



INFORME FINAL

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

Córdoba, DICIEMBRE 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	INFORME Final Río Guanusacate	
	Código: INA2017l.	Río Guanusacate
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 03	Página 2 de 104
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		

I.- INDICE

I.- Indice.....	3
II.- Resumen Ejecutivo.	6
III.- Introducción.....	6
III.1.- Objeto y Alcance de los Estudios	6
III.2.- Estructura del presente Informe.....	7
IV.- ZONIFICACIÓN DE AMENAZA ASPECTOS CONCEPTUALES- MÉTODO GEOMORFOLÓGICO E HISTÓRICO.	8
IV.1.- INUNDABILIDAD.....	9
IV.2.- EROSIÓN DE MÁRGENES.	10
IV.3.- Resultados	12
IV.3.a. Tendencia evolutiva de los procesos y Frecuencia de inundaciones.....	12
IV.3.b. Zonificación - Carta de amenaza por inundaciones repentinas y erosión de márgenes.	15
IV.3.c. Análisis de estabilidad temporal del cauce.....	15
IV.4.- ZONIFICACIÓN.....	17
IV.4.a. Alta Amenaza de inundación	17
IV.4.b. Moderada Amenaza de inundación.....	18
IV.5.- ÁREA DE EROSIÓN POTENCIAL - FAJA FLUVIAL EROSIONABLE AMBIENTE DE LLANURA TRAMO 2	18
V.- ESTUDIO HIDRÁULICO	20
V.1.- MODELACIÓN HIDRÁULICA UNIDIMENSIONAL	21
V.1.a. Información topográfica.....	22
V.1.b. Relevamiento de estructuras y obras de arte.....	22
V.1.c. Condiciones de Borde:	26
V.1.d. Coeficiente de Rugosidad de Manning	27
Técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas a gran escala (LSPIV)	28
Resultados obtenidos del momento registrado	29
V.1.e. Caudales de Diseño.....	32

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	INFORME Final Río Guanuscate	
	Código:	INA2017l. Río Guanuscate
	Emisión:	Diciembre de 2017
	Revisión:	03
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		
		Página 3 de 104

V.1.f. Escenarios de simulación	32
V.1.g. Resultados del Modelo Unidimensional	33
V.2.- MODELACIÓN HIDRÁULICA BIDIMENSIONAL.....	37
V.2.a. Información topográfica.....	38
V.2.b. Condiciones de Borde.....	39
V.2.c. Coeficiente de Rugosidad de Manning.....	39
V.2.d. Escenarios de Simulación.....	41
V.2.e. Resultados del Modelo Bidimensional	41
V.2.f. Análisis de Resultados del Modelo Bidimensional	47
V.3.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO HIDRÁULICO.....	56
VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES	58
VII.- GEOTÉCNIA LOTE O CALLE MURCIA Y Bº ALTOS LOS MOLINOS	60
VII.1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO.....	60
VII.2.- RESPONSABILIDADES.....	61
VII.3.- ANTECEDENTE.....	61
VII.4.- TAREAS REALIZADAS (sucinta descripción).	63
VII.4.a. Tareas de campo geotécnicas	63
VII.4.b. Tareas del laboratorio como gabinete.....	71
VII.5.- PERFIL GENERAL DE SUELOS.	72
VII.6.- MODELADO DE TALUDES Y ALGUNAS PROTECCIONES.	77
VII.7.- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	85
VII.7.a. Análisis.....	85
VII.7.b. Conclusiones.....	91
VII.8.- Lineamientos básicos de otra alternativa de protección	95
VII.8.a. La escollera (riprap)	97
VIII.- - BIBLIOGRAFÍA.....	102
IX.- ANEXO	104
IX.1.- CARTA 1. CARTA DE AMENAZA POR INUNDACIONES REPENTINAS Y EROSIÓN DE MÁRGENES	104
IX.2.- CARTA 2. TRAMO 2. FAJA FLUVIAL EROSIONABLE.....	104

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	INFORME Final Río Guanuscate	
	Código:	INA2017l. Río Guanuscate
	Emisión:	Diciembre de 2017
	Revisión:	03
Página 4 de 104		
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.3.- CARTA 3. CARTA DE PROBABILIDAD DE MIGRACIÓN DE CANAL (LECHO ORDINARIO)	104
IX.4.- CARTA 4. CARTA DE INUNDACIÓN Y EROSIÓN DE MÁRGENES SEGÚN MODELO HIDRÁULICO	104
IX.5.- CARTA 5. CARTA DE AMENAZA POR INUNDACIONES REPENTINAS Y EROSIÓN DE MÁRGENES SEGÚN CRITERIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRÁULICO (TRAMO 1).....	104
IX.6.- CARTA 6. CARTA DE AMENAZA POR INUNDACIONES REPENTINAS Y EROSIÓN DE MÁRGENES SEGÚN CRITERIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRÁULICO (TRAMO 2).....	104
IX.7.- PLANO G1. PERFIL TRANSVERSAL EN SECTOR 2.	104
IX.8.- PERFIL DE SUELOS SONDEO-1 (S1)	104
IX.9.- PERFIL DE SUELOS SONDEO-2 (S2)	104
IX.10.- PERFIL DE SUELOS SONDEO-3 (S3)	104
IX.11.- PERFIL DE SUELOS SONDEO-4 (S4)	104

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	INFORME Final Río Guanusacate	
	Código:	INA2017l. Río Guanusacate
	Emisión:	Diciembre de 2017
	Revisión:	03
Página 5 de 104		
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 informe de cierre del Convenio Marco firmado entre el Instituto Nacional del Agua y la Municipalidad de Jesús María. Cuyo objetivo fue determinar la amenaza de inundación y erosión de márgenes en el área urbana de la localidad en base a los resultados obtenidos en las etapas previas tanto desde la perspectiva geomorfológica como hidrológica.

Para ello se aplicó el criterio geomorfológico e histórico y se realizó una modelación hidráulica del Río Guanusacate en su paso por el ejido de Jesús María.

Los resultados fueron sintetizados en cartografía temática a nivel de detalle que posibilita identificar los sitios críticos y parcelas afectadas según el proceso dominante.

En cuanto al avance geotécnico, se complementó el estudio de la estabilidad del talud en los dos sectores estudiados, en la etapa anterior y verificación del tipo de protección relevada in situ (gaviones).

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 y a los informes previos de avance.

III.1.- OBJETO Y ALCANCE DE LOS ESTUDIOS

Las tareas realizadas para cumplimentar el cierre del proyecto, consistieron en la zonificación de amenaza por inundación y erosión de márgenes del río Guanusacate en el área urbana de la localidad de Jesús María a partir metodologías geomorfológicas y modelación hidráulica, en base a los estudios antecedentes presentados previamente (ver Primer, Segundo informe de avance Estudio geo-hidrológico del Río Guanusacate en su paso por el área urbana de Jesús María. INA-CIRSA, marzo 2017 y julio 2017) Como así también el informe geotécnico final. (ver Informe Complementario, Estratigrafía de la calle Murcia, octubre 2017),

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	INFORME Final Río Guanusacate	
	Código:	INA2017I. Río Guanusacate
	Emisión:	Diciembre de 2017
	Revisión:	03 Página 6 de 104
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.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:

- INFORME FINAL GEOLOGÍA-GEOMORFOLOGÍA.
- INFORME FINAL EN HIDROLOGÍA.
- INFORME FINAL GEOFÍSICA Y GEOTÉCNICA.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	INFORME Final Río Guanusacate	
	Código:	INA2017I. Río Guanusacate
	Emisión:	Diciembre de 2017
	Revisión:	03
Página 7 de 104		
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.- ZONIFICACIÓN DE AMENAZA ASPECTOS CONCEPTUALES- MÉTODO GEOMORFOLÓGICO E HISTÓRICO.

La zonificación de amenazas por crecientes repentinas se encuadra dentro de las estrategias de mitigación de los desastres naturales, orientada a obtener información de la naturaleza y dinámica del territorio considerando los aspectos geográficos físicos, geológicos, geomorfológicos y sociales generadores de riesgos para bienes y personas en situación actual y potencial. Permitiendo predecirlos y prevenirlos.

En tal sentido, es importante considerar que el concepto de Amenaza o peligrosidad, refiere a la probabilidad de ocurrencia para un área determinada, de un fenómeno con consecuencias potencialmente destructoras. Concibiendo al riesgo como una condición latente, que capta la posibilidad de pérdidas hacia el futuro, a partir de la interacción amenaza - vulnerabilidad. Bajo esta perspectiva, un evento físico no puede causar un daño social si no hay elementos de la sociedad expuestos a sus efectos. De la misma manera hablar de la existencia de vulnerabilidad, es posible solamente en referencia a la presencia de una amenaza particular. (Lavell, A. 2001).

La metodología utilizada fue desarrollada por Barbeito y Ambrosino (1992), en base a los aportes de la perspectiva de la geología ambiental (Ayala Carcedo, 1983). Su fortaleza radica en que analiza la amenaza por crecientes repentinas como un proceso dinámico permitiendo determinar tendencias sustentada en los siguientes principios:

- La configuración actual de las geoformas fluviales y la distribución de los materiales aluvionales han sido formados por los mismos ríos que provocarán inundaciones en el futuro.
- Las geoformas de la llanura de inundación controlan tanto el flujo del agua, como la tendencia de los procesos fluviales (erosión, avulsión, desbordes, acortamiento de meandros, activación de paleocauces entre otros).
- El registro histórico de la memoria colectiva local, indica que estos eventos han ocurrido en el pasado, con magnitudes iguales o superiores a las actuales pero bajo condiciones de ocupación del territorio diferentes.

Su evaluación se realiza a partir de la identificación y análisis de patrones e improntas producidos por la actividad hídrica. Para ello se utilizan técnicas de fotointerpretación de imágenes

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Informe Final Río Guanuscate Código: INA2017I. Río Guanuscate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 03	Página 8 de 104
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		

satelitales y fotografías aéreas a distintas escalas, procesamiento de modelos digitales de elevación, relevamiento de campo y recopilación de antecedentes e información de eventos históricos obtenidos de fuentes de información primarias y secundarias. Este análisis permite caracterizar los procesos actuantes y las unidades que componen la faja fluvial, que son determinantes de la dinámica y alcance de las inundaciones. (fig.IV.1)

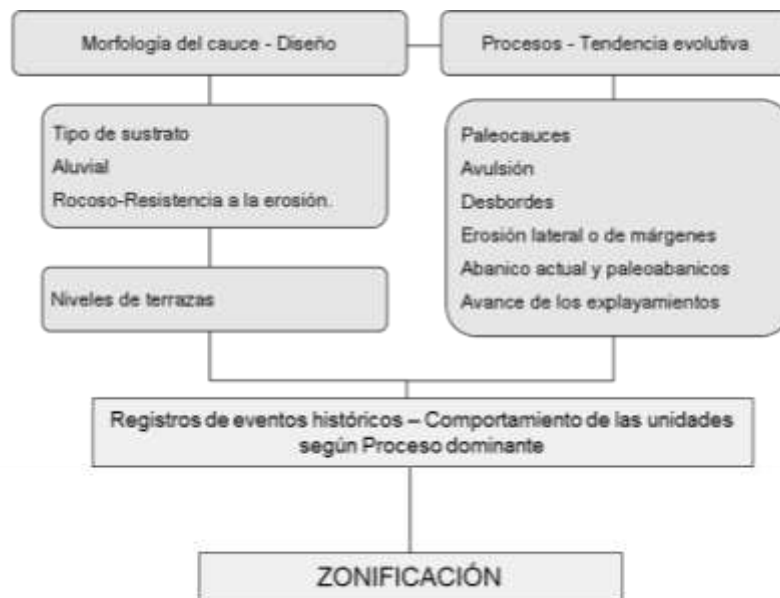


Figura IV.1. Síntesis metodológica de zonificación de amenaza.

IV.1.- INUNDABILIDAD

La inundabilidad depende de las características de las unidades hidromorfológicas que componen una faja fluvial. Entre estas, se destacan los lechos de inundación ordinario e histórico.

El lecho ordinario (aparente o menor), presenta la mayor actividad hídrica del ambiente fluvial (recurrencia anual). Desde el punto de vista geomorfológico está definido por orillas claras, su diseño y estabilidad son variables dependiendo de las condiciones geológicas y geomorfológicas. Puede ser recto y estable por control estructural en profundidad, márgenes rocosas o cohesivas resistentes, o puede discurrir en tramos aluviales con diseño meandriforme, anastomosado o dicotómico, que involucra inestabilidad por erosión lateral o de márgenes.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME Final Río Guanuscate INA2017l. Río Guanuscate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 03	Página 9 de 104
	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	

Dentro de él, en cursos fluviales con régimen permanente se incluye un canal de estiaje que representa el caudal mínimo.

Cuando los caudales de crecida sobrepasan su capacidad de conducción se activa el lecho de inundación histórico. Como tal, en los ríos de las sierras de Córdoba, actúa el nivel de terraza más bajo y reciente (nivel inferior), que incluye en ocasiones un subnivel en formación. El material aluvional que lo compone es de moderada a baja energía fluvial con presencia de arenas y limos.

En este caso pueden actuar, aunque no siempre, los niveles de terraza de mayor antigüedad y posición topográfica más elevada los cuales, suelen incluir paleocauces asociados a un estadio evolutivo antecedente, que inciden en la dinámica que adoptan las inundaciones si se conectan hidrológicamente en los eventos, actuando como brazos de crecida.

IV.2.- EROSIÓN DE MÁRGENES.

La morfología de la faja fluvial, entendida como los aportes longitudinales históricos de un cauce, ha sido modelada por el propio río en función de las crecidas históricas que ha sufrido. Estos eventos son formadores de su diseño, amplitud y profundidad, ya que la magnitud de la erosión fluvial responde al espacio que requiere para autoregular los caudales que discurren por él.

Las curvas de los ríos son los sectores que presentan mayor inestabilidad, allí se da un proceso de erosión y sedimentación de manera simultánea, erosión en la curva externa y sedimentación en la interna, lo que genera ensanchamiento y migración en el sentido del flujo de la corriente. En sectores rivereños, produce pérdidas de edificaciones e infraestructura vial, suelos productivos y de modo concomitante aporta un exceso de sedimentos al cauce, que favorece tanto los cambios en la morfología del curso, como procesos de colmatación en las áreas de derrames por depósitos aluvionales finos.

Las medidas de protección de márgenes estructurales y rectificación de cauces que no respetan la sección requerida para los eventos de crecientes ordinarias e históricas, generan que se pierda el espacio de la faja fluvial en donde podía desbordar o migrar erosionando sus riveras libremente y traslada estos procesos aguas abajo y arriba.

Ante este escenario, desde la década del 90 en países como España, Italia, Japón y Francia se ha optado por delimitar un espacio disponible para la erosión fluvial (Piégay et. Al. 2005, Nardini et

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Informe Final Río Guanúsacate Código: INA2017I. Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 03	Página 10 de 104
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		

al 2016) incluso extrayendo las antiguas medidas correctivas para que el río recobre su estado de equilibrio.

Esta zona ribereña, presenta diversas denominaciones: continuo geomorfológico (Leopold 1964), zona de intenso cambio geomorfológico (Ayala 2002), espacio de movilidad fluvial (Piegay 2005), territorio fluvial (Ollero 2006), corredor fluvial erosionable (Wasklewicz 2004), entre otros. Pese a esta polisemia, existe un consenso tanto en el contenido del concepto como en las metodologías propuestas para su determinación, basadas en el criterio geomorfológico e histórico ya que permite establecer las condicionantes del medio físico que facilitan o restringen su desarrollo, cual es la tendencia del proceso y su magnitud.

Este enfoque, consiste en realizar análisis temporales de la movilidad del cauce y de los niveles de terrazas existentes, delimitados a partir de fotointerpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas. El límite de la faja fluvial erosionable, queda definido por la envolvente de las máximas curvaturas del lecho y de los niveles de terrazas inferiores, que geomorfológicamente responden a caudales de crecida en ciclos húmedos dentro del registro histórico.

Otra metodología complementaria a la anterior, es la utilizada por Graf, (2000) y Wasklewicz et.al (2004) En este caso se evalúa mediante un análisis de frecuencias la estabilidad temporal del cauce. Para ello, se determina la posición del lecho ordinario para cada año con el que se cuentan registros. Las posiciones obtenidas son vertidas a una grilla de localización categorizadas en cauce - no cauce, a escala de detalle.

Luego se pondera para cada celda de la grilla realizada la permanencia del cauce en función del tiempo total del periodo analizado. El resultado obtenido es indicativo del cambio del canal en el tiempo evaluado.

Los resultados, son indicativos de la probabilidad de que un espacio determinado sea cauce dentro de una unidad espacial de la faja fluvial. Una probabilidad baja representa ubicaciones inestables por migración, en contraposición una mayor probabilidad de ocurrencia de canal es indicativa de estabilidad, permitiendo establecer sectores previsibles de sufrir migraciones por erosión en un futuro y su amplitud máxima probable.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Informe Final Río Guanuscate	
	Código:	INA2017i. Río Guanuscate
	Emisión:	Diciembre de 2017
	Revisión:	03 Página 11 de 104
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.3.- RESULTADOS

IV.3.a. Tendencia evolutiva de los procesos y Frecuencia de inundaciones.

Se realizó una triangulación metodológica de fuentes de información y datos que permitió, mediante corroboración cruzada, determinar la frecuencia y las áreas afectadas de las principales crecientes históricas que sufrió la localidad. Para ello, se realizaron 29 entrevistas abiertas a vecinos e informantes claves respecto de crecientes históricas que recordaran, las cuales fueron complementadas con la recopilación de información secundaria generada a partir de la sistematización de registros periodísticos del archivo histórico local y de diarios de distribución nacional (fig.IV.2).

Los eventos determinados, fueron corroborados mediante fotointerpretación y análisis temporal de imágenes satelitales Landsat 1972-2017 y fotografías aéreas de los años 1970 y 1987.

Los datos obtenidos del análisis histórico indican que en el periodo 1970-2016 la localidad sufrió 11 eventos de magnitud, es decir un evento cada 4 años.

Respecto de la tendencia evolutiva, el Río Guanusacate presenta un avance de los derrames en dirección Este hacia su nivel de base constituido por la laguna Mar Chiquita. Hasta la década de 1970 al ingresar a la llanura se insumía tras un corto recorrido, no presentando un cauce definido a la altura del actual vado las Astillas ubicado camino a Nintes (fig.IV.3).

Los datos obtenidos de los vecinos entrevistados, así como también los registros periodísticos del archivo histórico y el análisis de imágenes satelitales Landsat 1-2 concuerdan en que la creciente de 1978 causó un ensanchamiento de cauce y el avance de los explayamientos hacia el Este a la altura del paraje 4 esquinas(fig.IV.3)

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	INFORME Final Río Guanusacate	
	Código: INA2017I.	Río Guanusacate
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 03	Página 12 de 104
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		

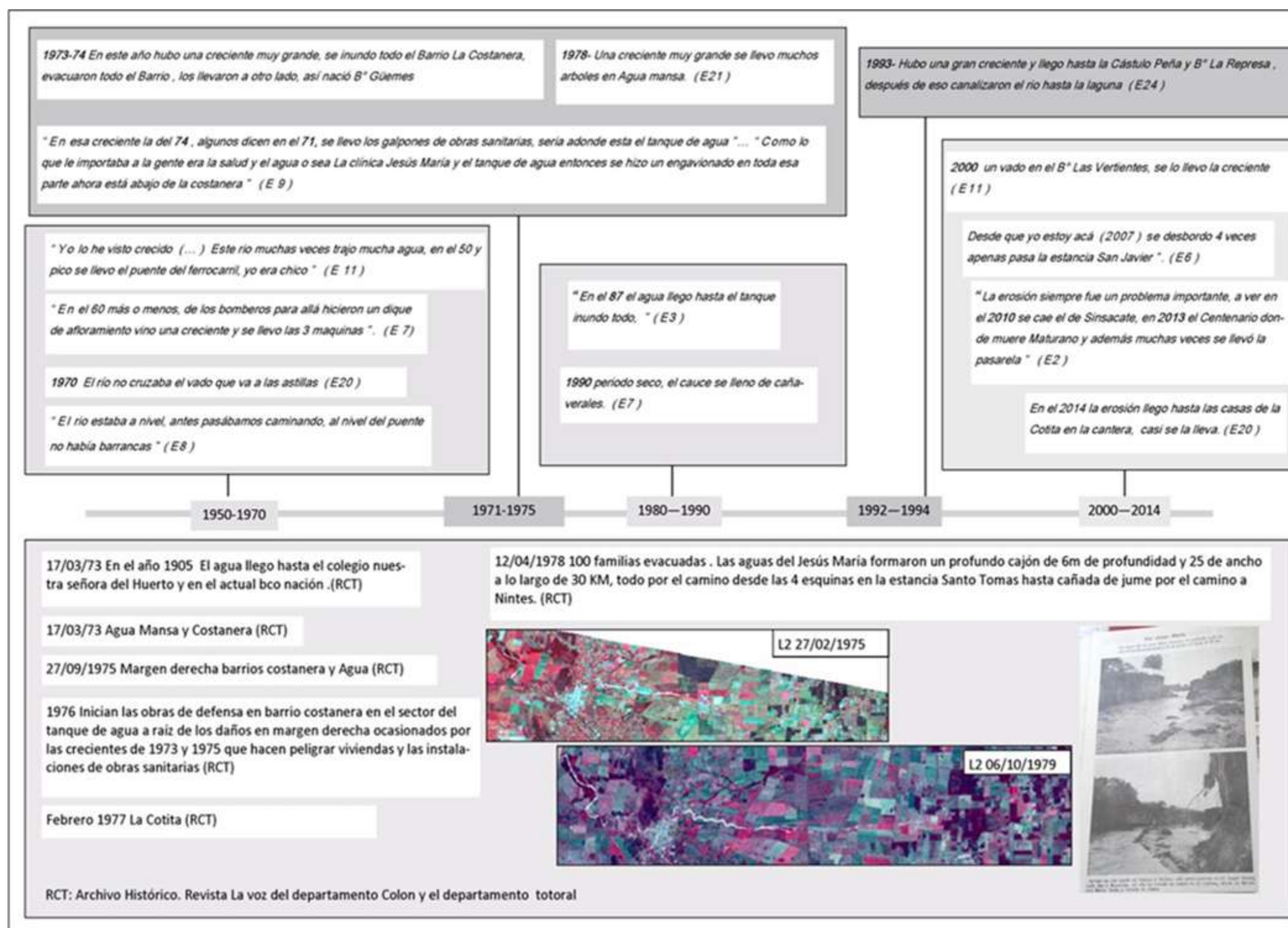
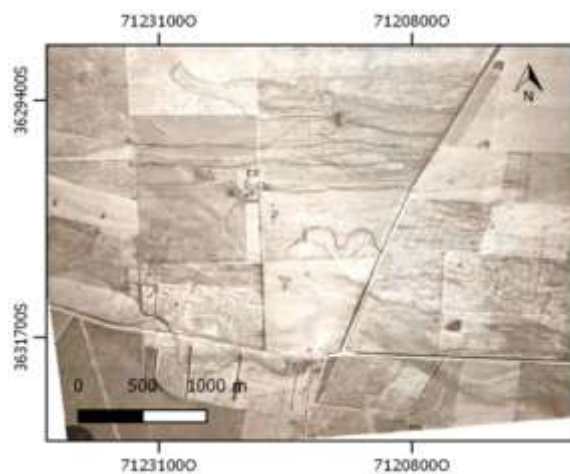


Figura IV.2. Síntesis de análisis de registros histórico



Fotografía aérea año 1970

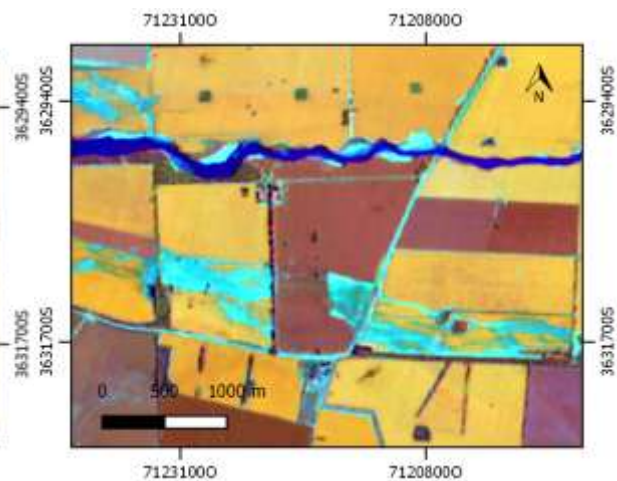


Imagen Spot año 2015



Figura IV.3. Tendencia evolutiva. Arriba: consolidación del cauce en vado a las astillas. Abajo: Avance de los derrames en dirección Este (1972-2015).

Posteriormente en el año 1988 el ápice de explayamientos y la consolidación del cauce avanzó 35 km., afectando por inundación a la localidad de Maquinista Gallini. Por los desbordes y colmatación de áreas productivas aledañas ocurridos en 1992 y 1993 fue canalizado hasta la Laguna Mar Chiquita en el año 1994. Obra que generó un cambio en la hidrodinámica manifiesto en un traslado progresivo de los puntos de avulsión /infiltración en las inmediaciones de la localidad de Obispo Trejo (fig. 3). Desde entonces, los eventos de mayor envergadura ocurrieron en los años 2000, 2010, 2013, 2014, y 2015, en todos estos casos la localidad de Obispo Trejo y entorno próximo se vio afectado.

Respecto del área urbana de Jesús María, durante el periodo 1970-1980 los sectores afectados corresponden a los barrios Costanera, Agua Mansa y La Cotita. A partir del año 2000 los registros indican daños por erosión de márgenes, que ocasionaron la caída de los puentes de la RN9 (2010) y Centenario (2013), en este evento también se erosionó parte del sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos de la localidad.

Más recientemente en el año 2014 los procesos erosivos causaron que las viviendas ubicadas en las inmediaciones de la Cantera de Fantini (Bº La Cotita) quedaran a menos de 1 m del cauce.

Finalmente en el año 2015 los daños registrados se incrementan, ya que se urbanizan o consolidan sectores correspondientes a niveles de terraza inferior (Bº Barrancas, Quintas de Sta. Elena, la Cotita) o ubicados en curvas externas con tendencia a la migración (loteo el Ivan –Palma de Caranday, Sta. Elena, Los Naranjos) que ya fueron descriptos en el informe 2.

En base a los resultados obtenidos, los sectores afectados corresponden a las unidades geomorfológicas de mayor actividad hidrológica, nivel de terraza inferior o curvas externas del cauce con tendencia a la migración. El incremento de los daños registrado en el 2015 es producto del aumento de la exposición por ocupación de áreas inestables según la tendencia evolutiva de los procesos fluviales.

IV.3.b. Zonificación - Carta de amenaza por inundaciones repentinas y erosión de márgenes.

La zonificación se realizó a partir de las unidades fluviales determinadas en el análisis geomorfológico, la naturaleza geológica de los márgenes, la tendencia evolutiva de los procesos validados por el registro histórico y el análisis temporal de estabilidad del cauce realizado a partir de fotointerpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas.

Del análisis realizado en las etapas 1 y 2, por las características hidrodinámicas, condicionantes estructurales y litología es posible diferenciar dos sectores. TRAMO 1 comprendido desde la confluencia de los ríos Ascochinga y Santa Catalina hasta el puente de la RN9. Presenta un diseño meandriforme de sinuosidad media a alta, con control litológico-estructural en el sector de barrio Parque Suizo. Los procesos dominantes corresponden a desbordes en niveles de terraza inferior y a ensanchamiento y migración de curvas meándricas por erosión de márgenes.

Por su parte, el TRAMO 2 comprende el sector aguas abajo del puente de la RN9. En este sector el cauce presenta un trazo recto de baja sinuosidad y una disminución de la pendiente longitudinal que favorece la avulsión. Los procesos dominantes corresponden a levantamiento del fondo y ensanchamiento del canal, que determinan procesos erosivos severos con acción en ambas márgenes.

IV.3.c. Análisis de estabilidad temporal del cauce

Se realizó un análisis de estabilidad temporal del cauce para el periodo (1970-2016) aplicando la metodología propuesta por Graf, (2000) y Wasklewicz et.al (2004). Para ello, se digitalizaron las posiciones de los lechos ordinarios en los años: 1970,1987, 2007, 2010, 2013 y 2015.

Los lechos obtenidos fueron vertidos a una grilla de localización categorizadas en cauce - no cauce, a escala de detalle con celdas de 1 ha. Luego se pondero para cada celda de la grilla realizada, la permanencia del cauce en función del tiempo total del periodo.

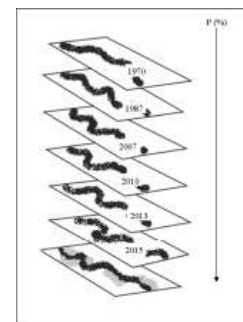
Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 15 de 104
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) 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 resultado obtenido muestra el cambio del canal en el tiempo. Por ejemplo, si una celda tiene un valor de 40, indica que el 40% del tiempo esa área fue cauce dentro del periodo analizado.

Los resultados, son indicativos de la probabilidad de que un espacio determinado sea cauce dentro de una unidad espacial de la faja fluvial. Una probabilidad baja representa ubicaciones inestables por migración, en contraposición una mayor probabilidad de ocurrencia de canal es indicativa de estabilidad, permitiendo establecer sectores previsibles de sufrir migraciones en un futuro y su amplitud.

Los resultados obtenidos para el río Guanusacate coinciden con el análisis geomorfológico, determinando una mayor inestabilidad por migración en el tramo 2 sujeto a avulsión. En el tramo1, en consonancia con el diseño meandriforme, los sectores de baja probabilidad corresponden a niveles de terraza (inferior y media) ubicados en curvas externas del cauce (fig IV. 4).

Lecho Ordinario años	t_m (años)	$p = \frac{t_m}{m}$ (%)
1970	17	36.96
1987	20	43.48
2007	3	6.52
2010	3	6.52
2013	2	4.35
2015	1	2.17
2016	$m = 46$ años	100



Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 16 de 104
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		

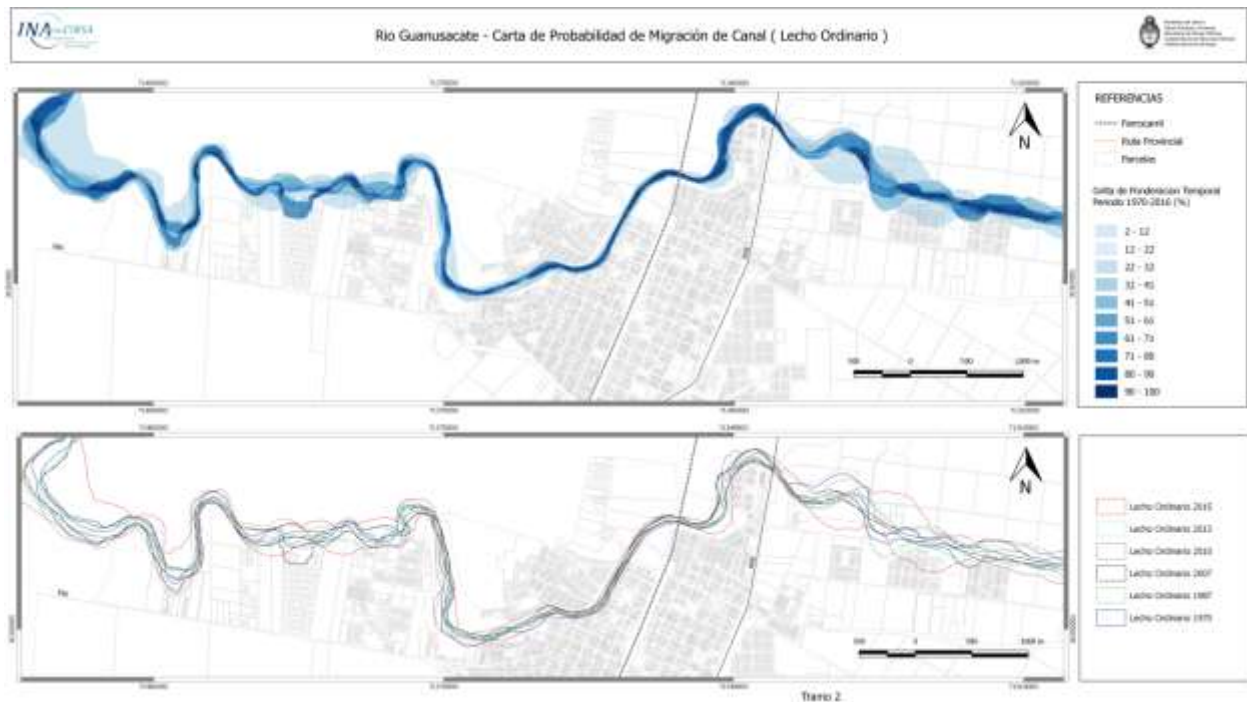


Figura IV.4: Arriba: ponderación temporal. Abajo: Grilla de probabilidad de localización río Guanuscate periodo (1970-2016).(ver carta 3)

IV.4.- ZONIFICACIÓN

IV.4.a. Alta Amenaza de inundación

Se corresponde con el Lecho Ordinario, y el nivel de terraza inferior cuando los caudales superan la capacidad de conducción del lecho ordinario.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanuscate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 17 de 104
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		

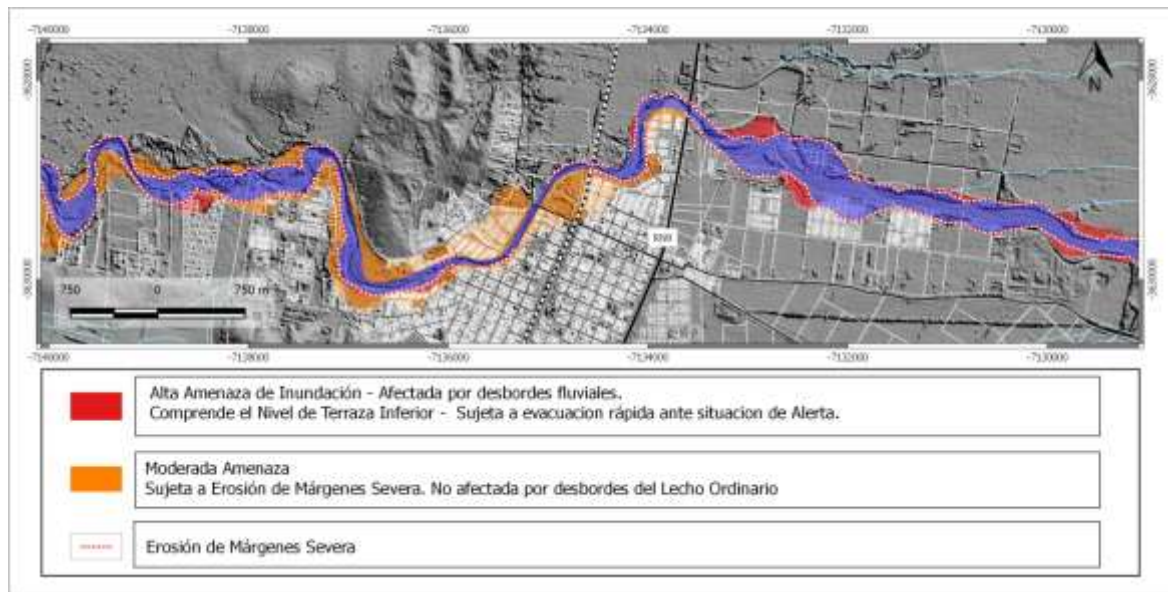


Figura IV.5 : Carta de amenaza por inundaciones repentinas y erosión de márgenes (VER ANEXO CARTA N 1).

IV.4.b. Moderada Amenaza de inundación

No inundable, sujeta a erosión de márgenes severa, comprende las curvas externas y ambas márgenes en el tramo 2.

Su magnitud y alcance dependen de las condiciones de saturación inicial de la cuenca de recepción y de las riberas ante un evento, sumado al tiempo del flujo ya que una vez vencida la resistencia inicial los procesos de erosión actúan con mayor velocidad.

IV.5.- ÁREA DE EROSIÓN POTENCIAL - FAJA FLUVIAL EROSIONABLE AMBIENTE DE LLANURA TRAMO 2

Este sector se encuentra sujeto a procesos de avulsión. El cambio de pendiente ocasiona la deposición de sedimentos en el fondo del río y una elevación del lecho, que genera cambios bruscos en la dirección del canal. En base a ello, en un evento extremo el cauce se puede recostar tanto en la margen derecha como en la izquierda por lo tanto ambas márgenes se ven afectadas por procesos de erosión.

Los niveles de terrazas inferiores se forman en dos etapas principales, primero se requiere la ocurrencia de una crecida que genere un ensanchamiento del canal, cuya magnitud responde al espacio necesario para autorregular los caudales que discurren por él.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 18 de 104
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		

Posteriormente si ocurren ciclos secos, el canal tenderá a encajarse progresivamente, dando lugar a la formación de un nivel de terraza inferior.

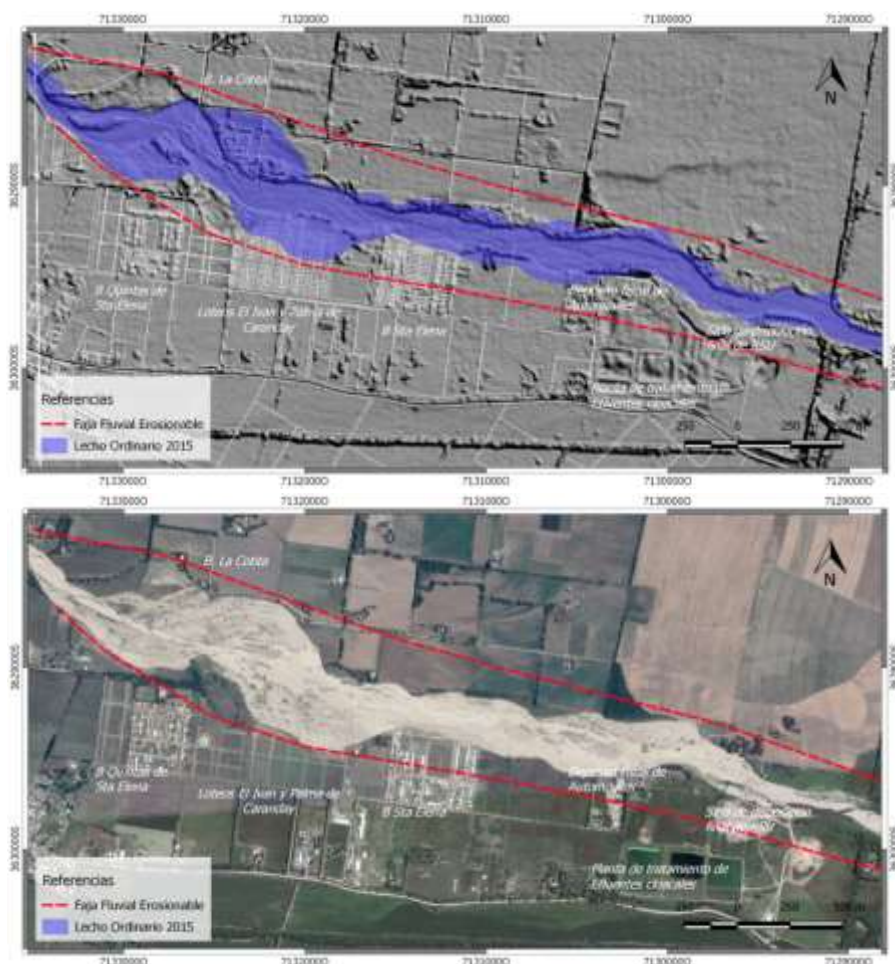


Figura IV.6 : Tramo 2. Faja Fluvial Erosionable.(VER ANEXO CARTA N 2)

En esta unidad, de no ocurrir eventos extremos, se establecerá vegetación de rápido crecimiento, lo que ocultará los claros patrones hidrogeomorfológicos de la actividad, favoreciendo la ocupación urbana por desconocimiento. No obstante como se mencionara en apartados antecedentes estos niveles son altamente inestables tanto por erosión como por inundación.

En base al análisis histórico realizado, los niveles de terraza inferior que fueron arrasados y/o erosionados severamente en la creiente del año 2015, corresponden a niveles formados en los años 1970-1987, es decir en un pasado reciente.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 19 de 104
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		

Estos niveles presentaban una amplitud equiparable al ensanchamiento del canal (2015), por lo cual puede inferirse que la amplitud máxima susceptible de ser erosionada corresponde a la envolvente de estos niveles, ya que representan el alcance de los caudales máximos históricos en el pasado geológico reciente.

En base a ello la faja fluvial erosionable queda delimitada por la envolvente de los niveles de terrazas inferiores y el lecho ordinario actual.

V.- ESTUDIO HIDRÁULICO

En base a la información hidrológica recopilada y procesada, presentada previamente en los informes de avance (ver Primer y Segundo informe de avance Estudio geo-hidrológico del Río Guanusacate en su paso por el área urbana de Jesús María. INA- CIRSA, marzo 2017 y julio 2017), a continuación se detallan la metodología y los resultados de la modelación hidráulica del Río Guanusacate en su paso por el ejido de Jesús María.

El Modelo utilizado para tal fin fue HEC-RAS versión 5.0.3. Desarrollado por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del U.S. Corps of Engineers. El mismo simula cálculos hidráulicos en canales naturales o artificiales en régimen permanente o impermanente gradualmente variado. El procedimiento computacional está basado en la solución de las ecuaciones de Saint Venant, donde las pérdidas de energía se evalúan por la ecuación de Manning. Esta última versión de Hec Ras permite además, modelar el Flujo Bidimensional y mejora el interfaz de RAS Mapper con la posibilidad de obtener imágenes dinámicas del flujo mas realistas. Considera el flujo en cauces muy curvados, meandriformes, ya que diferencia las direcciones del vector Velocidad.

Modelo HEC RAS 5.0.3 Unidimensional

Esta herramienta permite obtener niveles y velocidades medias en una dirección en secciones del cauce del río. Su principal ventaja es que cumple con parsimonia, es decir, es un modelo sencillo, con pocos parámetros de ajuste (rugosidad n) y una de sus limitaciones es que permite resolver problemas de hidráulica que tienen un carácter marcadamente unidimensional, es decir considerando el eje del cauce como la dimensión principal. (No considera los cambios de dirección del vector velocidad)

Para su aplicación es necesario fijar ciertos datos de entrada:

- Perfiles topográficos de secciones a lo largo del tramo a simular
- Descripción geométrica de obras de arte y obstrucciones que afecten al flujo.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 20 de 104
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		

- Condiciones de Borde (flujo es mixto : Tirante normal aguas arriba y aguas Abajo + S)
- Coeficientes de rugosidad de Manning (en cada perfil transversal)
- Caudales de Diseño
- Escenarios de Simulación: - Sin Gaviones
- Con Gaviones

Modelo HEC RAS 5.0.3 Bidimensional

Esta nueva aplicación permite analizar y comprender con mayor certeza el comportamiento hidráulico del flujo ya que incorpora un módulo que resuelve las ecuaciones de Saint Venant y Onda Difusa en 2-dimensiones, modela mediante el método de los Volúmenes Finitos Implícitos e incorpora un algoritmo para resolver el acoplamiento de modelos 1D y 2D.

Además permite modelar mallas estructuradas y no estructuradas (mayor definición), mejorando los tiempos de cálculo permitiendo una modelación más precisa de los cauces y de los desbordes circulando por las llanuras de inundación.

Una de sus principales virtudes es que considera el flujo en cauces muy curvados, meandriformes, ya que diferencia las direcciones del vector velocidad.

Los datos de entrada a fijados en este estudio fueron:

- Modelo Digital de Terreno (IGN 5m) + Relevamiento topográfico (TIN)
- Condiciones de Borde (flujo mixto : Hidrorama ag. arriba y ag. Abajo + S)
- Coeficientes de rugosidad de Manning (archivo vectorial georreferenciado)
- Caudales de Diseño
- Escenarios de Simulación: T= 5,10,25,50,100

V.1.- MODELACIÓN HIDRÁULICA UNIDIMENSIONAL

El modelo unidimensional se corrió de modo de lograr el ajuste de los parámetros de calibración, poniendo a punto el modelo bidimensional y permitir observar el comportamiento del flujo en los sectores de puentes y pasarelas.

Para su aplicación fue necesario definir todos los parámetros de entrada que se detallan a continuación:

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 21 de 104
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. Información topográfica

Como parámetros geométricos del río Guanusacate y sus planicies de inundación se utilizaron levantamientos topográficos realizados y aportados por el municipio de Jesús María y perfiles transversales recopilados de estudios previos en el río.

Los mismos fueron adaptados y georreferenciados para ser utilizados en la modelación (Figura V.1)

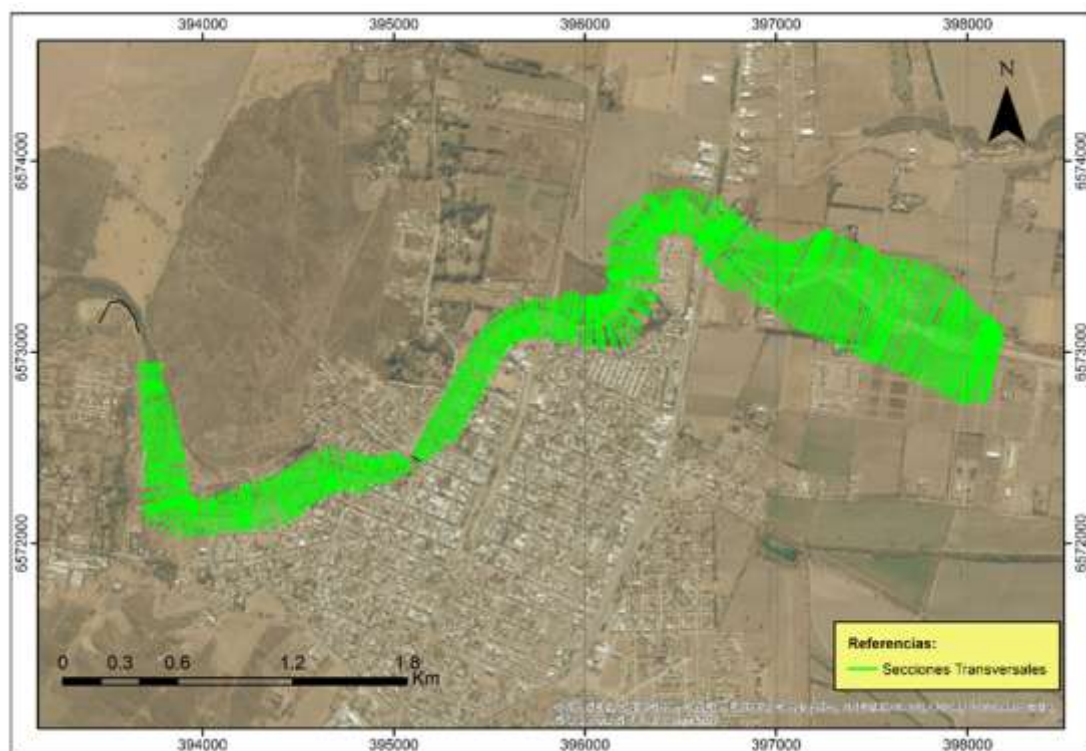


Figura V.1. Extensión en planta de perfiles transversales del río Guanusacate.

V.1.b. Relevamiento de estructuras y obras de arte

Se relevaron las características geométricas de los distintos pasos sobre el río, ya sean pasarelas, puentes carreteros o ferroviarios. Cada uno de ellos fue incorporado en el modelo 1D, para tener en cuenta los efectos que tienen sobre el flujo en el cauce. A continuación se muestran algunas de las estructuras relevadas sobre el río (Figuras V.1. V.3, V.4).

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 22 de 104
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. Fotografía de la pasarela próximo a la calle José Estrada.



Figura V.3. Fotografía del puente de la calle Cleto Peña, ubicación de los gaviones.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 23 de 104
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.4. Fotografía del puente de la Ruta Nacional 9.

De manera análoga, se muestran estas estructuras ingresadas en el modelo 1D. Además se consideraron zonas inefectivas de flujo aguas arriba y aguas abajo de cada puente, estas áreas permiten representar los efectos de contracción y expansión que se generan en dichas estructuras permitiendo considerar las zonas de recirculación de flujo.

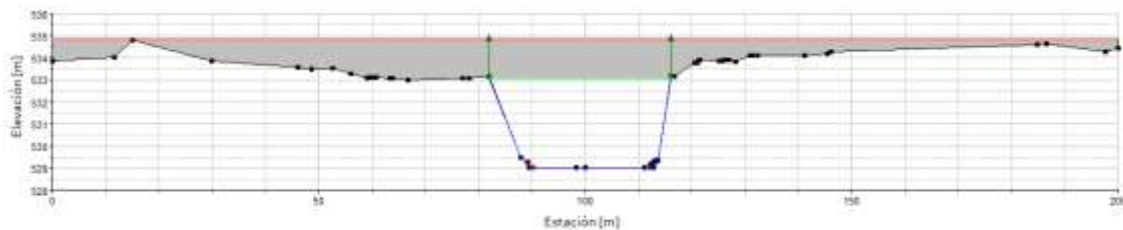


Figura V.5. Esquema de la pasarela próximo a la calle José Estrada.

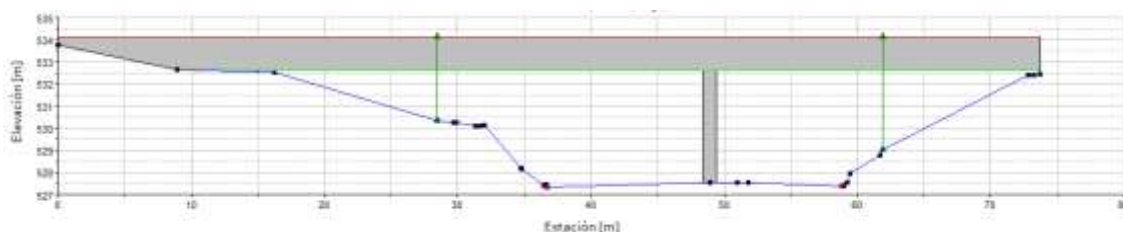


Figura V.6. Esquema del puente Colón, sobre la calle homónima.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 24 de 104
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		

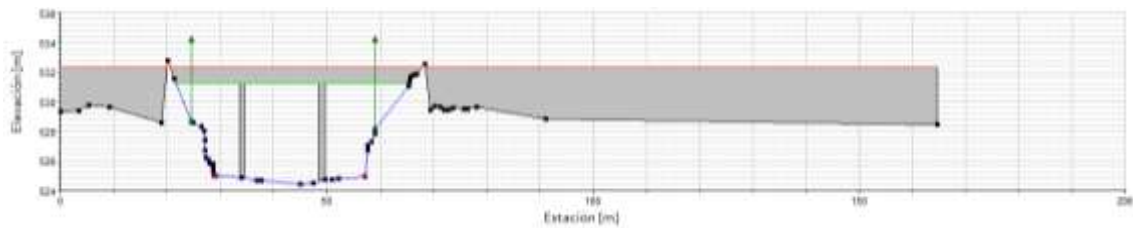


Figura V.7. Esquema del puente de la calle Cleto Peña.

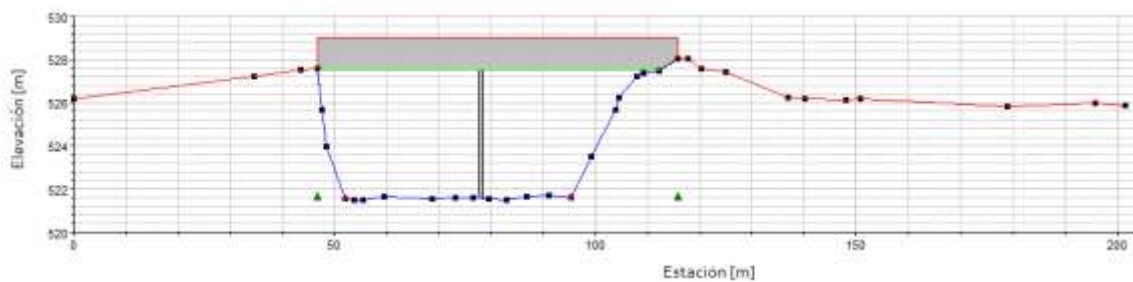


Figura V.8. Esquema del puente del Ferrocarril.

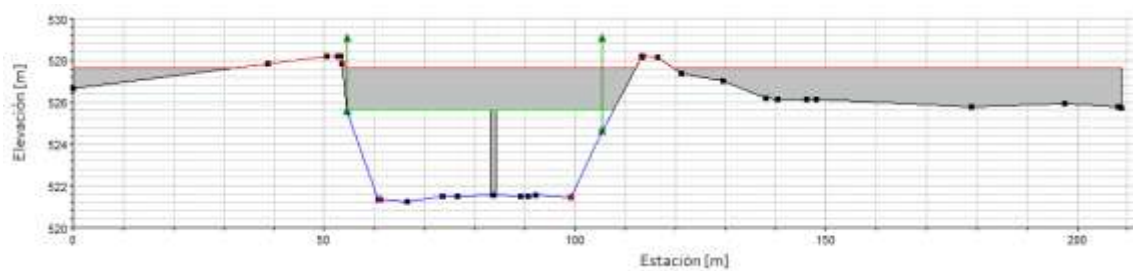


Figura V.9. Esquema del puente de la calle José Hernández.

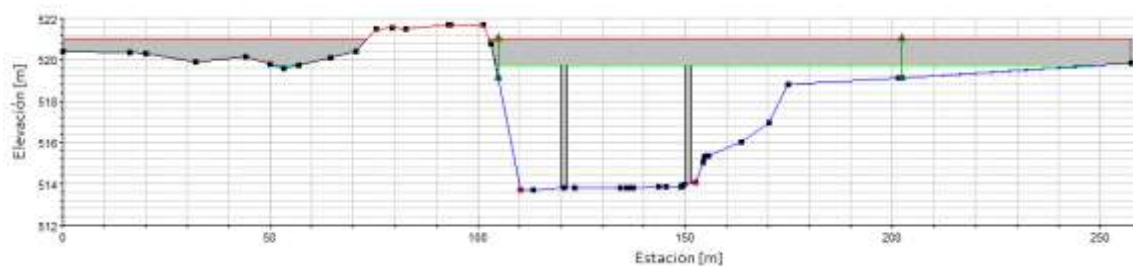


Figura V.10. Esquema del puente de la Ruta Nacional 9.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 25 de 104
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 cuanto a las protecciones de márgenes existentes en la actualidad fueron consideradas las registradas en el SIG de la página de la Municipalidad de Jesús María, corroborando dicha información mediante las imágenes tomadas con drone, obteniéndose las ubicaciones y extensión de los gaviones colocados sobre las márgenes del río (ver Figura V.10).

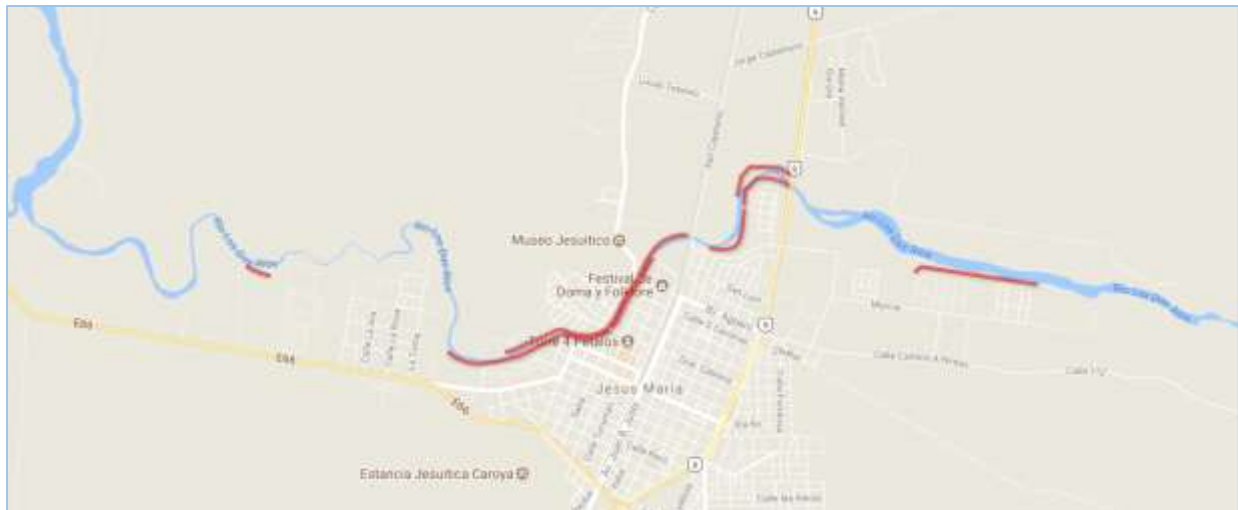


Figura V.10. Vista en plata del Río Guanusacate, ubicación de los gaviones sobre las márgenes en el tramo del río que pasa por la localidad de Jesús María (Fuente: Municipalidad de Jesús María).

V.1.c. Condiciones de Borde:

Para resolver las ecuaciones de continuidad y momentum en el tramo de modelación se requiere definir las condiciones de borde a aplicar al modelo, es decir el tirante aguas abajo, si el régimen es subcrítico; el tirante aguas arriba, si el régimen es supercrítico y si el flujo es mixto se requiere definir tanto el nivel de aguas abajo como el de aguas arriba.

Para realizar las modelaciones hidráulicas se definieron las condiciones tanto aguas abajo como aguas arriba aplicando el tirante normal para cada sección con su respectiva pendiente. A las que se le requiere ingresar como información la pendiente de dicha sección para que el programa pueda calcular el tirante normal. Los valores de pendientes de la línea de energía ingresados para condiciones de borde se obtuvieron en base a la topografía provista (ver Tabla V.1), es decir que se asumió aquí que la pendiente de la línea de energía es igual a la pendiente topográfica.

Tabla V.1. Valores de pendiente de fondo en las secciones aguas arriba y abajo del modelo 1D.

Sección	Pendiente de Fondo [%]
Aguas Arriba	1.01
Aguas Abajo	0.29

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 26 de 104
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.d. Coeficiente de Rugosidad de Manning

Para definir los valores de rugosidad "n" utilizados para simular la resistencia al flujo del fondo y de las márgenes se tiene en cuenta que la rugosidad de las planicies de inundación es mayor a la del canal. Se realizó una primera aproximación al valor de la rugosidad a través de expresiones analíticas, según tablas propuestas por la bibliografía; posteriormente se realiza un ajuste del mismo, en función de la información obtenida en un evento de calibración.

Según la fórmula de Cowan (Chow, V. T et al., 1994), el valor de "n" para el cauce puede calcularse como:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Donde

n_0 es un valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados,

n_1 es un valor que debe agregarse al n_0 para corregir el efecto de las rugosidades superficiales,

n_2 es un valor para considerar las variaciones de forma y tamaño de la sección transversal del canal,

n_3 es un valor para considerar las obstrucciones,

n_4 es un valor para considerar la vegetación y las condiciones de flujo, y

m_5 es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal.

Los valores adoptados para calcular la primera aproximación del n de Manning fueron:

$$n_0 = 0.020$$

$$n_1 = 0.005$$

$$n_2 = 0.000$$

$$n_3 = 0.015$$

$$n_4 = 0.005$$

$$m_5 = 1.150$$

$$n = (0.024 + 0.005 + 0.000 + 0.015 + 0.005)1.150$$

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 27 de 104
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		

Para definir el "n" en las planicies de inundación se utilizó valores tabulados donde se presentan los valores para diferentes tipos de llanuras de inundación. Se adoptó un valor de $n=0.06$ correspondiente a Maleza ligera y árboles, en verano.

Mientras que en las zonas en las que existen gaviones, según manuales de Maccaferri, el valor del "n" para canales revestidos con gaviones llenados con material de cantera no seleccionado, tiene un valor de $n=0.027$.

Para realizar la calibración de n y la modelación matemática de un tramo del río, se requiere información propia del sistema, de manera que este represente las características del flujo en estudio. Es necesario conocer sus velocidades, caudales y alturas del pelo de agua. Esta información permitirá ajustar el parámetro de rugosidad del modelo hidráulico, hasta que represente lo que ocurre en esos eventos y una vez calibrado, será posible realizar otras corridas con diferentes caudales.

Con el fin de validar los modelos hidrológicos y los parámetros hidráulicos del río Guanusacate se recurrió a registros en video de distintas crecidas para la aplicación de la técnica de velocimetría por imágenes de partículas a gran escala (LSPIV). La misma permite cuantificar el escurrimiento superficial de un evento registrado en un video digital.

Técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas a gran escala (LSPIV)

La velocimetría por imágenes de partículas LSPIV (Patalano A., et al, 2013) es una de las técnicas más recientes que permite determinar el campo de velocidad del flujo. Es una técnica de medición no intrusiva (no perturban el flujo) que permite obtener el campo de velocidades del flujo de manera instantánea.

La técnica se basa en el desplazamiento de partículas propias del flujo en el fluido estudiado. A partir de dos imágenes sucesivas de la posición de las partículas, se puede determinar su desplazamiento. Conociendo el tiempo transcurrido entre dos fotogramas, se determina la velocidad de las partículas que se obtiene como cociente entre el desplazamiento medido y el intervalo de tiempo seleccionado. Dentro de un número de posiciones en el área de interés se encuentran dos componentes de la velocidad. De esta forma, se puede disponer de una medida fiable reduciendo el tiempo de operación y consiguientemente los costes de experimentación.

La metodología requiere de ciertos cuidados a la hora del Registro de los videos: La grabación debe hacerse sin movimientos bruscos, se debe tomar todo el ancho del curso de agua y deben incluirse en el enfoque de la filmación 4 puntos de referencia para realizar rectificaciones.

Para la obtención de caudales es necesarios realizar una batimetría de la sección analizada.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 28 de 104
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		

Evento registrado

Fueron analizados más de una decena de videos publicados en la web, de los que fue seleccionado aquel que cumplía con los requerimientos especificados de la técnica de velocimetría.

El video analizado fue registrado aguas abajo del puente Colón el 3 de marzo del 2015, no precisándose el horario del mismo y si bien no hay registro de si fue en condiciones de crecida o bajante, la resaca observada en la imágenes podría ser un indicio de estar ubicados en la curva de recesión del hidrograma de la crecida respectiva. (Figura V.11.)

Del tiempo total de filmación, solo 14 segundos del video fueron útiles para la aplicación de la técnica, siendo recomendable tener videos de al menos 30 segundos de duración para disminuir la incertidumbre en la estimación de las velocidades.



Figura V.11. Ubicación de la secciones de medición en la que se implementa la técnica LSPIV.

Resultados obtenidos del momento registrado

Se analizó el video con la herramienta PIVlab (Thielicke & Stamhuis, 2010), donde se definió el campo de velocidades superficiales del flujo, sin su correspondiente rectificación (Figura V.12.)

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 29 de 104
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		

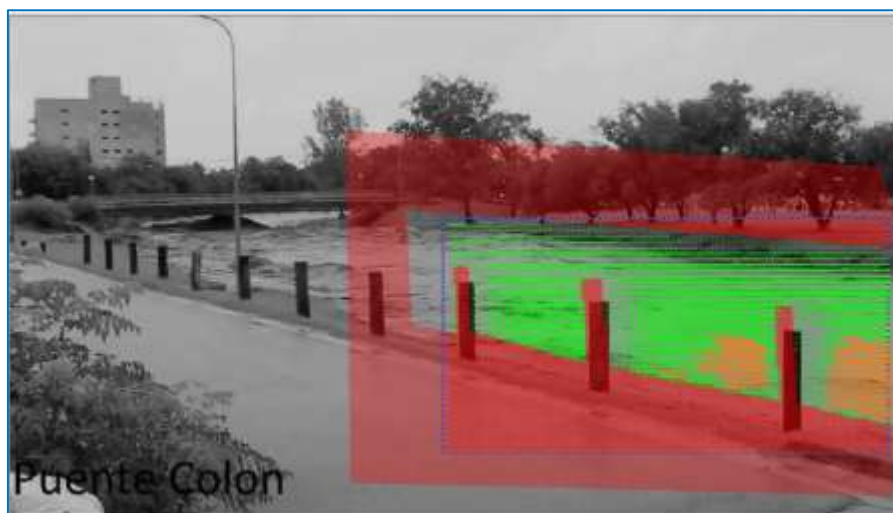


Figura V.12. Resultados del procesamiento del video con PIVlab.

Posteriormente, se procedió a rectificar los resultados obtenidos del procesamiento del video con PIVlab, para ello se empleó la herramienta computacional RIVeR (Patalano, A., & García, C. M., 2016), en la Figura V.13 se muestran las longitudes ingresadas para la rectificación de los resultados.

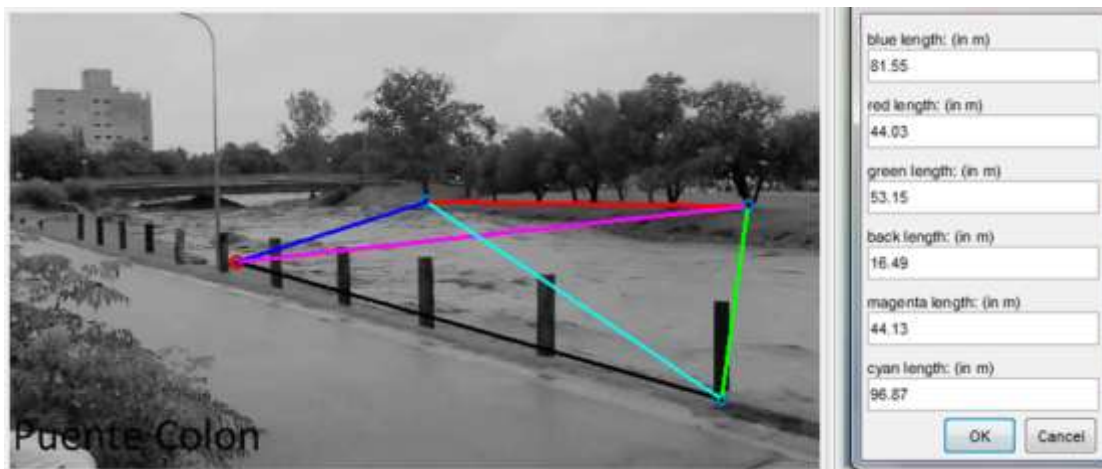


Figura V.13. Resultados del procesamiento del video con PIVlab.

Con la batimetría de la sección analizada se estimó que la elevación del pelo de agua de 530.33m y un ancho de 38.9m, durante los segundos que dura la grabación.

Se rectificaron los resultados obteniéndose las velocidades superficiales a lo largo de la sección transversal. El valor medio de estas fue de 2.4m/s, tomando como valor máximo 3.5m/s, observando que los valores mínimos se encuentran en las márgenes y en el centro debido a los

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 30 de 104
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		

efectos de la pila del puente. Con dichos valores estimados, para el instante de registro del video analizado, el caudal escurrido superficial fue de $206\text{m}^3/\text{s}$, con una profundidad media de 2.54m , un ancho de boca de 38.92m y una velocidad media en la sección de 2.1m/s . A continuación en la Figura IV.13 se muestra la batimetría de la sección de análisis, las velocidades superficiales y las velocidades medias.

Finalmente, en base a la información obtenida del evento, la topografía, las diferentes estructuras hidráulicas existentes sobre el río y los valores de rugosidad obtenidos de la bibliografía, se realizó una corrida del modelo con el caudal de $206\text{m}^3/\text{s}$ (caudal del momento registrado).

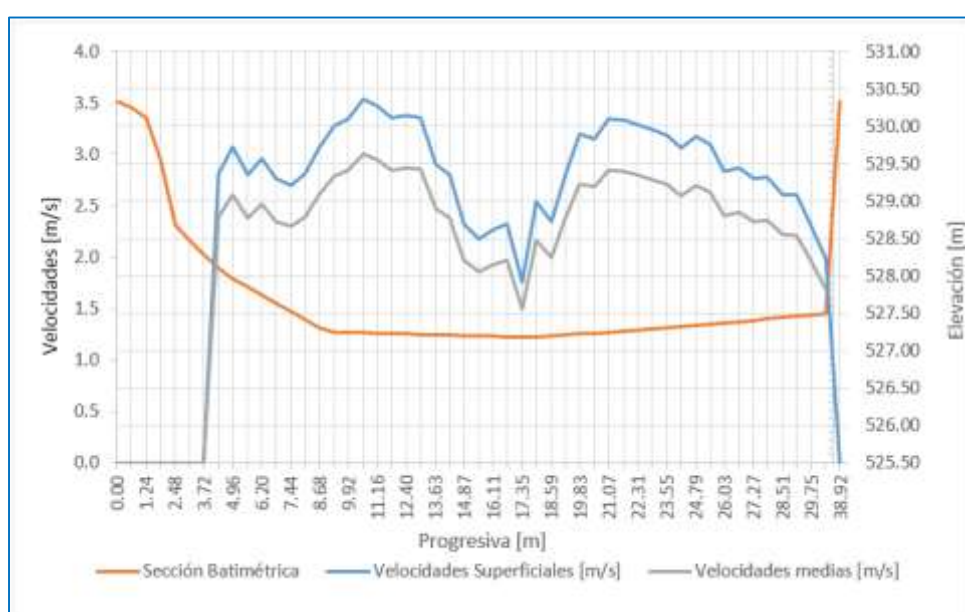


Figura V.13. Batimetría de la sección y velocidades superficiales y medias obtenidas del procesamiento.

Dadas las particularidades del evento registrado, nivel que toma el pelo libre es de 2.54m (530.3msnm), y la velocidad media es de 2.1m/s . Se ajustaron los valores de rugosidad del cauce y las márgenes con gaviones, estos se ajustaron hasta obtener los mismos niveles y velocidades medidos. A continuación se presentan los valores de rugosidad empleados en la modelación 1D:

Tabla V.2. Valores de rugosidad empleados en la modelación 1D.

Descripción	n
Cauce	0.057
Gaviones	0.048
Márgenes	0.060

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 31 de 104
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.e. Caudales de Diseño

Los caudales de diseño fueron obtenidos con información pluviométrica recopilada previamente y desarrollados mediante la metodología de cálculo propuesta por el modelo DIT (Caamaño Nelli y García en 1999), utilizando patrones de hietogramas de tipo Ordenamiento de Intervalos en sextiles para realizar la distribución temporal de las láminas (Caamaño Nelli, Dasso, 2003) y el modelo CoDA para su distribución espacial. Habiendo incorporado la información procesada y luego de haber calibrado los modelos hidrológicos, con los datos disponibles, se realizaron simulaciones para duraciones y recurrencias establecidas, estimando hidrogramas de diseño a la entrada de Jesús María. La metodología y los resultados están plasmados en el Primer y Segundo informe de avance Estudio geo-hidrológico del Río Guanuscate en su paso por el área urbana de Jesús María (INA- CIRSA, marzo 2017 y julio 2017) los cuales han sido entregados en tiempo y forma al municipio.

En la Tabla V.3. se muestran los valores obtenidos previamente:

Tabla V.3. Caudales para diferentes recurrencias (T)

T [años]	Caudales [m ³ /s]
5	643.9
10	798.2
25	993.6
50	1138.3
100	1281.5

V.1.f. Escenarios de simulación

Los escenarios de modelación propuestos persiguieron dos objetivos, uno el de simular los efectos que tienen los gaviones en los tirantes y velocidades, el otro estimar las líneas de inundación para diferentes recurrencias. Con la finalidad de observar los efectos que tienen los gaviones en el flujo del tramo de río analizado en la modelación unidimensional, se propusieron dos escenarios:

- **Escenario 1:** se modela el *cauce* con una rugosidad de $n = 0.057$ y las *márgenes* con $n = 0.06$, estas rugosidades permiten simular la condición del flujo **sin los gaviones**.
- **Escenario 2:** se modela el *cauce* con una rugosidad de $n = 0.057$ y las *márgenes* con $n = 0.048$, estas rugosidades permiten simular la condición del flujo **con los gaviones**.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanuscate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 32 de 104
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		

Para cada uno de los escenarios se modelaron los caudales asociados a recurrencias de 5 a 25 años (ver Tabla V.3). Cabe aclarar, que no se modelaron caudales de recurrencia mayores, con el modelo unidimensional, debido a que las secciones transversales de la topografía no son suficientemente anchas no siendo representativa el área de inundación.

V.1.g. Resultados del Modelo Unidimensional

Escenario 1

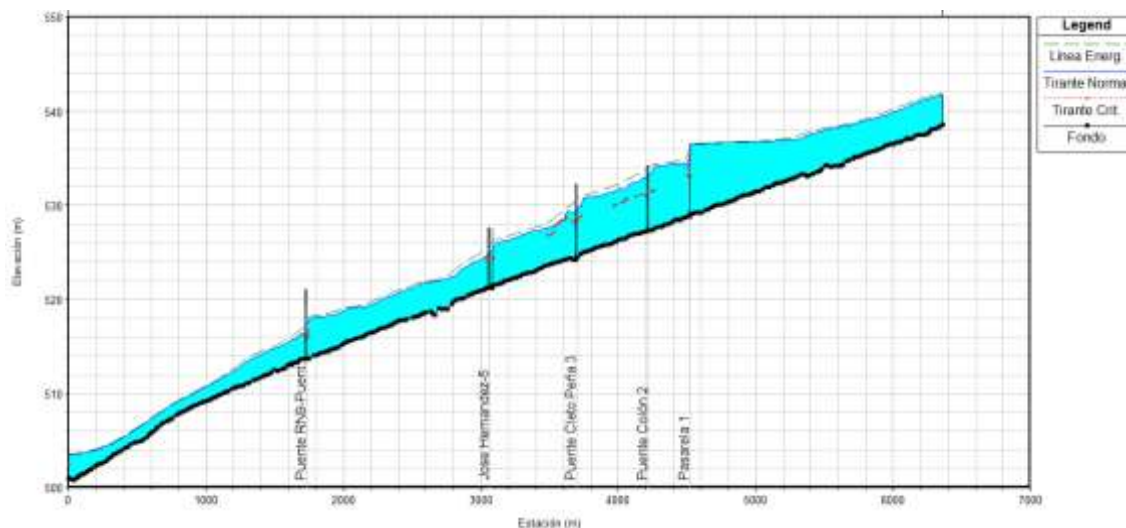


Figura V.14. Perfil longitudinal para T= 5 años

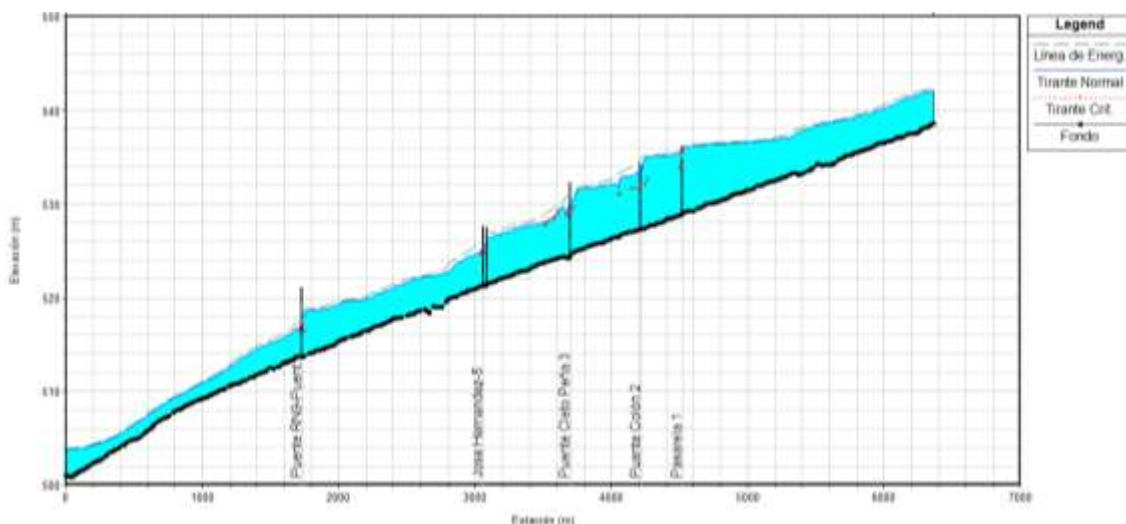


Figura V.15. Perfil longitudinal para T= 10 años

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 33 de 104
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		

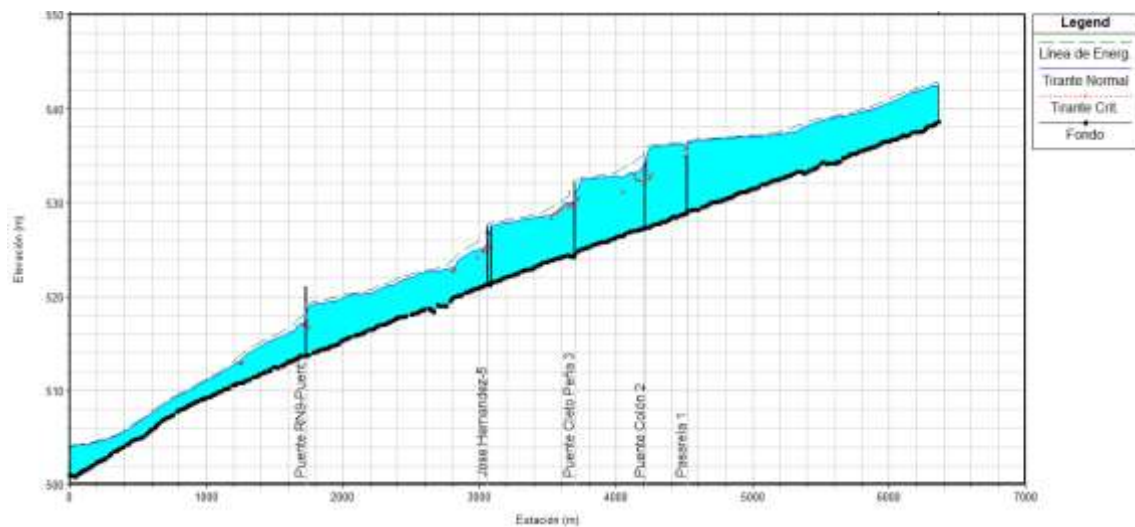


Figura V.16. Perfil longitudinal para T= 25 años

Escenario 2

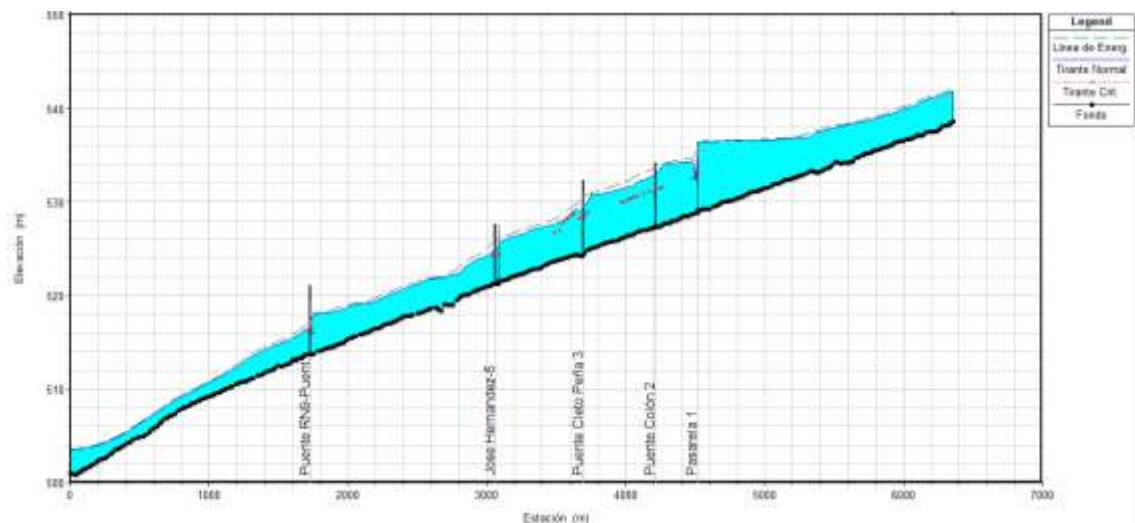


Figura V.17. Perfil longitudinal para T= 5 años

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 34 de 104
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		

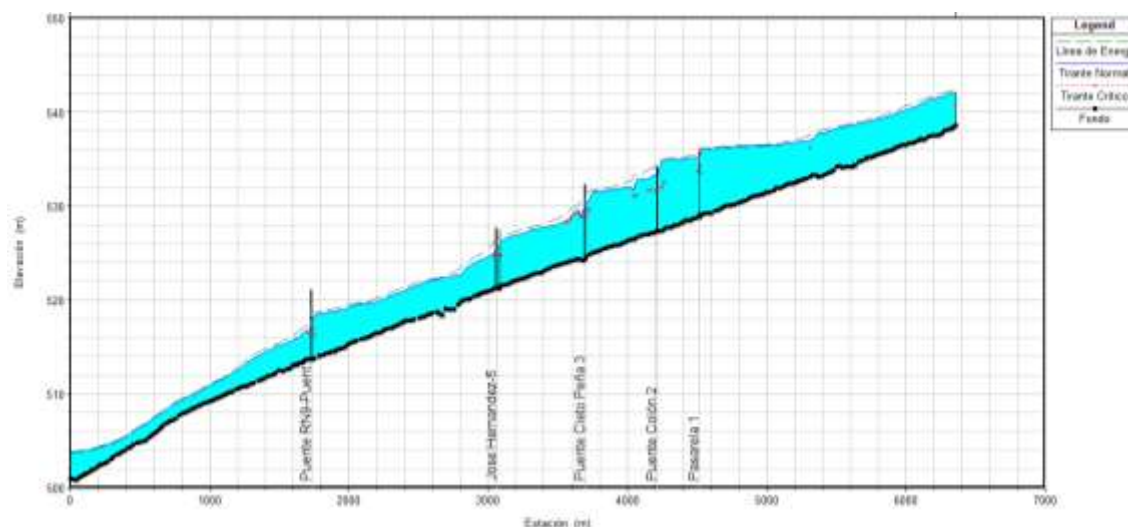


Figura V.18. Perfil longitudinal para T= 10 años

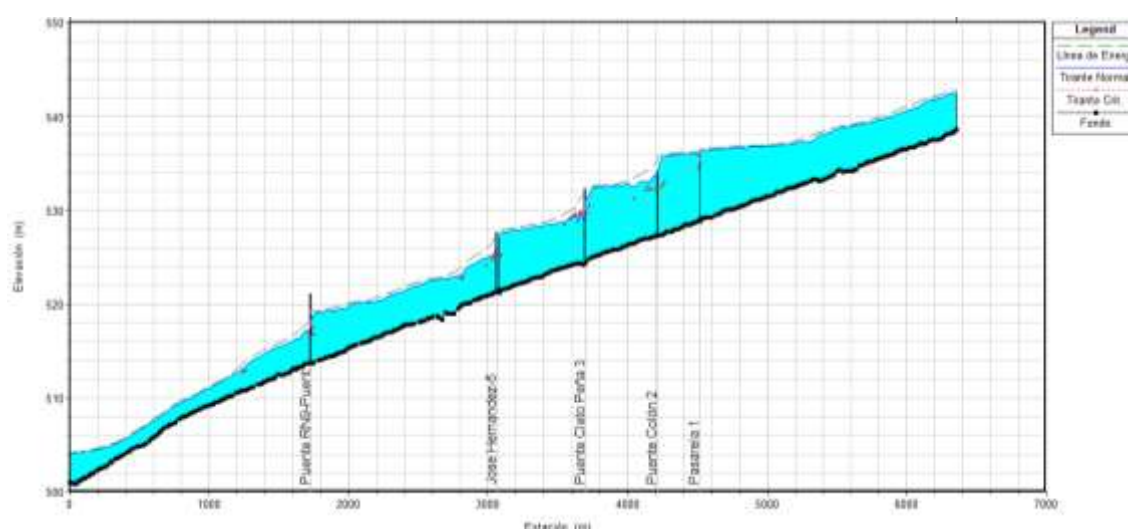


Figura V.19. Perfil longitudinal para T= 25 años

De la observación de los perfiles longitudinales del río, extraídos del modelo unidimensional, se pueden establecer las recurrencias en las que el tirante alcanza el nivel de tablero (verde) y en la que se produce un sobrepaso del puente (rojo), esta información se muestra en la Tabla V.4.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 35 de 104
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. Niveles de Superficie de agua en los distintos puentes para las recurrencias analizadas.

Puente	Cotas [msnm]		Recurrencia [años]	Nivel de Superficie del Agua [msnm]	
	Inferior	Superior		Escenario 1	Escenario 2
Pasarela	533.09	534.84	5	534.8	534.8
			10	535.6	535.5
			25	536.3	536.1
Colón	532.63	534.13	5	533.1	532.9
			10	533.4	533.3
			25	534.9	534.1
Cleto Peña	531.21	532.31	5	529.5	529.4
			10	529.9	529.9
			25	529.9	529.9
FF.CC	527.52	529.02	5	525.6	525.4
			10	526.1	525.9
			25	527.5	527.0
José Hernandez	525.62	527.62	5	524.9	524.9
			10	525.3	525.3
			25	525.8	525.8
Ruta N°9	519.34	521.04	5	516.8	516.8
			10	517.2	517.2
			25	517.7	517.6

Los resultados obtenidos en la

Tabla V.4. Niveles de Superficie de agua en los distintos puentes para las recurrencias analizadas.. Se puede observar que la existencia de los gaviones disminuye los tirantes, dado que la rugosidad del mismo es menor, además de proteger las márgenes contra la erosión. También se observa que en la Pasarela se tiene sobrepasos para bajas recurrencias (T=10 años); en el puente Colón, se generan sobrepasos a partir de caudales de 25 años de recurrencia. En los demás puentes no se observan sobre pasos, sino que para el puente Ferroviario y José Hernandez se alcanza el nivel inferior del tablero para los caudales de 25 años de recurrencia.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 36 de 104
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		

Finalmente en el puente de la Ruta Nacional N°9, los caudales simulados no alcanzaron el nivel inferior del puente, pero se debe evaluar específicamente las velocidades que alcanza el flujo a la salida de la curva, dado que el mismo ha fallado anteriormente, a causa de la erosión en el estribo izquierdo (norte). Esto podrá visualizarse con mayor representatividad en el modelo bidimensional desarrollado a continuación.

V.2.- MODELACIÓN HIDRÁULICA BIDIMENSIONAL

La modelación bidimensional (2D) realizada para el tramo del río que va desde su nacimiento (confluencia de los ríos Ascochinga y Santa Catalina), su paso por la localidad de Jesús María, hasta aguas debajo de la planta de cloacas de dicha localidad (ver Figura V.20). Su función fue obtener los niveles y velocidades medias en la sección en dicha zona. Las limitaciones actuales del modelado 2D en HEC-RAS son:

- Falta de flexibilidad para la inclusión de estructuras hidráulicas internas al área de estudio
- No es posible modelar procesos de erosión/sedimentación en el área de estudio.
- No es posible modelar procesos de transporte de contaminantes en el área de estudio.
- No es posible conectar estaciones de bombeo directamente a celdas del área de estudio.
- No es posible modelar puentes dentro del área de estudio.



Figura V.20. Ubicación del área de estudio.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 37 de 104
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.2.a. Información topográfica

Para poder realizar la modelación bidimensional con HEC-RAS, se requiere de un modelo digital de elevación (MDE) que brinde información de los niveles dentro del área de estudio. Para ello, se empleó un modelo desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), obtenido a partir de vuelos aerofotogramétricos llevados a cabo con el siguiente equipamiento: a) una cámara digital Vexcel UltraCamXp; b) un sistema de navegación GNSS; y c) un sistema inercial IMU. El IGN ha desarrollado una línea de producción que le permite la determinación precisa de los parámetros de orientación externa de los fotogramas, la aerotriangulación por haces de rayos, y finalmente, la generación de un MDE. Los MDE distribuidos por el IGN tienen una resolución espacial de 5m y una precisión vertical submétrica.

Cabe aclarar, que la precisión del modelo radica fundamentalmente en la precisión del MDE, para obtener un mayor precisión en el mismo, se realizó una unión del MDE provisto por el ING y el MDE generado a través de la información topográfica existente (ver Figura V.21.).

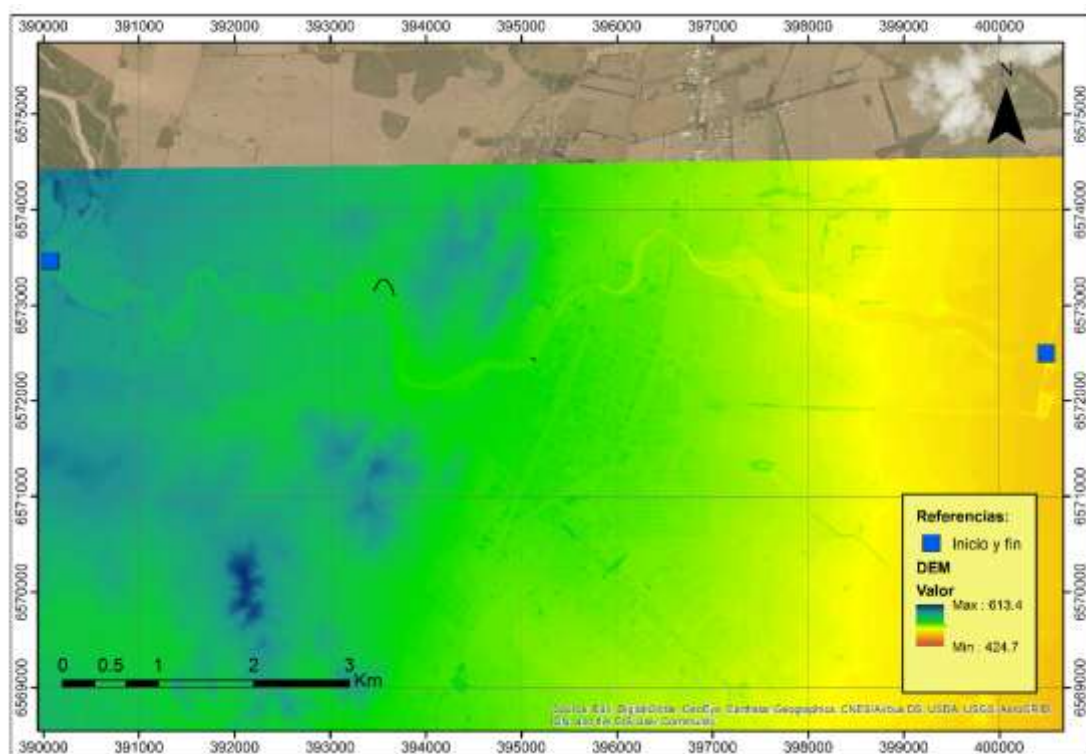


Figura V.21. Modelo digital de elevación del área de estudio.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 38 de 104
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.2.b. Condiciones de Borde

De igual manera que en modelo unidimensional se definieron las condiciones tanto aguas abajo como aguas arriba aplicando el tirante normal para sección aguas abajo, y el hidrograma de ingreso al modelo para la condición aguas arriba.

La diferencia radica en la condición de borde de aguas arriba donde debe ingresarse el hidrograma de crecida correspondiente a cada uno de los tiempos de recurrencia analizados, dado que se requiere para correr el modelo bidimensional simular un flujo no estacionario.

V.2.c. Coeficiente de Rugosidad de Manning

Dadas las características del modelo 2D, al momento de ingresar la rugosidad de las diferentes áreas que componen el área de estudio, se requiere ingresar dicha información en un archivo vectorial georreferenciado (ver Figura V.21). Los valores de rugosidad correspondiente al cauce, fueron ajustados en base al evento registrado, en el que se realizaron una serie de corridas del modelo hasta obtener el valor de rugosidad que mejor ajusta a las condiciones relevadas (ver Figura V.23).

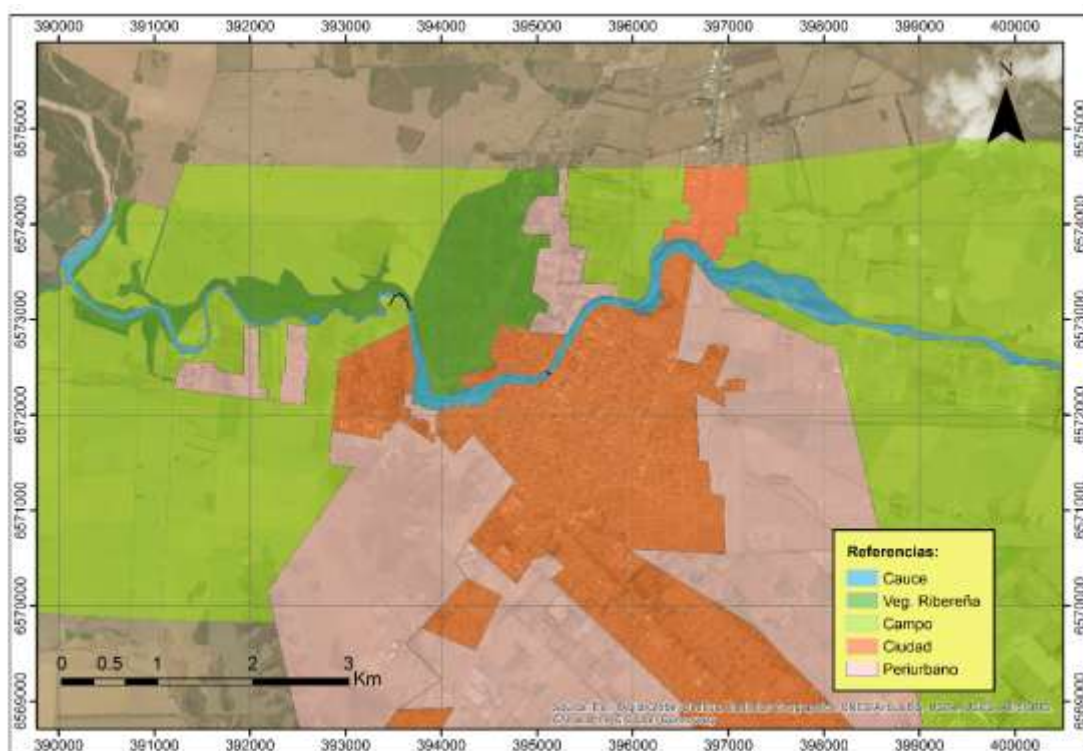


Figura V.22. Mapa de clasificación de usos de suelo.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 39 de 104
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		

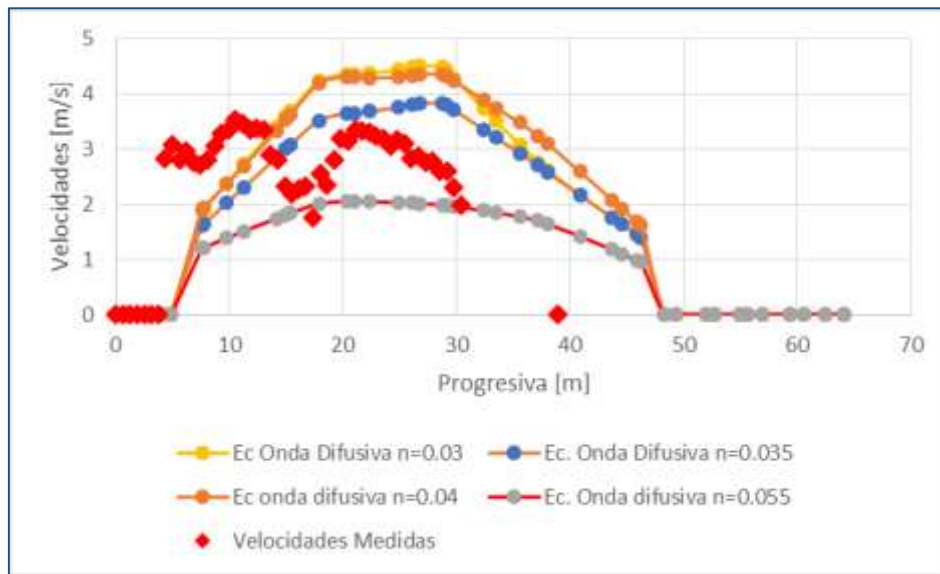


Figura V.23. Perfil de velocidades medias en la sección de control.

En la siguiente tabla se muestran los valores medios de velocidades medidas en el evento y las obtenidas en el modelo:

Tabla V.5. Velocidades obtenidas del modelo y medidas en el evento.

	Modelo HEC-RAS 2D				Evento
	n=0.03	n=0.035	n=0.04	n=0.055	
Velocidad máxima[m/s]	4.5	3.8	4.4	2.1	3.0
Velocidad media [m/s]	2.0	1.7	2.0	1.0	2.1
Velocidad mínima [m/s]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
T [m]	38.7	38.7	38.7	38.7	38.9

En base a lo expresado en la Figura V.23 y la Tabla V.6, se decidió emplear como valor de rugosidad para el cauce 0.035, mientras que a los demás usos de suelo los valores de rugosidad fueron obtenidos en base a lo que se recomienda en la bibliografía como se muestra a continuación:

Tabla V.6. Valores de n de Manning para los distintos usos de suelo

Uso de Suelo	Valor de n de Manning
Cauce	0.035
Vegetación Rivereña	0.070
Campo	0.055
Ciudad	0.100
Periurbano	0.080

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 40 de 104
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.2.d. Escenarios de Simulación

Se realizaron simulaciones para cada recurrencia analizada (5, 10, 25, 50 y 100 años), de los que se obtuvieron valores de velocidad correspondientes a cada una de dichas simulaciones y valores de elevación de la superficie de agua. Además, se realizó un análisis detallado de 8 secciones de interés hidráulico (ver Figura V.23), de las que se obtuvieron los perfiles de velocidades y la elevación de la superficie de agua.

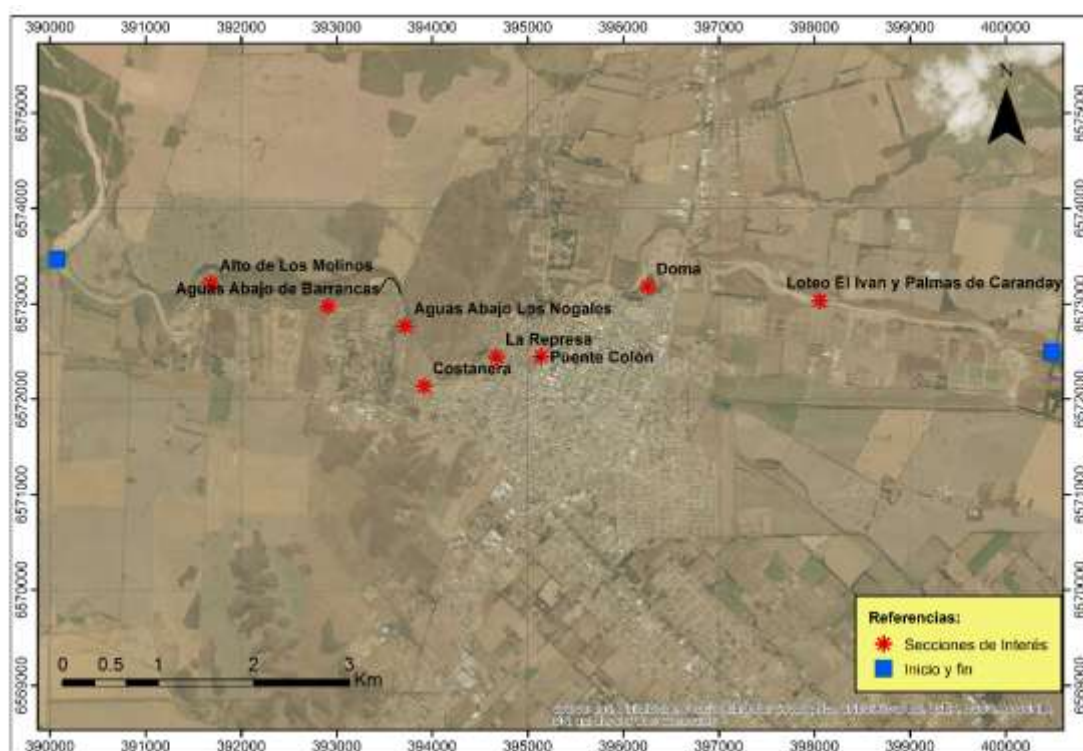


Figura V.23. Localización de las secciones de interés hidráulico y su respectiva denominación.

V.2.e. Resultados del Modelo Bidimensional

A continuación en las Figuras V.24 a V.33 se muestran las salidas del modelo correspondientes a la distribución de velocidades máximas medias y los niveles de la superficie del agua máximos (elevaciones en msnm) para las simulaciones realizadas para todos los escenarios, en el cauce del río Guanacaste en su paso por el área urbana de Jesús María. El rango de velocidades máximas medias está comprendido entre 0 m/s (azul oscuro) y 6 m/s (rojo intenso) correspondiente a algunas celdas aisladas en puntos críticos. Los mismos son analizados más adelante con mayor definición.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 41 de 104
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		

Simulación de caudales correspondiente a lluvias con T= 5 años

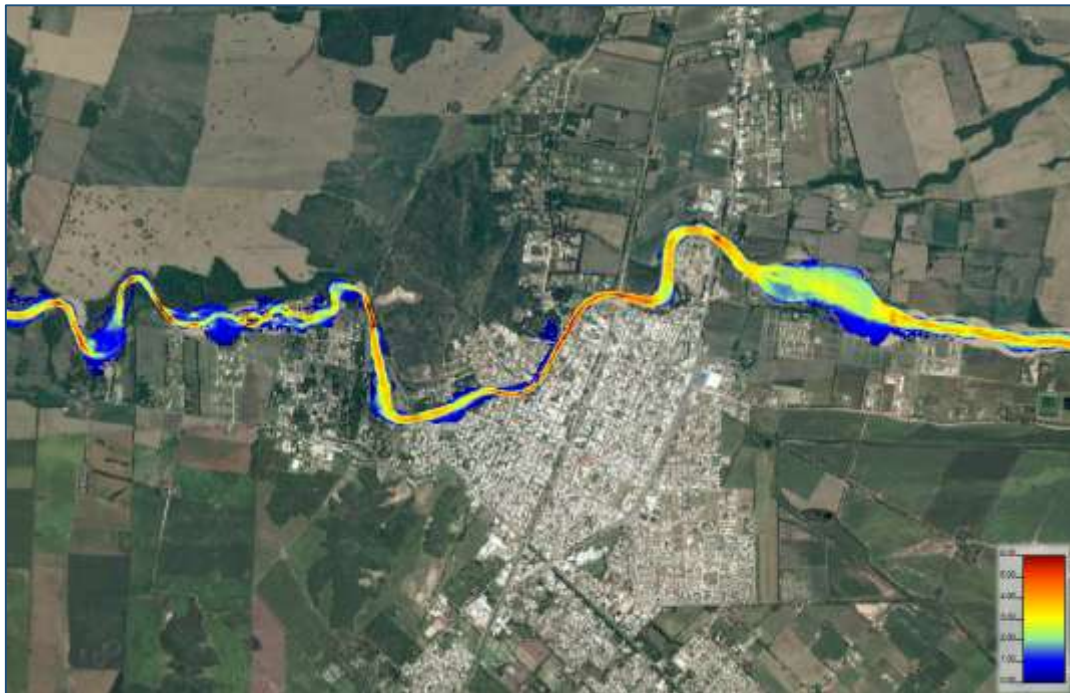


Figura V.24. Velocidades máximas medias correspondientes a la simulación del caudal asociado a T=5 años



Figura V.25. Elevación máxima de la superficie de agua correspondiente a la simulación del caudal asociado a T=5 años

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 42 de 104
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		

Simulación de caudales correspondiente a lluvias con T= 10 años

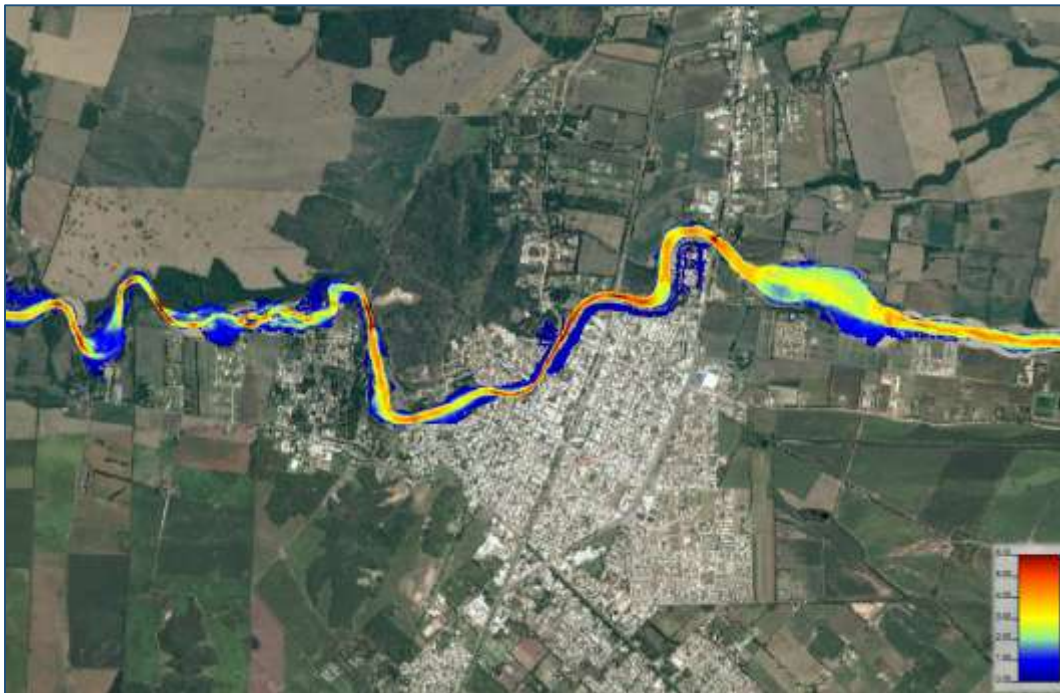


Figura V.26. Velocidades máximas medias correspondientes a la simulación del caudal asociado a T= 10 años



Figura V.27. Elevación máxima de la superficie de agua correspondiente a la simulación del caudal asociado a T= 10 años

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 43 de 104
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		

Simulación de caudales correspondiente a lluvias con T= 25 años

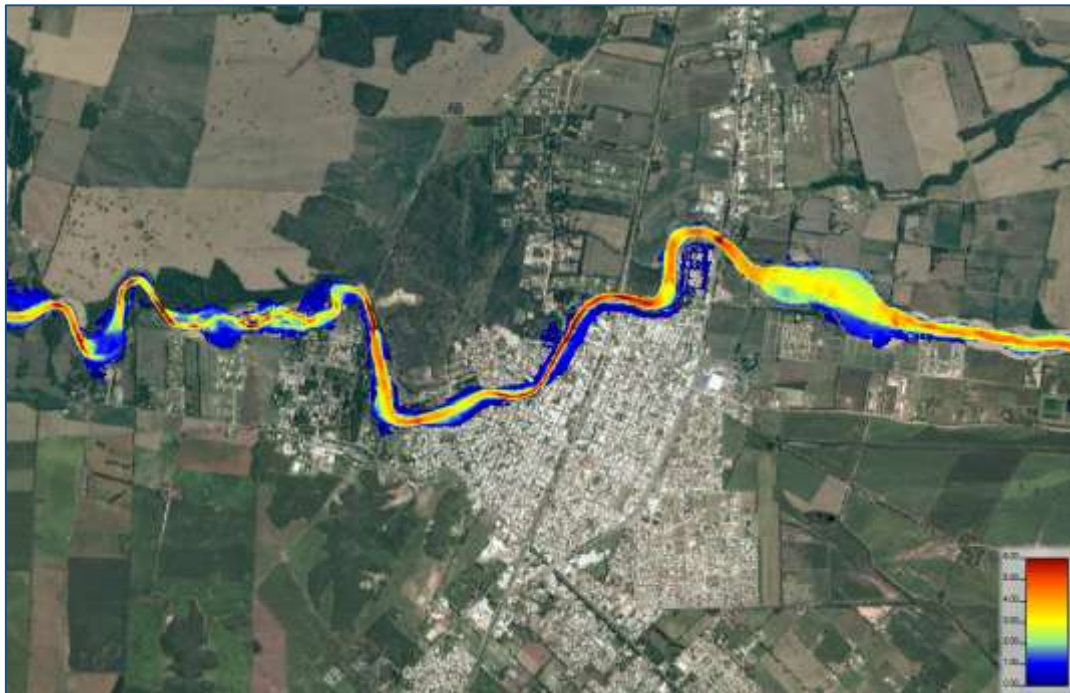


Figura V.28. Velocidades máximas medias correspondientes a la simulación del caudal asociado a T= 25 años



Figura V.29. Elevación máxima de la superficie de agua correspondiente a la simulación del caudal asociado a T= 25 años

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 44 de 104
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		

Simulación de caudales correspondiente a lluvias con T= 50 años

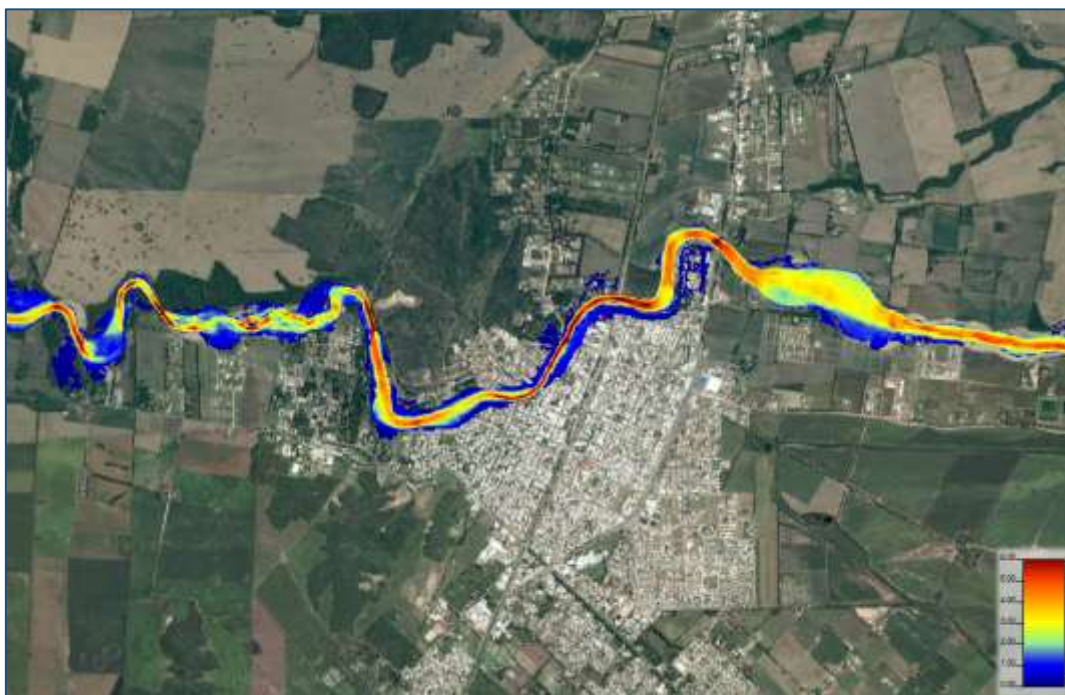


Figura V.30. Velocidades máximas medias correspondientes a la simulación del caudal asociado a T=50 años



Figura V.31. Elevación máxima de la superficie de agua correspondiente a la simulación del caudal asociado a T=50 años

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 45 de 104
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		

Simulación de caudales correspondiente a lluvias con T= 100 años

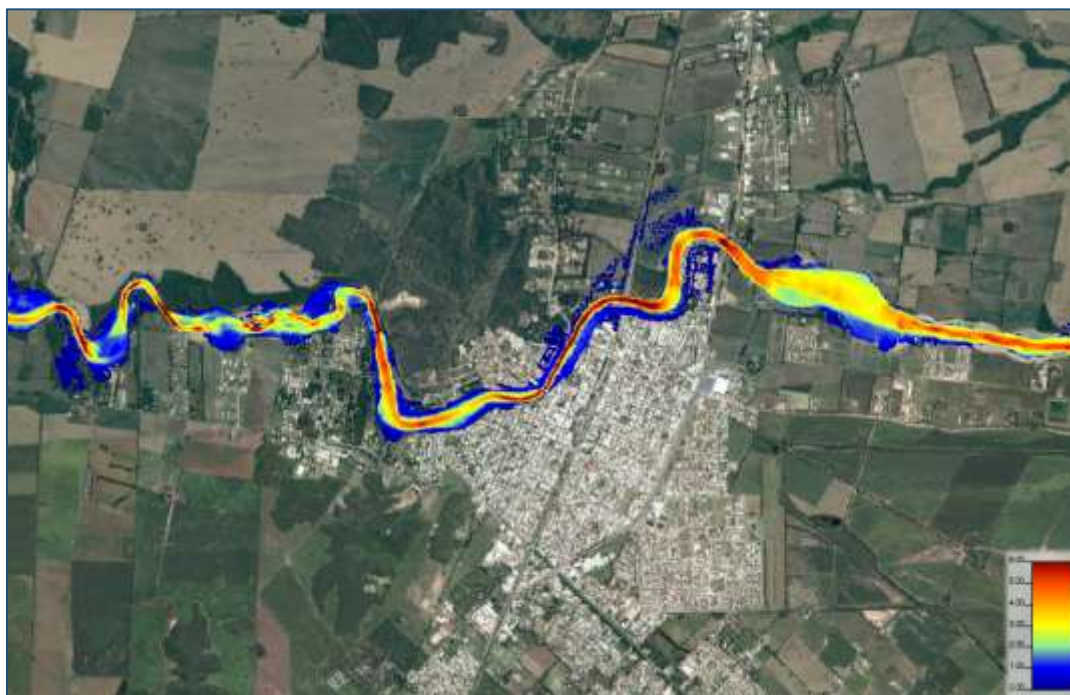


Figura V.32. Velocidades máximas medias correspondientes a la simulación del caudal asociado a T= de 100 años



Figura V.33. Elevación máxima de la superficie de agua correspondiente a la simulación del caudal asociado a T= 100 años

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 46 de 104
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		

Para el caso de todos los escenarios simulados, el modelo 2D no considera transporte de sedimentos y variaciones en el fondo del cauce, luego, como resultado de las altas velocidades en puntos críticos, muy probablemente se produzcan procesos de erosión de márgenes y socavación del lecho en los sectores donde el cauce se encuentra confinado. Esta situación, imposible de predecir con exactitud, cambiaría absolutamente la geometría y las condiciones de entrada al modelo. En ese caso es de esperar que las manchas de inundación sean menores e incluso en muchos sectores no se produzca desborde.

V.2.f. Análisis de Resultados del Modelo Bidimensional

A continuación se analizan mas detalladamente las distribuciones de velocidades para las recurrencias de 50 años en los tramos y sectores con mayores problemáticas.

(1) ALTO LOS MOLINOS- BARRANCAS

En la Figura V.34 pueden observarse las altas velocidades (rojo intenso) originadas en los tramos rectos aguas arriba del loteo de Alto de Los Molinos y aguas arriba del Country Barrancas lo que potencia la erosión en la cara externa de las curvas.

En cuanto a los desbordes, los mismos reflejan las situaciones ocurridas en el año 2015 tanto en Los Molinos como en Barrancas. Las zonas con azul más intenso denotan terrenos más bajos susceptibles de inundación, con las condiciones iniciales impuestas, aunque para el caso de recurrencias altas, como se dijo anteriormente la geometría del cauce sería distinta y consecuentemente los resultados del modelo.

En las Figuras V.35 y V.36 se detallan los resultados del modelo para las secciones para el caso de todos los escenarios de simulación, donde los perfiles de velocidades muestran los valores máximos en correspondencia con los mayores tirantes.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 47 de 104
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		

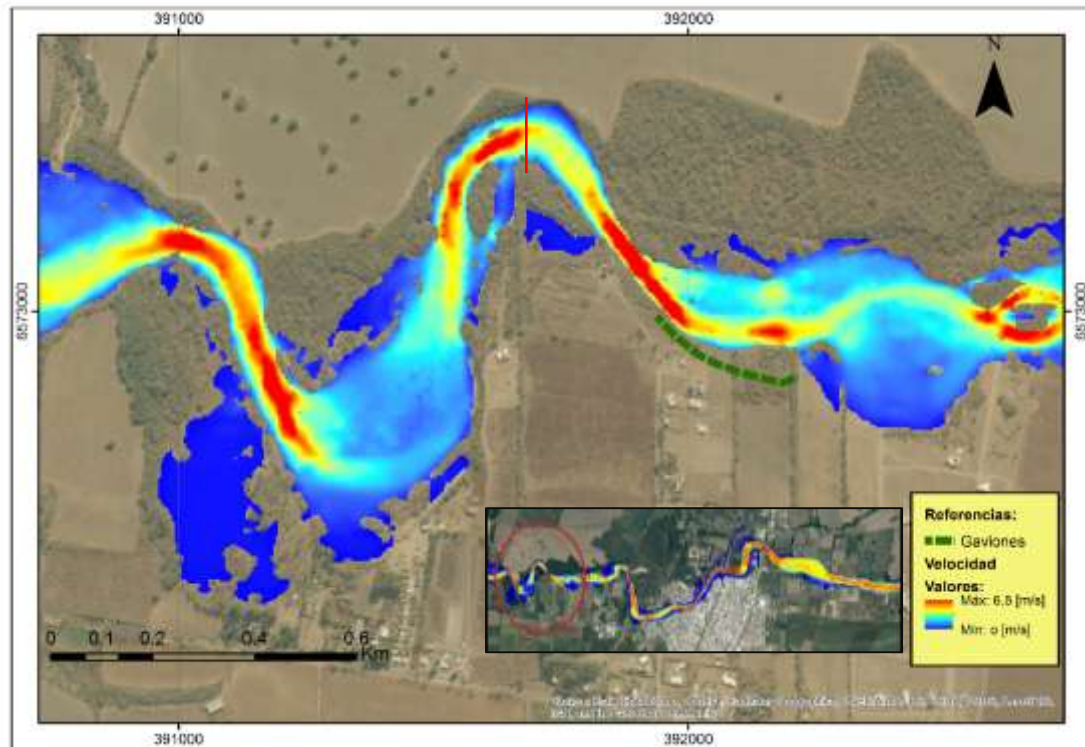


Figura V.34. Distribución de velocidades para la simulación de 50 años de recurrencia. Alto Los Molinos-Barrancas

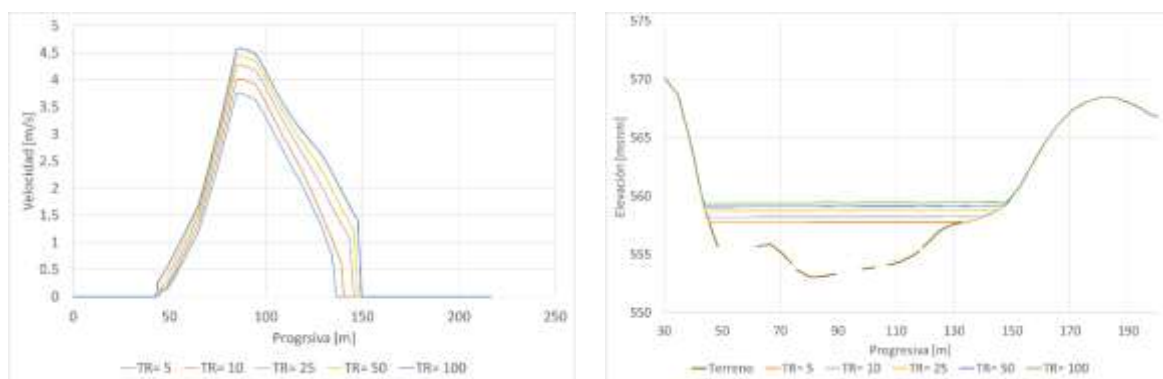


Figura V.35. Perfil de Velocidades (izquierda) y elevaciones de la superficie de agua (derecha) para las diferentes recurrencias, en la sección Alto de Los Molinos

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 48 de 104
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		

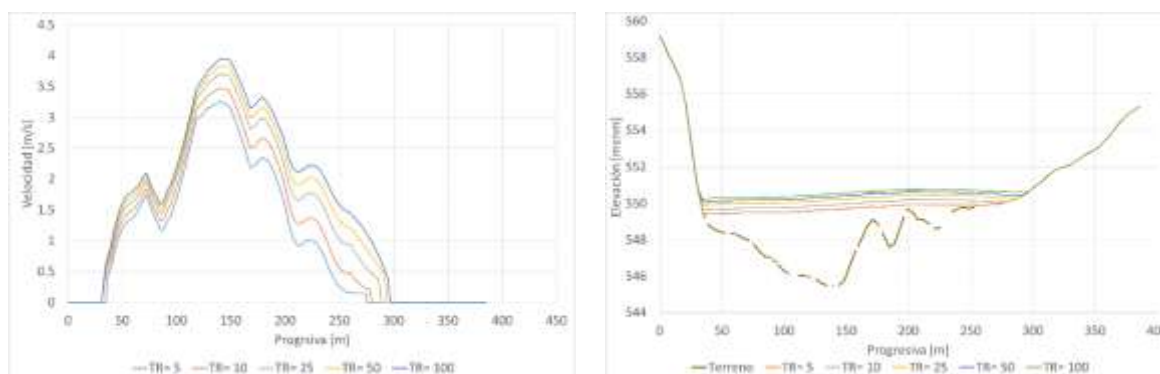


Figura V.36. Perfil de Velocidades (izquierda) y elevaciones de la superficie de agua (derecha) para las diferentes recurrencias, en la sección Aguas Abajo de Barrancas.

(2) LOS NOGALES – LAS VERTIENTES

Este sector presenta la particularidad de estar confinado en su margen izquierda por un macizo de origen granítico, lo que originó que en las crecidas del año 2015, debido a las altas velocidades que se producen en el tramo recto, se haya erosionado la margen derecha de dicho tramo aumentando consecuentemente su sección. De igual manera que en el caso anterior, estas velocidades extremas originaron erosión en la cara externa de la curva (margen derecha). En barrio Las Vertientes esta situación se agravó, ya que la erosión ocasionó el derrumbe de las viviendas ubicadas en la cara externa de la curva.

Actualmente, esta situación se ha aminorado con la colocación de gaviones para proteger dichas márgenes, aunque sería de esperar que el confinamiento en los bordes obligue al flujo a disipar parte de su energía erosionando el lecho en profundidad. (Figura V.37)

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 49 de 104
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		

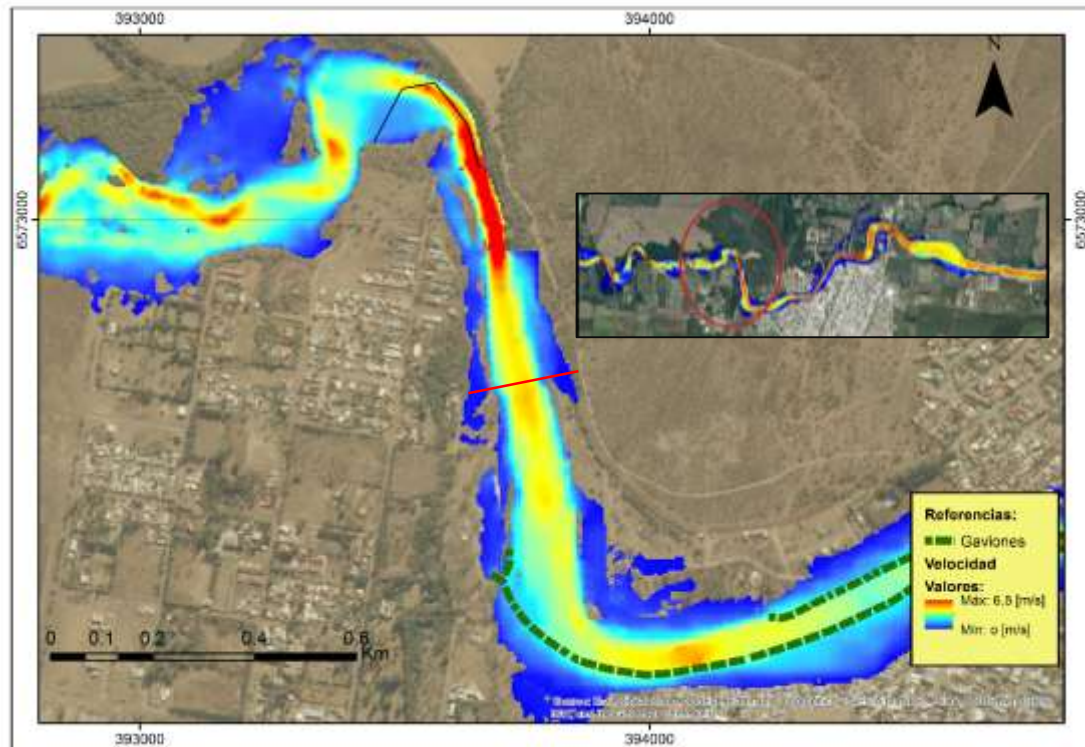


Figura V.37. Distribución de velocidades para la simulación 50 años de recurrencia. Los Nogales-Las Vertientes

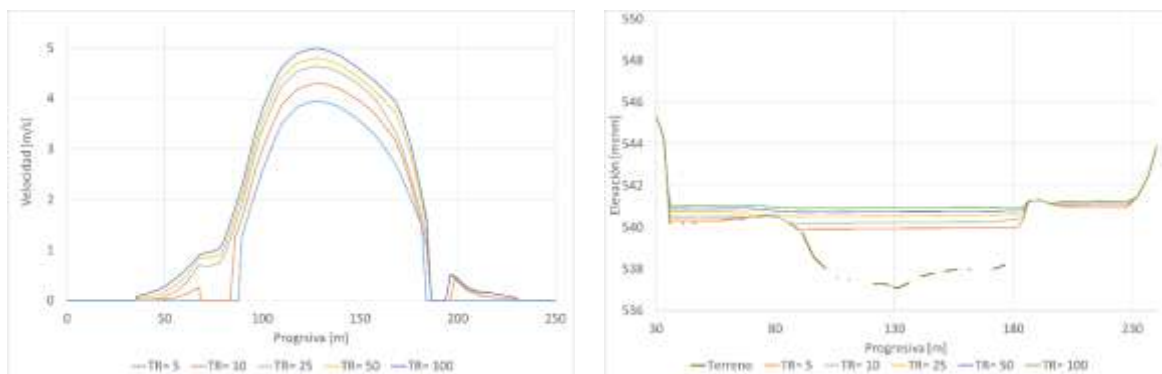


Figura V.38. Perfil de Velocidades (izquierda) y elevaciones de la superficie de agua (derecha) para las diferentes recurrencias, de la sección correspondiente a Aguas Abajo de Los Nogales.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 50 de 104
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		

(3) COSTANERA- PUENTE COLÓN

Este sector, al igual que en el caso de Costanera, se encuentra casi totalmente confinado. Las altas velocidades en este tramo ocasionaron la ruptura de la pasarela ubicada en la calle Estrada y el estribo del puente Colón, en el año 2015.

En el gráfico de las elevaciones de la superficie de agua correspondientes a la sección del puente Colón se puede observar el aumento en la profundidad del cauce, lo que podría estar potenciado por las altas velocidades en presencia de los gaviones en ambas márgenes. (Figura V.42)

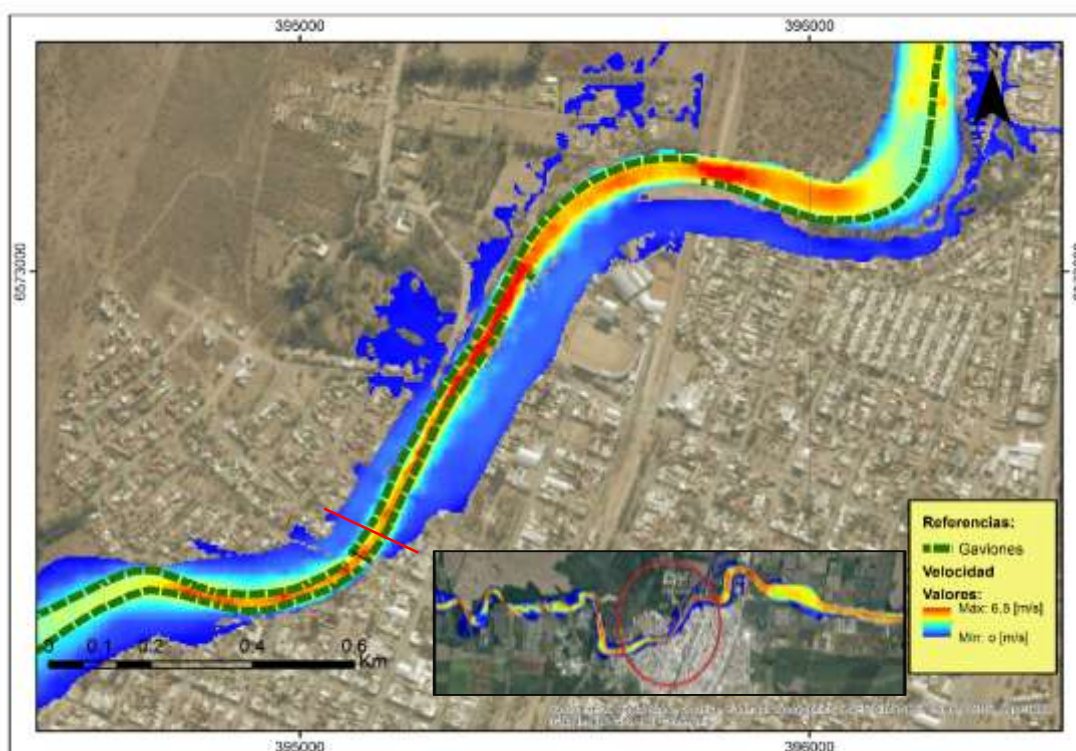


Figura V.39. Distribución de velocidades para la simulación correspondiente a 50 años de recurrencia, en la zona de Costanera- Puente Colón.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 51 de 104
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		

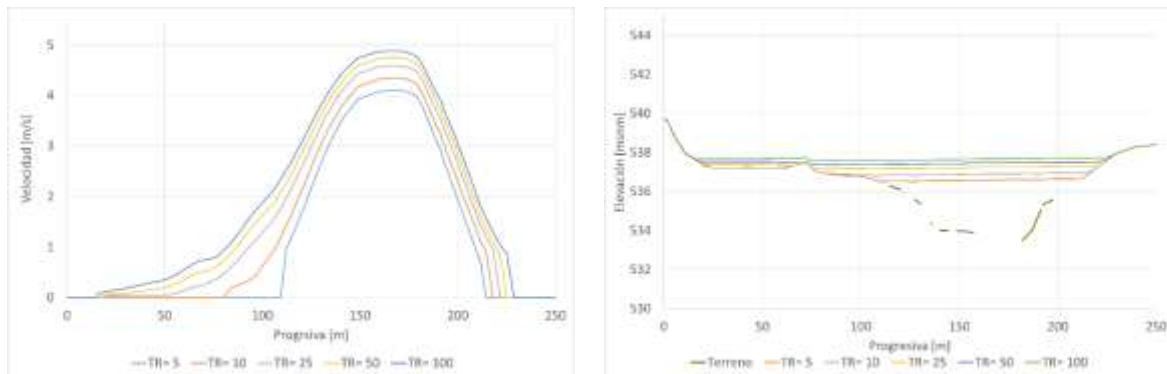


Figura V.40. Perfil de Velocidades (izquierda) y elevaciones de la superficie de agua (derecha) para las diferentes recurrencias, de la sección correspondiente a Costanera.

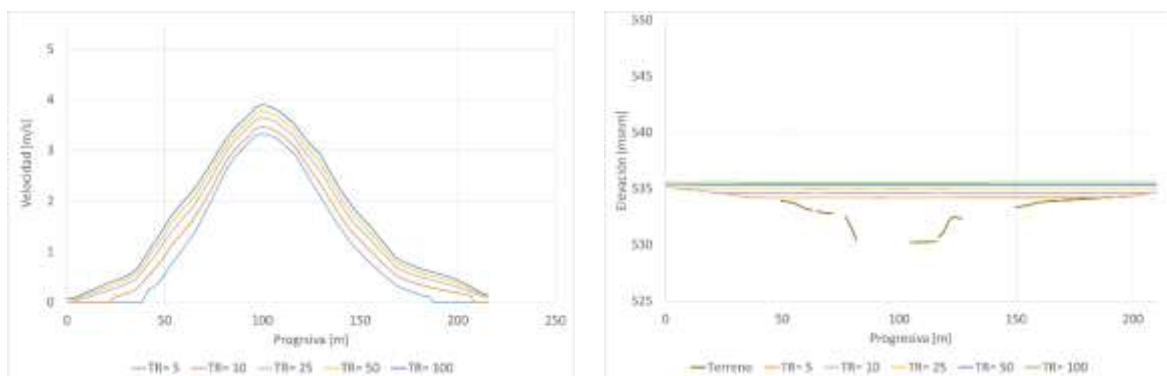


Figura V.41. Perfil de Velocidades (izquierda) y elevaciones de la superficie de agua (derecha) para las diferentes recurrencias, de la sección correspondiente a La Represa.

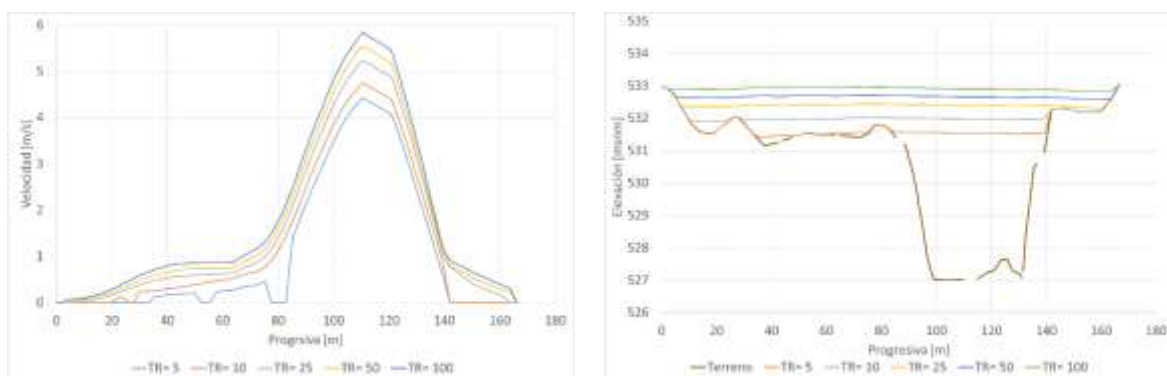


Figura V.42. Perfil de Velocidades (izquierda) y elevaciones de la superficie de agua (derecha) para las diferentes recurrencias, de la sección correspondiente a Puente Colón.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 52 de 104
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		

(4) AGUA MANSA– PUENTE RUTA 9

En este sector la erosión de márgenes debido a las altas velocidades que quedan evidenciadas en la modelación originaron el desmoronamiento de construcciones y la ruptura del puente de Ruta 9.

En la Figura V.43 puede observarse el aumento de velocidades que origina el estrechamiento del cauce debido a las pilas intermedias del puente.

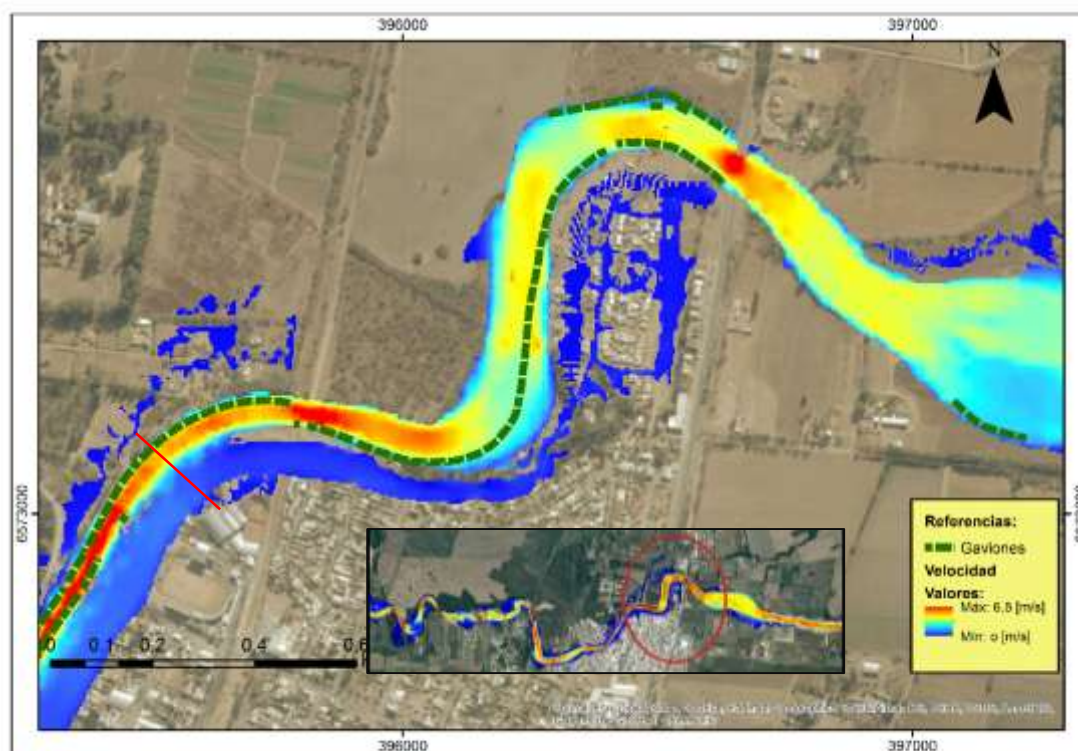


Figura V.43. Distribución de velocidades para la simulación correspondiente a 50 años de recurrencia, en la zona Agua Mansa-Puente Ruta 9.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 53 de 104
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		

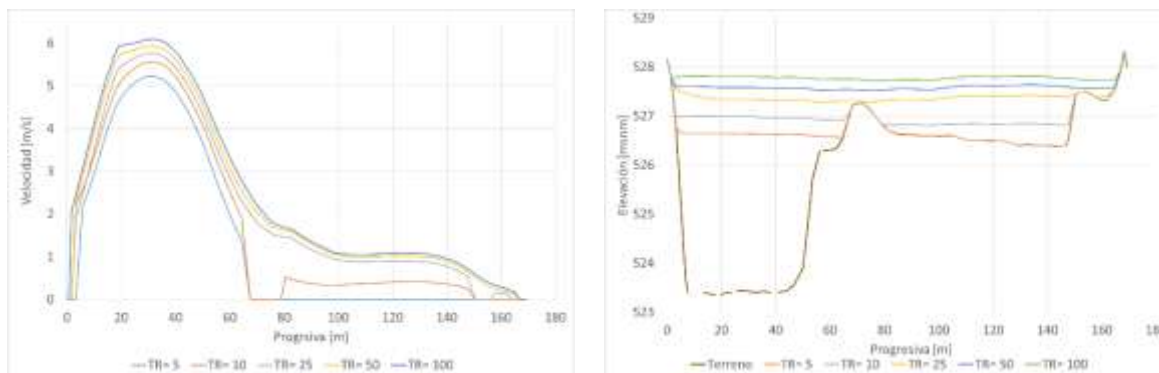


Figura V.44. Perfil de Velocidades (izquierda) y elevaciones de la superficie de agua (derecha) para las diferentes recurrencias, de la sección correspondiente a Doma.

(5) AGUAS ABAJO PUENTE RUTA 9

Aguas abajo del puente de ruta 9 se crea una zona de avulsión con depósito de sedimentos, lo que origina la disminución del tirante y ampliación del cauce.

En la Figura V.45 se observa, en primer lugar, que el modelo evidencia los anegamientos acaecidos en el sector de La Cotita y por otro lado muestra los posibles desbordes del río debido a la erosión de márgenes en las zonas de los loteos de El Iván y Palmas de Caranday, los cuales se encuentran muy comprometidos, ubicándose parte de ellos en la actualidad dentro del lecho del río.

En la misma figura se puede ver en detalle que la línea de gaviones que pretende defender los terrenos de tales loteos se encuentra ubicada dentro del lecho del río, donde en ocasiones de crecida las velocidades van en aumento, pudiendo originar el desprendimiento de dichas protecciones y el lavado del material heterogéneo utilizado para el relleno detrás de éstos.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 54 de 104
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		

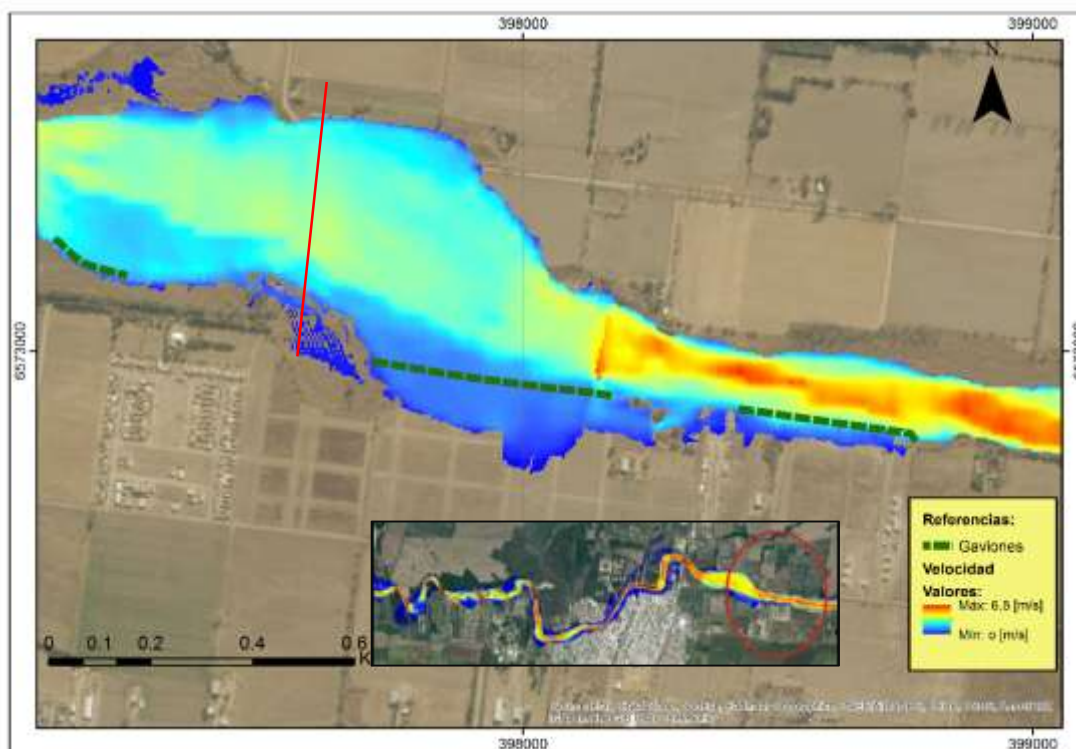


Figura V.45. Distribución de velocidades para la simulación correspondiente a 50 años de recurrencia, en la zona del loteo El Iván y Palmas de Caranday.

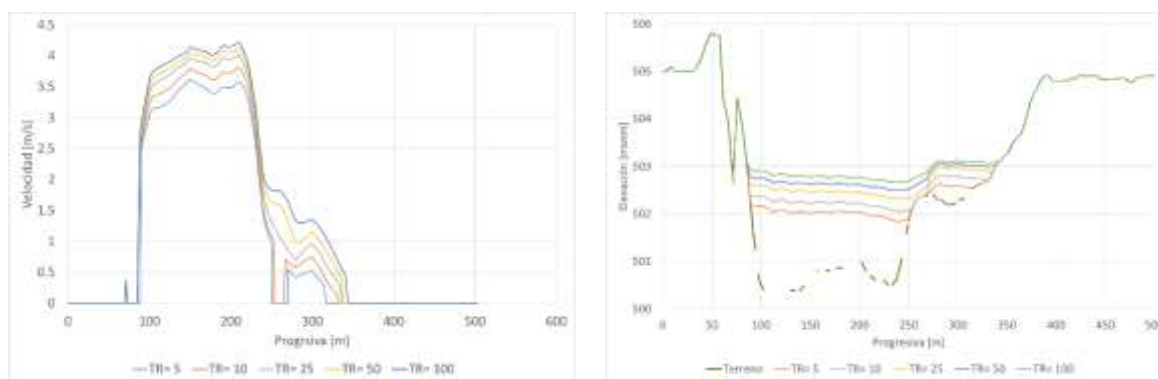


Figura V.46. Perfil de Velocidades (izquierda) y elevaciones de la superficie de agua (derecha) para las diferentes recurrencias, de la sección correspondiente a Loteos El Iván y Palmas de Caranday.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 55 de 104
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.3.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO HIDRÁULICO

A modo de conclusión se presentan los resultados de modelo hidráulico bidimensional para una recurrencia de 50 años en combinación, en primer lugar, con la morfología del lecho del río como resultado de los eventos extremos del 2015. En este mapa se resaltan las parcelas que oportunamente fueron erosionadas, las mismas se corresponden principalmente con las zonas de las caras externas de las curvas, ubicadas aguas abajo de los tramos de velocidades máximas, detalladas en el estudio y a partir del puente de ruta 9, a los terrenos erosionados debido a la avulsión y el comportamiento errático del flujo del río. (Figura V.47 y Anexo Carta 4))

En el mapa inferior los resultados del modelo hidráulico se contrastan con el mosaico obtenido mediante aerofotogrametría con drone, es decir, la forma actual del cauce del Río Guanusacate. (Figura V.47 y Anexo Carta 3))

Las figuras V.48 y V.49 corresponden a los mapas generados de la combinación de la modelación hidráulica con la carta de amenazas según el criterio geomorfológico, los mismos evidencian que los caudales modelados se corresponden con los caudales máximos históricos en el pasado geológico reciente, los que han definido la morfología actual del cauce.

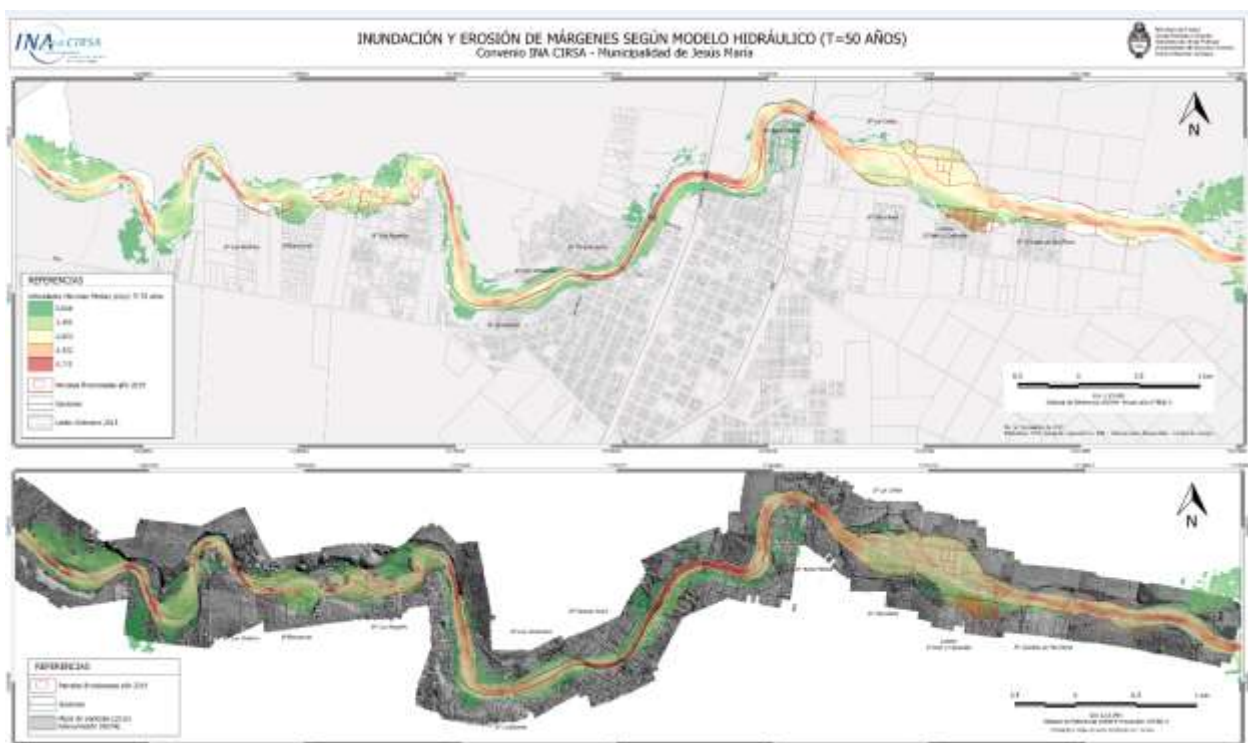


Figura V.47. Carta de Inundación y erosión de márgenes según Modelo Hidráulico. (ver Anexo Carta 4)

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 56 de 104
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		

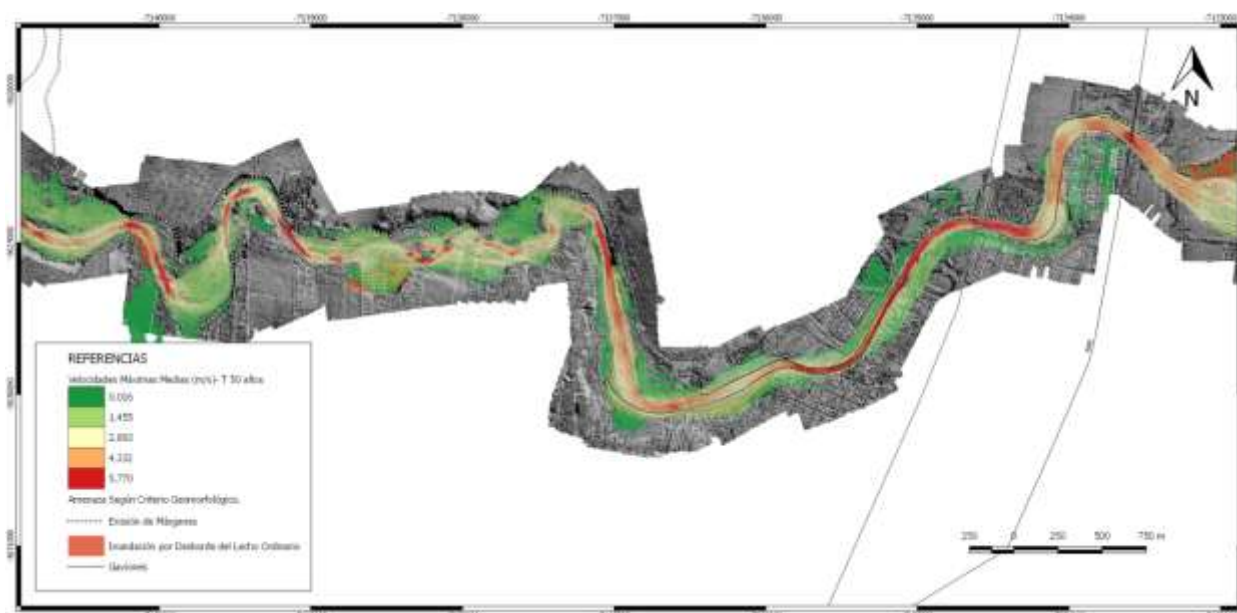


Figura V.48. Carta de amenaza por inundaciones repentinas y erosión de márgenes según criterio geomorfológico e hidráulico (ver Anexo Carta 5)

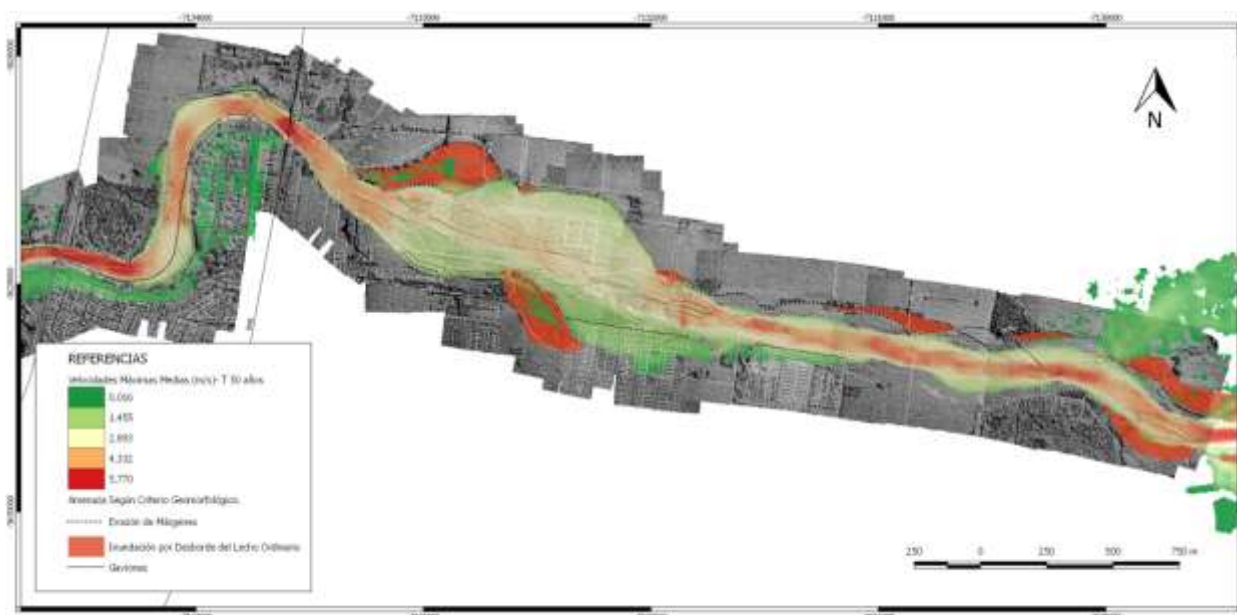


Figura V.49. Carta de amenaza por inundaciones repentinas y erosión de márgenes según criterio geomorfológico e hidráulico (ver Anexo Carta 6)

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 57 de 104
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.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

- El método geológico- geomorfológicos permite determinar la tendencia evolutiva natural del sistema fluvial y la ubicación de los procesos fluviales activos generadores de amenaza. Los resultados obtenidos constituyen información de base necesaria para una planificación territorial que permita mitigar el riesgo de la población e infraestructura evitando la ocupación de áreas inestables.
- Los sectores delimitados en la zonificación corresponden a las unidades geomorfológicas de mayor actividad hidrológica, nivel de terraza inferior o curvas externas del cauce con tendencia a la migración. Definidas claramente por la morfología del terreno y su naturaleza geológica.
- Los ensanchamientos de cauce ocurridos en el año 1978 y 2015 corresponden al espacio que requiere el río para autorregular los caudales que discurren por él.
- El incremento de los daños en la creciente del año 2015 es producto del aumento de la exposición por ocupación de áreas inestables, considerando la tendencia evolutiva de los procesos fluviales.
- La protección de riberas que se realiza disminuyendo la sección del cauce genera por un lado, una falsa sensación de seguridad que favorece la ocupación de sectores naturalmente expuestos a erosión e inundación y por el otro, incrementa las velocidades de flujo, debido al confinamiento, obligando a este a disipar parte de su energía erosionando el lecho en profundidad y/o trasladando los problemas aguas abajo y arriba.
- Los terrenos ubicados actualmente en el tramo aguas abajo del puente de ruta 9, caracterizado por el levantamiento de fondo por efecto de avulsión lo que genera una disminución de la sección del canal y por el comportamiento errático del río se encuentra muy comprometidos estructuralmente, ya que ha quedado evidenciado que parte de ellos corresponden al lecho del río.
- En consecuencia, se recomienda la aplicación del criterio geomorfológico en el establecimiento de la línea de ribera, dado que los métodos convencionales para su definición no consideran tales procesos dinámicos.
- Para los sectores que presenten consolidación urbana, se recomienda tener en cuenta para la definición del engavionado u otra protección de márgenes que se deberá preservar siempre la sección del canal requerida para evacuar los caudales máximos. En cuanto a los sectores no urbanizados o loteados pero sin consolidación urbana, debieran no ser ocupados (loteos El Iván, Palma de Caranday, La Cotita).

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 58 de 104
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		

- Se recomienda también modificar la normativa de uso y ocupación de suelo en los sectores bajo amenaza, limitando su ocupación o en su defecto, si ya constituyen áreas urbanizadas, se debiera limitar los usos que impliquen la permanencia continua de personas así como también el establecimiento de centros de salud y educativos.
- Por último, el registro histórico, indica que han ocurrido crecientes en el pasado, con magnitudes iguales o superiores a las actuales, pero bajo condiciones de ocupación del territorio diferentes. Es decir, estas dinámicas han actuado en el pasado, lo hacen en el presente y sin lugar a dudas, lo harán en el futuro.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 59 de 104
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		

VII.- GEOTÉCNIA LOTEO CALLE MURCIA Y B° ALTOS LOS MOLINOS

VII.1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

El informe final sobre geotecnia, tiene como objetivo complementar al primer y segundo informe (o también llamada Primer y Segunda etapa) de avance sobre el Estudio Geo-Hidrológico del río Guanusacate en su paso por el área urbana de Jesús María en la provincia de Córdoba.

Particularmente a continuación, se especificarán mayores parámetros geotécnicos sobre las muestras extraídas de la campaña directa (Primer Etapa) para completar finalmente los perfiles estratigráficos de las márgenes de los sectores urbanos identificados como sector 1 (B° Altos Los Molinos) y 2 (Nuevo lote por calle Murcia) en la Figura VII.1. Finalmente se realizará un estudio de la estabilidad de los taludes en los dos (2) sectores mencionados (analizando la margen SUR por estar urbanizada); tratando de verificar el tipo de protección relevada in situ (gaviones) y se enunciaran algunos lineamientos técnicos de otro tipo de protección a tener en cuenta para ser evaluada.

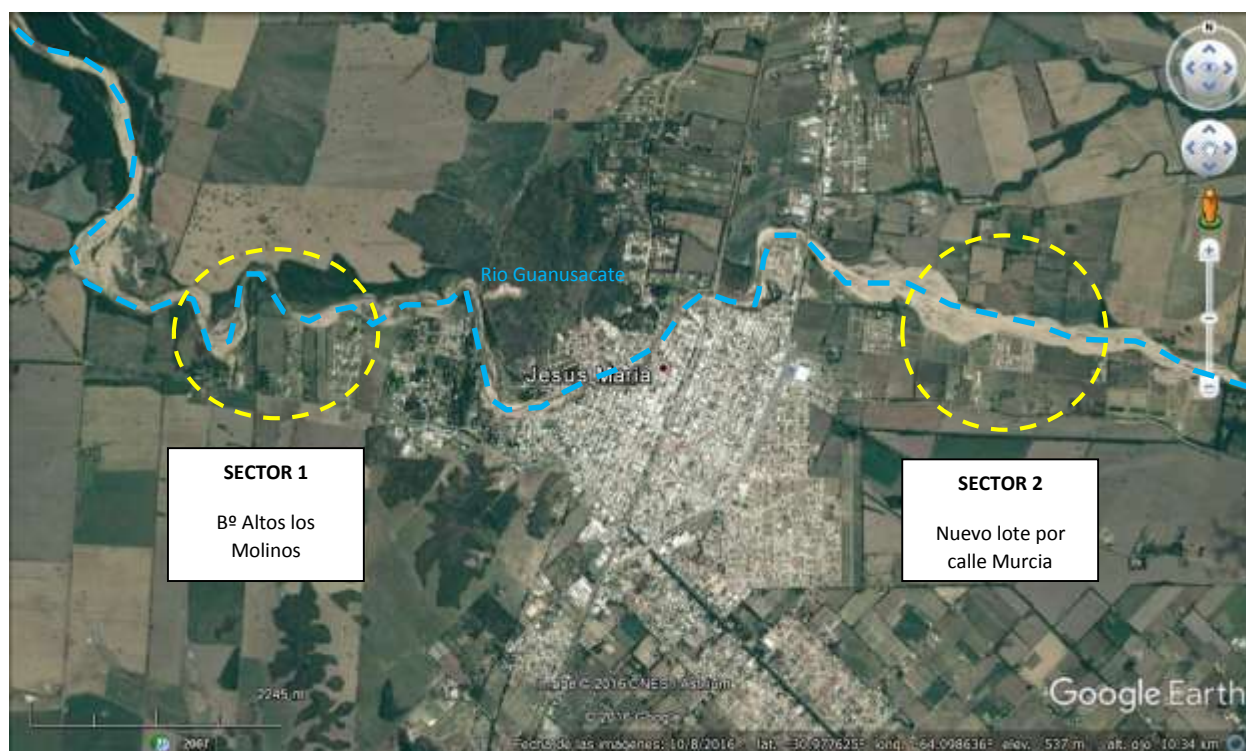


Figura VII.1. Ubicación de los sectores en estudio.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 60 de 104
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.gob.ar		

A modo de reseña cronología de los legajos técnicos pactados, se mencionan los alcances de las etapas geotécnicas y su nivel de desarrollo a la fecha de este informe final.

- **Primera etapa o exploratoria directa** realizar una identificación de los perfiles de suelos geotécnicos principalmente en la margen sur del río Guanusacate en los dos sectores identificados en la Figura VII.1. Además en esta Primer etapa, se contempló la búsqueda de antecedentes geotécnicos a lo largo de la zona de influencia urbana del Río Guanusacate. Ya entregado y presentado al Municipio.
- **Segunda etapa o exploratoria indirecta**, complementó la Primer etapa con la realización de un perfil geofísico en el sector 2 de la Figura VII.1. Ya entregado y presentado al Municipio.
- **Tercera etapa o análisis y conclusiones (final)**, responde al análisis del estudio geo-hidrológico final, estudio de la estabilidad de los taludes en los dos (2) sectores y verificación del tipo de protección relevada in situ (gaviones). Responde al presente legajo técnico. Cabe mencionar que se incorporó a los TR iniciales, el enunciado de lineamientos técnicos de otro tipo de protección posible.

VII.2.- RESPONSABILIDADES

Este informe técnico, tiene como objetivo completar los perfiles estratigráficos de los sectores urbanos estudiados – terminar de caracterizar geotécnicamente los mantos o estratos – determinándose nuevos parámetros de los distintos tipos de suelos según los resultados de campo directos como de los ensayos del laboratorio realizados. Finalmente, se realizará el estudio de la estabilidad de los taludes en los sectores estudiados y se verificará el tipo de protección relevada in situ (o sea, gaviones). Lo NO mencionado en los objetivos de este informe, no está contemplado.

El INA, no se hace responsable por el mal uso y/o interpretación de la información suministrada en el presente legajo técnico complementario. Desde ya dicho ente queda a vuestra disposición para receptor y evacuar cualquier consulta sobre lo presentado en este legajo.

VII.3.- ANTECEDENTE.

En la Figura VII.2 se observan las ubicaciones de los seis (6) estudios de suelos de antecedentes recopilados de la zona de ribereña del Río Guanusacate en el ámbito urbano de la ciudad de Jesús María. La identificación se realizó con la letra A de Antecedente acompañado de un número correlativo de 1 a 6. En la Tabla VII.1, se especifican los tipos de suelos geotécnicos y las

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 61 de 104
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		

correspondientes profundidades en cada sitio de antecedente según demanda fundacional de cada proyecto. Todas las profundidades son relativas a cada nivel de terreno natural en estudio.



Figura VII.2. Ubicación de los estudios de antecedentes geotécnicos en zona ribereña.

Tabla VII-1. Tipos de suelos vs. profundidades de los antecedentes geotécnicos.

Antecedente	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Localizada en margen:	Sur	Norte	Sur	Sur	Sur	Sur
Coordenadas globales	-30.977426° -64.068217°	-30.977014° -64.103651°	-30.973904° -64.094499°	-30.981435° -64.110113°	-30.972789° -64.093163°	-30.976888° -64.097867°
Estrato I	Limo arenoso con materia orgánica (raíces) a arena media	Limo arenoso con materia orgánica (raíces)	Relleno antrópico y Arena gruesa con limo	Limo arenoso orgánico	Rellenos mezcla de arena con gravas y limo orgánico	Limo arenoso orgánico a arena limosa
Prof.	0,0 a 1,7m	0,0 a 1,0m	0,0 a 1,1m	0,0 a 1,0m	0,0 a 1,5m	0,0 a 4,0m
Estrato II	Arena gruesa "limpia" sin limo, gravas y bolos aislados	Arena gruesa a fina con algo de finos	Limo con arena fina micácea	Limo arenoso con algo de arcillas	Arena gruesa con gravas y escasos finos	Arena gruesa con gravas y bolos aislados
Prof.	1,7 a 4,0m	1,0 a 2,5m	1,1 a 4,7m	1,0 a 9,0	1,5 a 4,0m	4,0 a 9,0m
Estrato III	-	-	Arena mal graduada limpia	-	-	-
Prof.	-	-	4,7 a 6,0m	-	-	-

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 62 de 104
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		

VII.4.- TAREAS REALIZADAS (SUCINTA DESCRIPCION).

VII.4.a. Tareas de campo geotécnicas

Las tareas de campo en el sector 1 como en el 2, se ejecutaron en dos campañas geotécnicas:

Primera etapa: se ejecutaron dos (2) exploraciones directas para el sector 1 como para el sector 2; mensurándose los Nº golpes según cada avance en profundidad y lograr la extracción de algunas muestras de suelos. Puntualmente, se realizaron dos (2) D.P.C.H. intercalado con S.P.T. con extracción de muestras de suelos alteradas. En la Tabla VII.2, se especifican algunos datos a fines como ubicaciones en general.

Tabla VII-2. Ubicación de los sondeos geotécnicos realizados el 15-02-17.

Sondeo	S1	S2	S3	S4
Localizada en margen:	Sur	Sur	Sur	Norte
Coordenadas globales	-30.972563° -64.130775°	-30.972646° -64.135505°	-30.974690° -64.066983°	-30.968382° -64.068837°
Fotografía				
Profundidad nivel freático	~7,0m	~4,0m	~4,0m	~6,5m



Figura VIII.3. Ubicación de los sondeos geotécnicos realizados el 15-02-17.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 63 de 104
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 cuanto a las especificaciones técnicas de los sondeos directos realizados, corresponden a sondeos de Penetración dinámica (D.P.S.H.) y se menciona que la altura de caída es 76cm., peso 63,5Kg., se utilizó cono a punta recuperable de diámetro 51mm., y se intercaló con el Sondeo de Penetración Estándar (S.P.T.) o muestreador Terzaghi, para sacar algunas muestras de suelos alteradas en profundidad. La modalidad de excavación, fue mecánica (con la utilización de lodos bentoníticos) con el fin poder avanzar en el alumbramiento del perfil de suelos secos y granulares en profundidad, extraer algunas muestras de suelos alteradas (si correspondiera a muestras S.P.T.) y saber el número de golpes resistente a la penetración según se avanza en profundidad.

- **Segunda etapa:** se realizó un (1) perfil geofísico utilizando el método de exploración por tomografía sísmica (indirecto) a partir de ejecutar siete (7) tendidos sísmicos superpuestos solamente para el sector 2 (ver Figura VII.3); comenzando desde la calle Murcia esquina con calle sin nombre de nuevo loteo en estudio (o sea margen Sur del rio Guanusacate) hasta casi la proyección de la calle perirural de la margen Norte por el rio Guanusacate. 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 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 según la topografía. Mientras que en la Tabla VII.2. se especifican las respectivas coordenadas globales de inicio y fin del perfil (o traza) relevado/a y algunas fotos de referencia. Complementariamente a la campaña geofísica, se realizó con estación total, el relevamiento planialtimétrico del relieve de la traza total del perfil geofísico ejecutado, ver Figura VII.4).



FiguraVII.4. Ubicación de la traza total relevada.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 64 de 104
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 VIII.5. Ubicación de la base de la estación total.

Tabla VIII-3. Ubicación de los puntos de inicio y fin de la traza de medición.

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

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

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 65 de 104
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		

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 procesamiento tomográfico 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 estratigráfica 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 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 VII.6 se muestra esquemáticamente los dispositivos de tendidos sísmicos posibles. En el caso de la Figura VII.6.a se presenta el tendido con puntos de energización en los extremos

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 66 de 104
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		

(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 VII.6.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.

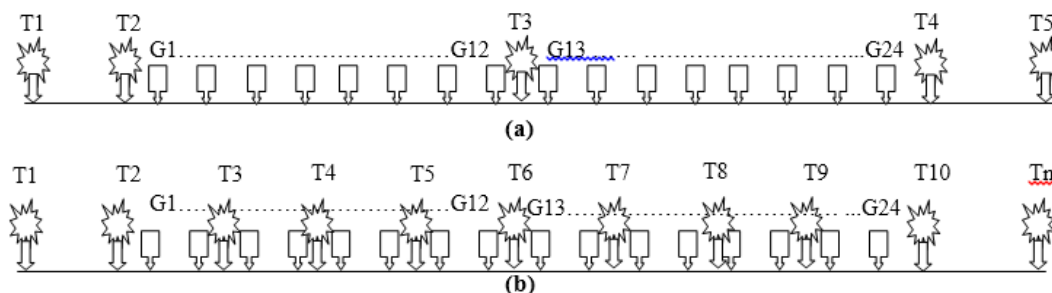


Figura VIII.6. Esquema de dispositivos empleado para el estudio de refracción sísmica utilizando detonaciones extremas y punto medio (a) y múltiples detonaciones (b).

El método tomográfico empleado por el programa SeisImager 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 VII.7. 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.

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 ($v_{i,j}$):

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

Asumiendo 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:

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 67 de 104
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		

$$\begin{aligned} t_1 &= l_{1,1} s_1 + l_{1,2} s_2 + \dots + l_{1,j} s_j \\ t_2 &= l_{2,1} s_1 + l_{2,2} s_2 + \dots + l_{2,j} s_j \\ t_i &= l_{i,1} s_1 + l_{i,2} s_2 + \dots + l_{i,j} s_j \end{aligned} \quad (2)$$

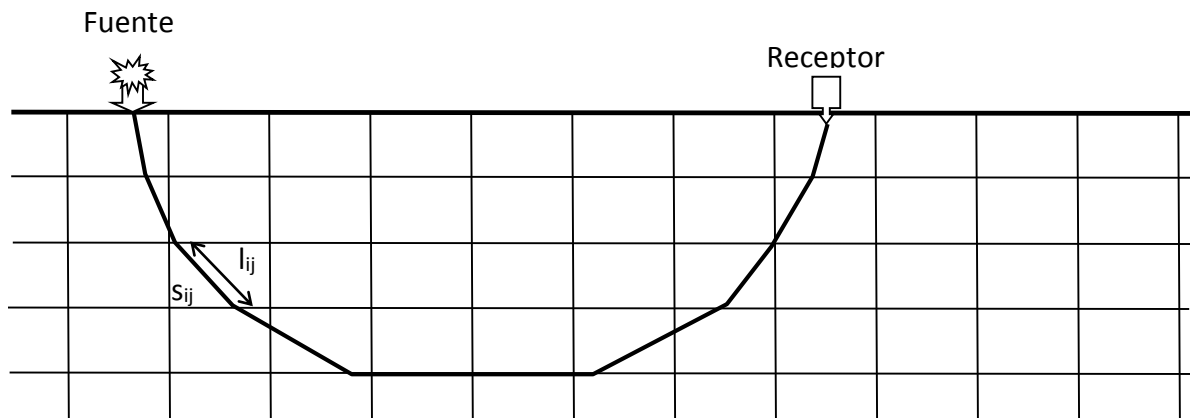


Figura VIII.7. Discretización del modelo teórico para la ejecución de una tomografía sísmica según el algoritmo de cálculo del programa Seislmager 2D. En donde $l_{i,j}$ es la longitud que recorre el rayo en el píxel i,j con lentitud $s_{i,j}$.

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 está sobredeterminado, dado que existen más ecuaciones que incógnitas.

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:

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

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 68 de 104
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		

Una vez obtenida la matriz de slowness S para cada par 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_0^c . 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 VII.8. 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 VII.8) 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 VII.9.

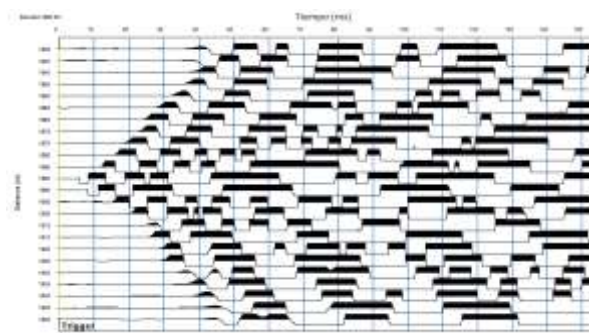


Figura VIII.8. Registro sísmico típico para un tiro intermedio en este tendido.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 69 de 104
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		

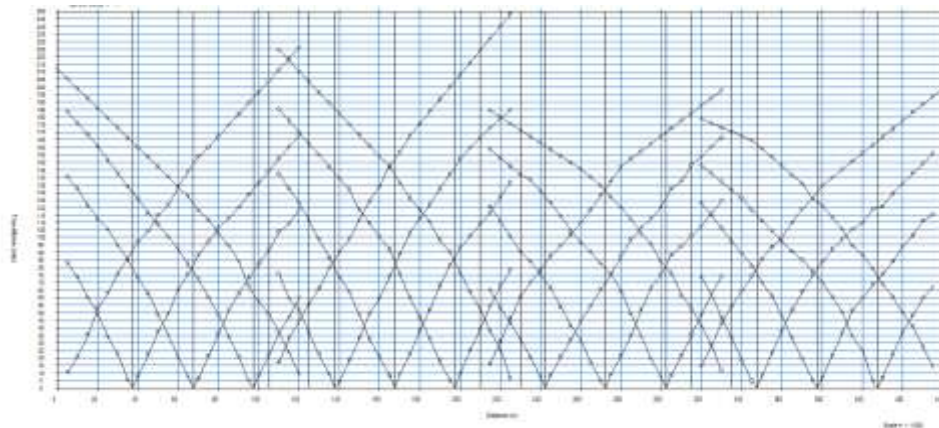


Figura VIII.9. Curvas dromocronas obtenidas en este trabajo.

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. En la Tabla VII-4 se presenta un resumen de los rangos de variación de las velocidades de ondas de compresión para agua, suelos y rocas.

Tabla VIII-4. 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

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 70 de 104
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		

• 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:

- 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.
- 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.
- 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.
- Trazado de los perfiles: Con los primeros arribos se determinaron las curvas espacio-tiempo denominadas dromocronas.
- 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.
- El perfil sísmico fue interpretado empleando un programa de imágenes genérico que permite el trazado de líneas divisorias y rotulaciones.

VII.4.b. Tareas del laboratorio como gabinete

Durante la Primer etapa donde se obtuvieron muestras de suelos alteradas del sector 1 y 2, se les realizaron los siguientes ensayos:

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 71 de 104
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		

- Clasificación visual y táctil inicial,
- Contenido de humedad,
- Pasante tamiz 200 por vía húmeda,
- Granulometría por tamices y sedimentación,
- Determinación del contenido de sales totales solubles.

En esta Tercer etapa se ejecutaron en el laboratorio 4 ensayos de corte directo saturados de las muestras extraídas de los sondeos S1, S3 y S4, ver detalles en los respectivos perfiles del Anexo.

- Corte directo con muestras saturadas a una carga normal según tapada existente para la recurrencia mayor o sea TR100. Los datos de hidráulicos fueron entregados por el área de Hidráulica del INA.

Las planillas de los respectivos ensayos se entregaron en el correspondiente informe parcial de la Primer etapa en Marzo del 2017 y actualmente se complementan los perfiles estratigráficos de los sondeos mencionados con los datos de los ángulos de fricción interna obtenidos. Detallando por columnas los resultados obtenidos del laboratorio como de campo o sea: descripción del tipo de suelo; clasificación por Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.); contenido de humedad; pasante por el tamiz 200; granulometría pasante tamiz N° 4 (diámetro 4,75mm), 10 (diámetro 2,0mm), 40 (diámetro 0,43mm) y 200 (diámetro 0,075mm); gráfica de N° de golpes versus profundidad (unidad metros); presencia del nivel freático (unidad metros) y ángulo de fricción interna / cohesión.

Mientras que en la Segunda etapa, se utilizó el método geofísico de exploración por tomografía sísmica (indirecto) para estudiar en profundidad el perfil geotécnico de la Primera etapa solamente en el sector 2, ver Plano G1 en Anexo.

VII.5.- PERFIL GENERAL DE SUELOS.

A partir de los estudios realizados en las etapas de exploración, se han realizado planillas como gráficos de campaña, se han realizado como evaluado los resultados de las muestras de suelos en el laboratorio hasta determinar los siguientes Perfiles Generales de Suelos.

Sector 1 - Barrio Altos los Molinos.

Estrato I – Cubierta vegetal sobre sedimentos de arena con algo de finos orgánicos (limos y arcillas) y escasas gravillas/gravas a Arena gravosa cuyo espesor ronda en 5,8m a 7,4m según el sondeo. Este estrato, se encuentra en el nivel de la terraza superior y media del río; pudiendo describirse como un material de suelos de compacidad

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 72 de 104
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		

promedio desde suelta, ligeramente suelta a compacta. De color **pardo oscuro a claro**, según sea su contenido de humedad y el contenido de finos, arenas/gravas en profundidad en los sondeos directos realizados. El índice de plasticidad (IP) de la fracción fina a los 5,8 m de prof. en el sondeo S1, fue de 2,9% o sea bajo con un límite líquido de ~19,2% y un límite plástico de ~16,3% o sea que responde a un suelo de predominio del tipo LIMO. Los números de golpes resistentes a la penetración de las exploraciones del tipo S.P.T. como D.P.C.H. de los sondeos S1 como S2 (margen SUR) responde a los promedios de la Tabla VII-6. Esta resistencia a la penetración es, de hecho, función de las características y del tipo de suelo, ver Figura VII.10. Se obtuvieron en forma indirecta, los datos de peso unitario total (γ_{total}) por correlaciones según Foundation analysis and design de Bowles (1996). Por el método exploratorio directo, fue sensible a verificar el **alumbramiento del Nivel Freático (N.F.) de ~4,0 a ~7,4m en la zona del sondeo S2 y S1 (margen SUR) respectivas para el corto día de duración de la 1ª campaña**. Cabe mencionar que la supuesta disparidad entre la determinación o no del N.F. en este estrato, está dada por la cota de la boca del sondeo realizado. Finalmente es un Estrato **muy susceptibles (tanto en planta como profundidad) a ser erosionado ante cualquier eventos hidrológico** de la cuenca del río Guanacaste. Además sea a demostrando que el tipo de escurrimiento que conformo el perfil sedimentológico fue de **baja intensidad hacia los ~5,8m y de media intensidad hacia los ~3,0m en la zona del sondeo S1**, ver Tabla VII-5. Generando una hipótesis de haber alumbrado, un perfil general de suelos residuales inestables superficial (terrazza superior y media). En la Tabla VII-7, se resumen los resultados de los ángulos de fricción/cohesión obtenidos para la margen SUR de este sector.

Tabla VIII-5. Fracciones de suelos en el sector 1.

Sondeo	Prof. [m]	Grava (>4,75mm) [%]	Arena (4,75 a 0,075mm) [%]	Limo (0,075mm a 2µm) [%]	Arcilla (<2µm) [%]
Sondeo S1	3,0	3,0	66,0	22,0	9,0
	5,8	3,0	73,0	12,7	11,3

Estrato II – Grava arenosa, cuyo espesor explorado máximo con los útiles disponibles sería ~0,4m (sector S2) Este estrato, se encuentra en el nivel de la terraza baja o reciente cause del río; pudiendo describirse como un material de suelos de compacidad promedio densa a muy densa. De color **pardo claro a amarillento**, según sea su contenido de humedad en los sondeos directos realizados. Los números de golpes resistentes a la

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 73 de 104
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		

penetración de las exploraciones del tipo S.P.T. como D.P.C.H. responde a los promedios de la Tabla VII-6. Esta resistencia a la penetración es, de hecho, función de las características y del tipo de suelo, ver Figura VII.1. Se obtuvieron en forma indirecta, los datos de peso unitario total (γ_{total}) por correlaciones según Foundation analysis and design de Bowles (1996).

Tabla VIII-6. N° de golpes, compacidad y resultados del ensayo de corte directo.

Sondeo Prof (m)	Sondeo 1 en margen SUR	Dr (%)	γ_{total} (tn/m ³)	Sondeo Prof (m)	Sondeo 2 en margen SUR	Dr (%)	γ_{total} (tn/m ³)
0,0 a 3,0	5 Compacidad suelta	25	1,20	0,0 a 4,4	6 Compacidad ligeramente suelta	27	1,25
3,0 a 5,8	19 Compacidad compacta	48	1,40	4,4 a 7,4	21 Compacidad compacta	51	1,60
A partir 5,8	56 Compacidad muy densa	86	>1,90	7,4 a 7,8	48 Compacidad densa	78	1,80

Tabla VIII-7. Resultados del ensayo de corte directo saturado.

Sondeo Prof (m)	Sondeo 1 en margen SUR	Dr (%)	C (kg/cm²)	Ø (°)
0,0 a 3,0	5 Compacidad suelta	25	0,00	0
3,0 a 5,8*	19 Compacidad compacta	48		20
Nota Los datos Ø de las muestras de suelos por debajo ~5,8m se obtuvieron por correlaciones según DR y el tipo de suelo.				

Sector 2 - Nuevo loteo calle Murcia.

- **Estrato I – Cubierta vegetal sobre sedimentos de limos arenosos orgánicos a arenas limosas con algo de gravas y rodados dispersos de compacidad muy sueltos. Su potencia es del orden de 4m a 15m (mayor o menor según los sectores ya erosionados y redepositados).** Este estrato, se encuentra en el nivel de la terraza baja del río y parte del actual lecho; pudiendo describirse como un material de suelos de compacidad muy suelta.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 74 de 104
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 color **pardo claro a amarillento**, según sea su contenido de humedad y el contenido de finos, arenas/gravas en profundidad en los sondeos directos realizados. Este estrato 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 por la intercalación de periodos erosionados con redepositados hidrológicamente. 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, ver **Tabla VII-8**. No sería un estrato de suelos saturados en forma uniforme según el método exploratorio indirecto (geofísico) utilizado. Sin embargo, por el método exploratorio directo, fue sensible a verificar el **alumbramiento del Nivel Freático (N.F.) 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 N.F. 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); existiendo una alta 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 existió 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 VII-9. Esta resistencia a la penetración es, de hecho, función de las características y del tipo de suelo, ver Figura VII.10. Se obtuvieron en forma indirecta, los datos de peso unitario total (γ_{total}) por correlaciones según Foundation analysis and design de Bowles (1996). Finalmente es un Estrato **muy a normalmente susceptible (tanto en planta como profundidad) a ser erosionado ante cualquier eventos hidrológico** de la cuenca del río Guanúsacate. En la Tabla VII-9, se resumen los resultados de los ángulos de fricción/cohesión obtenidos para la margen SUR y NORTE de este sector.

- **Estrato II - Sedimentos de arenas con gravillas y gravas sueltas de potencia en el orden 15m ($\pm$ 5m) de espesor (o mayor/menor según los sectores ya erosionados y redepositados):** Este orden de espesor, podría ser variable en otros sectores no explorados. De este estrato en particular, solo existen datos de 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 acuícludos aislados según la época estacional. Finalmente es un Estrato **parcialmente susceptibles (tanto en planta como**

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 75 de 104
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		

profundidad) a ser erosionado ante cualquier eventos hidrológico de la cuenca del río Guanusacate.

- **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 con un grado compactación apreciable ante el peso propio de los estratos superiores. Están más húmedos respecto de los estratos superiores 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 según la topografía del relieve. 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.** Finalmente es un Estrato poco susceptibles (tanto en planta como profundidad) a ser erosionado ante cualquier eventos hidrológico de la cuenca del río Guanusacate.

Tabla VIII-8. Fracciones de suelos en el sector 2.

Sondeo	Prof. [m]	Grava (>4,75mm) [%]	Arena (4,75 a 0,075mm) [%]	Limo (0,075mm a 2µm) [%]	Arcilla (<2µm) [%]
Sondeo S3	3,0	16,0	70,0	4,7	9,3
Sondeo S4	3,0	2,0	86,0	6,7	5,3

Tabla VIII-9. Números de golpes "promedio" 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	Nº golpes 7 Compacidad suelta	32	1,30	0,0 a 0,5	Nº golpes 6 Compacidad suelta	27	1,28
1,0 a 4,0	Nº golpes 9 Compacidad suelta	38	1,35	0,5 a >11	Nº golpes 10 Compacidad ligeramente compacta	40	1,40
A partir 4,0	Nº golpes 25* Compacidad ~compacta	55	1,80	**	-	-	-

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 76 de 104
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		

* La máxima profundidad explorada directamente fue hasta los 7,2m de profundidad desde el respectivo nivel de terreno; alcanzando un valor de N° de golpes mayor a 40. Mayores detalles escapan al tipo de sondeos contratado.

**Sin dato luego de la máxima profundidad explorada de 11m con el equipo in situ presupuestado.

Tabla VIII-10. Resultados del ensayo de corte directo saturado.

Sondeo Prof (m)	Sondeo 3 en margen SUR	Dr (%)	C (kg/cm ²)	Ø (°)
0,0 a 1,0	Nº golpes 7	32	0,00	2*
	Compacidad suelta			
1,0 a 4,0*	Nº golpes 9	38		10
	Compacidad suelta			
Nota * Los datos Ø de las muestras de suelos por debajo ~4m o entre 0,0 a 1m, se obtuvieron por correlaciones según DR y el tipo de suelo.				

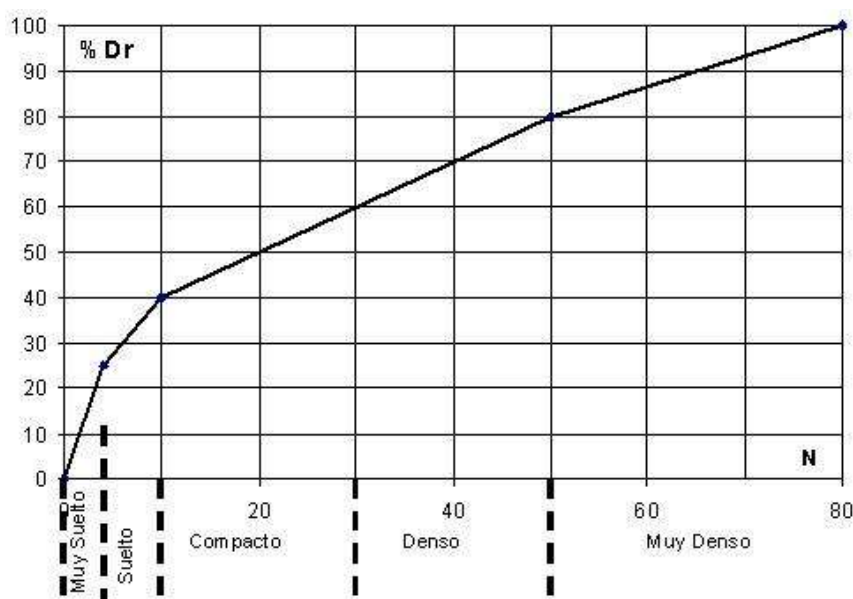


Figura VIII.20. Valores de porcentaje de densidad relativa (% Dr) vs. N° de golpes.

VII.6.- MODELADO DE TALUDES Y ALGUNOS PROTECCIONES.

A partir de todo lo explorado y caracterizado, a continuación se plantearán algunos lineamientos teóricos de la bibliografía consultada y posteriormente se verificará la protección relevada in situ (gaviones) para el sector 1 como 2.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 77 de 104
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		

Desde la bibliografía de consulta "Análisis de procesos de erosión local en márgenes de cauces fluviales con curvatura en planta" se mencionan que los métodos de protección de márgenes de cauces se basan en dos alternativas o filosofías distintas:

- La interposición de un elemento que evite la erosión entre la orilla y la corriente de agua.
- La disminución de la capacidad erosiva de la corriente de agua.

Dentro de la primera alternativa se encuentran las denominadas estructuras de protección del margen, las cuales se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Revestimientos del margen
- Pantallas

La segunda alternativa incluye los llamados elementos de control del movimiento, dentro de los cuales estarían incluidas las siguientes medidas:

- Espigones
- Estructuras de retardo
- Diques longitudinales

Seguidamente se realiza una breve descripción de los tipos de medidas de protección enumerados.

A) Estructuras de protección del margen

Revestimientos

Son elementos de protección que se interponen entre el margen del cauce y la corriente de agua con el objeto de evitar la erosión de éste, por lo que deben ser realizados con materiales resistentes a la fuerza erosiva de la corriente. Se distinguen del resto de medidas de protección en que estos deben ser soportados totalmente por el margen. Se pueden clasificar en dos tipos:

Rígidos: no se adaptan a las irregularidades o cambios de forma del margen por lo que son susceptibles de fallo si se quedan sin soporte. Los más utilizados en función del material empleado son:

- Revestimientos de hormigón o asfalto
- Mantas rellenas de hormigón
- Sacos de arena o cemento

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 78 de 104
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		

- Escollera cogida con mortero de cemento

Flexibles: se adaptan a las irregularidades o cambios de forma del terreno sobre el que apoyan, causadas principalmente por subsistencia o erosión, sin sufrir daños importantes. Los más utilizados en función del material empleado son:

- Escollera ó riprap
- Colchones alambre y roca (Gaviones recubrimiento)
- Colchones de neumáticos
- Bloques de hormigón prefabricados
- Vegetación

Estas clasificaciones expuestas admitirían varias subdivisiones más atendiendo a los materiales específicos y los métodos constructivos, aunque el más usado de todos ellos es la escollera ó riprap.

A veces el diseño de un revestimiento se basa en la incorporación de dos o más materiales, colocando el material más resistente a la erosión en la zona de aguas bajas y el menos resistente en la zona de aguas altas; siendo usual utilizar tratamientos con vegetación en ésta última.

Pantallas

Son estructuras verticales o cuasi-verticales que son capaces de resistir el empuje de un terraplén en o dique en su trasdós. Son elementos muy caros por lo que su uso se reduce normalmente a casos puntuales donde el valor de los bienes a proteger justifica económicamente su empleo. Normalmente se colocan en la parte de aguas bajas en combinación con otro tipo de revestimiento a disponer en la zona de aguas altas. Los tipos más usuales de pantallas son:

- Muros de hormigón
- Tablestacas metálicas
- Tablestacas de madera
- Jaulas de madera (cribs)
- Gaviones
- Neumáticos apilados

B) Elementos de control del movimiento

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 79 de 104
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		

Espigones

Son estructuras lineales, permeables o impermeables, colocadas en dirección sensiblemente transversal al cauce, los cuales controlan el movimiento del agua en la proximidad del margen alterando la dirección del flujo, reduciendo la velocidad y por tanto la erosión, o induciendo la sedimentación.

Atendiendo al material del que están formados, los espigones se pueden clasificar en: permeables e impermeables. Si se atiende a la modificación que estos producen sobre la corriente de agua, pueden ser: estructuras de retardo de flujo, estructuras de desvío-retardo y estructuras de desvío; siendo las dos primeras estructuras permeables y el último estructura impermeable.

Los espigones denominados de retardo se diseñan para reducir la velocidad del flujo en las proximidades de la orilla, como medida de protección de la misma. En el caso de los espigones de desvío-retardo también se produce una disminución de la velocidad en las proximidades de la orilla, pero debido a la orientación de estos se produce además un efecto de desvío de la corriente, alejándola de la orilla a proteger. Los espigones de desvío funcionan únicamente desviando la corriente, por lo que resulta muy importante que sean impermeables.

Estructuras de retardo

Son estructuras permeables para protección de márgenes las cuales se diseñan para, en función de la velocidad de la corriente, inducir procesos de sedimentación o acumulación de material en la orilla a proteger. Normalmente se disponen en sentido paralelo al pie del talud, bien como estructuras de tipo lineal o bien ocupando superficies importantes (campos de marcos). El primer objetivo de este tipo de estructuras es la protección del pie del talud mediante la disminución de la velocidad de la corriente. La sedimentación de material que se produce después invierte la tendencia erosiva y reemplaza el material arrastrado, provocando también un desplazamiento de la fuerza erosiva de la corriente lejos de la orilla a proteger. Las estructuras de retardo que más se utilizan son:

- Tetraedros metálicos
- Cercas de madera
- Cercas de alambre
- Pilotes de madera

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 80 de 104
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		

Diques longitudinales

Son barreras construidas paralelamente a la línea del margen o a la línea de flujo que se desea conseguir. Son impermeables y su objetivo es la protección del margen mediante la disminución de la velocidad de la corriente en las proximidades del mismo, o bien la recuperación de la alineación del flujo mediante la restauración o el recrecimiento del margen del cauce previamente erosionado, o bien la definición de una nueva alineación de flujo

Actualmente, en proximidad a las márgenes SUR de los sectores 1 como 2, si se ha comenzado a materializar una protección de gaviones y algunas colchonetas sin mayores referencias de diseño, ver Figura VII.11, Figura VII.12 y Figura VII.13.

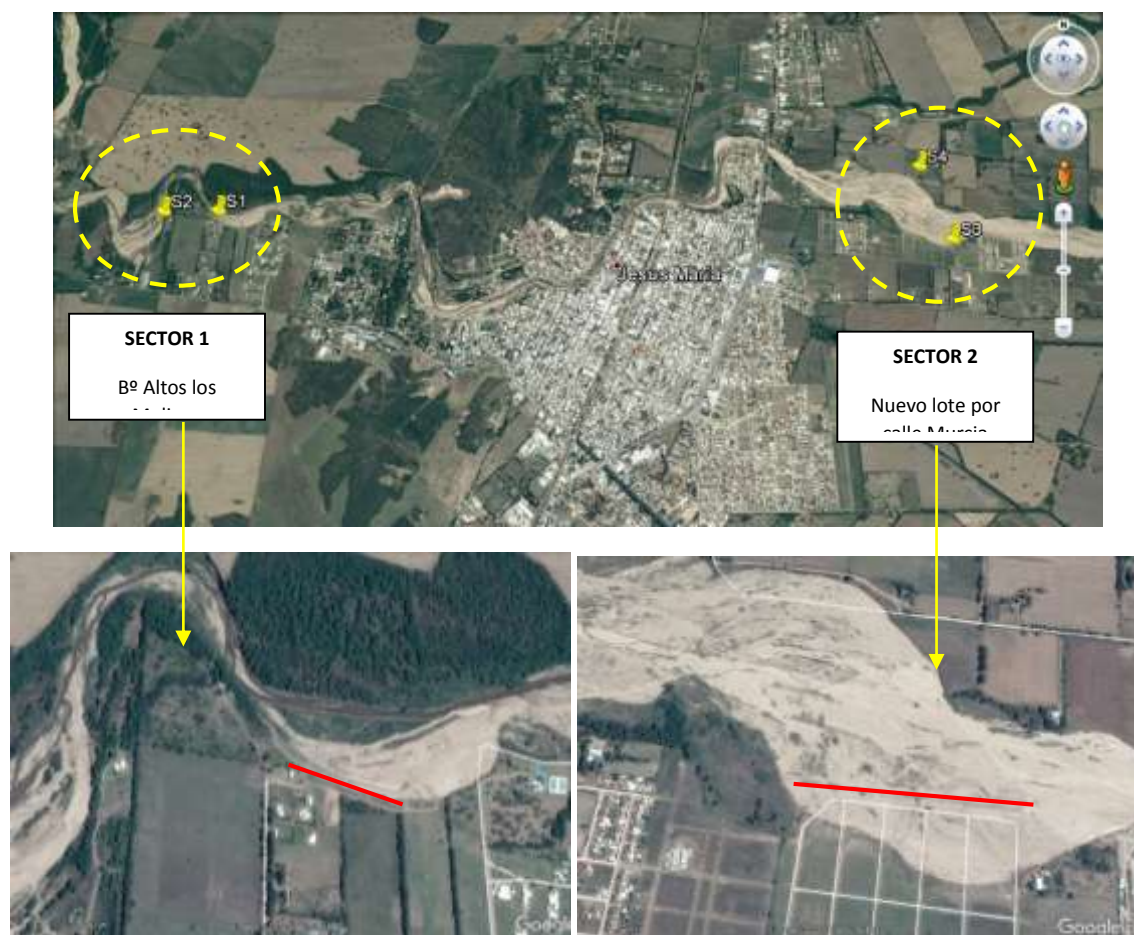


Figura VIII.31. Ubicación de los sectores del cauce a estudiar con gaviones.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 81 de 104
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 VIII.14. Gaviones en el sector 1.



Figura VIII.15. Gaviones y colchonetas en el sector 2.

El software utilizado es Macstars 2000 de la firma Maccaferri. En el mismo se pueden modelar los taludes en condición natural como artificial (gaviones). Se mencionada que la verificación de esta protección por erosión, se realizará sobre la base de un nuevo diseño estructural de gaviones o sea lo infiere en una re-acomodamiento de lo realizado en las Figuras VII.12 y Figuras VII.13. Por lo general este tipo de protección saben ser canastas rectangulares de malla de alambre llenas de rocas en el lugar del proyecto para formar estructuras monolíticas flexibles y permeables.

Sector 1

El perfil trasversal que se verificó se observa en la planta de la Figura VII.14. La protección con gaviones modelada fue diseñada con gaviones de altura de $H=0,5m$ y ancho $B=1,0m$. Se le dio una estabilidad vertical y horizontal generando un muro de protección de altura superficial de $6m$, 10° de inclinación respecto de la horizontal y subsuperficial de $1,5m$; siendo la base de apoyo de $\sim 1,5m$, ver detalle Figura VII.15. El tirante de agua modelado responde a la TR de 100años. El material de relleno de los gaviones fue piedra subredondeada. Mientras que el trasdós de los gaviones está conformado por un filtro compuesto diseñado geotécnicamente.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 82 de 104
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		

Las estructuras de protección con gavión, se modeló en la margen SUR del cauce. El modelado de la margen NORTE, es meramente esquemático en cuanto al perfil de suelos, ya que no fue explorado geotécnicamente.

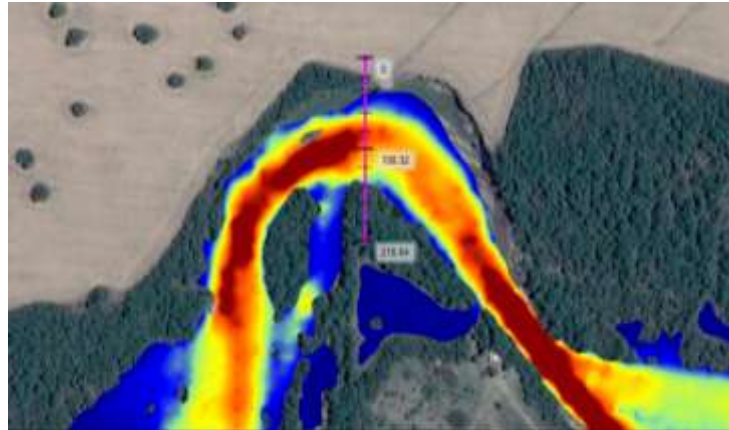


Figura VII.16. Perfil transversal a verificar con gaviones en el Sector 1.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 83 de 104
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		

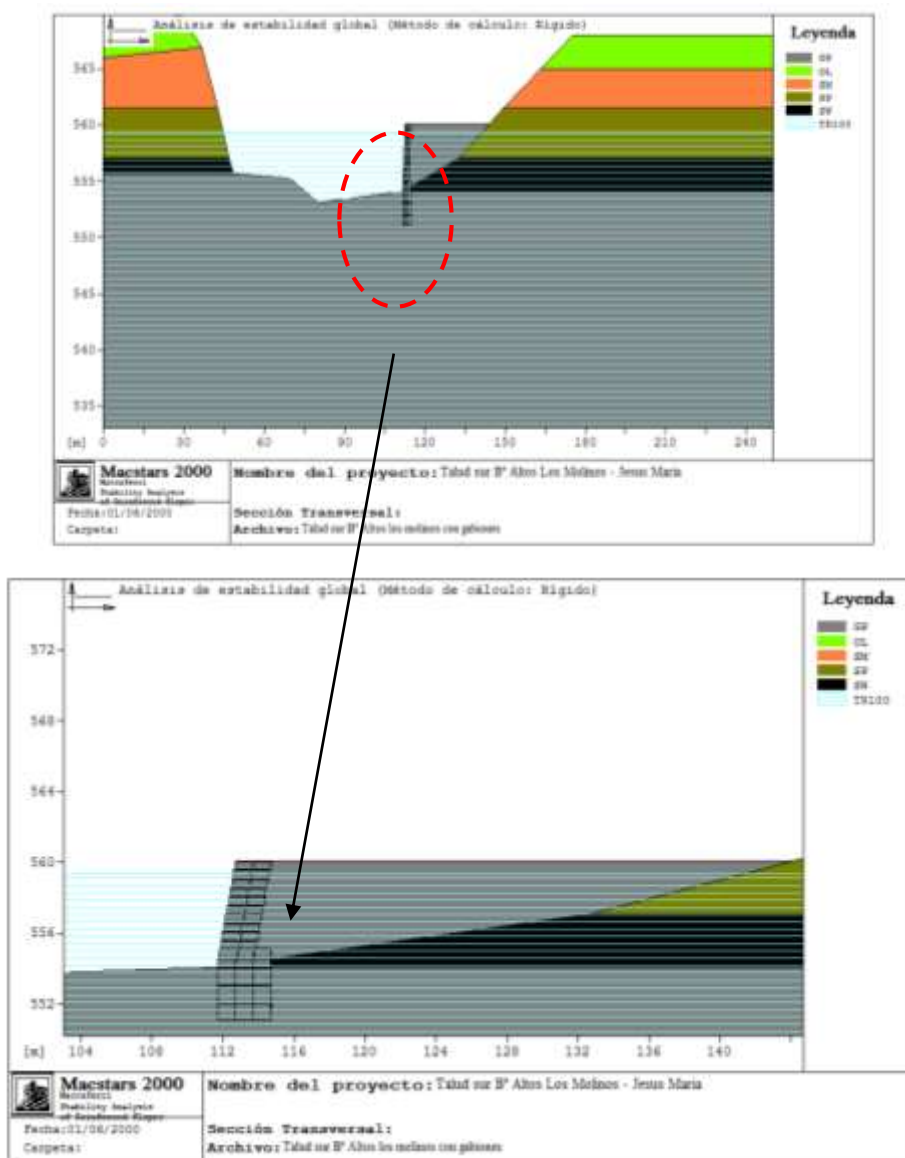


Figura VIII.17. Perfil transversal de talud modelado en Macstars 2000 del sector 1.

Sector 2

El perfil trasversal que se verificó se observa en la planta de la Figura VII.16. La protección con gaviones modelada fue diseñada con gaviones de altura de $H=0,5\text{m}$ y ancho $B=1,0\text{m}$. Se le dio una estabilidad vertical y horizontal generando un muro de protección de altura superficial de 2m y subsuperficial de $1,5\text{m}$; siendo la base de apoyo de $\sim 2,5\text{m}$, ver detalle Figura VII.17. El tirante de agua modelado responde a la TR de 100años. El material de relleno de los gaviones fue piedra

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 84 de 104
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		

subredondeada. Mientras que el trasdós de los gaviones está conformado por un filtro compuesto diseñado geotécnicamente.

Las estructuras de contención de gavión se modeló en la margen SUR del cauce.

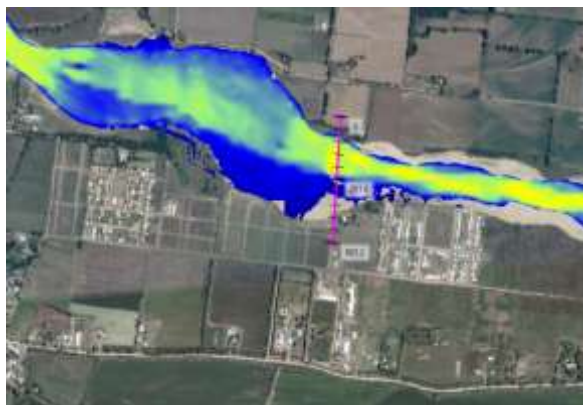


Figura VIII.18. Perfil transversal a verificar con gaviones en el Sector 2.

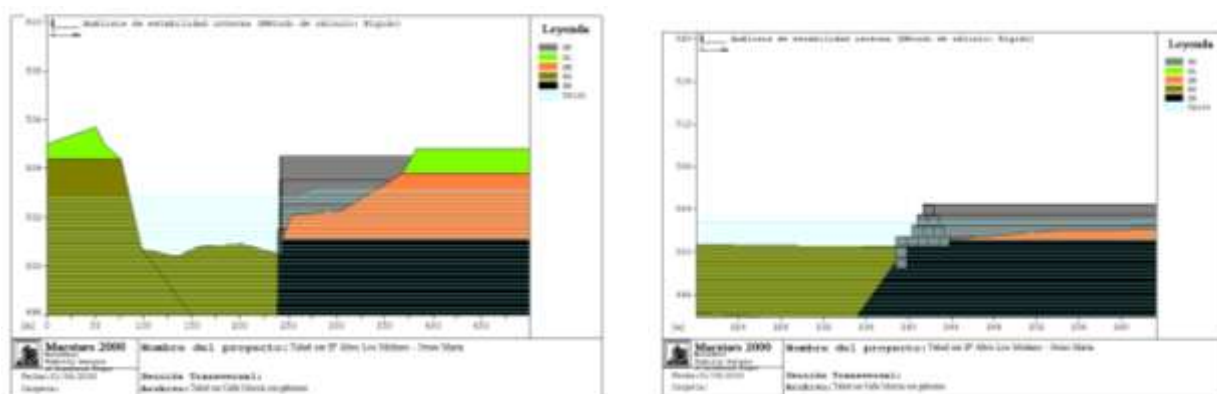


Figura VII.19. Perfil transversal de talud modelado en Macstars 2000 del sector 2.

VII.7.- ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

VII.7.a. Analisis

La inestabilidad de un talud natural o artificial (gaviones) es evaluada por el coeficiente de seguridad o sea por el valor final entre las solicitaciones estabilizadoras sobre las solicitaciones inestabilizadoras. Esto implica si el:

Coeficiente de seguridad $< 1 \rightarrow$ Inestabilidad o sea "falla".

Coeficiente de seguridad $= 1 \rightarrow$ Potencialmente inestable.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 85 de 104
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		

Coeficiente de seguridad $> 1 \rightarrow$ Estable. Desde ya que es discutible que tan seguro será el talud natural o artificial ante una eventual falla, o sea si estaría más próximo a 1 (o no). El presente estudio es a nivel de anteproyecto y no evalúa este impacto del coeficiente de seguridad.

A partir de modelado en el apartado anterior se analizaran a continuación aspectos de la estabilidad global del talud natural como artificial utilizado in situ. En cuanto a los análisis particulares de cada sector estudiado, se menciona los aspectos como:

Sector 1

- Estabilidad global con y sin nivel freático para un TR de 100 años en el talud natural, ver Figura VII.18. Se puede observar que los suelos del Estrato I -Cubierta vegetal sobre arena con algo de finos orgánicos (limos y arcillas) y escasas gravillas/gravas a Arena gravosa cuyo espesor ronda en 5,8m a 7,4m según el sondeo- (**OL, SM, SP**) presentan coeficiente de seguridad menor a 1. En el caso de sin NF, el coeficiente de seguridad es $\sim 0,7$ y en el caso de con NF para una TR de 100años es $\sim 0,1$; siendo, la incidencia del círculo de deslizamiento mayor en este último caso. Abarcando siempre, suelos del Estrato I. *Esto explica la presentación de taludes naturales del sector que fallan con o sin la presencia de un evento hidráulico en el cauce a consecuencia de la existencia de suelos inestables que conforman la altura superficial del talud ($H \approx 6$).*

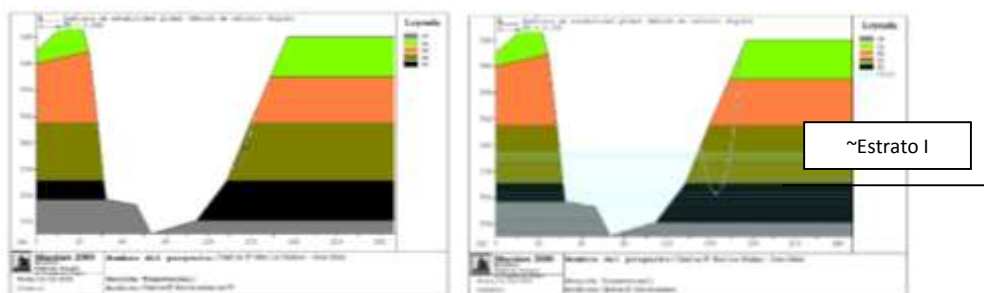


Figura VII.108. Estabilidad global sin y con NF a TR100 años en el sector 1.

- Estabilidad global con y sin gaviones con NF para un TR de 100 años, ver Figura VII.19. Se puede observar que los suelos del Estrato I -Cubierta vegetal sobre arena con algo de finos orgánicos (limos y arcillas) y escasas gravillas/gravas a Arena gravosa cuyo espesor ronda en 5,8m a 7,4m según el sondeo- (**OL, SM, SP**) presentan coeficiente de seguridad menor a 1. En el caso sin gaviones con NF a TR de 100 años, el coeficiente de seguridad es $\sim 0,1$ y en el caso con gaviones más NF a TR de 100 años mejora a $\sim 0,5$; o sea un 500% pero sigue siendo inestable igual por ser en ambos casos menor a 1.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 86 de 104
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		

Esto explica que el talud artificial (gaviones) en el sector falla no sería una obra de arte por si misma, apta para estabilizar el talud natural.

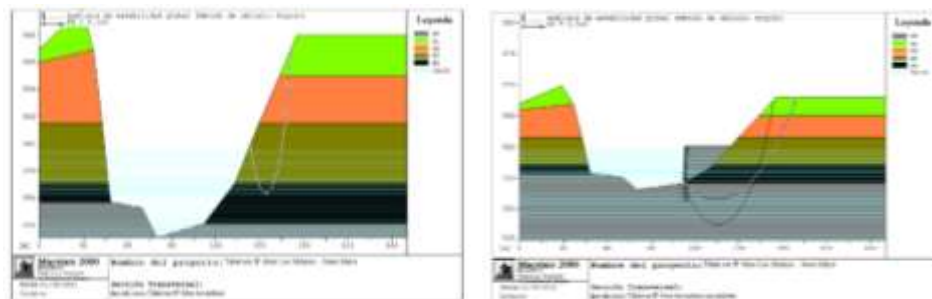


Figura VII.19. Estabilidad global con y sin gaviones con NF a TR100 años en el sector 1.

- Estabilidad interna del gavión más expuesto (bloque 1), ver Figura VII.20. Se puede observar que los suelos del Estrato I -Cubierta vegetal sobre arena con algo de finos orgánicos (limos y arcillas) y escasas gravillas/gravas a Arena gravosa cuyo espesor ronda en 5,8m a 7,4m según el sondeo- (**OL, SM, SP**) presentan coeficiente de seguridad menor a 1. Coinciden los coeficiente de seguridad en $\sim 0,5$ tanto para la inestabilidad global del muro de protección de gaviones respecto de la inestabilidad local del bloque 1 (más expuesto) para TR100 en ambos casos, o sea que la falla del muro de gaviones comienza con el deslizamientos del bloque 1. *Esto respalda que el talud artificial (gaviones), falla; no siendo una obra de arte por si misma apta para estabilizar el talud natural.*

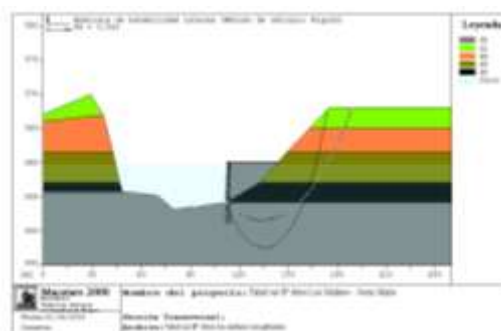


Figura VII.20. Estabilidad interna del gavión más expuesto (bloque 1) en el sector 1.

- Deslizamiento del gavión más expuesto (bloque 1) ver Figura VII.21. El muro de protección de gaviones ante esta solicitación, no falla; siendo el coeficiente de seguridad mayor 1 (ampliamente superado). No se estudió en otro sector del muro de gaviones. *Si bien el talud artificial globalmente falla, el suelo de apoyo de esta estructura flexible seria apto. Desde ya es necesario ampliar el estudio.*

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 87 de 104
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		

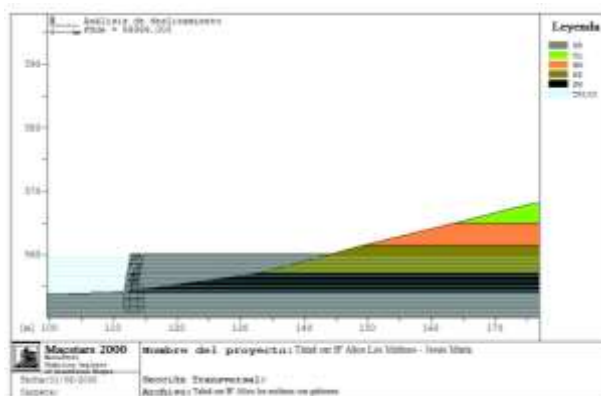


Figura VII.21. Deslizamiento del gavión más expuesto (bloque 1) en el sector 1.

- Asentamiento en la progresiva 112m (zona del bloque 1), ver Figura VII.22. El muro de protección de gaviones, no manifestaría una falla ante esta solicitación; siendo el valor del asentamiento de 0,0m. No se estudió en otro sector del muro de gaviones. *Si bien el talud artificial globalmente falla, el suelo de apoyo de esta estructura flexible seria apto. Desde ya es necesario ampliar el estudio.*

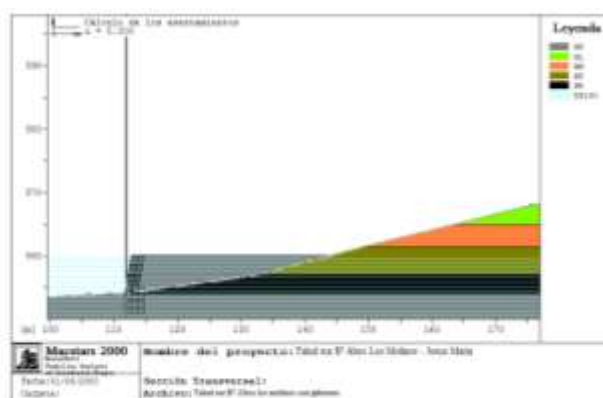


Figura VII.22. Asentamiento en la prog. 112m (bloque 1) en el sector 1.

Sector 2

- Estabilidad global con y sin nivel freático para un TR de 100 años en el talud natural, ver Figura VII.23. Se puede observar que los suelos Cubierta vegetal sobre Limos arenosos orgánicos a arenas limosas con algo de gravas y rodados dispersos de compacidad muy sueltos de potencia entre 4m a 15m según la margen - (**OL, SM, SP**) presentan coeficiente de seguridad menor a 1 solo el talud natural modelado con NF. En el caso del sin NF, el coeficiente de seguridad es ~8,3 y en el caso del con NF para una TR de 100años es ~0,3; siendo el estrato por donde pasa la falla, el Estrato I. *Esto*

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 88 de 104
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		

explica la presentación de taludes naturales del sector sin fallar para picos o acumulaciones de eventos hídricos en el río Guanusacate.

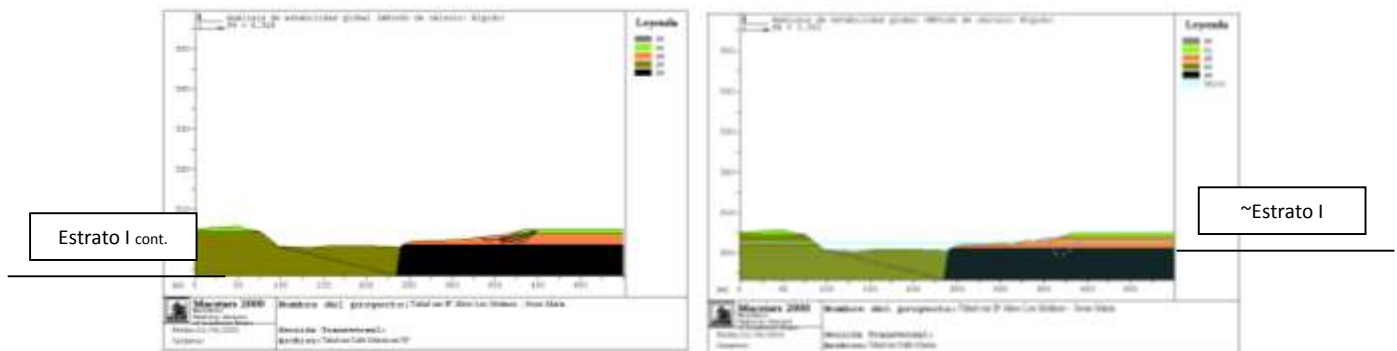


Figura VII.23. Estabilidad global sin y con NF a TR100 años en el sector 2.

- Estabilidad global con y sin gaviones con NF para un TR de 100 años, ver Figura VII.24. Se puede observar que los suelos Cubierta vegetal sobre Limos arenosos orgánicos a arenas limosas con algo de gravas y rodados dispersos de compacidad muy sueltos de potencia entre 4m a 15m según la margen - (**OL, SM, SP**) presentan coeficiente de seguridad menor a 1 solo en el talud natural modelado con NF. En el caso de sin gaviones con NF a TR de 100 años, el coeficiente de seguridad es $\sim 0,3$ y en el caso de con gaviones más NF a TR de 100 años asciende a 2,7; o sea mejoró un 900%. Esto habilitaría la posibilidad de utilizar un talud artificial de gaviones estructuralmente colocados como se muestra en la figura mencionada. *Convirtiendo un talud natural inestable en un talud artificial estable. Cabe mencionar que esta alternativa para terminar de ser viable, implica ser re-analizada técnica- económicamente a la misma; siendo algunos de los aspectos a estudiar su gran movimiento de suelo de relleno estructural del trasdós del talud artificial (gaviones), realizar una nueva ingeniería geotécnica de auscultación del perfil longitudinal en otros lugares de la margen SUR, como un recalcular la fundación del muro en dicha margen según el nuevo perfil. Cabe aclarar que el perfil estudiado fue transversal al cauce del río y no longitudinal. Por otro lado, es necesario complementar este estudio con otras obras de arte de control de la erosión a lo largo del cauce.*

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 89 de 104
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		

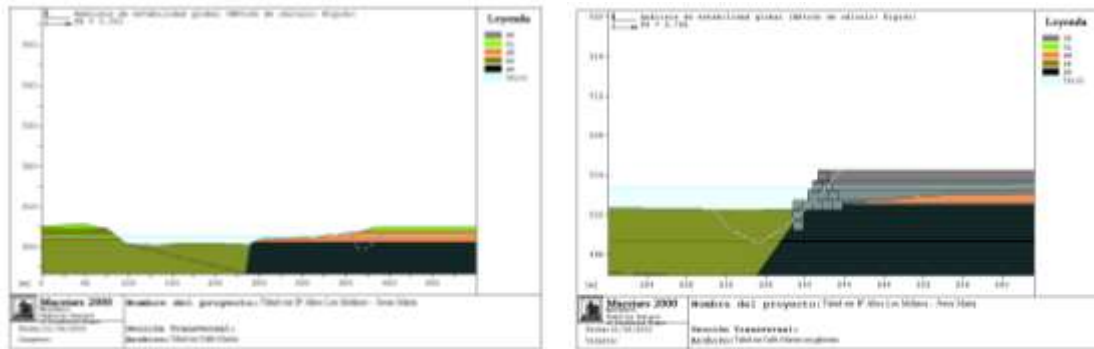


Figura VII.24. Estabilidad global con y sin gaviones en el sector 2.

- Estabilidad interna del gavión más expuesto (bloque 1), ver Figuras VII.25. Se puede observar que los suelos Cubierta vegetal sobre Limos arenosos orgánicos a arenas limosas con algo de gravas y rodados dispersos de compacidad muy sueltos de potencia entre 4m a 15m según la margen - (**OL, SM, SP**) presentan coeficiente de seguridad menor y ligeramente mayor a 1. Esto implica que el muro de gaviones para TR100 puede (o no) fallar en la zona del bloque 1; siendo variable el círculo de deslizamiento según la progresiva estudiada. *Esto respalda a que el talud artificial de gaviones, sería una obra de arte apta para estabilizar el talud natural pero es necesario realizar una nueva ingeniería geotécnica de auscultación del perfil longitudinal en otros lugares de la margen SUR, como recalcular la fundación del muro en dicha margen según el nuevo perfil.*

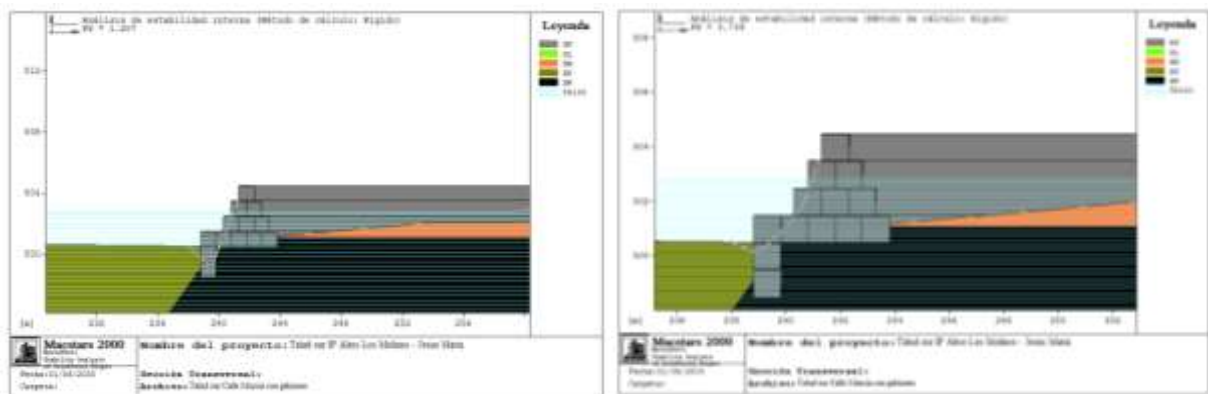


Figura VII.25. Estabilidad interna del gavión más expuesto (bloque 1) en distintas progresivas del sector 2.

- Asentamiento en la progresiva 239.8m (zona del bloque 1), ver Figura VII.26. El muro de gaviones no manifestaría una falla ante esta solicitud; siendo el valor del asentamiento de 0,0m. No se estudió en otro sector del muro de gaviones. *Si bien el talud artificial de gaviones, no fallaría globalmente y si localmente según la progresiva,*

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 90 de 104
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 suelo de apoyo de esta estructura flexible seria apto. Desde ya es necesario ampliar el estudio.

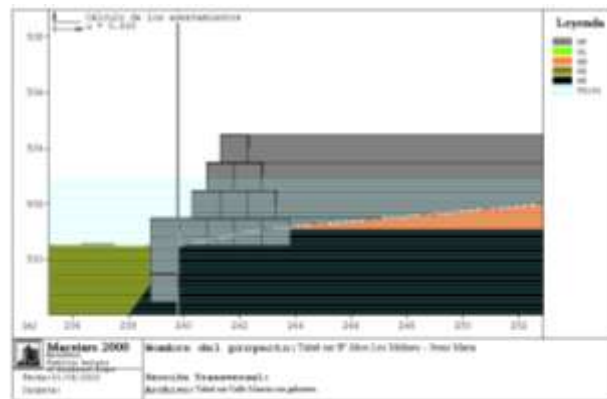


Figura VII.26. Asentamiento a la prog. 239.8m en el sector 2.

VII.7.b. Conclusiones

Sector 1

En el sector del barrio Altos Los Molinos sobre la margen SUR tanto aguas arriba como aguas abajo de la curva del cauce del Guanusacate, se analizaron y concluyeron los siguientes aspectos geotécnicos. Estos son aspectos orientativos y no excluyentes. Se recuerda que este estudio responde a un nivel de estudio de anteproyecto.

- De color **pardo claro a amarillento**, según sea su contenido de humedad y el contenido de arenas/gravas en profundidad. Se destaca la presencia de suelos de **color pardo oscuro con presencia de materia orgánica desde 0,0m a 3,0** de profundidad desde el nivel de terreno natural del sondeo S1. Esto podría deberse a una primer hipótesis de haber alumbrado suelos residuales jóvenes aportados por escurrimiento fluvial de alguna cuenca nueva del sector.
- Las fracciones de suelos alumbrados en los sondeos de este sector. **Predomina la fracción arenosa con algo de finos (limos y arcillas) y escasas gravas** tanto en el sondeo S1 (aguas debajo de la curva del cauce) como S2 (aguas arriba de la curva del cauce).
- El **acuífero freático (NF)** vario su **alumbramiento desde 7,0m en la zona del S1 a 4,0m en la zona del S2**. El sondeo S2 se realizó casi en la planicie de inundación labrada en la crecida del 15-02-15.
- El índice de plasticidad (IP) de la fracción fina a los 5,8 m de prof. en el sondeo S1, fue de 2,9% o sea bajo con un límite líquido de ~19,2% y un límite plásticos de ~16,3% o sea que responde a un **predominio de fracción fina del tipo LIMO**. Por lo general, los suelos profundos de ambientes fluviales, el límite plástico sabe ser cero o lo que prácticamente

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 91 de 104
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		

se denomina No Plástico (NP). Por lo tanto se asevera la hipótesis de suelos residuales de una cuenca nueva del sector.

- La lixiviación de la otra fracción fina o sea arcillas (principalmente) de los suelos residuales superficiales hacia los profundos, acarrearía una probabilidad de convertirlos en contráctiles cuando pierden humedad y ligeramente expansibles cuando la ganan de nuevo. Principalmente, depende de los minerales activos o lo que se conoce como actividad (Ac). El **tipo de arcillas en la muestra de 5,8 m del S1, tiene un Ac de 0,25 o sea responde a una Kaolinita**; siendo la menos activa o expansiva de las arcillas ante la presencia de agua en la masa de suelo.
- Los sedimentos gruesos de ambos sondeos, **no presentan sales solubles** disueltas o sea concluye que existe <0,1 % de éstas.
- Los números de golpes resistentes a la penetración de las exploraciones del tipo S.P.T. como D.P.C.H. de los sondeos S1 y S2 responde a una porosidad y nivel de subsidencia que varía según lo computado en la Tabla VII-11. . **En color rojo se demarcarían los estratos con "extrema" posibilidad de subsidencia de los suelos con o sin la presencia de agua. Mientras que en color verde no tendría posibilidad de subsidencia.**

Tabla VII-21. Números de golpes, porosidad y subsidencia en el sector 1.

Sondeo Prof (m)	Sondeo 1 en margen SUR	n (%)	Subsidencia	Sondeo Prof (m)	Sondeo 2 en margen SUR	n (%)	Subsidencia
0,0 a 3,0	5	58	Subsidencia extrema	0,0 a 4,4	6	57	Subsidencia extrema
	Compacidad ligeramente suelta				Compacidad ligeramente suelta		
3,0 a 5,8	19	54	Subsidencia extrema	4,4 a 7,4	21	53	Subsidencia extrema
	Compacidad compacta				Compacidad compacta		
A partir 5,8	56	35	Sin subsidencia	7,4 a 7,8	48	40	Sin subsidencia
	Compacidad muy densa				Compacidad densa		

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 92 de 104
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 **talud natural modelado es inestable con o sin la presencia del NF**. Además la **estructura de protección del mismo o sea talud artificial del tipo "gaviones" no cambia dicha inestabilidad**. Por ende no sería una estructura de proyección apta.

Sector 2

En el sector del nuevo loteo por calle Murcia como márgenes y lecho del río Guanusacate, se analizaron y concluyeron los siguientes aspectos geotécnicos. Se recuerda que este estudio responde a un nivel de estudio de anteproyecto.

- El color varía de **pardo claro a amarillento**, según sea su contenido de humedad y el contenido de finos, arenas/gravas en profundidad en los sondeos directos realizados. Desde la superficie del nuevo loteo de calle Murcia hasta las márgenes, es de color pardo claro. Mientras que en el lecho del río al momento de la Segunda etapa, predominan los de color más amarillentos.
- Las fracciones de suelos aluminados en los sondeos de este sector, **predomina la fracción arenosa con algo de gravas y escasos finos en la zona del S3 (margen SUR). Mientras que predomina la fracción arenosa con algo de finos (limos y arcillas) y nulas gravas en la zona del S4 (margen NORTE).**
- El **acuífero freático (N.F.)** varía su **alumbramiento desde ~4,0m en la zona del S3 a ~6,5m en la zona del S4**. Intuyéndose una afloramiento del N.F. más próximo a la superficie en la zona del sondeo realizado en el nuevo loteo de calle Murcia ante la presencia de suelos gruesos profundos más permeables (o sea gravas 16% y arenas 70%) en comparación que la margen NORTE.
- 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 y S4 responde a una porosidad y nivel de subsidencia que varía según lo computado en la Tabla VII-12. **En color rojo se demarcarían los estratos con "extrema" posibilidad de subsidencia de los suelos con o sin la presencia de agua. Mientras que en color amarillo con posibilidad de subsidencia.**
- Desde la Tabla VII-12 y Tabla VII-13 basada en los resultados indirectos se puede concluir que los sedimentos con sus filas de color rojo presente una extrema a normal susceptibles (tanto en planta como profundidad) a ser erosionado ante cualquier eventos hidrológico de la cuenca del río Guanusacate; siendo los sedimentos de la margen NORTE los que menos velocidad de propagación de onda sísmica presentan respecto a los de la margen sur. Induciendo que existen menos fracciones de sedimentos gruesos (principalmente gravas) en la margen norte como en el lecho río. De aquí se **concluye que no es recomendable desbancar los sedimentos de la margen NORTE como del lecho del río para rellenar la margen SUR**. En el caso de hacerlos sin un estudio geo-hidrológico final podrían ser removidos por algún pico de crecida gestacional del río Guanusacate.

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 93 de 104
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 VII-13. Números de golpes, porosidad y subsidencia en el sector 2.

Sondeo Prof (m)	Sondeo 3 en margen SUR	n (%)	Subsidencia	Sondeo Prof (m)	Sondeo 4 en margen NORTE	n (%)	Subsidencia
0,0 a 1,0	Nº golpes 7 Compacidad suelta	56	Subsidencia extrema	0,0 a 0,5	Nº golpes 6 Compacidad suelta	57	Subsidencia extrema
1,0 a 4,0	Nº golpes 9 Compacidad suelta	55	Subsidencia extrema	0,5 a >11	Nº golpes 10 Compacidad ligeramente compacta	55	Subsidencia extrema
Hacia ~4,0	Nº golpes 25* Compacidad ~compacta	47	Subsidencia	Sin dato luego de la máxima profundidad explorada de 11m con el equipo in situ presupuestado.			

Tabla VII-14. Profundidades aproximadas según los estratos en sector 2.

Estrato	Sector	Prof. aproximadas [m]	Grava [%]	Arena [%]	Limo [%]	Arcilla [%]	Vel. prop. onda [m/seg]
I	Margen sur <i>Nuevo Loteo</i>	0,0 – ~10m	16,0	70,0	4,7	9,3	300 - 400
	Margen norte <i>Lecho rio</i>	0,0 a ~15 a 33m (según el sector del cauce)	2,0	86,0	6,7	5,3	150 -300
II	Margen sur <i>Nuevo Loteo</i>	10 – ~25m	-	-	-	-	450 a 700
	Margen norte <i>Lecho rio</i>	~15 a 33 - ~33 a 40m	-	-	-	-	
III	Margen sur <i>Nuevo Loteo</i>	25 – ~35m	-	-	-	-	1300-1500

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 94 de 104
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		

	Margen norte	~33 a 40 - ~45m	-	-	-	-	1200-1300
	<i>Lecho río</i>						

- **El talud natural modelado es inestable con la presencia del NF.** Mientras que con la **estructura de protección del mismo o sea talud artificial del tipo "gaviones" si cambia dicha inestabilidad.** Por ende sería una estructura de proyección apta para este sector, siempre y cuando se realice una nueva ingeniería geotécnica de auscultación del perfil longitudinal en otros lugares de la margen SUR, como un recalcar la fundación del muro en dicha margen según el nuevo perfil. Cabe aclarar que el perfil estudiado fue transversal al cauce del río y no longitudinal. Por otro lado es necesario complementar con otras obras de arte de control de la erosión a lo largo del cauce.

VII.8.- LINEAMIENTOS BÁSICOS DE OTRA ALTERNATIVA DE PROTECCION

Esta alternativa responde a la utilización de riprap y aquí está desarrollada en forma enunciativa con algunos datos volumétricos como gravimétricos de las rocas a utilizar, ver Figura VII.27.

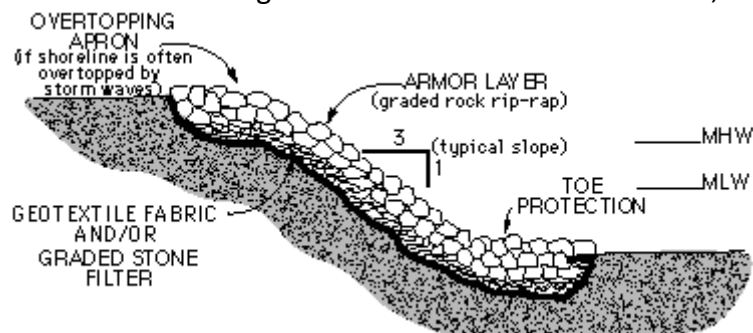


Figura VII.27. Ejemplo de talud con riprap.

La roca ha sido durante muchos años el más popular de los materiales usados en la protección de lechos y taludes (orillas) de cauces, debido principalmente a su capacidad para resistir tanto el paso de fuertes corrientes de agua como los ataques debidos al oleaje a un coste muy razonable.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 95 de 104
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 uso de la roca ofrece un amplio abanico de aplicaciones en protección, tanto contra el impacto directo de la corriente como en la construcción de capas de filtro y regulación de capas bajo el filtro.

Según el modo de colocación de la roca en las obras de protección, se pueden diferenciar los siguientes tipos:

- Escollera o riprap**: los bloques de roca son vertidos al azar.
- Bloques de piedra**: los bloques de roca se colocan cuidadosamente con máquinas o manualmente.
- Gaviones y colchones**: los bloques de piedra están en el interior de cajas de alambre metálico.
- Escollera recibida (grouted riprap)**: los bloques de piedra están unidos unos a otros mediante cemento o mezclas bituminosas.

También los agregados de roca son obviamente un componente importante en protecciones de hormigón.

En cuanto a las propiedades de las rocas, éstas pueden dividirse en las siguientes categorías:

A) Propiedades intrínsecas

- **Densidad**: Es la relación entre la masa seca y el volumen. La mayoría de las rocas tienen densidades comprendidas entre 2.500 y 2.700 Kg/m³, a excepción de algunas rocas sedimentarias (2000 Kg/m³) y el basalto (3100 Kg/m³). La densidad de una roca es un buen indicativo de su resistencia.
- **Densidad relativa**: es una propiedad usada frecuentemente y se refiere a la relación entre la densidad de la piedra y la densidad del agua. En ríos de aguas claras y en canales se puede tomar un valor para la densidad del agua de 1000 Kg/m³, mientras que en aguas salinas se toma un valor de 1025 Kg/m³.
- **Absorción de agua**: Es la masa de agua absorbida por unidad de masa de roca seca. Es una propiedad relacionada muy directamente con la durabilidad.
- **Desgaste**: Normalmente causado por variaciones de temperatura (principalmente ciclos heladas/deshielos) así como por ataques de carácter biológico, químico o mecánico.
- **Resistencia a los tejidos y presencia de discontinuidades**: Propiedades importantes para determinar la capacidad de resistencia de la roca ante la rotura y los daños por abrasión.
- **Color**: El color y la apariencia general de la roca pueden ser importantes en situaciones donde ésta debe integrarse bien con el medioambiente.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 96 de 104
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) Propiedades relacionadas con su producción

- Forma de los bloques: los bloques de roca usados en revestimientos de cauces pueden ser de forma alargada (adecuados principalmente para colocar manualmente o para gaviones), formas cúbicas o formas irregulares (angulares o redondeadas). En cualquier caso, la forma de los bloques de roca tiene influencia en el diseño de la obra de protección, principalmente en lo referente al espesor, porosidad y estabilidad de la misma.
- Integridad del bloque: la integridad de los bloques de piedra depende mucho del manejo de los mismos; un manejo inadecuado o violento incrementa la probabilidad de roturas y puede significar una reducción del tamaño medio de la roca.
- Graduación: es la distribución en tamaño o masa de la roca que es habitualmente requerido para la comprobación de su estabilidad hidráulica, para el diseño de filtros y para la elección del equipo y métodos de construcción. Es una propiedad muy importante que deber ser especificada en todos los casos.

C) Propiedades relacionadas con la construcción

- Porosidad: es el volumen de huecos por unidad de volumen de relleno de roca. Aunque ésta depende del nivel de compactación, los valores asumidos normalmente para el diseño están comprendidos entre el 15 y el 40%. El límite inferior corresponde a materiales bien graduados y está directamente relacionado con la capacidad de las partículas más pequeñas para llenar los huecos entre las partículas mayores (efecto de trabazón).
- Rozamiento interno: esta propiedad está representada por el ángulo de rozamiento interno y afecta principalmente a la estabilidad de las protecciones en taludes.

VII.8.a. La escollera (riprap)

Definición

El termino escollera (riprap) se emplea para describir la piedra suelta procedente de cantera con una amplia graduación ($D_{85}/D_{15} = 1,5 - 2,5$; $W_{85}/W_{15} = 3,40 - 16$) que se usa para la protección de lechos y taludes de cauces frente a fuerzas de carácter hidráulico.

Las protecciones o revestimientos de escollera están formados por capas de piedra de graduación ligera (de acuerdo con la clasificación holandesa) y cuyos tamaños son generalmente mayores de 200-250 mm. La escollera se puede definir bien por su peso (normalmente) o bien por su tamaño. Los bloques de piedra muy grandes, del orden de 1.000 Kg de peso, se suelen emplear únicamente en protecciones frente a oleajes importantes, empleándose el término "armour layer" (capa de armadura), mientras que en protecciones de carácter fluvial se emplea el término "cover layer" (capa de cubierta).

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 97 de 104
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		

Características genéricas

Las características más genéricas de una protección o revestimiento construido con escollera (riprap) son las siguientes (ver Tabla VII-14):

Es un tipo de protección con aplicación dentro de un amplio rango de condiciones y características tanto del flujo circulante como del suelo, lo cual le sitúa como uno de los tipos de protección más versátiles que existen.

- Es muy flexible, ya que al estar formada por bloques de roca independientes (sin ninguna trabazón artificial entre ellos), ésta se acomoda perfectamente tanto a pequeños movimientos del terreno soporte como a la pérdida de algunos de sus bloques sin que esto produzca el colapso de la misma.

- Los fallos en la misma, debidos al espesor de la capa de protección, tienden a ocurrir paulatinamente (poco a poco) existiendo tiempo suficiente para ser reparados.

- Se cree, aunque no esté aceptado universalmente, que la estabilidad es mejor en protecciones construidas con escollera bien graduada, donde las piedras de tamaños más pequeños rellenan los huecos que quedan entre las de tamaño mayor. En este caso la porosidad resulta ser considerablemente menor que en el caso de protecciones realizadas con piedra de tamaño uniforme (25% comparado con casi 40%).

- Forma de las piedras

En las protecciones de escollera existentes se pueden encontrar piedras de formas variadas: redondeadas, angulares o alargadas. Generalmente se considera que las piedras de forma alargada confieren menor estabilidad a la protección, además de ser más dificultoso su reajuste en nuevas posiciones en caso de asentamiento del terreno o fallo parcial de la protección.

En cuanto a las piedras de forma redondeada, por una parte se atribuyen a las mismas algunos fallos de protecciones, pero por otra parte algunas investigaciones en estabilidad de protecciones de escollera bajo condiciones de flujo turbulento demostraron que no existe una reducción apreciable en la estabilidad de la protección en el caso de usar piedras de forma redondeada comparada con el uso de piedras de forma angular.

-Tamaño de las piedras

El tamaño de las piedras puede especificarse en términos de peso, dimensión, ángulo del talud, calado, velocidad del agua, entre otros aspectos.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 98 de 104
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 VII-15. Características genéricas de la escollera (riprap)

Graduación	$W_{85}/W_{15} = 3,40$ a 16 Tn Curva suave, bien graduada
Forma	Idealmente cúbica (dimensión máxima » 3 dimensión mínima)
Ángulo de reposo	Normalmente entre 35° y 42° Normalmente entre 40° y 45°
Ángulo de rozamiento interno	Normalmente entre 2,50 y 2,70 Tn/m ³
Densidad (peso específico)	Especificado en términos de D_x ó W_x , el cual representa el tamaño o peso de la piedra para el cual el x% de la piedra es más pequeño.
Tamaño nominal	No menor que $2xD_{n50}$ ó bien 1 a 1,5 x dimensión máxima
Espesor del revestimiento	Rangos entre 25% (bien graduada) y 40%

Características de diseño

Existe actualmente un gran número de métodos o aproximaciones que relacionan la magnitud y dirección de las fuerzas que actúan en el contorno de un cauce con las fuerzas pasivas que tienden a prevenir la erosión del material del contorno, ver resumen en Figura VII.28. Estas aproximaciones se pueden incluir en los siguientes grupos:

- Métodos que relacionan el tamaño de la piedra con la tensión tractiva o esfuerzo cortante ejercido sobre el contorno del canal.*
- Métodos que relacionan el tamaño de la piedra con la velocidad del flujo circulante por el canal.*
- Métodos que relacionan el tamaño de la piedra con la velocidad del flujo circulante por el canal y cuya formulación sencilla ha sido obtenida de forma empírica.*
- Métodos que relacionan la velocidad permisible vegetación y otros tipos de revestimiento.*

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 99 de 104
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		

[illegible]

Figura VII.28. Resumen de metodologías de cálculo de protección de riprap.

Enunciado de datos gravimétricos y volumétricos básicos para el sector que menos verifica la protección de gaviones.

Esta alternativa de protección podría ser utilizada para proteger el talud artificial de gaviones en sector 1. No puntualmente en la curva donde se analizó el mismo sino realizar un conjunto de obras aguas arriba como aguas debajo de la misma.

A partir de los datos hidráulicos de la velocidad en el sector (ver Figura VII.29) se va a estimar los valores del tamaño máximo del bloque de riprap y el peso del mismo utilizando el método de USBR-EM-25 (U.S.Bureau of Reclamation) y MAN-54 (American Society of Civil Engineers-ASCE), ver Tabla VII.15. Se reitera que estos cálculos son aproximados y orientativos. Mayores detalles escapan al presente informe.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotecnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 100 de 104

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

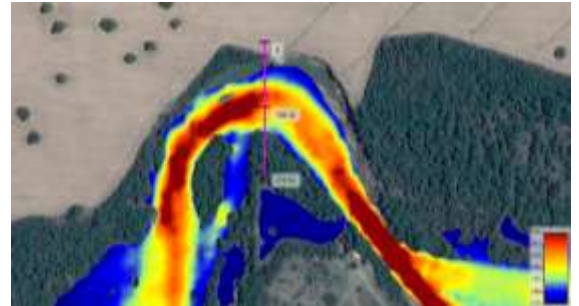
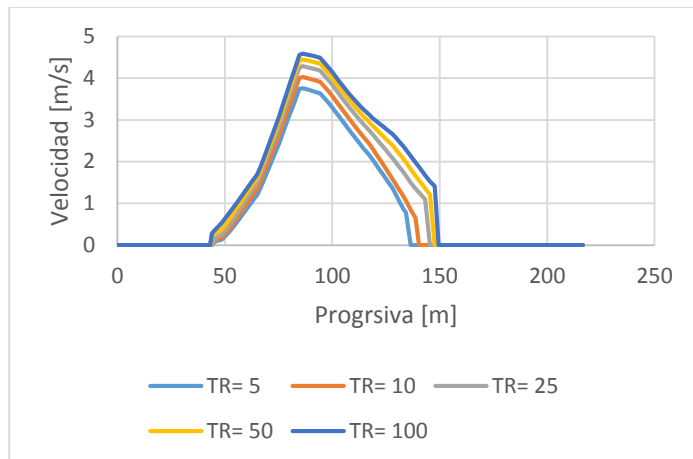


Figura VII.29. Velocidades para los distintos TR en la zona estudiada del sector 1.

Tabla VII-16. Características volumétricas y gravimétricas básicas del riprap para el sector 1

$V_{pico} = 14,8 \text{ foot/seg} \text{ ó } 4,5 \text{ m/seg}$	Peso máximo del bloque $W = 13 \text{ tn}$ según el método ASCE
$\phi = 14^\circ$	
$G_s = 2,65$	Diámetro máximo del bloque $D \approx 1,0 \text{ m}$ según U.S. Bureau of Reclamation
$V = 14,8 \text{ foot/seg} \text{ ó } 4,5 \text{ m/seg}$	

Elaboró Área Geomorfología Área Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacaste	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 101 de 104
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

Ayala, F.J. (2002) **Estrategias y medidas de mitigación del riesgo de inundaciones. Gestión de zonas inundables**. In Ayala, F.J. y Olcina, J. (Coords): Riesgos naturales, 977-995, Barcelona, Ariel.

Barbeito, O. y Ambrosino, S., (2005). **"Evaluación de umbrales de inundaciones extremas y desastres, mediante el empleo del criterio geomorfológico, las técnicas de teledetección e información histórica"**. 2ª Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. ISBN 987-20109-4-3. Neuquén. Argentina.

Barbeito O., Rydzewski A. (2015) **"Inundaciones y erosión de márgenes en la localidad de Jesús María. Córdoba"**. EIDIPA+UNC .Segundo Encuentro Interdisciplinario de Investigadores en Problemáticas Ambientales de la UNC.

(Caamaño Nelli y García en 1999),

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

Chow, V.T., Maidment, D. y Mays L. 1994. Hidrología Aplicada. Ed. Mc Graw Hill. Bogotá, Colombia.

Chow, V. T. (1994). Hidrologia de Canales Abiertos. McGraw-Hill.

Leopold, L.B.; Wolman, M.G. y Miller, J.P. (1964) **Fluvial processes in Geomorphology**. San Francisco, Freeman

Llorente, M. (2008) **"Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones: guía metodológica para su elaboración"** IGME.

Nardini, A., Meier, C.y Gomes Migueles M. (2016) **El Espacio Fluvial: Comparación del Marco Legal-Administrativo de Chile, Brasil México, España e Italia y Criterios para definir corredores fluviales**. Aqua-LAC - Vol. 8 - Nº 1 - Mar. 2016. pp. 68- 79

Ollero, A. (2006) **Inundaciones y ordenación del territorio fluvial en la cuenca del Ebro**. In Chastagnaret, G. y Gil Olcina, A. (eds.) Riesgo de inundaciones en el Mediterráneo occidental, 239-272, Madrid, Casa de Velázquez.

Patalano, A., Brevis, W., García, C. M., Bleninger, T., & Rodríguez, A. (2013). **PTVlab, una herramienta gráfica para le procesamiento digital en Velocimetría por Seguimiento de partículas**. Tercer Simposio de Métodos Experimentales en Hidráulica, Santa Fe, Argentina.

Patalano, A., & García, C. M. (2016). **RIVeR - Towards affordable, practical and user-friendly toolbox for Large Scale PIV and PTV Techniques**. Córdoba, Argentina.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanúsacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 102 de 104
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		

Piegays, H, Darby, E. Mosselman, E and Surian N. (2005) **A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion**. River research and applications, Vol 21: 773–789 (2005).

Rydzewski, Ana, Lanfranco, Mauro y Moya David. (2016) **Aplicación del criterio geomorfológico para evaluación y zonificación de la amenaza por crecientes repentinas**. IFRH 2016 Encuentro de investigadores en formación de recursos hídricos. https://www.ina.gov.ar/ifrh-2016/trabajos/IFRH_2016_paper_102.pdf

Thielicke, W., & Stamhuis, E. J. (2010). **PIVlab**. Recuperado el 16 de Octubre de 2016, de <http://pivlab.blogspot.com.ar/p/pivlab-documentation.html>.

Waskiewicz TA, Anderson S, Liu PS. (2004). **Geomorphic context of channel locational probabilities along the lower Mississippi River, USA**. Geomorphology 63: 145–158.

INA –CIRSA. **Primer informe de avance Estudio geo-hidrológico del Río Guanacate en su paso por el área urbana de Jesús María**, marzo 2017

INA –CIRSA. **Segundo informe de avance Estudio geo-hidrológico del Río Guanacate en su paso por el área urbana de Jesús María**, julio 2017

INA –CIRSA. **Informe Complementario, Estratigrafía de la calle Murcia. Estudio geo-hidrológico del Río Guanacate en su paso por el área urbana de Jesús María**, octubre 2017.

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 103 de 104
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. CARTA DE AMENAZA POR INUNDACIONES REPENTINAS Y EROSIÓN DE MÁRGENES

IX.2.- CARTA 2. TRAMO 2. FAJA FLUVIAL EROSIONABLE

IX.3.- CARTA 3. CARTA DE PROBABILIDAD DE MIGRACIÓN DE CANAL (LECHO ORDINARIO)

IX.4.- CARTA 4. CARTA DE INUNDACIÓN Y EROSIÓN DE MÁRGENES SEGÚN MODELO HIDRÁULICO

IX.5.- CARTA 5. CARTA DE AMENAZA POR INUNDACIONES REPENTINAS Y EROSIÓN DE MÁRGENES SEGÚN CRITERIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRÁULICO (TRAMO 1)

IX.6.- CARTA 6. CARTA DE AMENAZA POR INUNDACIONES REPENTINAS Y EROSIÓN DE MÁRGENES SEGÚN CRITERIO GEOMORFOLÓGICO E HIDRÁULICO (TRAMO 2)

IX.7.- PLANO G1. PERFIL TRANSVERSAL EN SECTOR 2.

IX.8.- PERFIL DE SUELOS SONDEO-1 (S1)

IX.9.- PERFIL DE SUELOS SONDEO-2 (S2)

IX.10.- PERFIL DE SUELOS SONDEO-3 (S3)

IX.11.- PERFIL DE SUELOS SONDEO-4 (S4)

IX.12.- COMPARACIÓN DE EFECTOS MODELACIÓN HIDRÁULICA CON MODIFICACIÓN DE ESTRIBOS PUENTE RUTA 9

Elaboró Area Geomorfología Area Hidrología Área Geotécnica/Lab. Suelos	Código: INFORME FINAL Río Guanusacate	
	Emisión: Diciembre de 2017	
	Revisión: 02	Página 104 de 104
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		