Estas ondas son detectadas por sensores llamados geófonos que miden la velocidad de vibración con que la onda elástica excita el punto donde se encuentran dispuestos. En general se utilizan 12, 24 o 48 geófonos. La separación entre geófonos depende de la profundidad de prospección deseada en cada caso. En general, puede estimarse una profundidad de entre 1/4 y 1/3 de la longitud total del tendido (sin superposición de los tendidos). La señal es capturada por los geófonos y acondicionadas (ej. amplificadas y filtradas) por un sismógrafo que permite también mostrar en una pantalla o display los registros de las señales de todos los geófonos dispuestos a lo largo del tendido. De los registros se determinan los tiempos de arribo de las ondas de compresión, principalmente desde que la señal es emitida y llega a cada uno de los geófonos. Las curvas tiempo versus separación de geófonos, se denominan dromocronas. El análisis de estas curvas permite determinar el perfil sísmico-estratigráfico. Los métodos más comunes de interpretación son: tiempos de intercepto, velocidades aparentes, frentes de onda, tiempos de retardo y recíproco generalizado. El advenimiento de los métodos computacionales cada vez más sofisticados, han permitido el desarrollo de algoritmos de procesamientos tomográficos de la refracción. Estos algoritmos permiten resolver variaciones o gradientes de velocidades en profundidad y cambios laterales en medios altamente variables como por ejemplo debido a la presencia de oquedades, fallas, karst etc. Las imágenes tomográficas generalmente muestran variaciones graduales de los cambios de velocidades opuestamente a lo que se obtiene en los métodos tradicionales donde los estratos identificados poseen velocidades constantes dentro de cada uno.

La refracción sísmica tiene numerosas aplicaciones en la ingeniería geotécnica y geología incluyendo: evaluación de la variación stratigráfica de un sitio, la determinación de la profundidad del techo de roca, posición del nivel freático, grado de fracturación, alteración y competencia de la roca, detección de fallas geológicas, nivel de compacidad y cementación de los complejos sedimentarios, entre las principales que pueden mencionarse. Actualmente se ha extendido su uso a la determinación de los parámetros dinámicos del suelo para su uso en los diseños sísmicos y la determinación de parámetros geotécnicos para el diseño de fundaciones. Probablemente la mayor limitación de la sísmica de refracción, se debe a que la técnica requiere que la rigidez de los estratos aumente en profundidad. La presencia de alguna intercalación de

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
Página 42 de 53	
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

menor rigidez puede ocasionar importantes errores de interpretación. Finalmente puede indicarse que su aplicación en medios urbanos está condicionada a la extensión libre que se encuentre para su implementación. Espacios reducidos no permiten extender los tendidos y por ende su profundidad de prospección está más limitada.

En la Figura VI.4 se muestra esquemáticamente los dispositivos de tendidos sísmicos posibles. En el caso de la Figura VI.4.a se presenta el tendido con puntos de energización en los extremos (tiro cercano y lejano a ambos extremos) y punto medio que es de aplicación usual en el caso del método de interpretación basado en los tiempos de intercepción y del recíproco generalizado. En la Figura V1.4.b se muestra el dispositivo y los puntos de energización convenientemente distribuidos para la ejecución de una tomografía sísmica. En este caso se requiere de un mayor número de detonaciones y en lo posible de geófonos. Mientras mayor sean estos mejor será la definición de la imagen tomográfica resultante. Actualmente se usan 12, 24 ó 48 geófonos. Estos métodos requieren de geófonos con frecuencias naturales de vibración de entre 8 y 40 Hz, algo mayores a los empleados en la sismología tradicional.

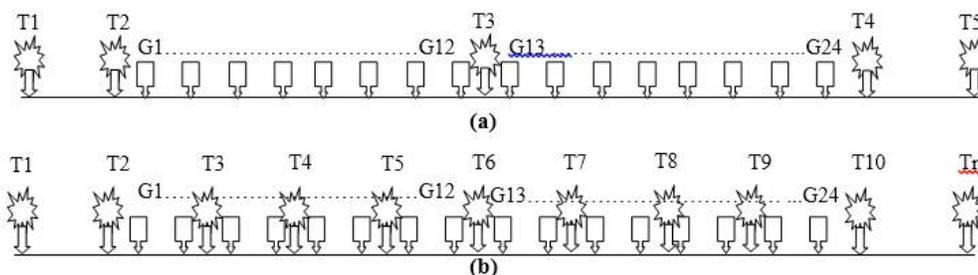


Figura VVI.3. Esquema de dispositivos empleado para el estudio de refracción sísmica utilizando detonaciones extremas y punto medio (a) y múltiples detonaciones (b).

El método tomográfico empleado por el programa Seislmager 2D usa en esta trabajo, requiere asumir un modelo de semiespacio de velocidades (congruente con el modelo geológico) el cual se discretiza en sectores denominado pixels tal como se muestra esquemáticamente en la Figura VI.5. El algoritmo matemático de cálculo consiste en el trazado iterativo de rayos (frentes de onda) que cruzan el modelo físico teórico asumido y comparar los tiempos calculados con los medidos en los trabajos de campo. En caso de que la diferencia entre estos tiempos sea mayor a un error medio aceptable, se modifica el modelo teórico hasta que la diferencia entre los tiempos medidos y calculados sea minimizada por ejemplo empleando la técnica de los mínimos cuadrados.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
Página 43 de 53	
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

El objetivo fundamental es el encontrar el tiempo mínimo de viaje de la onda entre el emisor y el receptor para cada par emisor-receptor. En este problema es conveniente definir la "lentitud" o slowness de cada pixel como la inversa de la velocidad ($v_{i,j}$):

$$s_{i,j} = \frac{1}{v_{i,j}} \quad (1)$$

Sumiendo que en cada pixel la onda viaja una distancia $l_{i,j}$, el tiempo de viaje para una iteración entre el un emisor y un receptor se puede escribir como:

$$t_1 = l_{1,1} s_1 + l_{1,2} s_2 + \dots + l_{1,j} s_j$$

$$t_2 = l_{2,1} s_1 + l_{2,2} s_2 + \dots + l_{2,j} s_j \quad (2)$$

$$t_i = l_{i,1} s_1 + l_{i,2} s_2 + \dots + l_{i,j} s_j$$

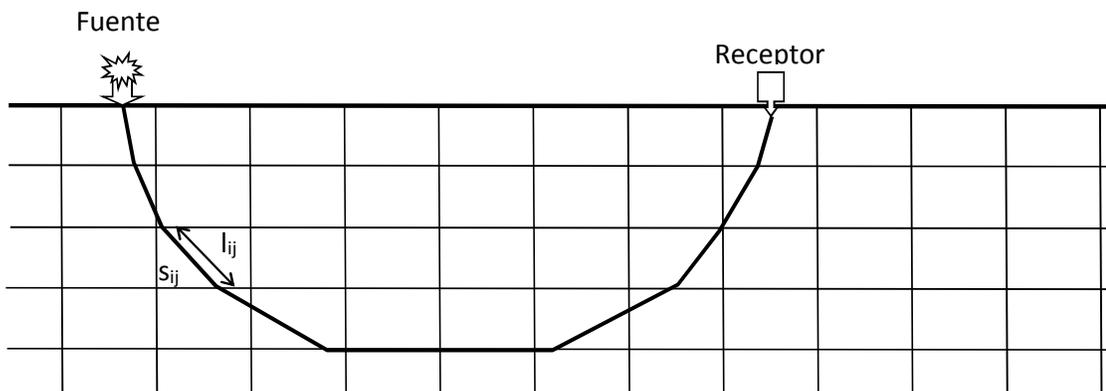


Figura VVI.4. Discretización del modelo teórico para la ejecución de una tomografía sísmica según el algoritmo de cálculo del programa SeisImager 2D. En donde $l_{i,j}$ es la longitud que recorre el rayo en el pixel i,j con lentitud $s_{i,j}$.

Las ecuaciones (2) se pueden escribir en notación matricial como:

$$[L][S] = [T] \quad (3)$$

En donde la incógnita desconocida son los elementos de la matriz S. En general este sistema esta sobredeterminado, dado que existen más ecuaciones que incógnitas.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02 Página 44 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

Si asumimos una función error:

$$E = [T] - [L][S] \quad (4)$$

y pretendemos minimizar la función cuadrática del error,

$$E = \{[T] - [L][S]\}^T \{[T] - [L][S]\} = \|[T] - [L][S]\|^2 \quad (5)$$

Para cuando la variación del error (o la derivada) es cero, resulta:

$$L^T L S = L^T T \quad (6)$$

O lo que es lo mismo:

$$S = (L^T L)^{-1} L^T T \quad (7)$$

Una vez obtenida la matriz de slowness S para cada para emisor-receptor queda determinado el modelo que mejor aproxima a las mediciones de tiempos. Este modelo es considerado el perfil sísmico del sitio.

En general el problema resulta más complejo de lo expuesto, por cuanto en la ecuación (3) la matriz L es también función del slowness S y el problema se transforma en no lineal por lo que debe proponerse un modelo inicial S_0 y con este calcular la matriz Jacobiana L_0 y los tiempos teóricos resultantes T_{oc} . A partir de allí se determina la función error (e) para cada iteración (k):

$$(e_i)_k = t_i - \sum l_{ij} S_{jk-1} \quad (8)$$

Luego el error se distribuye para crear el modelo de distribución de slowness en forma proporcional a las longitudes de cada rayo en cada pixel:

$$(S_j)_{k+1} = (S_j)_k + \frac{(e_i)_k}{\sum (l_{ij})^2} l_{ij} \quad (9)$$

Existen dos algoritmos iterativos ART (Algebraic Reconstruction Technique) y SIRT (Sequential Image Reconstruction Technique). ART, actualiza el vector [S] luego de cada rayo procesado en cambio SIRT corrige [S] posterior al procesamiento de todos los rayos.

Un registro típico obtenido de un disparo en el centro de un tendido se muestra a modo de ejemplo en la Figura I.6. Para este caso, las señales obtenidas en bruto fueron filtradas en el ancho de banda de los sensores, a los fines de eliminar ruidos de línea, extraños a las mediciones. De los registros procesados, se determinaron los tiempos de arribo de las ondas de compresión. La detección de estos puntos se realizó manualmente mediante un software específico. Con los primeros arribos, se determinaron las curvas espacio-tiempo denominadas dromocronas (ver Figura VI.6) para todos los disparos realizados. A partir del análisis de estas curvas dromocronas se obtuvo el perfil tomográfico de variaciones de velocidades de la Figura VI.7.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 45 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

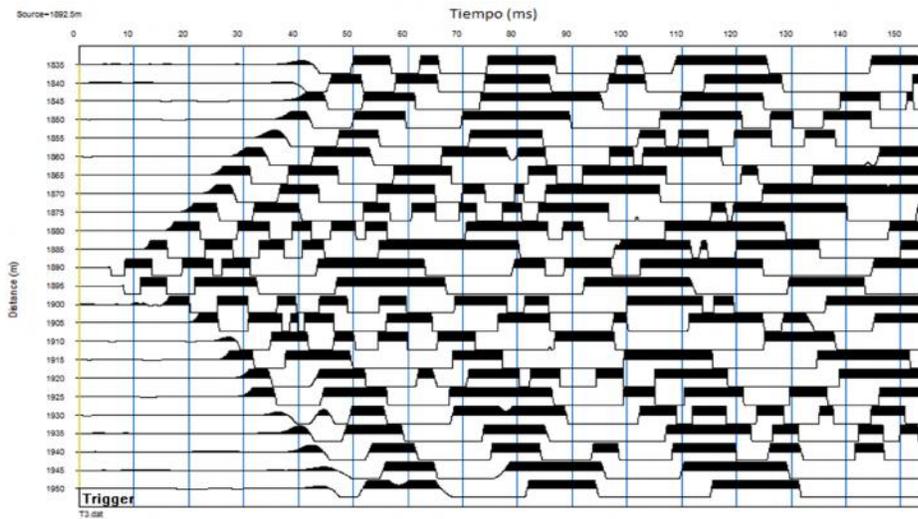


Figura VVI.5. Registro sísmico típico para un tiro intermedio en este tendido.

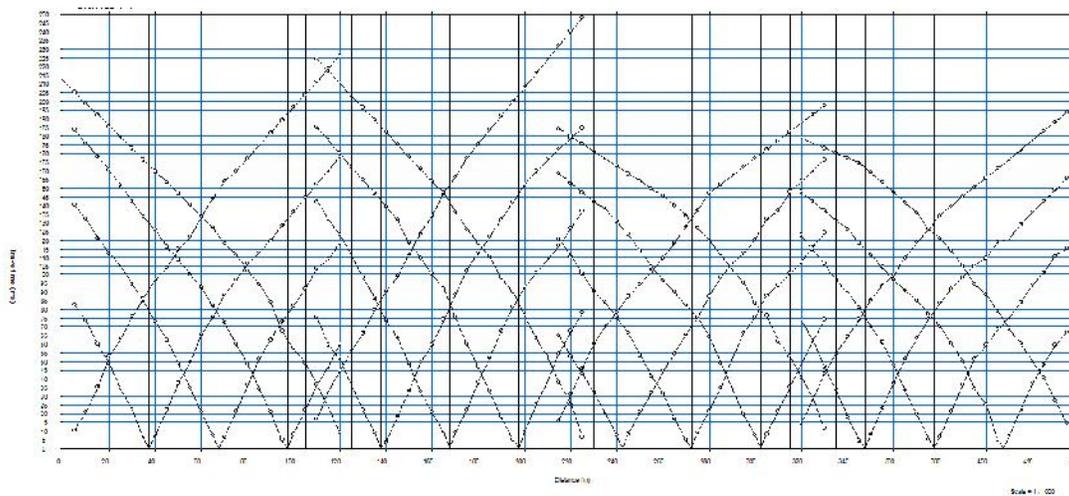


Figura VVI.6. Curvas dromocronas obtenidas en este trabajo.

Las velocidades medidas en cada estrato pueden relacionarse con distintos tipos de materiales y rocas. Esta correlación debe realizarse con precaución, dado que distintos materiales pueden poseer velocidades similares (ej.: algunas arenas y arcillas). Sin embargo, la diferencia entre las velocidades correspondientes a rocas y suelos es apreciablemente diferente.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 46 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

En la Tabla VI-2 se presenta un resumen de los rangos de variación de las velocidades de ondas de compresión para agua, suelos y rocas.

Tabla VVI-1. Velocidad de Propagación de ondas de algunos materiales.

Tipo de Suelos o Rocas	Velocidades Vp (m/s)
<i>Suelos:</i>	
• Arenas, limos y suelos finos de cubiertas	200 a 1000
• Aluviones	500 a 2000
• Arcillas compactas, gravas arcillosas, y arenas arcillosas muy densas	1000 a 2500
• Loess	250 a 750
<i>Rocas:</i>	
• Pizarras y Esquistos	2200 a 5000
• Areniscas	1500 a 5000
• Granito	4000 a 6000
• Basalto	5000 a 6000
• Calizas	5000 a 10000
• Agua uniforme	1480
• Hielo	3980

Los registros obtenidos en campo fueron procesados e interpretados con detalle en gabinete utilizando los programas computacionales Pickwin y Plotrefa de Geometrics. Para este caso, se realizaron las siguientes actividades:

- a. Estudio detallado de los registros: Los registros fueron estudiados señal por señal, a los fines de evaluar la calidad de las mismas y la coherencia.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanacate
	Emisión: Julio de 2017
	Revisión: 02
Página 47 de 53	
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

- b. Procesamiento de los registros: Las señales obtenidas en bruto fueron filtradas en el ancho de banda de los sensores, a los fines de eliminar ruidos de línea, extraños a las mediciones.
- c. Determinación de los arribos: De los registros procesados, se determinaron los tiempos de arribo de las ondas de compresión. La detección de estos puntos se realizó manualmente mediante el programa computacional Pickwin.
- d. Trazado de los perfiles: Con los primeros arribos se determinaron las curvas espacio-tiempo denominadas dromocronas. En el **Anexo** de este Informe se presentan los resultados de estas curvas.
- e. Perfiles sísmicos: A partir del análisis de estas curvas dromocronas se obtuvieron los perfiles transversales. Para esta operación se empleó un software de procesamiento tomográfico de ondas P (Plotrefa de Geometrics). El programa emplea la rutina iterativa de minimización por cuadrados mínimos descripto más arriba para aproximar los tiempos calculados del modelo con los medidos en campo.
- f. El perfil sísmico fue interpretado empleando un programa de imágenes genérico que permite el trazado de líneas divisorias y rotulaciones.

VI.2.e. Análisis y complemento de resultados.

A partir del estudio realizado por el método geofísico de tomografía sísmica (indirecto) se complementa el perfil geotécnico directo ya realizado con la determinación de que responden todos los sedimentos de la traza estudiada a una densidad relativa de sueltos a medianamente densos de origen aluvional, de velocidades crecientes en profundidad. La velocidad de propagación en este caso resulta proporcional a su grado de compacidad según los tres (3) estratos determinados, ver Plano G1 en Anexo.

En particular, la descripción geotécnica de cada uno de los estratos que se detallaran, se basan en las velocidades de propagación de ondas según la correlación estimativa de Tabla VI.2 y los resultados cuantitativos de los ensayos realizados en el laboratorio.

- ***Estrato I - Sedimentos de limos arenosos orgánicos a arenas limosas con algo de gravas muy sueltos en el orden de 10m a 15m (o mayor según los sectores ya erosionados y redepositados) de espesor:*** Este estrato, se encuentra en el nivel superior y puede describirse como un material de suelos finos de compacidad muy suelta. Este estrato

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 48 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

posee velocidades de propagación de ondas que van desde los 150 m/s hasta los 400 m/s. La velocidad promedio resulta aproximadamente de 250 m/s y no presenta un espesor uniforme. En particular, se destaca la **margen SUR** con suelos de la **fracción arenosa con algo de gravas y escasos finos cuya velocidad de propagación rondaría el rango de 300 a 400m/s. Mientras que predomina la fracción arenoso con algo de finos (limos y arcillas) y nulas gravas en la margen NORTE, rondaría el rango de 150 a 300 m/s.** No sería un estrato de suelos saturados en forma uniforme según el método exploratorio indirecto (geofísico). Sin embargo, por el método exploratorio directo, fue sensible a verificar el **alumbramiento del NF desde 4,0m en la zona del sondeo S3 (margen SUR) a 6,5m en la zona del sondeo S4 (margen Norte) para el corto día de duración de la 1ª campaña.** Cabe mencionar que la supuesta disparidad entre la determinación o no del NF en este estrato, está dada por la diferencia de épocas exploradas entre ambas campañas (directa – 15 de febrero del 2017 vs. indirecta – 12 de junio del 2017) y por la rápida capacidad de infiltración entre la 1ª campaña a 2ª campaña geotécnica cuya retracción del pelo de agua entre los suelos con predominio de fracción gruesa predominante existe ante un flujo de agua discontinuo. Los números de golpes resistentes a la penetración de las exploraciones del tipo S.P.T. como D.P.C.H. de los sondeos S3 (margen SUR) y S4 (margen Norte) responde a los promedios de la Tabla I.3. Esta resistencia a la penetración es, de hecho, función de las características y del tipo de suelo, ver Figura VI.8. Se obtuvo los datos de peso unitario total (γ_{total}) por correlaciones según Foundation analysis and design de Bowles (1996).

Tabla VVI-2. Números de golpes y compacidad.

Sondeo Prof (m)	Sondeo 3 en margen SUR	Dr (%)	γ_{total} (tn/m ³)	Sondeo Prof (m)	Sondeo 4 en margen NORTE	Dr (%)	γ_{total} (tn/m ³)
0,0 a 1,0	7 Compacidad suelta	32	1,30	0,0 a 0,5	10 Compacidad ligeramente compacta	40	1,40
1,0 a 4,0	9 Compacidad suelta	38	1,35	0,5 a >11	10 Compacidad ligeramente compacta	40	1,40
A partir 4,0	25 Compacidad ~compacta	55	1,80				

- **Estrato II - Sedimentos de arenas con gravillas y gravas sueltos de potencia en el orden 15m (\pm 5m) de espesor en ambas márgenes:** Este orden de espesor, podría ser variable en otros sectores no explorados. De este estrato en particular, solo existen datos de

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código:	2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión:	Julio de 2017	
	Revisión:	02	Página 49 de 53
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar			

- propagación de onda, cuyos rangos de velocidades van entre los 450 a 700 m/seg. Se pueden asociar a materiales sueltos en forma lenticular sin compactación alguna, más que el propio peso de los materiales suprayacentes y de épocas geológicas jóvenes. No sería un estrato de suelos saturados en forma uniforme, salvo por acucludos aislados.
- - **Estrato III - Sedimentos de algunos bolos, gravas, arenas y escasos finos medianamente compactos en el orden de 15m a 25m de espesor según la margen.** Estos suelos se consideran de compacidad media dado que las velocidades de propagación de compresión van entre 1200 a 1400 m/s. Estos materiales pueden considerarse como sedimentos sin un grado compactación apreciable aunque más saturados que respecto de los estratos anteriores dado que, se encuentran en una llanura de río muy activa donde continuamente los sedimentos se encuentran re-trabajados por varios ciclos de crecidas. Estos suelos se extienden hasta la profundidad de prospección de ~55 a ~60 m. En particular se remarca la **margen SUR** con el continuo predominio de los suelos de **fracción gruesa saturados cuya velocidad de propagación rondaría el rango de 1300 a 1500m/s. Mientras que predomina la fracción gruesa con algo de finos en la margen NORTE cuyo rango de velocidad de propagación estaría en orden 1200 a 1300 m/s.**

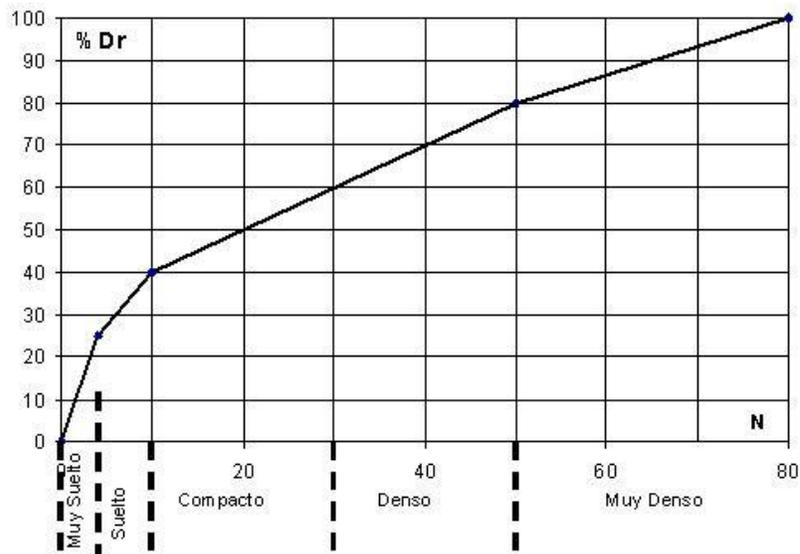


Figura VI.7. Valores de porcentaje de densidad relativa (% Dr) vs. Nº de golpes.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 50 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

VI.2.f. Tareas pendientes

A continuación se mencionan en forma bien sintética las tareas que aún siguen pendientes:

- Realizar tres (3) cortes directo de muestras representativas a definir según perfil tipo general como influencia de tirantes hidráulicos.
- Finalmente analizar los resultados, modelar taludes y estudiar sostenimientos de los mismos en los sectores estudiados verificados a distintos tirantes hidráulicos.

VII.- ACLARACIÓN

El presente informe constituye un informe parcial, sujeto a modificaciones en función de los avances alcanzados en las etapas posteriores explicitadas en el convenio marco INA - Municipio Jesús María.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 51 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

BARBEITO, O., A. RYDZEWSKI, P. CONTRERAS, F. MURACCIOLE Y N. RAPTÓPULOS **Riesgo de inundación en la cuenca baja del río Carnero, Córdoba, Argentina. Casos: Tinoco y Rangel.**

BARBEITO, O., C. BELTRAMONE, S. AMBROSINO y F. FAYA (2002). **Evaluación De la tendencia evolutiva del río Los Tártagos y amenazas asociadas.** Actas del XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz. Argentina. Agosto 2002.

BARBEITO, O.; S. AMBROSINO; C. BELTRAMONE Y D. TORRE (2003). **Tendencia evolutiva de cursos fluviales del Norte de Córdoba.** Segundo Foro Interdisciplinario de Ciencias Vinculadas al Ambiente y Calidad de Vida. San Fernando de Catamarca.

CAAMAÑO NELLI, G. Y C. M. DASSO. (2003). **Lluvias de Diseño: Conceptos, Técnicas y Experiencias.** Editorial Universitas. 222 pág. ISBN: 987-9406-43-5. Córdoba, Argentina.

CATALINI, C. G., CAAMAÑO NELLI, G. E. Y C. M. DASSO. (2011). **Desarrollo y Aplicaciones sobre Lluvias de Diseño en Argentina. Estudios Hidrológicos en la Región Central de Argentina** Editorial Académica Española .284 pág. ISBN-13: 978-3-8454-9722-8. Alemania.

RODRIGUEZ, R.M. **Estimación de Umbrales de Inundación a partir de las Lluvias de Diseño. Desarrollo Metodológico y Aplicación en el Río San Antonio.** Tesis de Grado. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. UNC. 2004

INA-CIRSA. (2016). **Procesamiento Primario de Datos de Precipitación Suministrados por el Sistema de Adquisición de datos Hidrometeorológicos a Tiempo Real en la Provincia de Córdoba (INA-CIRSA y MGYS de Córdoba). Año Hidrológico 2015-2016.** Informe Técnico. 65 pag. Área Hidrología INA-CIRSA. Córdoba, Diciembre de 2016.

<http://www.geointa.inta.gob.ar/descargas/>

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 52 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	

IX.- ANEXO

IX.1.- CARTA 1. GEOMORFOLOGÍA 2016

IX.2.- CARTA 2. GEOMORFOLOGÍA 2013

IX.3.- EROSIÓN DE TRAMO 1

IX.4.- EROSIÓN DE TRAMO 2

IX.5.- PLANO G1

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: 2 informe de avance. Río Guanusacate	
	Emisión: Julio de 2017	
	Revisión: 02	Página 53 de 53
	INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar	