

Informe Final

Cuenca del Río Colorado: Determinación de
Áreas de Riesgo Hídrico

Tomo IV: Sistema de Información Geográfico

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO)

Junio de 2013



Cuenca del Río Colorado: Determinación de Áreas de Riesgo Hídrico

Tomo IV: Sistema de Información Geográfico

Índice

1	Enfoque metodológico del Sistema de Información Geográfico	1
1.1	Definición de aspectos claves	1
1.2	Análisis de antecedentes	4
1.3	Desarrollo del Sistema de Información Geográfico	11
2	Generación del Modelo Digital del Terreno (MDT)	34
2.1	Objetivo	34
2.2	Información utilizada	34
2.3	Enfoque y Procesamiento del modelo digital del terreno	36
2.4	Conclusiones	51
3	Procesamiento de imágenes satelitales y fotografías aéreas	54
4	La Base de Datos Geográficos (Geodatabase)	60
5	Producción de mapa base y mapas temáticos	66
5.1	Mapa Base	66
5.2	Mapas Temáticos	66

Listado de Figuras

Figura 1: Fajas meridianas de la Cuenca del Río Colorado	3
Figura 2: Formatos de mapa A3 y A1	4
Figura 3: Imágenes Landsat 5TM disponibles	8
Figura 4: Imágenes Landsat 7ETM disponibles	9
Figura 5: Cartas Imagen del IGN escala 1:250.000	11
Figura 6: Mapa de Temperatura Media Anual	15
Figura 7: Mapa de Precipitación Media Anual	16
Figura 8: Mapa de Cobertura de Suelo	17
Figura 9: Mapa de Unidades Geológicas	20
Figura 10: Mapa de Unidades de suelo	21
Figura 11: Mapa de Estaciones de registro	22
Figura 12: Mapa de Subcuencas de aporte de los Ríos Barrancas, Grande y Colorado	23
Figura 13: Mapa de Reconocimiento terrestre y aéreo de la Cuenca	24
Figura 14: Área de inundación en Río Colorado - La Adela – TR= 2 años	26
Figura 15: Área de inundación en Río Colorado – La Adela – TR=10 años	26
Figura 16: Área de inundación en Río Colorado – La Adela – TR=25 años	27
Figura 17: Área de inundación en Río Colorado – La Adela – TR=50 años	27
Figura 18: Área de inundación en Río Colorado – La Adela – TR=100 años	28
Figura 19: Área de inundación en Río Colorado – La Adela – TR=1000 años	28
Figura 20: Áreas de inundación para TR=2, 100 y 1000 años en Río Colorado y La Adela	29
Figura 21: Línea de Ribera y Conexas en Río Colorado - La Adela	30
Figura 22: Áreas de inundación por Rotura de Presa Huelches en Río Colorado - La Adela	30
Figura 23: Índice de vulnerabilidad a nivel departamental	31
Figura 24: Índice de vulnerabilidad a nivel de radio censal	32
Figura 25: Distribución de Mapas Geomorfológicos	32
Figura 26: Distribución de los Mapas de Áreas de inundación en escala 1:100.000	33
Figura 27: Distribución de los Mapas de Áreas de inundación en escala 1:50.000	33
Figura 28: Análisis de la información topográfica del IGN, escala 1:250.000	35

Figura 29: Enfoque metodológico para la obtención del modelo digital de terreno	36
Figura 30: Diagrama de los archivos raster del SRTM utilizados para cubrir el área de estudio	37
Figura 31: Comparación de MDT de la NASA original (sin filtrar) y filtrado al sur de Pedro Luro	38
Figura 32: Comparación de curvas de 200m de altitud en la Cuenca Baja	39
Figura 33: Comparación de curvas de 300m y 400m de altitud en alrededores de Casa de Piedra	39
Figura 34: Comparación de curvas desde 700 (verde claro) hasta 2100m de altitud (azul) en sector del volcán Auca Mahuida	40
Figura 35: Ubicación de perfiles de comparación (flechas rojas)	41
Figura 36: Comparación de perfiles de relevamientos de campo y MDT-SRTM 90m (DC-25)	41
Figura 37: Comparación de perfiles de relevamientos de campo y MDT-SRTM 90m (DC 27)	42
Figura 38: Comparación de perfiles de relevamientos de campo y MDT-SRTM 90m (RC-PL14)	42
Figura 39: Comparación de perfiles de relevamientos de campo y MDT-SRTM 90m (RC-PL37)	43
Figura 40: Comparación entre el MDT y los perfiles topográficos	44
Figura 41: Ajustes del MDT por sectores de la Cuenca	45
Figura 42: Histogramas de frecuencias Sector 1 (ríos Barrancas y Grande)	46
Figura 43: Histogramas de frecuencias Sector 2 (río Colorado desde Confluencia a Casa de Piedra)	47
Figura 44: Histogramas de frecuencias Sector 3 (río Colorado desde Casa de Piedra hasta La Adela-Río Colorado)	48
Figura 45: Histogramas de frecuencias Sector 4 (río Colorado desde La Adela-Río Colorado hasta Paso Alsina)	49
Figura 46: Histogramas de frecuencias Sector 5 (río Colorado desde Paso Alsina hasta la Desembocadura)	50
Figura 47: Modelo Digital de Terreno Final	52
Figura 48: Detalle del MDT Final y del correspondiente Hillshade en la zona de Confluencia de los Ríos Barrancas y Grande	53
Figura 49: Ubicación de las imágenes Landsat seleccionadas	59
Figura 50: Esquema de la Geodatabase	65
Figura 51: Mapa Base	67

Listado de Tablas

Tabla 1: Metodología del SIG	1
Tabla 2: Parámetros del Sistema de Proyección Gauss Krüger por faja meridional	3
Tabla 3: Índice de capas temáticas recopiladas	6
Tabla 4: Imágenes satelitales disponibles	9
Tabla 5: Escenas Landsat seleccionadas	54
Tabla 6: Características de las bandas de los sensores TM y ETM+ del Landsat	55
Tabla 7: Características de la Combinación de bandas 752	57
Tabla 8: Comparación de sectores con diferente combinación de bandas	58
Tabla 9: Feature Datasets y Feature Classes de la Geodatabase	61
Tabla 10: Archivos raster de la Geodatabase	64
Tabla 11: Listado de mapas producidos	68

1 Enfoque metodológico del Sistema de Información Geográfico

El Sistema de Información Geográfica (SIG) ha tenido por objetivo general desarrollar la cartografía básica y temática para sustentar la ejecución de los trabajos que se desarrollaron a lo largo del presente estudio.

El SIG fue implementando en forma progresiva a lo largo del proyecto, considerando las particularidades de la Cuenca del Río Colorado, para dar cumplimiento al objetivo general y a los siguientes objetivos específicos:

- almacenar la información temática espacial que se recopiló durante todo el desarrollo del proyecto, de manera de facilitar su identificación, uso y actualización
- generar y post-procesar un Modelo Digital del Terreno (MDT),
- asistir en los análisis temáticos que se llevaron a cabo para el desarrollo de cada una de las componentes del Estudio.

Así, el desarrollo del SIG comprendió varias actividades principales, las cuales se agruparon en etapas que se fueron ejecutando durante el estudio. Dichas actividades y etapas se listan en la Tabla 1.

Tabla 1: Metodología del SIG

<p>PRIMERA ETAPA: Definición de aspectos claves</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Análisis y organización de la información recopilada (archivos vectoriales y archivos raster) – Adopción del sistema de proyección del proyecto (Gauss Krüger) – Elaboración del índice preliminar de capas temáticas a incorporar al SIG (definición de la estructura de la Base de Datos Geográfico o Geodatabase) – Recopilación y análisis de la información necesaria para generar el Modelo Digital del Terreno (MDT)
<p>SEGUNDA ETAPA: Desarrollo del SIG</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Definición de los formatos y de la escala de los mapas a presentar – Incorporación de las capas temáticas a la Geodatabase – Elaboración del mapa base y los mapas temáticos preliminares – Procesamiento y calibración del MDT
<p>TERCERA ETAPA: Presentación de resultados del SIG</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Geodatabase final – MDT final – Mapas base y temáticos finales

1.1 Definición de aspectos claves

Durante las fases iniciales del proyecto se llevó a cabo la primera de las etapas metodológicas definiendo los aspectos claves del SIG: software utilizado, sistema de proyección adoptado y escalas y formatos de los mapas producidos durante el Proyecto.

1.1.1 Software

El software utilizado para el desarrollo e implementación del SIG del proyecto fue el Programa ArcGIS 9.2 (ArcView) de la empresa Environmental Systems Research Institute (ESRI).

El Programa es el resultado de una larga evolución de productos SIG que ofrece respuestas y soluciones flexibles a las diferentes necesidades del usuario. Está compuesto por un módulo básico (ArcCatalog, ArcMap y ArcToolbox) y por otro módulo de extensiones.

Durante el desarrollo del SIG del Proyecto se utilizaron los módulos básicos mencionados y las siguientes extensiones como soporte para los análisis espaciales requeridos: Spatial Analyst y 3D Analyst.

Para el procesamiento de imágenes satelitales se utilizó el software ENVI (Environment for Visualizing Images) versión 4.1.

1.1.2 Sistema de proyección

La proyección cartográfica seleccionada para el estudio es la Proyección Conforme Gauss Krüger.

Este sistema geométrico de referencia es el empleado oficialmente por el Instituto Geográfico Nacional para expresar numéricamente la posición geodésica de cualquier punto sobre el territorio Argentino. Se trata de una proyección Mercator Transversa en la cual se definen siete fajas meridianas numeradas de Oeste a Este con el objetivo de reducir las deformaciones. Cada una de las fajas tiene 3° de longitud y el meridiano central de cada una de ellas constituye el eje a partir de la cual se define la posición horizontal de un punto.

El marco de referencia adoptado es POSGAR 94 (Posiciones Geodésicas Argentinas 94) definido por el Instituto Geográfico Nacional mediante la resolución 13/97.

El área de estudio por su gran extensión longitudinal abarca tres fajas meridianas: Faja 2, Faja 3 y Faja 4 como se puede apreciar en la Tabla 2.

Los parámetros de la proyección Gauss Krüger para cada una de las fajas meridionales se resumen en la Figura 1.

Si bien este sistema de proyección es el sistema oficial del país, es necesario efectuar ciertas consideraciones al representar los mapas, por cubrir el área de estudio varias fajas. Por tal motivo, se ha adoptado la faja central del área de estudio (GK-Faja3) para la proyección de los archivos de la Geodatabase y para la representación de los mapas regionales.

En consecuencia, todas las capas temáticas recopiladas ingresadas al SIG, que no se encontraban proyectadas en dicho Sistema se re-proyectaron a fin de ajustarlas a la proyección seleccionada.

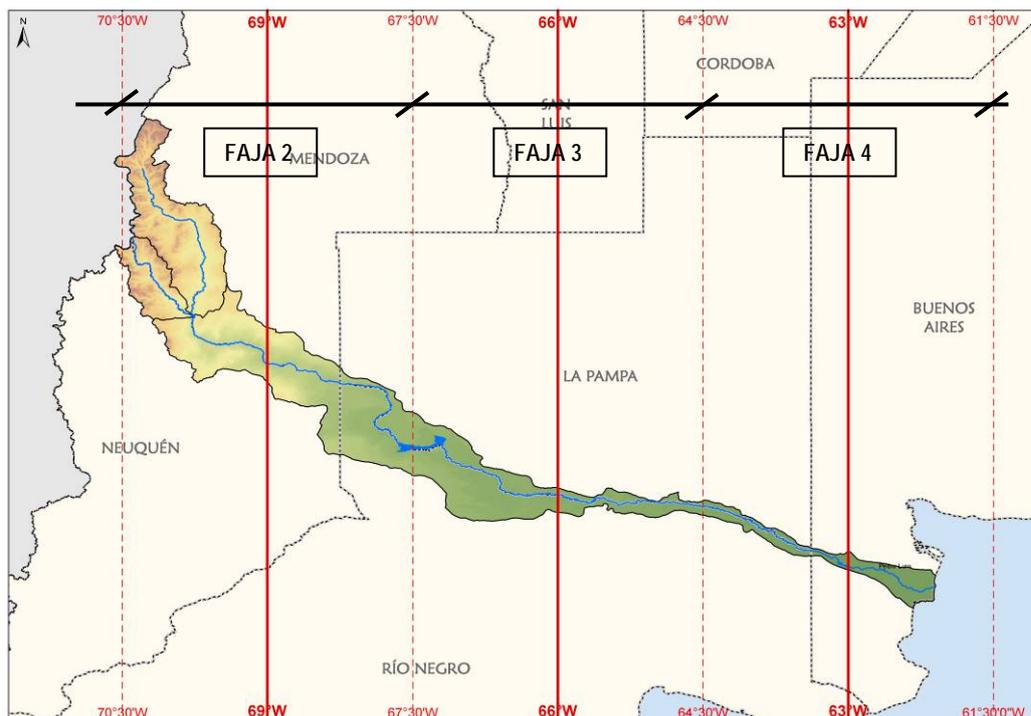


Figura 1: Fajas meridianas de la Cuenca del Río Colorado

Tabla 2: Parámetros del Sistema de Proyección Gauss Krüger por faja meridional

Faja 2	Faja 3	Faja 4
Meridiano Central 69° W	Meridiano Central 66° W	Meridiano Central 63° W
Proyección: Mercator Transversa	Proyección: Mercator Transversa	Proyección: Mercator Transversa
Falso Este: 2,500,000	Falso Este : 3,500,000	Falso Este : 4,500,000
Falso Norte: 0	Falso Norte : 0	Falso Norte : 0
Meridiano Central: -69	Meridiano Central : -66	Meridiano Central : -63
Factor de Escala: 1	Factor de Escala : 1	Factor de Escala : 1
Latitud de origen: -90	Latitud de origen : -90	Latitud de origen : -90
Unidad: Meter	Unidad: Meter	Unidad: Meter
Datum: POSGAR 1994	Datum: POSGAR 1994	Datum: POSGAR 1994

1.1.3 Escala y formatos

La representación gráfica de la información recopilada requiere de una adecuada selección de escalas y formatos.

Para la representación cartográfica se utilizaron hojas en tamaño A3 y en tamaño A1. Se desarrolló un template para cada una de ellas que fueron adoptados en los 142 mapas del presente trabajo que se pueden consultar en el Anexo IV.B. Un ejemplo del formato adoptado se presenta en la Figura 2.

En los mapas A1 y A3, la Cuenca en toda su extensión se presenta en escala 1:1.200.000 y 1:2.000.000, respectivamente.

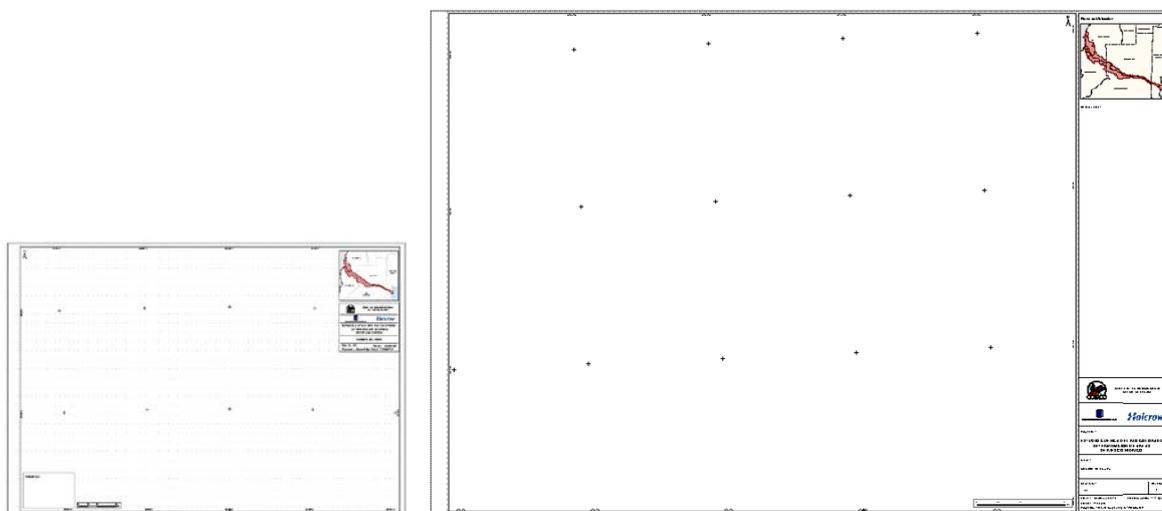


Figura 2: Formatos de mapa A3 y A1

En la representación de sectores de la Cuenca, como es el caso de los Mapas de Reconocimiento de la Cuenca o en los Mapas de áreas de Inundación se adoptó la escala más adecuada para la mejor visualización, según lo establecido en el Acta de Negociación del Contrato del 9 de diciembre de 2010.

1.2 Análisis de antecedentes

El análisis de antecedentes se refiere a la exploración detallada de la información recopilada en cuanto a la calidad, veracidad o confiabilidad de los datos, como también al tipo de formato, proyección y cobertura, en relación a las actividades a desarrollar a lo largo del estudio y a los resultados que se espera obtener.

Para analizar la información secundaria recopilada de diversas fuentes se procedió a ordenarla por ejes temáticos, y luego evaluar su relevancia y los datos presentes en cada caso (campos de información, cantidad de registros, fuente, cobertura geográfica, etc.) para su posible utilización en el estudio.

Se ha mantenido una copia de los archivos recopilados originales (como "Base_data"), guardando los archivos editados como "Final_Data" en carpetas definidas por temáticas para luego ser incorporados a la Geodatabase del Proyecto.

La información recopilada para el SIG en formato vectorial, raster y bases de datos cubren la totalidad del área de estudio y el nivel de detalle de la información ha sido homogéneo.

1.2.1 Recopilación de capas temáticas

La información en formato vectorial recopilada para su análisis se obtuvo principalmente de COIRCO, del Instituto Geográfico Nacional (IGN), de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, y del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (Censo de población y Viviendas de 2010 - INDEC), entre otros.

Primordialmente se utilizó la información de base existente en dos Personal Geodatabase provistas por COIRCO:

- CoircoGeoDatabase.mdb

- LineasAfectacion_CPPA.mdb

Esta información antecedente fue editada y completada con información del Instituto Geográfico Nacional (IGN), de la Subsecretaría de Recursos Hídricos, y con los datos de población a nivel de departamento del INDEC - Censo 2010 y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Asimismo, se recopiló información secundaria de otras fuentes, como se detalla en la Tabla 3 en la que se listan las capas temáticas recopiladas, analizadas y ordenadas por temática. La naturaleza de esta información secundaria se describe por temática en el apartado 1.3.1.

Las capas temáticas incorporadas al SIG, luego de ser revisadas, completadas y editadas pasaron a formar parte de la Geodatabase del proyecto, para su posterior incorporación a la Geodatabase existente en COIRCO.

Tabla 3: Índice de capas temáticas recopiladas

Tema	Archivo	Fuente	Geometría	Breve Descripción
División Política	America_Sur	Halcrow	Polígono	Polígono de países que conforman América del Sur
	Provincias_Argentinas	COIRCO	Polígono	Provincias Argentinas
	Departamentos_Argentina	Halcrow - INDEC	Polígono	Departamentos de Argentina con información de cantidad de población según el Censo de 2010
Red Vial e infraestructura	Rutas_Nacionales	COIRCO – IGN	Línea	Rutas Nacionales
	Rutas_Provinciales		Línea	Rutas Provinciales
	Vías _ ferroviarias	COIRCO – IGN	Línea	Líneas de ferrocarril
	Estaciones_FFCC		Punto	Estaciones de FFCC con nombre
Población	Población	COIRCO – IGN	Punto	Localización de ciudades, parajes localidades, puestos, estancias, chacras, etc.
Hidrografía	Rios_principales	COIRCO	Línea	Ríos principales de la Cuenca
	Rios_secundarios		Línea	Ríos secundarios de la Cuenca
	Red_Hidrográfica		Línea	Red hidrográfica completa de la Cuenca
	Subcuencas	COIRCO	Polígono	Área de estudio: Cuenca del Río Colorado, del Río Barrancas y del Río Grande
	Lagunas_Embalses	COIRCO	Polígono	Lagunas y Embalses de la Cuenca
Relevamientos topobatimétricos	Tramo1	COIRCO	Línea	Secciones transversales al río.
	Tramo2		Línea	Secciones transversales al río.
	Tramo3		Línea	Secciones transversales al río.
	Perfiles_abajo_casapiedra	COIRCO – DPA	Punto	Archivo generado en base a planilla Excel. Perfiles topobatimétricos del Río Colorado – aguas abajo de Casa de Piedra. Año 1993 - 1995
	Perfiles_rincon_sauces	COIRCO – CFI	Punto	Archivo generado en base a planilla Excel. Perfiles topobatimétricos zona Rincón de los Sauces. Año 2005

Tema	Archivo	Fuente	Geometría	Breve Descripción
	Perfiles_pata_mora	TECFOR ING - REPSOL YPF	Punto	Archivo generado en base a planilla Excel. Perfiles topobatimétricos Pata Mora. Año 2003 – Extensión: 8km aguas abajo de Rincón de los Sauces
	Perfiles_desfiladero_bayo	Arcan Ing. Const. S.A. - Serman y asociados - Petro Andina Resources	Punto	Archivo generado en base a planilla Excel. Desfiladero Bayo. 11km aguas debajo de Rincón de los Sauces. Año 2009
	Perfiles_bajada_lallave	Arcan Ing. Const. S.A. y Serman y asociados - Petro Andina Resources	Punto	Archivo generado en base a planilla Excel. 17 perfiles de Desfiladero Bayo (3,2km) y 16 de Bajada La Llave (3,2km). Año 2006
	Perfiles_la_hamaca		Punto	Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia de Neuquén
	Perfiles_valle_verde		Punto	Departamento Provincial del Agua, Provincia de Río Negro
Topografía	Mdt_srtm	SRTM, NASA USA USGS	Raster	Modelo Digital de la Superficie terrestre SRTM V3 (Shuttle Radar Tomography Misión)
	Curvas_nivel	IGN	Línea	Información digitalizada en base a las cartas topográficas en escala 1:250000 del IGN
	Puntos_acotados			
Suelo	Unidades_suelo	INTA	Polígono	Unidades de tipo de suelo en escala 1:500.000
vegetación	Regiones_Fitogeograficas	A. Cabrera	Polígono	Digitalización de las Regiones Fitogeográficas Argentinas según Ángel Cabrera (1976)
	Veg_GLC2000	Joint Research Centre, European Commission	Grid	Mapa de Vegetación de un 1km de resolución espacial
Parques Nac.	Áreas_Naturales_Protegidas	Administración de Parques Nacionales	Polígono	Áreas Naturales Protegidas Nacionales y Provinciales

1.2.2 Recopilación de Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales son un instrumento clave como apoyo para la realización de varios mapas y productos del proyecto; además de realizar interpretaciones visuales multi-temporales de distintos procesos: cambios en la planforma del río, fenómenos de remoción en masa, inundaciones, etc.

Por tal motivo se procuró obtener escenas de diversas fechas que permitan realizar, mediante combinaciones de bandas, una interpretación visual y análisis digital de las mismas sobre el área de estudio.

Algunas de las escenas de imágenes Landsat 5 Thematic Mapper (TM) y Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper (ETM), ambas de 30m de resolución espacial, fueron provistas por COIRCO (correspondientes a un Convenio COIRCO-Comisión Nacional de Actividades Espaciales), y otras, fueron obtenidas del sitio de Internet perteneciente a la University of Maryland en conjunto con la NASA: Earth Science Data Interface (ESDI) - Global Land Cover Facility Program (<http://www.glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>). Este aporte permitió que las imágenes disponibles en el proyecto cubran toda el área de estudio para diferentes períodos temporales.

En la Figura 3 y Figura 4 se muestra la ubicación (Path/Row) de las imágenes Landsat 5TM y Landsat 7ETM utilizadas mientras que en la Tabla 4 se presentan las escenas recopiladas y sus fuentes.

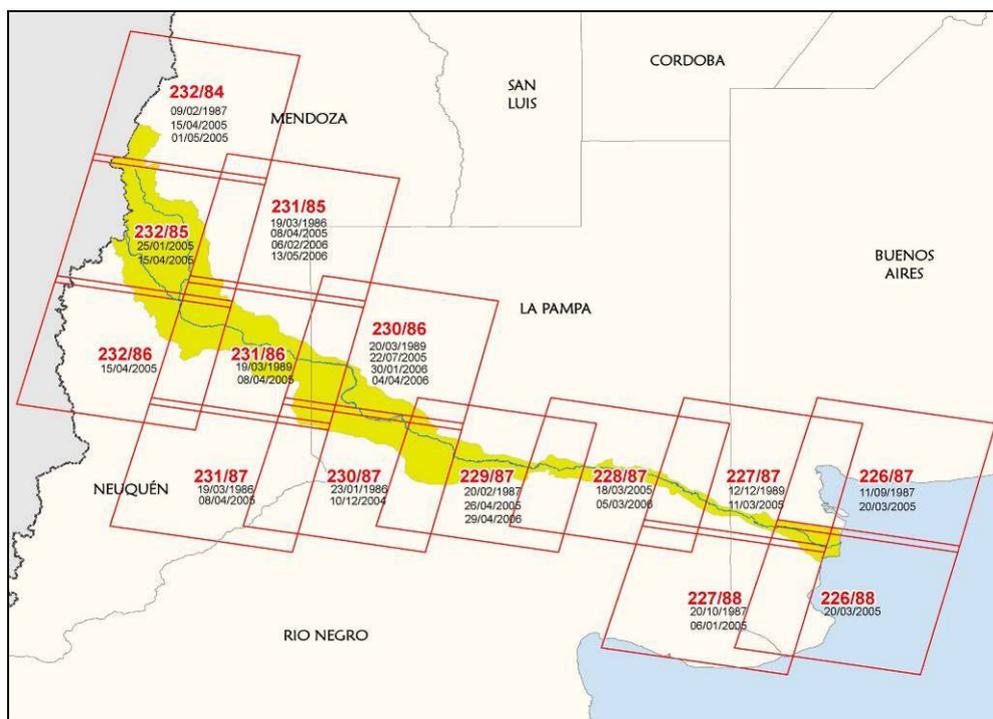


Figura 3: Imágenes Landsat 5TM disponibles

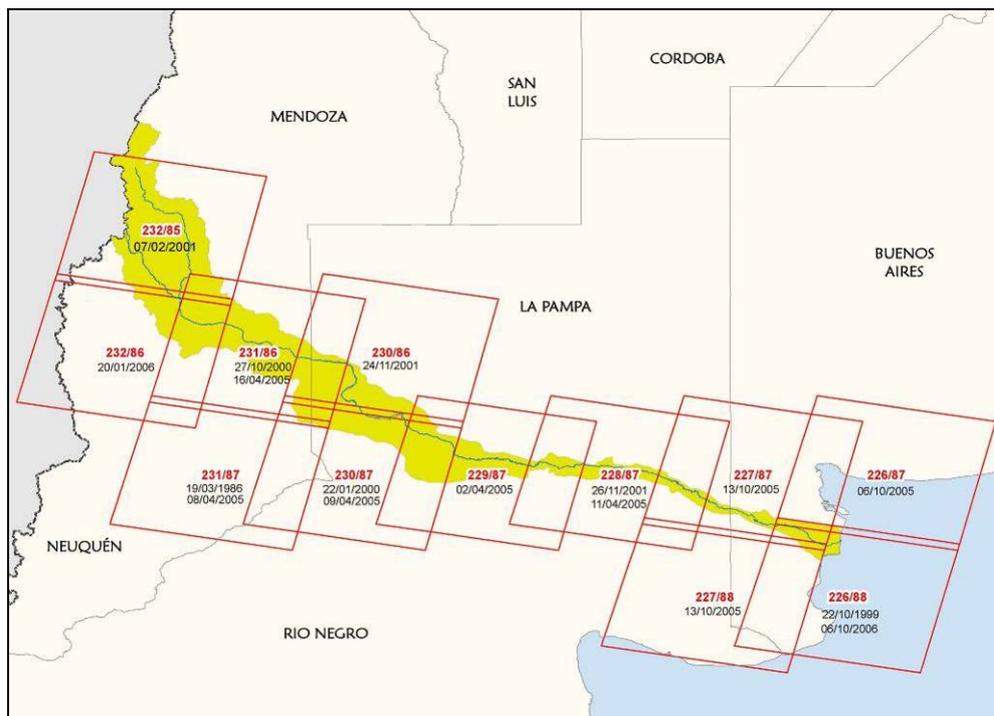


Figura 4: Imágenes Landsat 7ETM disponibles

Tabla 4: Imágenes satelitales disponibles

Imágenes Satelitales				
Satélite/Escena	Sensor	Fecha	Fuente	
Landsat 226/087 (Bahía Blanca)	5 TM	11/9/1987	GLCF	
		20/03/2005	COIRCO	
		6/10/2005	GLCF	
Landsat 226/088 (Juan Pradere)	5 TM	20/03/2005	COIRCO	
		7 ETM	22/10/1999	GLCF
			6/10/2006	GLCF
Landsat 227/087 (Paso Alsina)	5 TM	12/12/1989	GLCF	
		7 ETM	11/3/2005	COIRCO
			13/10/2005	GLCF
Landsat 227/088 (Primera Angostura)	5 TM	20/10/1987	GLCF	
		7 ETM	6/1/2005	COIRCO
			13/10/2005	GLCF
Landsat 228/086 (General Acha)	5 TM	18/03/2005	COIRCO	
Landsat 228/087 (Pichi Mahuida)	5 TM	18/03/2005	COIRCO	
		7 ETM	5/3/2006	COIRCO
			26/11/2001	GLCF
Landsat 228/088 (General Conesa)	5 TM	11/4/2005	GLCF	
		12/12/2004	COIRCO	

Imágenes Satelitales			
Satélite/Escena	Sensor	Fecha	Fuente
Landsat 229/086 (Puelches)	5 TM	26/04/2005	COIRCO
		4/11/2005	COIRCO
Landsat 229/087 (Gobernador Duval)	5 TM	20/02/1987	GLCF
		26/04/2005	COIRCO
		29/04/2006	COIRCO
	7 ETM	2/4/2005	GLCF
Landsat 230/084 (Canalejas)	5 TM	22/07/2005	COIRCO
		10/10/2005	COIRCO
Landsat 230/085 (Santa Isabel)	5 TM	22/07/2005	COIRCO
		24/09/2005	COIRCO
Landsat 230/086 (Catriel)	5 TM	20/03/1989	GLCF
		22/07/2005	COIRCO
		30/01/2006	COIRCO
		4/4/2006	GLCF
	7 ETM	24/11/2001	GLCF
Landsat 230/087 (Neuquén)	5 TM	23/01/1986	GLCF
		10/12/2004	COIRCO
	7 ETM	22/01/2000	GLCF
		9/4/2005	GLCF
Landsat 231/084 (San Rafael)	5 TM	17/02/2004	COIRCO
		8/4/2005	COIRCO
Landsat 231/085 (Laguna LLancanelo)	5 TM	19/03/1986	GLCF
		8/4/2005	COIRCO
		6/2/2006	COIRCO
		13/05/2006	GLCF
Landsat 231/086 (Rincón de los Sauces)	5 TM	19/03/1989	GLCF
		8/4/2005	COIRCO
	7 ETM	27/10/2000	GLCF
		16/04/2005	GLCF
Landsat 231/087 (Zapala)	5 TM	19/03/1986	GLCF
		8/4/2005	COIRCO
	7 ETM	18/03/2006	GLCF
Landsat 232/084 (El Sosneado)	5 TM	9/2/1987	GLCF
		15/04/2005	COIRCO
		1/5/2005	GLCF
Landsat 232/085 (Bardas Blancas)	5 TM	25/01/2005	GLCF
		15/04/2005	COIRCO
	7 ETM	7/2/2001	GLCF
Landsat 232/086 (Chos Malal)	5 TM	15/04/2005	COIRCO
	7 ETM	20/01/2006	GLCF
Mosaico de Imágenes Satelitales Landsat	5 TM	1986-1992	GLCF

Imágenes Satelitales			
Satélite/Escena	Sensor	Fecha	Fuente
Mosaico de Fotografías aéreas		2005	COIRCO
Cartas Imágenes		Varios	IGN

Asimismo, se cuenta con un mosaico de imágenes satelitales Landsat 7ETM que cubre toda el área de estudio y se utiliza de base para los mapas regionales. Este mosaico se encuentra ortorrectificado y es el resultado de una combinación de tres bandas (7-4-2). Fue confeccionado por la NASA con imágenes del período 1999-2001.

Se han adquirido, como material de consulta y trabajo, 16 Cartas Imagen del Instituto Geográfico Nacional en formato papel en escala 1:250.000 que cubren toda la cuenca. Se ha realizado un mosaico de la cuenca el cual permite una completa interpretación visual de la cuenca.

En la Figura 5 se representan las cartas imágenes del IGN en escala 1:250.000.

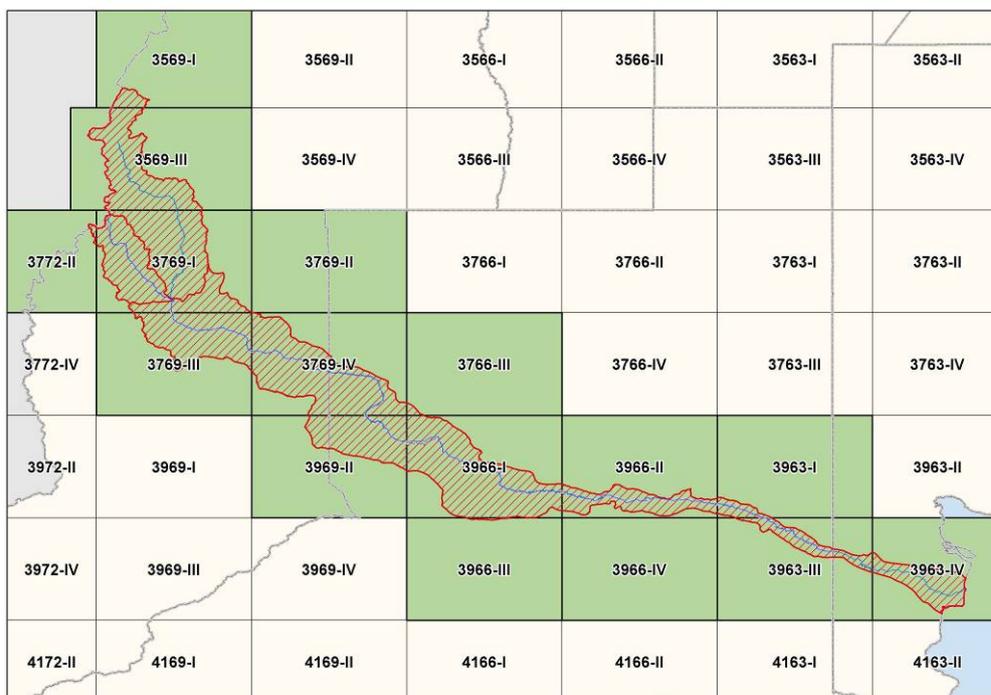


Figura 5: Cartas Imagen del IGN escala 1:250.000

1.3 Desarrollo del Sistema de Información Geográfico

Luego de la recopilación y revisión de la información y de la definición de aspectos básicos del SIG tales como el sistema de proyección, los mapas base, escalas y el listado de capas temáticas, se avanzó con el desarrollo de aplicaciones básicas y con el desarrollo de aplicaciones de análisis temático.

Las tareas desarrolladas se describen brevemente a continuación.

1.3.1 Edición de Capas Básicas

Toda la información base fue re proyectada al sistema adoptado en el proyecto (Gauss Krüger, faja 3), manteniéndose una extensión que excede los límites de la Cuenca a fin de mostrar su inserción en el contexto regional.

Las capas de información básica formaron parte esencial del Mapa Base y además han sido presentadas (en general en forma parcial y selectiva) en el resto de los mapas temáticos producidos a lo largo del proyecto. A continuación se resume la edición realizada y las principales características de cada una de las capas básicas que conforman el SIG del proyecto.

- **Red hídrica y Subcuencas:**

Se generaron copias de los archivos de la red hídrica y de las subcuencas (Río Colorado, Río Barrancas y Río Grande) provenientes de la Geodatabase de COIRCO.

Se utilizó el segundo como límite del área de estudio y varias de las capas temáticas que se detallarán en el siguiente apartado han sido recortadas por este archivo base.

- **División política:**

Se generaron archivos de provincias y departamentos en base a información proveniente de la Geodatabase de COIRCO.

Para una mejor visualización de estos archivos en los mapas, han sido editados en la zona del límite interprovincial Mendoza – Neuquén y La Pampa – Río Negro tomando como límite actualizado el Río Colorado (Fuente: COIRCO).

- **Rutas Nacionales y Provinciales:**

Se generaron archivos de rutas nacionales y provinciales de acuerdo a información proveniente de la Geodatabase de COIRCO que se complementó con información extraída del Instituto Geográfico Nacional. También se realizó una copia del archivo de ferrocarriles.

Los archivos se extienden fuera de los límites de la Cuenca y se utiliza como información base (clasificada por jurisdicción y clase) en muchos de los mapas del proyecto.

- **Centros Poblados:**

Se generó un único archivo que contiene las diferentes categorías de centros poblados (ciudad, localidad, paraje, puesto, estancia, chacra y establecimiento), que se utilizó clasificado por tipo en todos los mapas producidos.

Sin embargo, a fin de facilitar la representación de esta capa en los mapas (especialmente en los mapas A3), se creó un archivo auxiliar que contiene todos los centros poblados localizados dentro de la Cuenca y en el exterior de sus límites sólo mantiene las principales ciudades.

1.3.2 Edición de Capas temáticas

Del mismo modo que con las capas básicas, todas las capas temáticas han sido re proyectadas al sistema adoptado en el proyecto (Gauss Krüger faja 3). Muchas de ellas han sido recortadas por el área de estudio utilizando para ello el archivo de Subcuencas.

Las tareas de edición realizadas y las principales características de cada una de estas capas temáticas se resumen a continuación:

- **Curvas de nivel:**

En base al Modelo Digital de Terreno Final generado en el proyecto se obtuvieron curvas de nivel con equidistancia de 50 y 100m, utilizándose para dicha tarea la extensión Spatial Analyst de ArcGIS.

A fin de su mejor visualización en el Mapa Topográfico Regional (Anexo IV.B), se generó un archivo de curvas de nivel con diferente equidistancia según el sector de la Cuenca (hasta 50m de altura: equidistancia de 10m; de 50 a 250m de altura: 50m de equidistancia; de 300 a 1000m de altura: equidistancia de 100m; y para alturas mayores a 1000m la equidistancia es de 500m).

- **Infraestructura:**

El archivo de infraestructura generado fue el resultado de un inventario realizado durante el trabajo de campo realizado en la Cuenca que se completó posteriormente con una exhaustiva interpretación visual realizada utilizando imágenes de Google Earth.

El resultado está constituido por setenta y un puntos (71) que representan los tipos de obras (canales, puentes, obras de toma, estaciones de aforo, tuberías, etc.) y cuya tabla contiene las principales características de cada una de ellas.

- **Variables climáticas:**

Se generaron grillas de algunas de las variables climáticas analizadas, tales como la temperatura media anual (expresada en grados centígrados) y la precipitación media anual (en milímetros) en base a información climática proporcionada por las estaciones de registro.

La resolución espacial de cada una de las grillas generadas fue de 100m y han sido recortadas por el área de estudio.

En la Figura 6 se presenta clasificada la grilla de temperatura media anual y en la Figura 7 se presenta la precipitación media anual.

- **Cobertura de Suelo:**

Se generó un archivo de polígonos de vegetación basado en un archivo en formato raster proveniente del proyecto Global Land Cover 2000 (GLC2000) llevado a cabo por el Centro Común de Investigaciones (Joint Research Centre) de la Comunidad Europea con la participación a nivel local del Instituto de Clima y Agua del INTA. El mismo tiene una resolución espacial de 1km y es el resultado final de una extensa recopilación de antecedentes de mapas y bibliografía.

Se digitalizaron asimismo las regiones fitogeográficas en base a una imagen del mapa de Regiones Fitogeográficas Argentinas de Ángel Cabrera (1976) que fue georeferenciado con tal fin.

El archivo de cobertura de suelo fue generado en base a información que INTA desarrolló en el marco del Programa Nacional de Ecorregiones donde se realizó cartografía digital de la cobertura de suelo.

El producto generado a escala regional (1:500.000) se publicó en el sitio Web del INTA (Geointa) <http://geointa.inta.gov.ar/node/11/id%3D22>. De dicha página se obtuvieron imágenes en formato “jpg” que cubrieron la totalidad del área de estudio, las mismas se georeferenciaron utilizando herramientas de la extensión “Georeferencing”, se convirtieron a polígonos y se les asignó la categoría correspondiente.

Posteriormente, se procedió a la edición de algunas áreas, y al agregado de otras digitalizadas en base a imágenes de Google Earth (tales como los ejidos urbanos de menor tamaño y algunas de las áreas con actividad petrolera en la cuenca no evidenciadas en el

producto a escala 1:500000), u obtenidas de la información disponible por el proyecto (es el caso de las lagunas pequeñas y del Embalse Casa de Piedra).

En la Figura 8 se presenta la cobertura de suelo para el área de estudio.

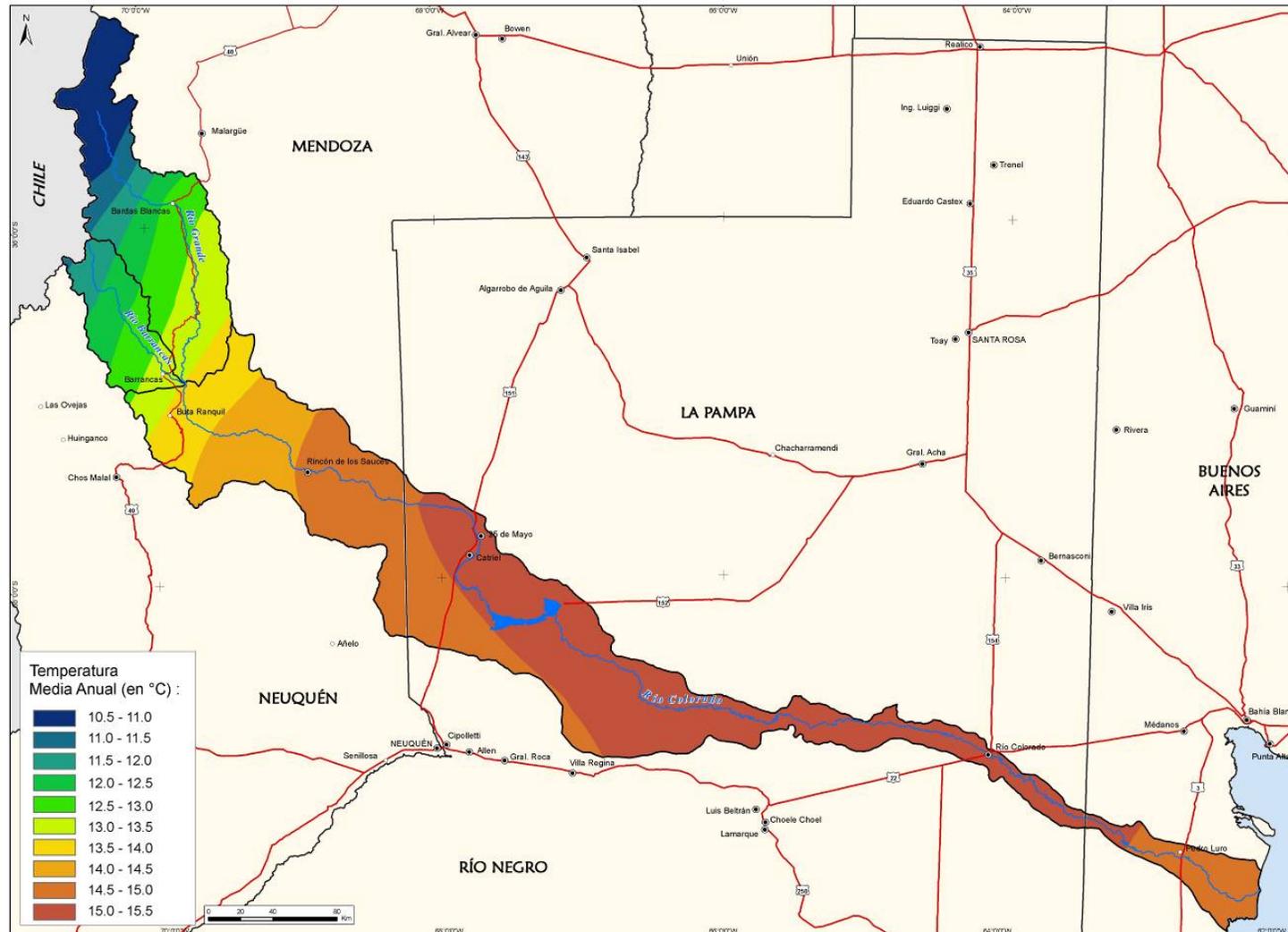


Figura 6: Mapa de Temperatura Media Anual

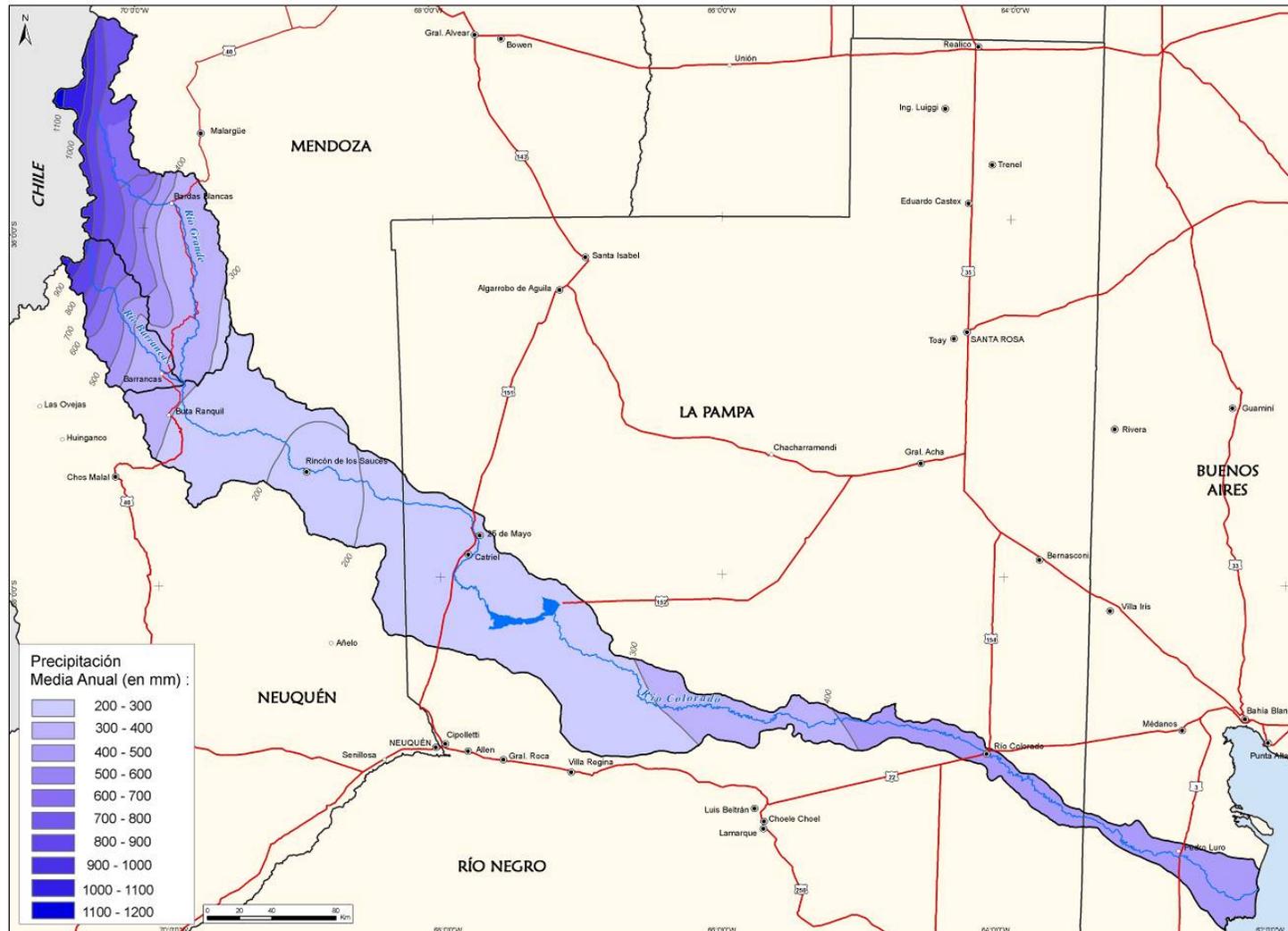


Figura 7: Mapa de Precipitación Media Anual

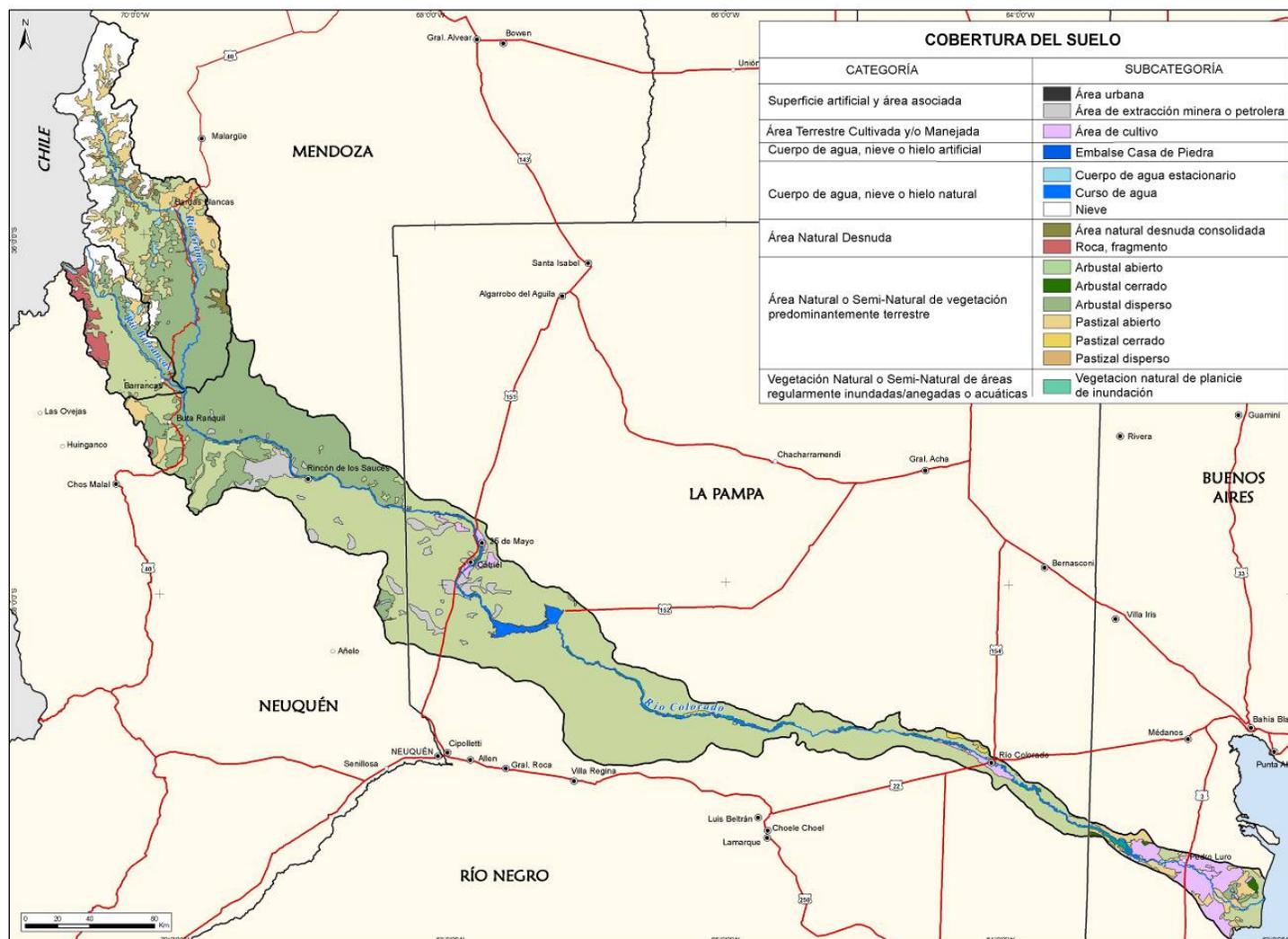


Figura 8: Mapa de Cobertura de Suelo

- **Unidades Geológicas:**

Las unidades geológicas fueron digitalizadas en base a imágenes georeferenciadas del Servicio Geológico Minero de Argentina de cada una de las cinco provincias que conforman el área de estudio.

Los polígonos digitalizados y editados se presentan en la Figura 9 y en el mapa a escala regional en el Anexo IV.B.

- **Unidades de Suelo:**

El archivo de unidades de suelo utilizado en el presente estudio está basado en el shapefile del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en su versión digital corregida (versión 8). Es una versión revisada y ajustada en base a la información original vectorizada a partir de los mapas de suelos provinciales que integran el Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA, 1990), digitalizados en el Instituto de Suelos. Las Unidades fueron digitalizadas en escala 1:500.000 (con excepción de la Provincia de Mendoza que se digitalizó en escala 1:1.000.000).

El archivo de suelos base del INTA fue mejorado con la incorporación de los cuerpos de agua (lagos y lagunas) presentes en el área de estudio, y del cauce del río Colorado.

La base de datos del archivo final de Unidades de Suelo contiene numerosos campos con las principales características de cada Unidad. Una descripción del contenido de cada uno de esos campos se detalla en el Anexo IV.A.

Las Unidades de Suelo se presentan a modo de ejemplo en la Figura 10. En el Anexo IV.B se encuentra el mapa regional de Suelo con las correspondientes referencias.

- **Estaciones de registro:**

La capa de estaciones de registro resultó de la compilación de información recopilada de diferentes fuentes como se detalla en el Tomo II, Capítulo 1). A partir de ella se elaboró una capa de puntos que fueron posteriormente proyectados al sistema del proyecto.

Se trata de un total de 128 estaciones con información del tipo de registro, fuente, localización, etc.

Asimismo en el marco de los análisis para mejorar el diseño de la red de mediciones hidrometeorológicas existente se han distinguido las estaciones operativas en la actualidad y las nuevas estaciones de medición propuestas para integrar la mencionada red. En el Anexo IV.A se detalla la información que contiene cada uno de sus campos.

En la Figura 11 se presentan las estaciones de registro clasificadas en cuatro categorías representada cada una de ellas con diferente simbología: hidrológicas (25 estaciones), hidrológicas-meteorológicas (2 estaciones), meteorológicas (96 estaciones) y nivométricas (5 estaciones).

- **Subcuencas (Halcrow):**

La generación de subcuencas dentro del área de estudio se llevó a cabo mediante la extensión de Modelación Hidrológica Geospatial HEC-GeoHMS. Esta extensión fue desarrollada por el US Army Corps of Engineers y permite, a través del análisis del Modelo Digital de Elevaciones, detectar la dirección y el flujo de escurrimiento del agua superficial dentro del área de estudio, posibilitando finalmente, delimitar subcuencas de aporte.

El resultado final que se obtiene a través del uso de esta extensión es un archivo de polígonos al cual se le agregaron posteriormente varios atributos que expresan sus características físicas.

Las subcuencas de aporte generadas se presentan en la Figura 12 (en verde subcuencas del Río Grande, en rosa del río Barrancas y en marrón del Río Colorado).

- **Recorrido terrestre y aéreo en la Cuenca:**

A lo largo de varias campañas se realizaron recorridos terrestres del área de trabajo. En los mismos se utilizó un dispositivo GPS para grabar la ruta realizada y la ubicación de las fotografías tomadas. Dichos archivos fueron convertidos a formato SIG e incorporados a la GDB del proyecto.

Se realizaron sendos mapas en formato A1 para representar el reconocimiento que se encuentran impresos en el Anexo IV.B.

El archivo que representa el vuelo de exploración aérea fue digitalizado en base a la ruta de vuelo realizada. Durante dicho vuelo también se tomaron fotografías aéreas que han sido georeferenciadas.

En la Figura 13 se muestra el reconocimiento realizado en la Cuenca, tanto terrestre (línea amarilla) como aéreo (línea verde) durante las diferentes campañas realizadas por la Consultora.

- **Unidades Geomorfológicas:**

El análisis e interpretación geomórfica fue llevado a cabo a través de la utilización de imágenes satelitales digitales Landsat disponibles en el proyecto del año 2005 (combinación de bandas 752).

Dicha interpretación fue posteriormente digitalizada por sectores debido a la gran extensión del área de estudio, e incorporada a la GDB del Proyecto en formato vectorial (polígonos y líneas). Los archivos digitalizados fueron fusionados y se les asignó la categoría correspondiente.

Para una mejor visualización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio se presentan 23 mapas en escala 1:100.000 (Anexo IV.B).

- **Sondeos:**

Se llevaron a cabo tres campañas de muestreo de sedimentos en la cuenca. Los puntos de localización de estos muestreos fueron registrados con un dispositivo global de posicionamiento (GPS) y posteriormente convertidos a formato SIG.

Se trata de cuarenta (40) puntos de muestreo localizados en la Cuenca y los cauces principales, que se presentan en el Mapa 17 del Anexo IV.B.

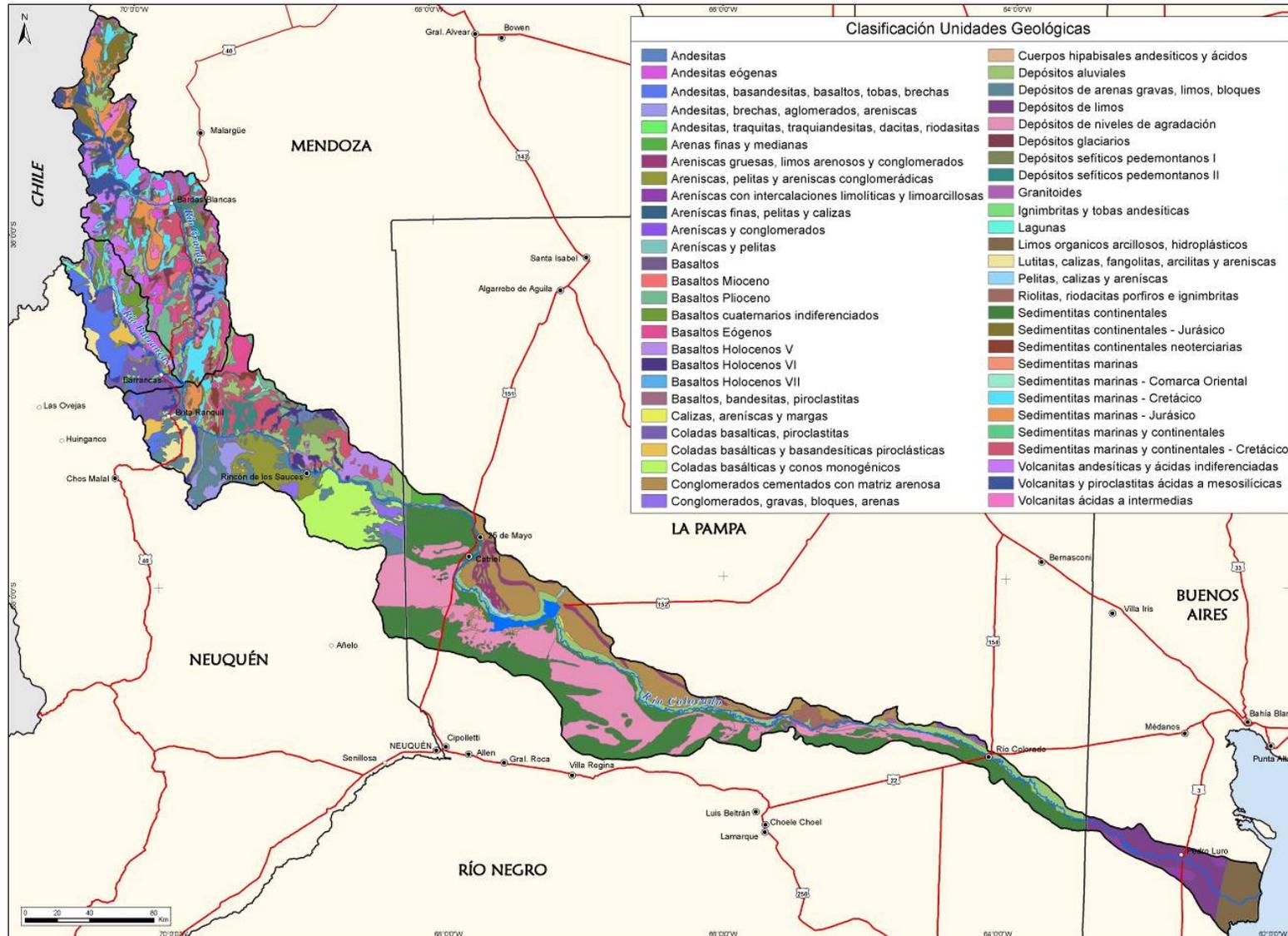


Figura 9: Mapa de Unidades Geológicas

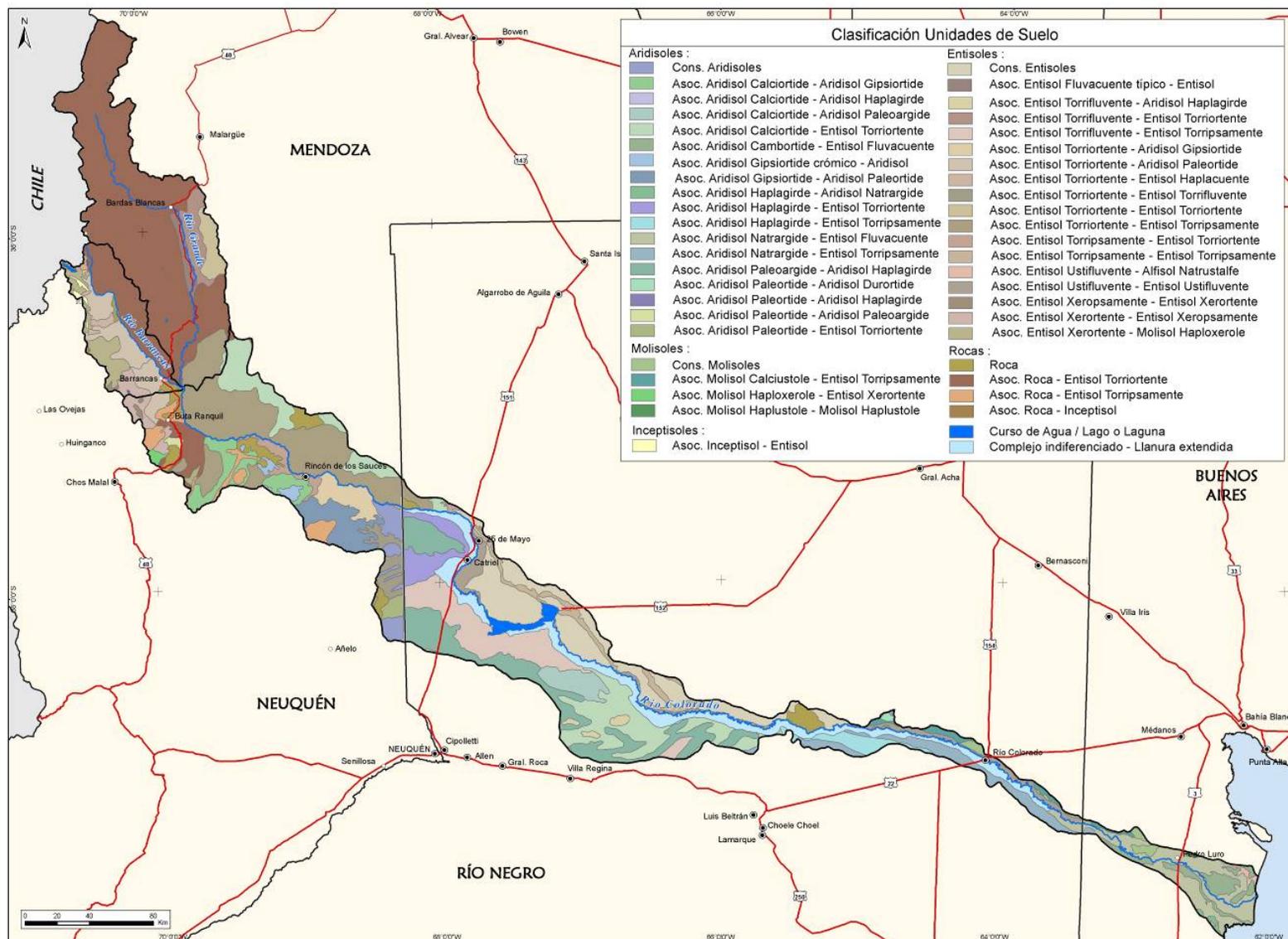


Figura 10: Mapa de Unidades de suelo

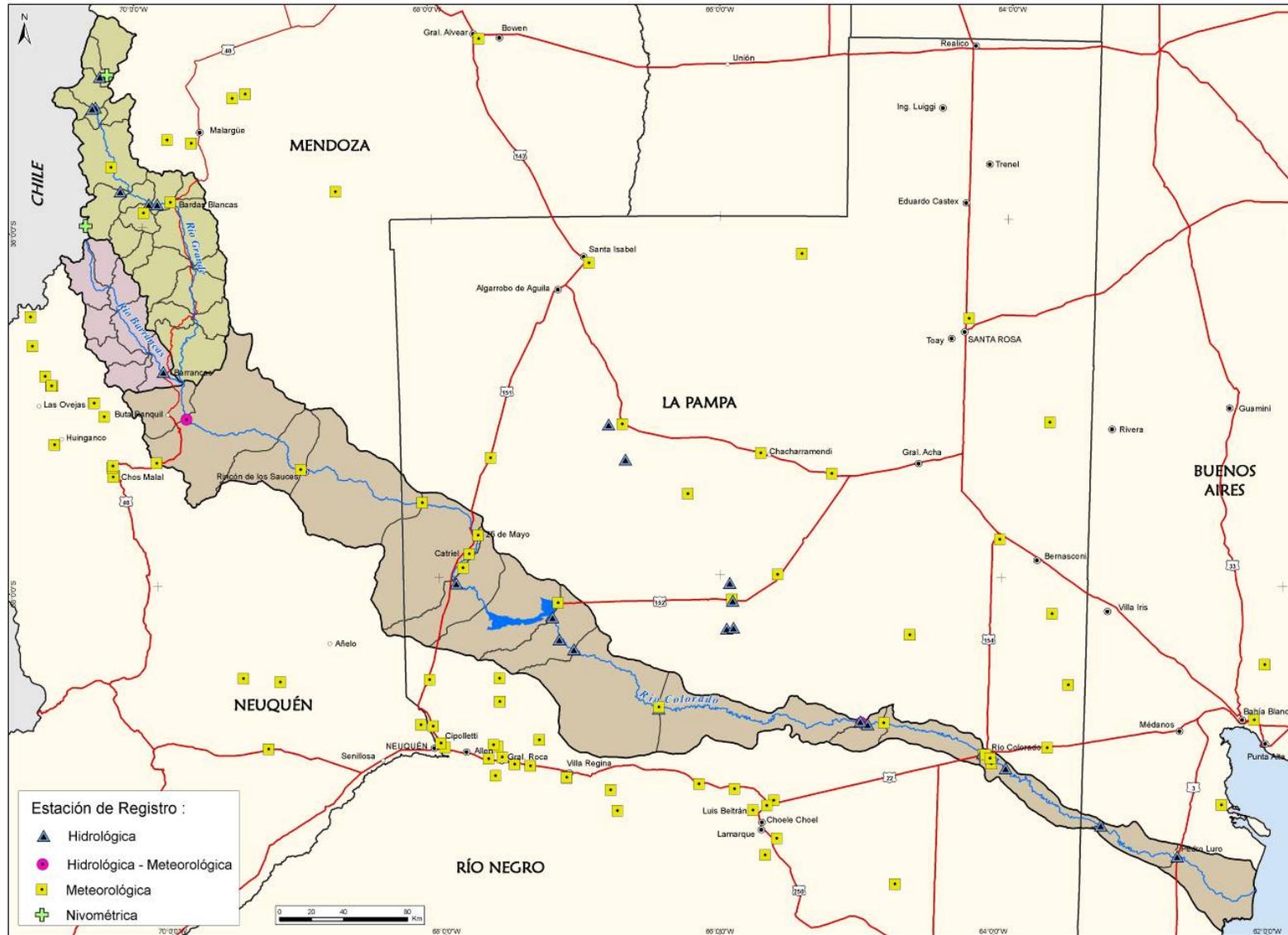


Figura 11: Mapa de Estaciones de registro

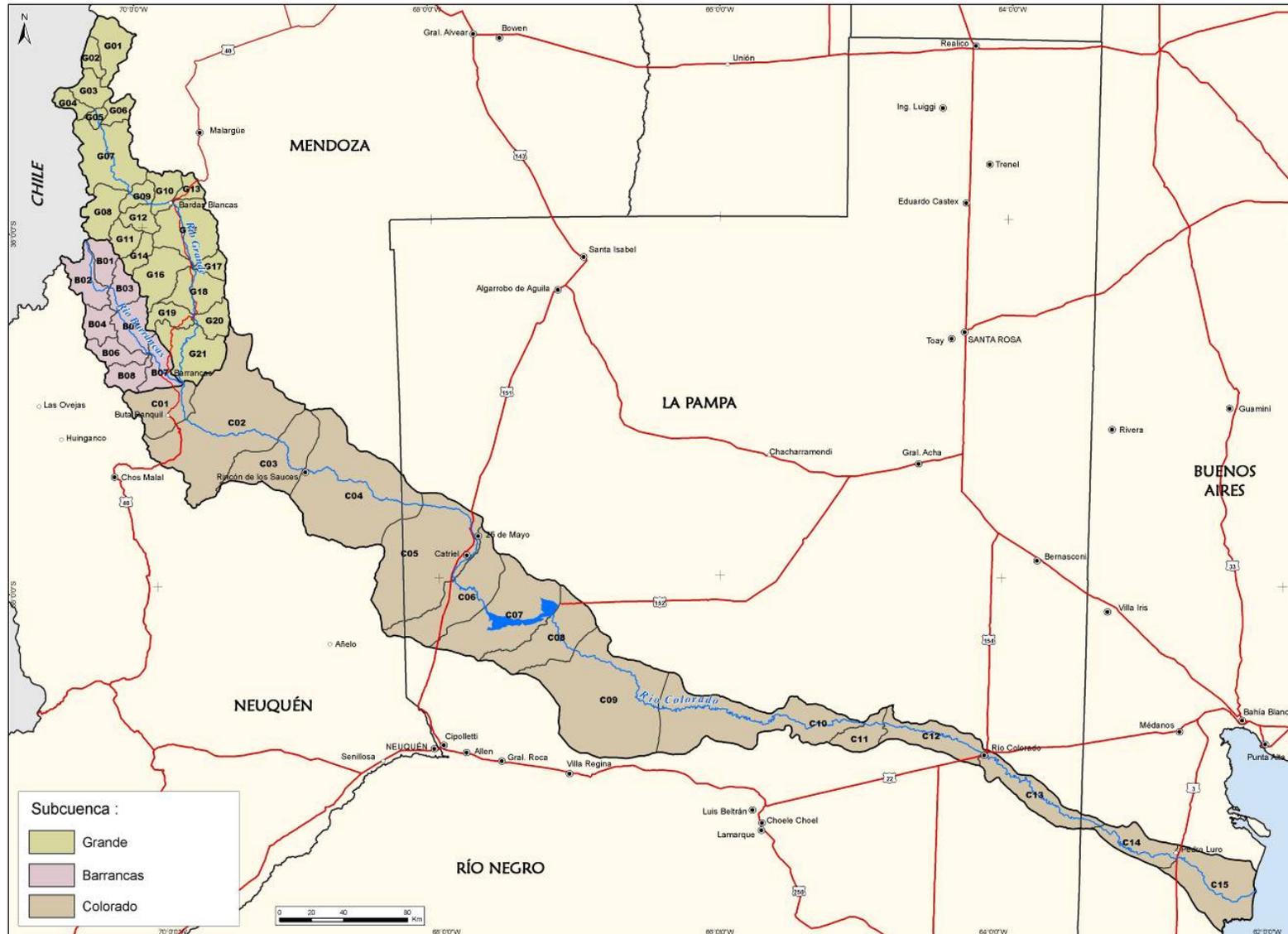


Figura 12: Mapa de Subcuencas de aporte de los Ríos Barrancas, Grande y Colorado

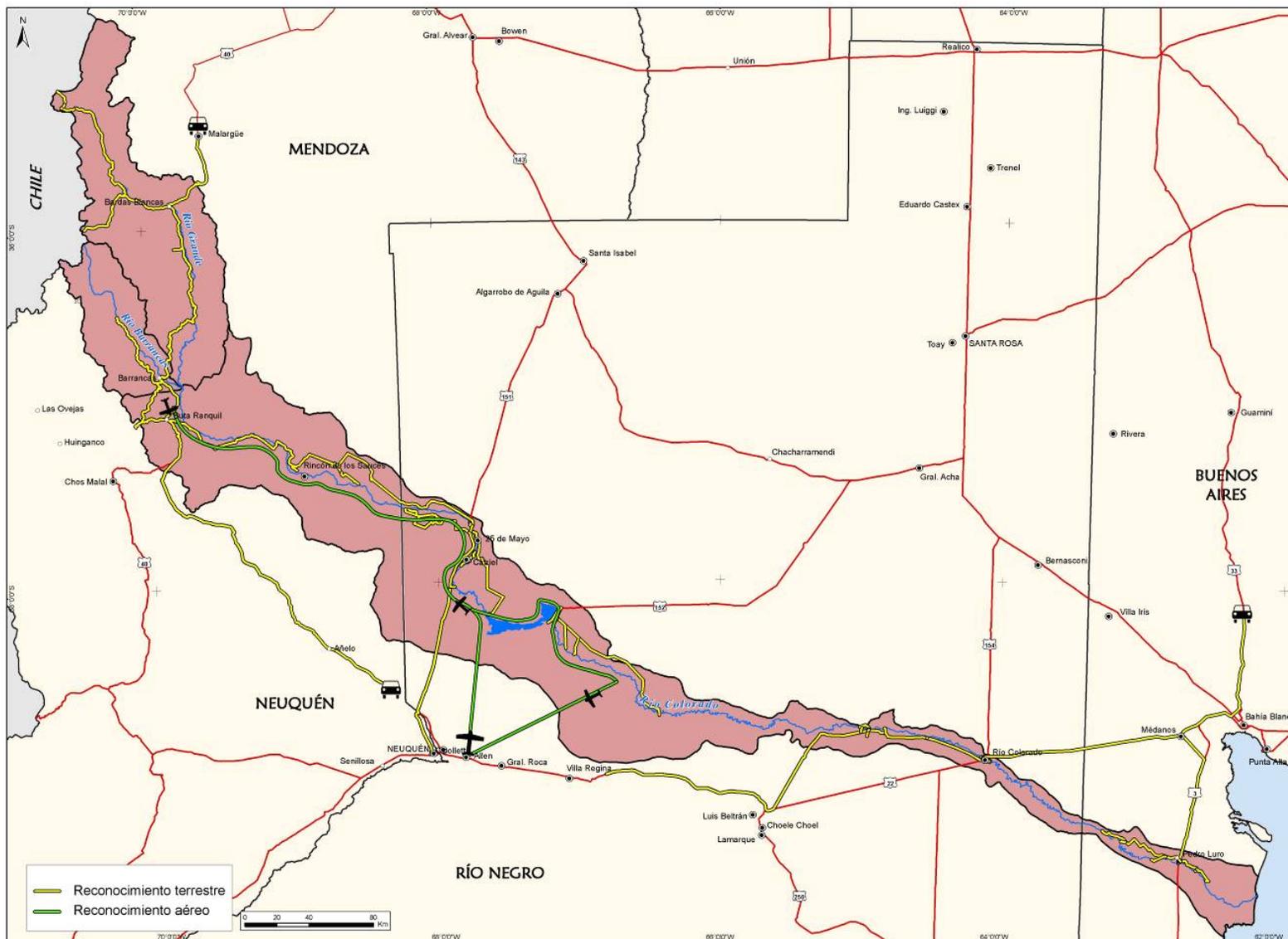


Figura 13: Mapa de Reconocimiento terrestre y aéreo de la Cuenca

- **Erosión superficial y remoción en masa:**

A través de la metodología desarrollada en el Capítulo 3 del Tomo I, se calculó la producción media anual de sedimentos por erosión superficial y se obtuvo como resultado una grilla que posteriormente fue convertida a formato vectorial utilizando herramientas de conversión del ArcTools de ArcGIS.

En base las características del relieve, características geológicas, geomorfológicas y de humedad de suelo, se definieron diversas situaciones de proclividad a la ocurrencia de estos procesos. Estas situaciones fueron plasmadas en una grilla de susceptibilidad a la remoción en masa con cuatro categorías (nula-baja, moderada, alta y muy alta).

Posteriormente dicha grilla fue convertida a formato vectorial e incorporada en el GDB del proyecto. En el Anexo IV.B se encuentra impreso el mapa respectivo.

- **Zonas sedimentógenas:**

Se llevó a cabo la sectorización de la cuenca de acuerdo a la intensidad y tipología de procesos sedimentógenos en la cuenca, que se ilustra en el Mapa 20 del Anexo.

Las categorías son las siguientes: producción intensa (rojo), producción y transferencia (naranja), transferencia y producción y producción, transferencia (verde claro) y recepción (verde oscuro).

- **Perfiles topobatimétricos:**

Se generó un archivo de puntos y otro de líneas con la ubicación de los perfiles topobatimétricos relevados a lo largo del curso de los ríos principales de la Cuenca.

En base al archivo de líneas se elaboró el Mapa 25 que se incluye en el Anexo IV.B.

- **Áreas de inundación, línea de ribera y conexas:**

Las áreas de inundación (representación gráfica del alcance de la inundación) obtenidas en base a los niveles hidráulicos máximos que se obtienen a partir de modelación matemática, y a la información topográfica sintetizada en el Modelo Digital del Terreno fueron generadas con el software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) para recurrencias de 2, 10, 25, 50, 100 y 1000 años.

Posteriormente las mismas fueron revisadas en toda su extensión utilizando como base para ello, las fotografías aéreas disponibles e imágenes satelitales. Teniendo en cuenta que el MDT tiene una resolución espacial de 90m se advirtió la necesidad de realizar ediciones en algunas zonas para mejorar la precisión de las mismas. Las áreas de inundación fueron incorporadas al SIG del proyecto en forma de polígonos y los mapas a diferentes escalas se presentan en el Anexo IV.B.

En la Figura 14, a la Figura 19 se muestra un detalle de las áreas de inundación en la zona de las ciudades de Río Colorado y de La Adela producidas por los diferentes hidrogramas de diseño modelados (Tiempo de recurrencia de 2, 10, 25, 50, 100 y 1000 años, respectivamente).



Figura 14: Área de inundación en Río Colorado - La Adela – TR= 2 años



Figura 15: Área de inundación en Río Colorado – La Adela – TR=10 años



Figura 16: Área de inundación en Río Colorado – La Adela – TR=25 años

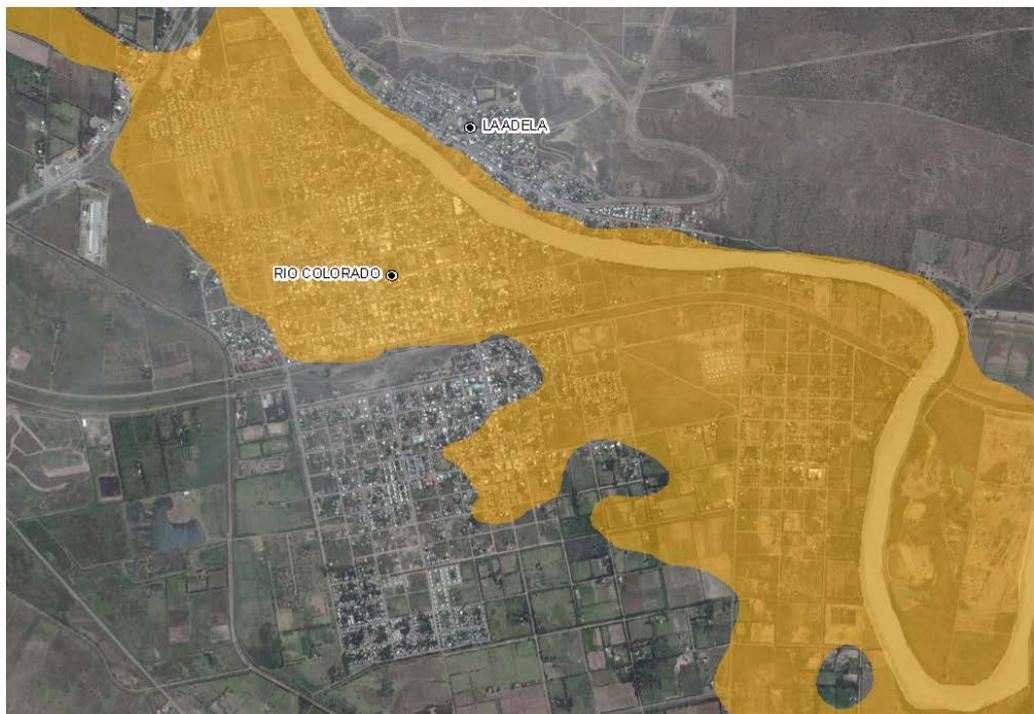


Figura 17: Área de inundación en Río Colorado – La Adela – TR=50 años

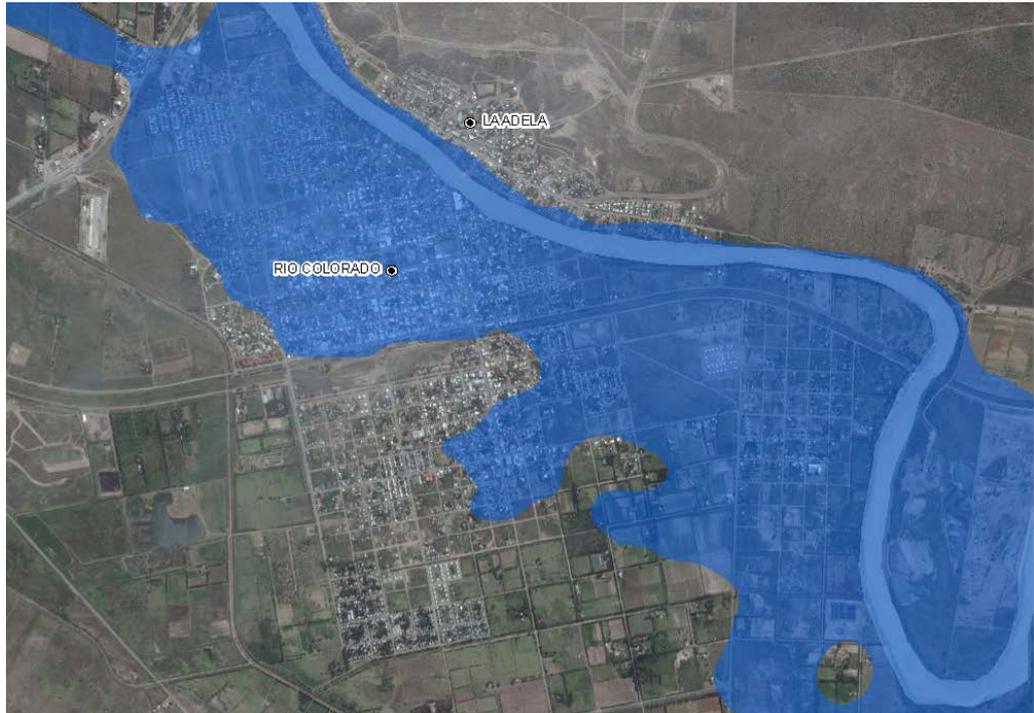


Figura 18: Área de inundación en Río Colorado – La Adela – TR=100 años

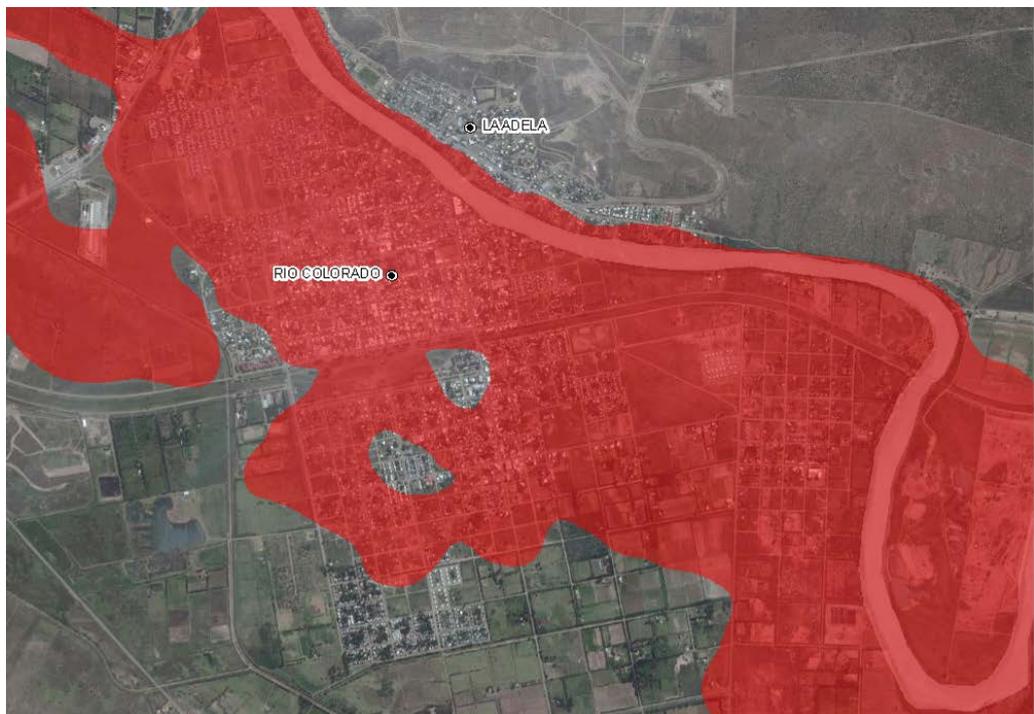


Figura 19: Área de inundación en Río Colorado – La Adela – TR=1000 años

En la Figura 20 se muestra un ejemplo para el mismo sector de la Cuenca de las áreas de inundación como se presentan en los mapas impresos del Anexo IV.B. Para una mejor visualización en estos mapas, se representan sólo tres de los resultados correspondientes a los seis hidrogramas de diseño simulados: son los atribuidos a los tiempos de retorno de 2, 100 y 1000 años (de celeste más claro a azul, respectivamente).

Los polígonos de las áreas de inundación fueron convertidos a líneas utilizando herramientas de conversión del ArcTools. Las mismas se presentan en mapas impresos en escala 1:50.000.

En la Figura 21 se muestra la misma zona con la línea de ribera (amarilla continua), la línea de evacuación de crecidas (amarilla punteada) y la línea de inundación (roja) surgidas de la propuesta elaborado en este estudio cuyos fundamentos se exponen en el Tomo III, Capítulo 4.

Se generaron asimismo, áreas de inundación para los escenarios simulados de rotura de la presa Casa de Piedra y de rotura de las presas proyectadas Portezuelo del Viento y Huelches.

En la Figura 22 se muestra un ejemplo para la misma zona del área de inundación generada por la posible rotura de la presa proyectada Huelches.

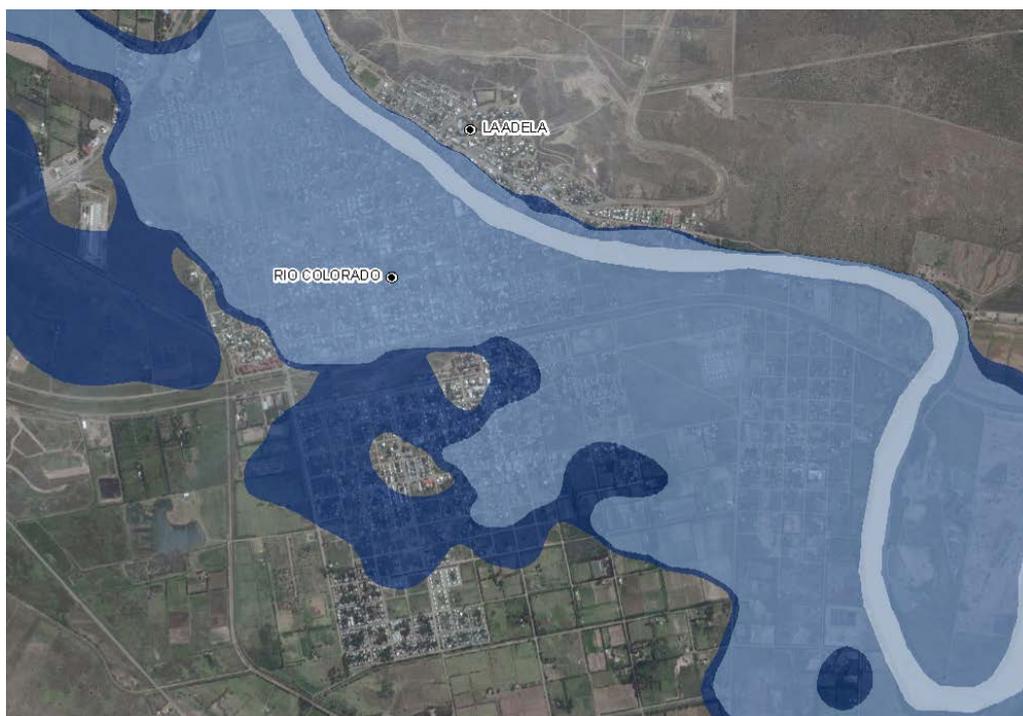


Figura 20: Áreas de inundación para TR=2, 100 y 1000 años en Río Colorado y La Adela

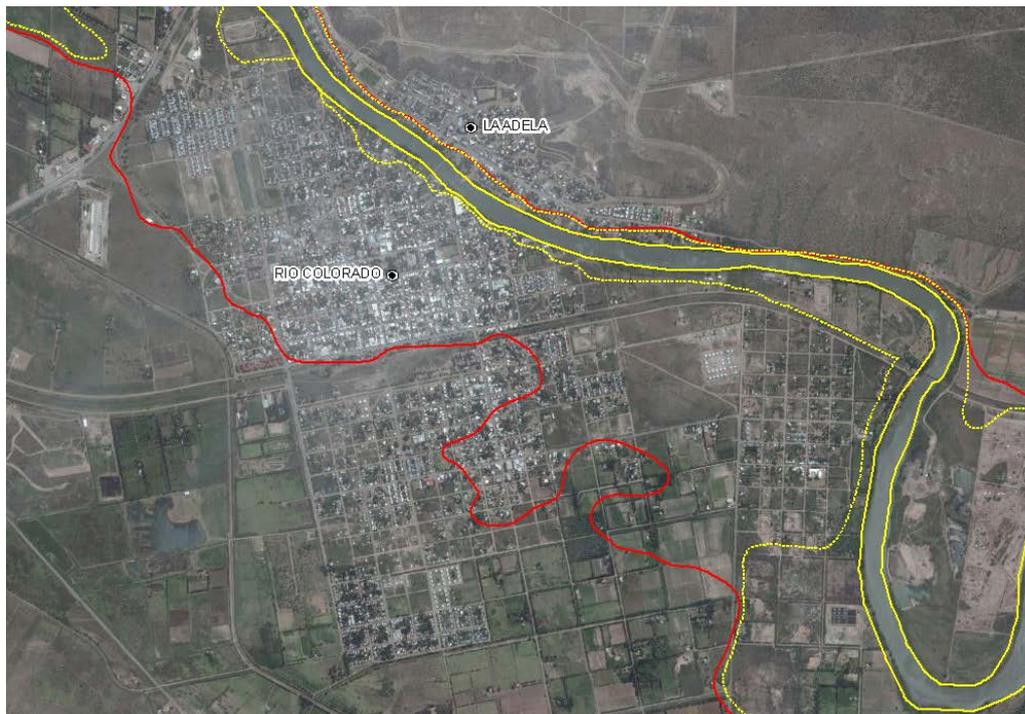


Figura 21: Línea de Ribera y Conexas en Río Colorado - La Adela



Figura 22: Áreas de inundación por Rotura de Presa Huelches en Río Colorado - La Adela

- **Vulnerabilidad:**

El estudio de la vulnerabilidad se realizó en dos escalas de análisis: a nivel departamental y a nivel de radio censal.

En ambos casos se utilizaron los archivos de polígonos de la GDB del Proyecto: departamentos de la Cuenca y radios censales (editados ambos con el Río Colorado como límite interprovincial, de acuerdo a lo mencionado en la edición de las capas bases) a los que se unieron las bases de datos necesarias para representar los indicadores de Exposición, Fragilidad y Resiliencia y el índice de Vulnerabilidad.

En la Figura 23 y Figura 24 se muestra un ejemplo de los niveles de análisis para el Índice de Vulnerabilidad (donde el color rojo intenso indica vulnerabilidad muy alta, el color naranja indica vulnerabilidad alta, el amarillo revela vulnerabilidad media, y el verde claro y verde oscuro, vulnerabilidades baja y muy baja, respectivamente).

- **Diagramas de mapas:**

En base a las diferentes capas temáticas a presentar, al análisis realizado, al tamaño de la hoja de impresión y a la escala de representación, se llevó a cabo una diagramación de los mapas a los efectos de su presentación final.

El mapa geomorfológico está comprendido por 23 mapas en hoja A1 y en escala 1:100.000 que cubren toda la Cuenca como se aprecia en la Figura 25.

En la Figura 26 y Figura 27 se representa la distribución de los Mapas de Áreas de Inundación en escala 1:100.000 y 1:50.000, ambos en hoja A1. Se trata de 11 y 22 mapas, respectivamente, que abarcan desde la confluencia de los ríos Barrancas y Grande hasta la desembocadura del Río Colorado en el Mar Argentino. Asimismo, se presentan en el Anexo IV.B, los Mapas correspondientes a ventanas de detalle a escala 1:20000.

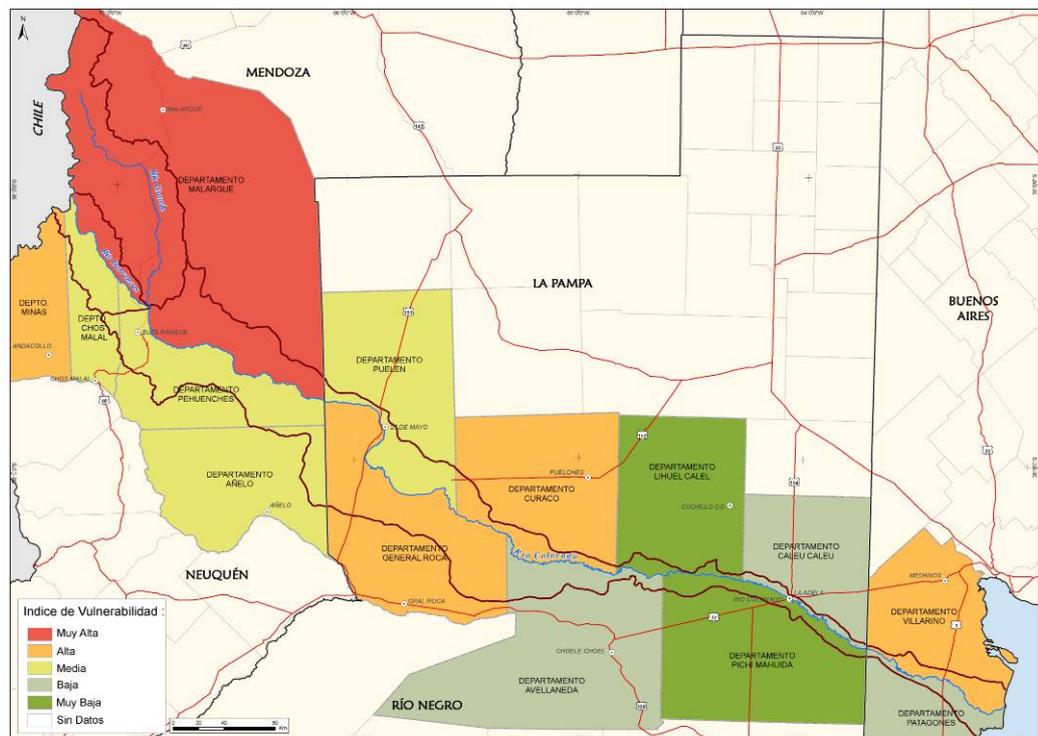


Figura 23: Índice de vulnerabilidad a nivel departamental

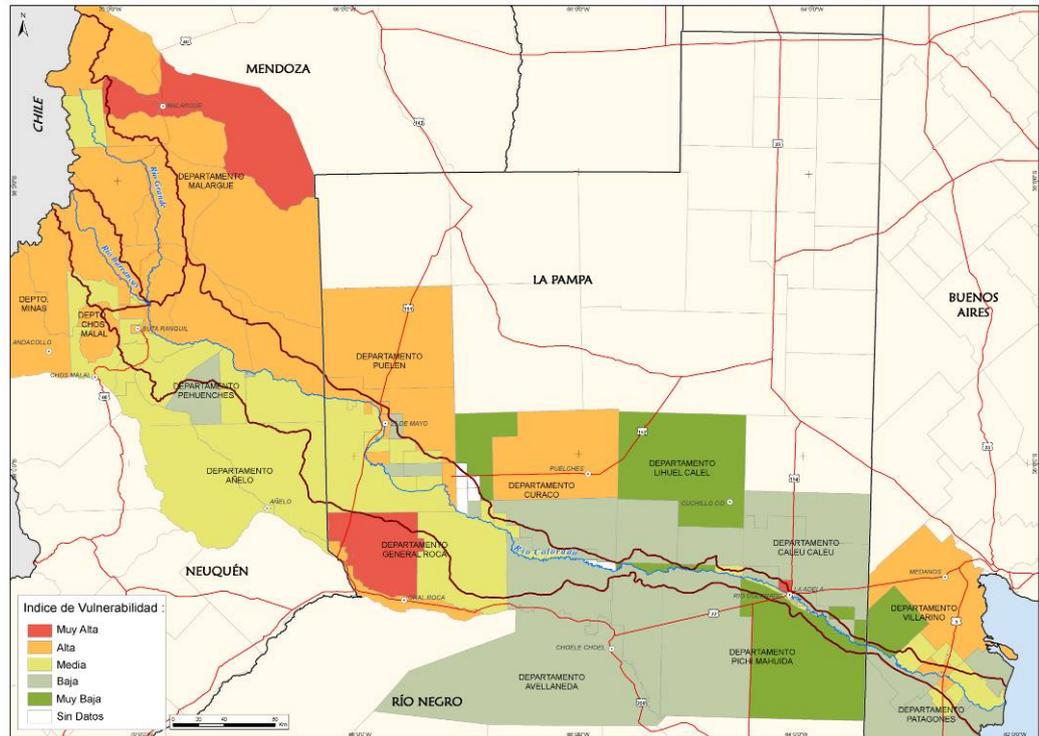


Figura 24: Índice de vulnerabilidad a nivel de radio censal

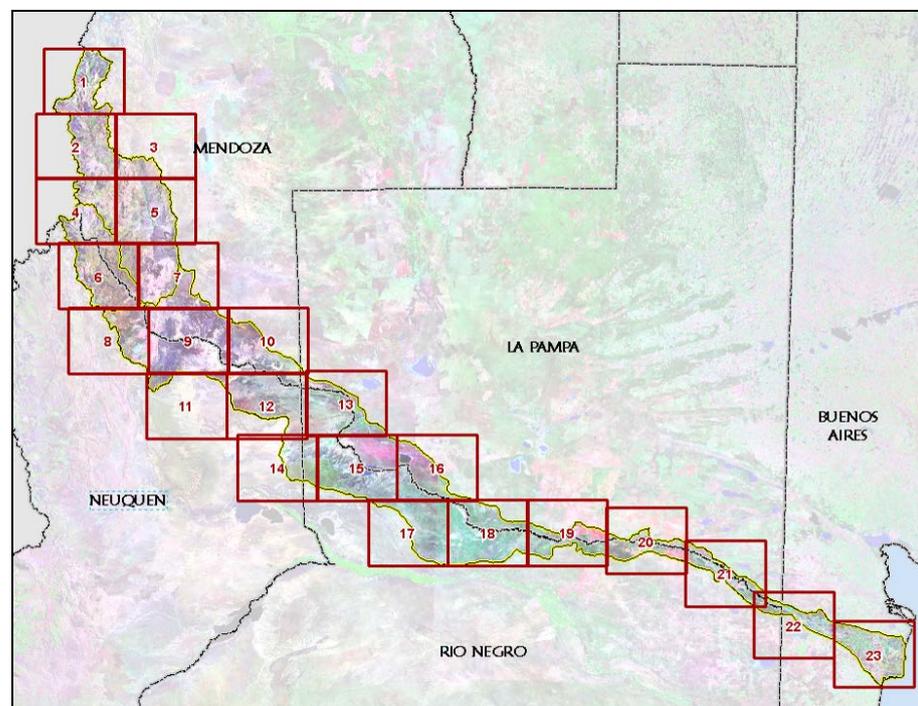


Figura 25: Distribución de Mapas Geomorfológicos

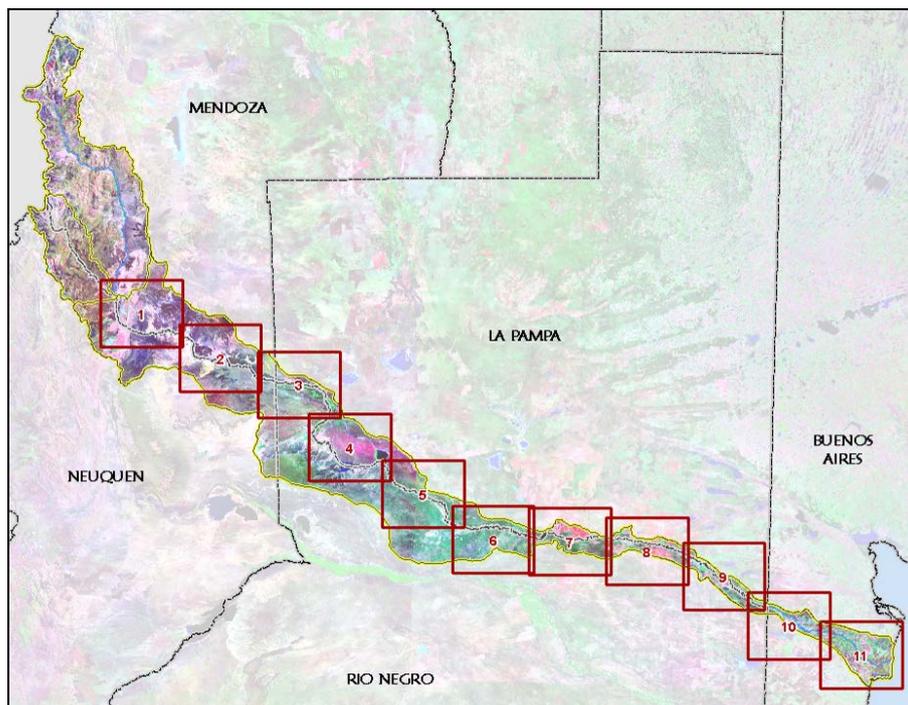


Figura 26: Distribución de los Mapas de Áreas de inundación en escala 1:100.000

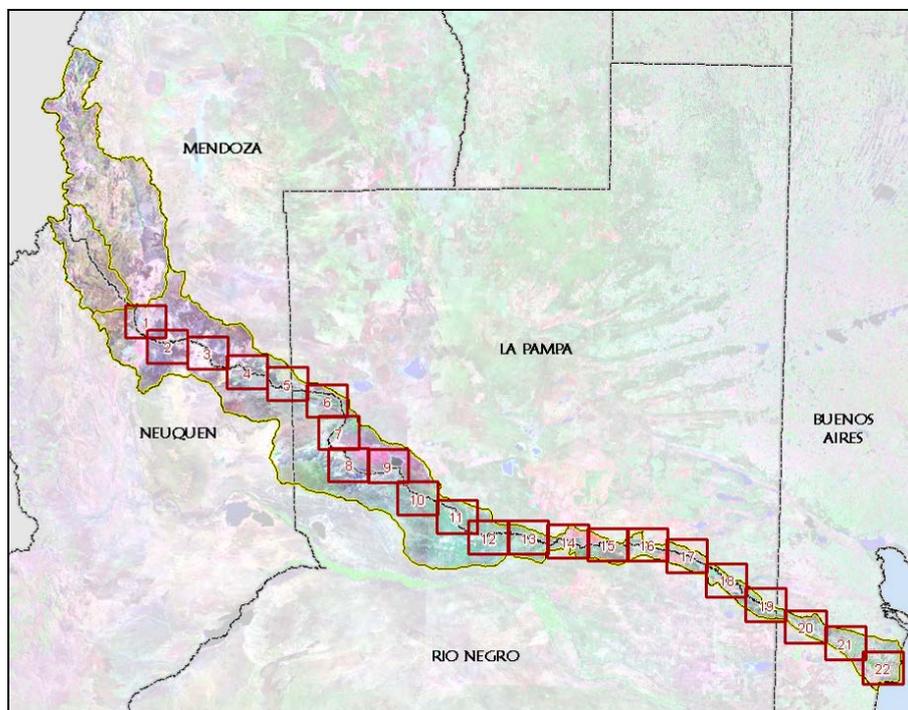


Figura 27: Distribución de los Mapas de Áreas de inundación en escala 1:50.000

2 Generación del Modelo Digital del Terreno (MDT)

2.1 Objetivo

Un Modelo Digital del Terreno (MDT) es la representación simplificada de la topografía y constituye una de las capas temáticas clave para el desarrollo del proyecto, tanto para la mejor comprensión del paisaje de la región, proveyendo una visión integrada del mismo, como para la obtención de productos y desarrollo de actividades asociadas, tales como:

- Obtención de mapas de relieve y de curvas de nivel
- Identificación de rasgos geomorfológicos
- Generación de manchas de inundación para distintos escenarios de análisis
- Obtención del hillshade (mapas de luces y sombras) que brinda una visión tridimensional del relieve del área de estudio

2.2 Información utilizada

La información de base recopilada para la generación del MDT fue:

- Modelo Digital de la Superficie terrestre SRTM V3 (Shuttle Radar Tomography Mission). NASA USA - USGS, 2000 - Resolución 3 arc-second (90m aproximadamente de resolución planimétrica por celda)
- Curvas de nivel y puntos acotados de las cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en escala 1:250.000
- Relevamientos topobatimétricos recopilados de estudios antecedentes y los realizados durante la ejecución de este trabajo.

Toda la información se recopiló en su proyección original y se re-proyectó al Sistema de Proyección adoptado en el proyecto. Se tuvo en cuenta en la recopilación de información exceder los límites del área de estudio con el objetivo de disminuir los errores de borde en la etapa de procesamiento del MDT.

Si bien la cobertura de la información topográfica del IGN es completa, el nivel de detalle que poseen no es homogéneo. Se observa que la equidistancia de las curvas varía según la carta y la zona de la cuenca entre 10m, 50m y 100m; además de la presencia de curvas entrecortadas y discontinuidades entre cartas adyacentes, según se observa en la Figura 28.

Se observa además, que la densidad de información no es adecuada para la generación de un MDT para el área de estudio, por lo que es necesaria la utilización de los modelos digitales de superficie (SRTM) para completar la información existente y obtener un producto de detalle de acuerdo a los objetivos planteados.

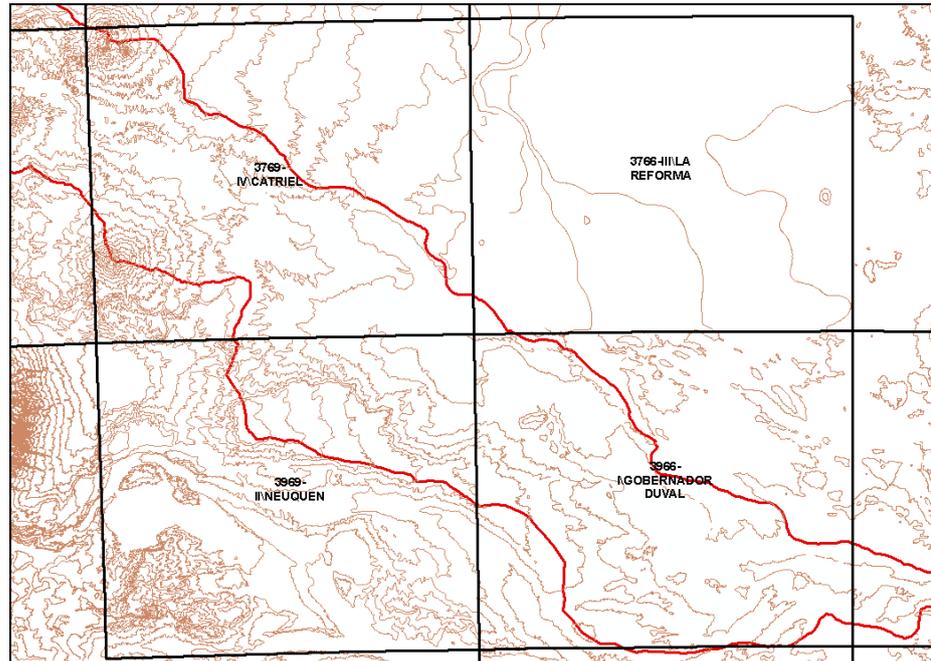


Figura 28: Análisis de la información topográfica del IGN, escala 1:250.000

El modelo digital de elevación SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) surge de un proyecto internacional conjunto entre la National Imagery and Mapping Agency (NIMA), la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y las Agencias Espaciales de Alemania (DLR) e Italia (ASI).

El mismo tuvo como objetivo la obtención de datos digitales topográficos mediante el uso de la técnica llamada interferometría radar, en la cual dos imágenes radar de un mismo sitio son tomadas desde dos posiciones diferentes. Por medio del procesamiento de la información altimétrica obtenida, se generó un modelo digital de elevación de la superficie terrestre, siendo la NASA y el USGS (United States Geological Survey) los organismos responsables del procesamiento y publicación de la información recolectada en esta misión.

Con el fin de sustentar y validar el uso del SRTM para la generación del MDT de base del proyecto, fueron consultadas diversas referencias bibliográficas de origen nacional e internacional (Moore, F. 2003; Jacobsen, K., 2005; Rodríguez E. et al., 2006). De ellas se desprende que el modelo de elevación provisto por la misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) es ampliamente utilizado, tanto desde un punto de vista académico como en aplicaciones técnicas en diversas regiones del mundo con distintas características topográficas.

En la actualidad, es el más preciso y confiable a nivel global, brinda una resolución espacial de 90 m y una precisión vertical de 5 a 6 metros regionalmente y de alrededor de 2 metros o menos en áreas planas.

Las conclusiones de estos trabajos confirman la consistencia del modelo de elevación SRTM y la posibilidad de utilizarlo como referencia o base altimétrica para análisis hidrológicos regionales. Experiencias en zonas de llanura de Argentina demostraron que los datos provenientes del SRTM se ajustaron muy bien a los datos obtenidos de las cartas topográficas del IGN, siendo viable la utilización de los MDT generados a partir de los datos de SRTM en proyectos regionales (Moore, F. 2005; Díaz R., Fernández N., 2006; Masuelli, S., et al., 2006).

Durante el desarrollo del proyecto, se utilizó la información topográfica local disponible de relevamientos topobatimétricos en el área de estudio para su comparación con el MDT y verificación de su utilización en los modelos.

2.3 Enfoque y Procesamiento del modelo digital del terreno

El enfoque adoptado para crear un MDT que represente de manera acabada la topografía del terreno, fue utilizar los datos del Modelo Digital de la Superficie terrestre generado por la NASA-USGS de 90 metros de resolución, ajustándolo donde fue necesario con los datos topográficos obtenidos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y de las campañas de relevamientos topobatimétricos.

En la Figura 29 se presenta un esquema del enfoque metodológico adoptado para obtener el MDT de la cuenca.

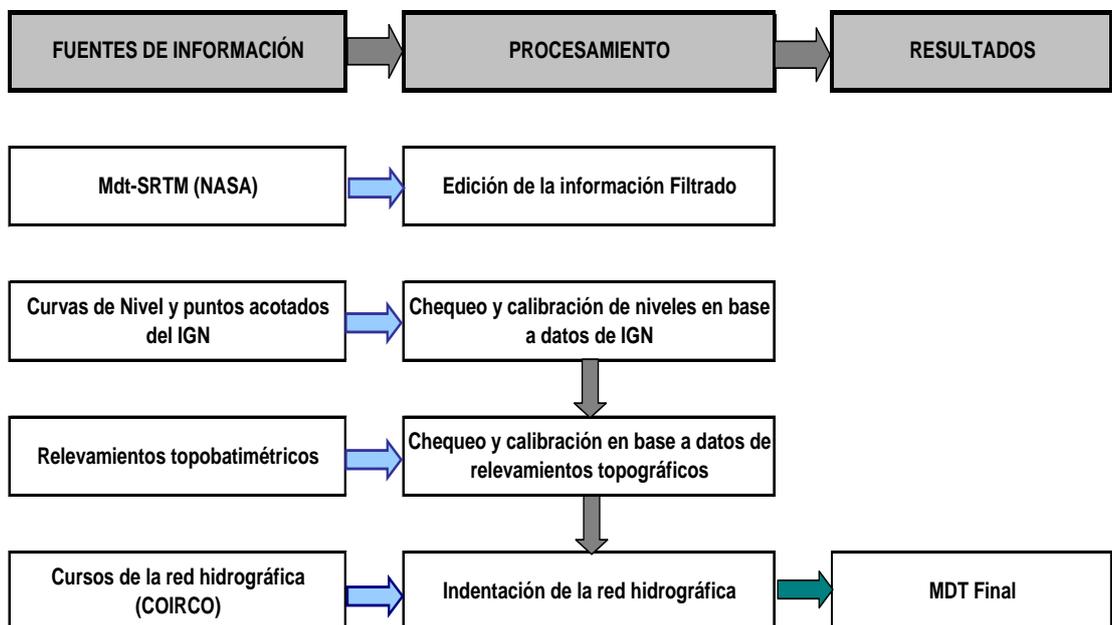


Figura 29: Enfoque metodológico para la obtención del modelo digital de terreno

El desarrollo de la metodología comprende los siguientes pasos:

- Procesamiento del Modelo Digital de superficie de la NASA (SRTM)
- Evaluación del MDT-SRTM con los datos topográficos del IGN
- Evaluación del MDT-SRTM con los datos topográficos de los relevamientos de campo
- Inclusión de las ciudades
- Inclusión de la red de drenaje en forma indentada en el modelo del terreno
- Ajuste y calibración del MDT final a partir de la evaluación de los datos topográficos

Una síntesis de los mismos se presenta a continuación.

a) Procesamiento del MDT-SRTM

El modelo de elevación digital SRTM se disponibiliza en formato GRID, en coordenadas geográficas y con una celda de 0,0008 grados (aproximadamente 90m).

El MDT que cubre el área de estudio se generó mediante la unión de 6 archivos raster (grid), obtenidos del sitio Web de la NASA de libre acceso. En la Figura 30 se muestra el nombre y la localización de los archivos raster utilizados para realizar la unión.

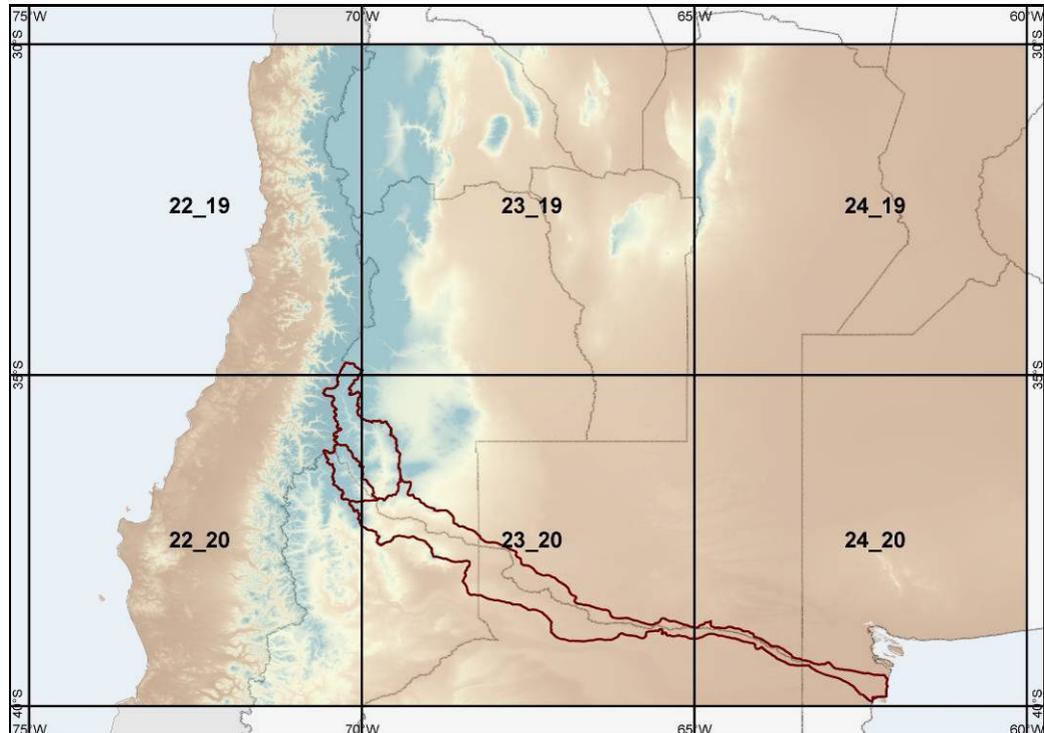


Figura 30: Diagrama de los archivos raster del SRTM utilizados para cubrir el área de estudio

Se proyectó el GRID del área de estudio al sistema del proyecto y se procesó para generar una superficie de 90m de resolución de la celda.

El primero de los procesamientos realizados al MDT consistió en la aplicación de una técnica de filtrado y de un análisis comparativo de niveles, para abordar la resolución de los problemas identificados a partir del análisis de la información original del MDT-SRTM.

Los problemas identificados a resolver mediante este procesamiento son:

- **Efecto Ruido:** Este problema se refiere a la gran dispersión existente en la información proveniente del método de captura de datos de la superficie terrestre que hace que las formas del terreno no puedan representarse en forma nítida.

Este aspecto es abordado mediante una técnica de filtrado del MDT, que consiste en la aplicación de un filtro de paso bajo. Este tipo de filtro se utiliza en el procesamiento de imágenes satelitales y provoca el efecto de suavizado de bordes. Trabaja sobre un formato raster o grilla y mediante coeficientes de transformación, el valor digital de los píxeles o celdas se asemeja al valor de los píxeles adyacentes, logrando eliminar ruidos y suavizando los bordes.

En la Figura 31 se observa la comparación de un perfil del MDT-SRTM filtrado y sin filtrar, en un perfil transversal al cauce que se extiende entre las los límites de la cuenca al Sur de la localidad de Pedro Luro.

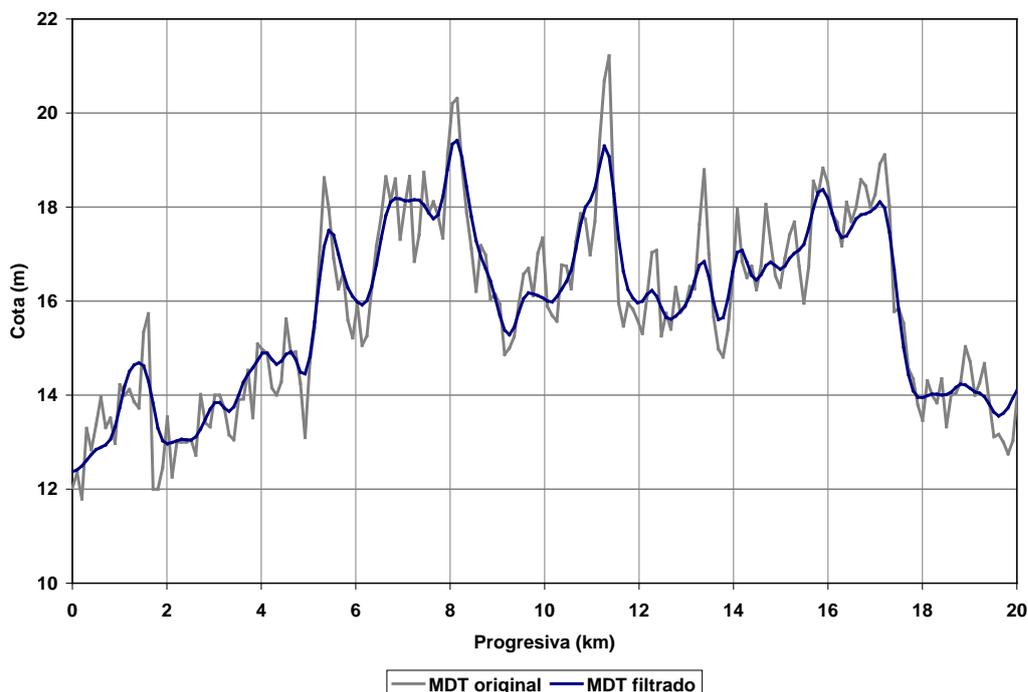


Figura 31: Comparación de MDT de la NASA original (sin filtrar) y filtrado al sur de Pedro Luro

Una vez obtenida esta superficie filtrada se procede a resolver el error de altura.

Error en altura: Este problema se refiere a las diferencias en valor absoluto de las cotas obtenidas a partir del MDT de la NASA y de las inferidas a partir de la información de las curvas de nivel y puntos acotados del IGN y de los relevamientos locales disponibles. Este punto se aborda mediante el análisis comparativo de las fuentes de información para la posterior calibración del MDT de la NASA.

A partir del MDT filtrado se generaron curvas de nivel con una equidistancia de 10, 50 y 100m (ídem a equidistancia de curvas de nivel del IGN) para poder comparar los niveles de cota y la forma del terreno de ambas fuentes.

b) Evaluación del MDT-SRTM con datos topográficos del IGN

Las curvas de nivel se utilizaron para realizar un análisis diferenciado por sector, en función de las diferencias de la topografía del área de estudio entre la cuenca alta y la cuenca baja, con el objetivo de determinar las diferencias de altura entre ambas fuentes de información (IGN y SRTM), para poder calibrar los datos de altura del MDT-SRTM.

Se compararon, mediante superposición y clasificación de las curvas en rangos, los niveles y la forma de las curvas del IGN y del SRTM filtrado, evaluándose el grado de similitud entre ambos datos. También se superpuso la red hidrográfica para verificar si el MDT-SRTM evidencia la red de escurrimiento de la cuenca. En general no se encontraron diferencias en las formas del terreno como tampoco en el valor absoluto de cota.

En los casos puntuales donde se encontraron diferencias de altura, principalmente en las zonas de escasa pendiente, se procedió a calibrar el MDT-SRTM. En la Figura 32 a la Figura 34 se observa la comparación de las curvas de nivel del IGN (línea más gruesa) y las curvas obtenidas del MDT-SRTM filtrado (línea más fina).

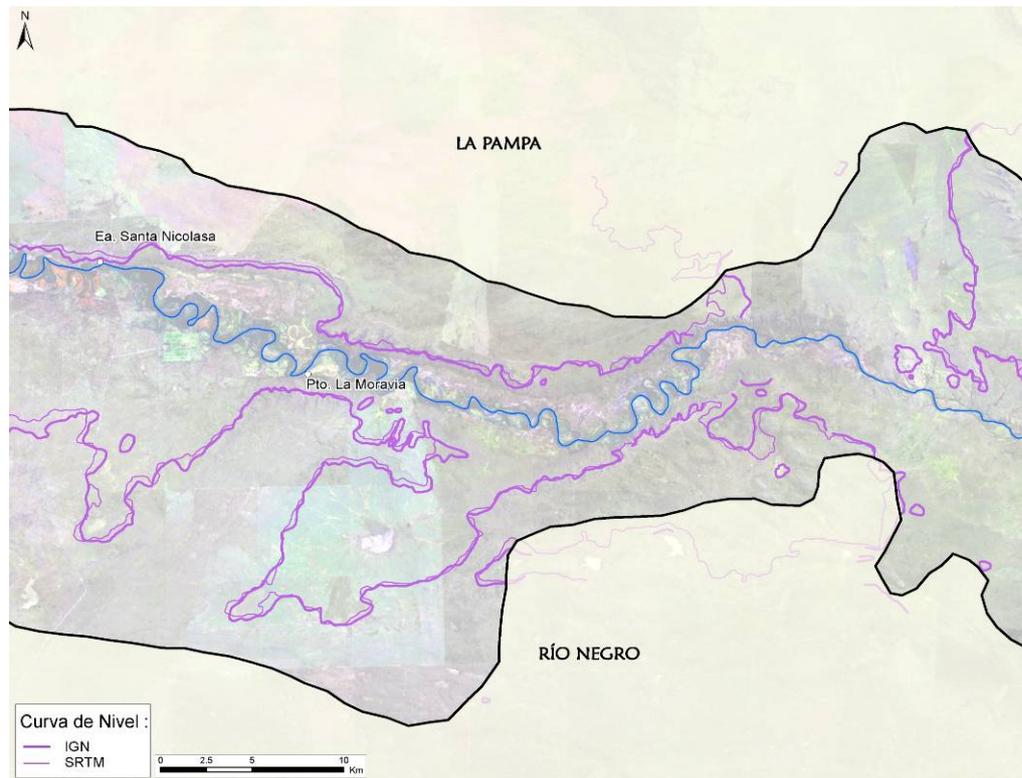


Figura 32: Comparación de curvas de 200m de altitud en la Cuenca Baja

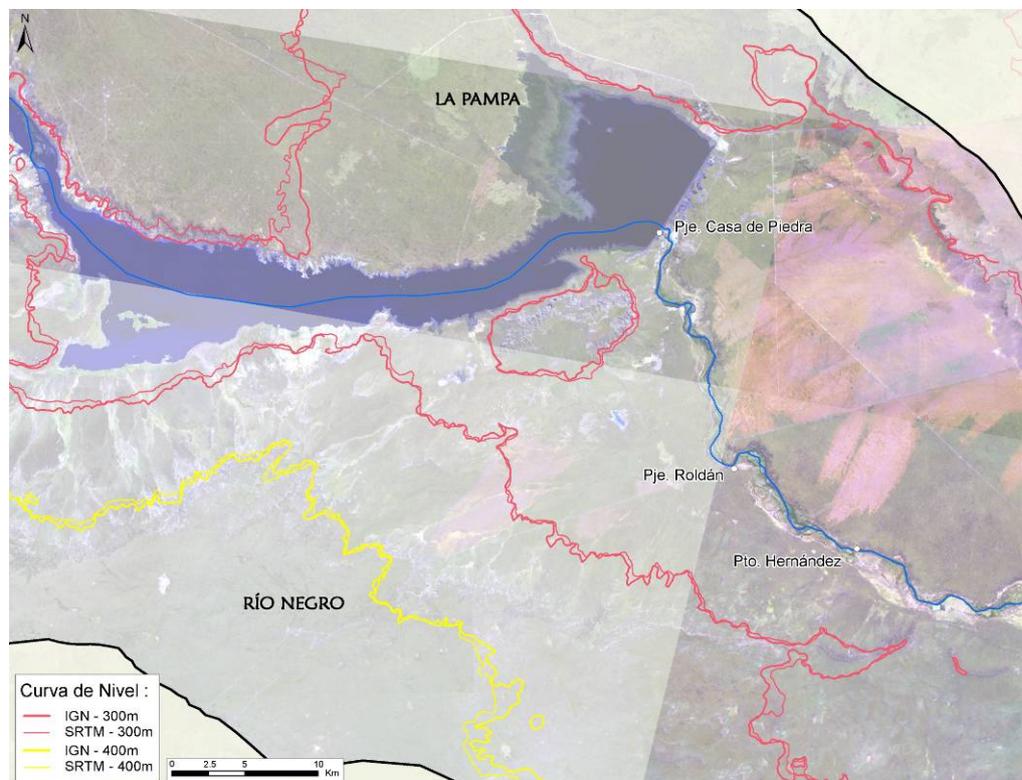


Figura 33: Comparación de curvas de 300m y 400m de altitud en alrededores de Casa de Piedra

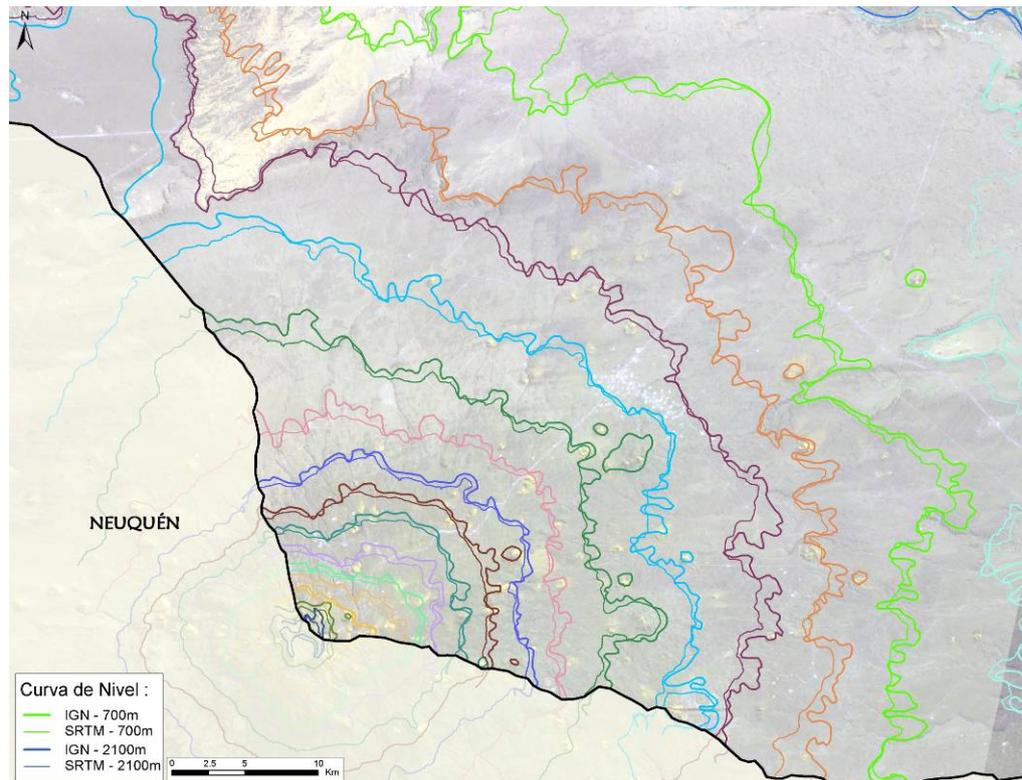


Figura 34: Comparación de curvas desde 700 (verde claro) hasta 2100m de altitud (azul) en sector del volcán Auca Mahuida

c) Evaluación del MDT-SRTM con datos topográficos de relevamientos de campo

Se realizó una comparación de los datos topográficos recopilados incorporados al SIG y el MDT-SRTM preliminar de 90m generado para el estudio. El objetivo de esta comparación fue:

- verificar los resultados del MDT generado
- establecer el grado de homogeneidad entre ambas fuentes para la utilización de estos datos en la producción de manchas de inundación
- posterior ajuste del MDT con los datos topobatimétricos de las secciones transversales de los relevamientos realizados y recopilados.

Se realizó en primer lugar la comparación entre perfiles topobatimétricos relevados en la Cuenca Baja y los mismos perfiles sobre el MDT-SRTM procesado. La Figura 35 muestra la localización de dichos perfiles.

De la comparación realizada con los relevamientos de COIRCO del Tramo 2 (D-RC) y Tramo 3 (RC-PL), se observó que la mayor cantidad de datos tienen una diferencia entre 0 y +/-4 metros con el MDT-SRTM de 90m filtrado, como se indica en la Figura 36 a la Figura 39.

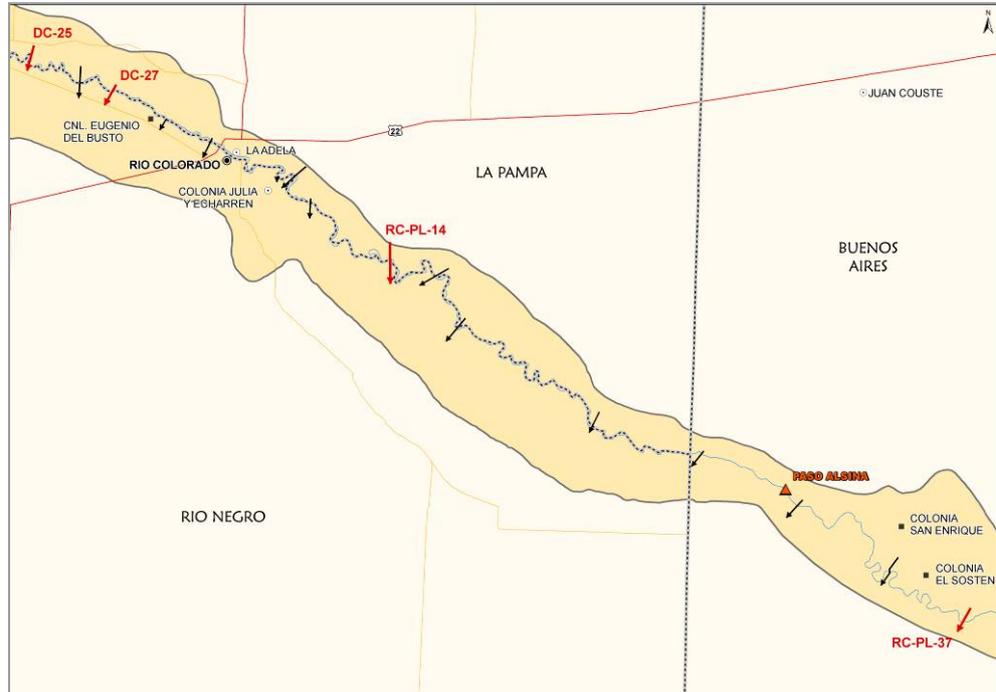


Figura 35: Ubicación de perfiles de comparación (flechas rojas)

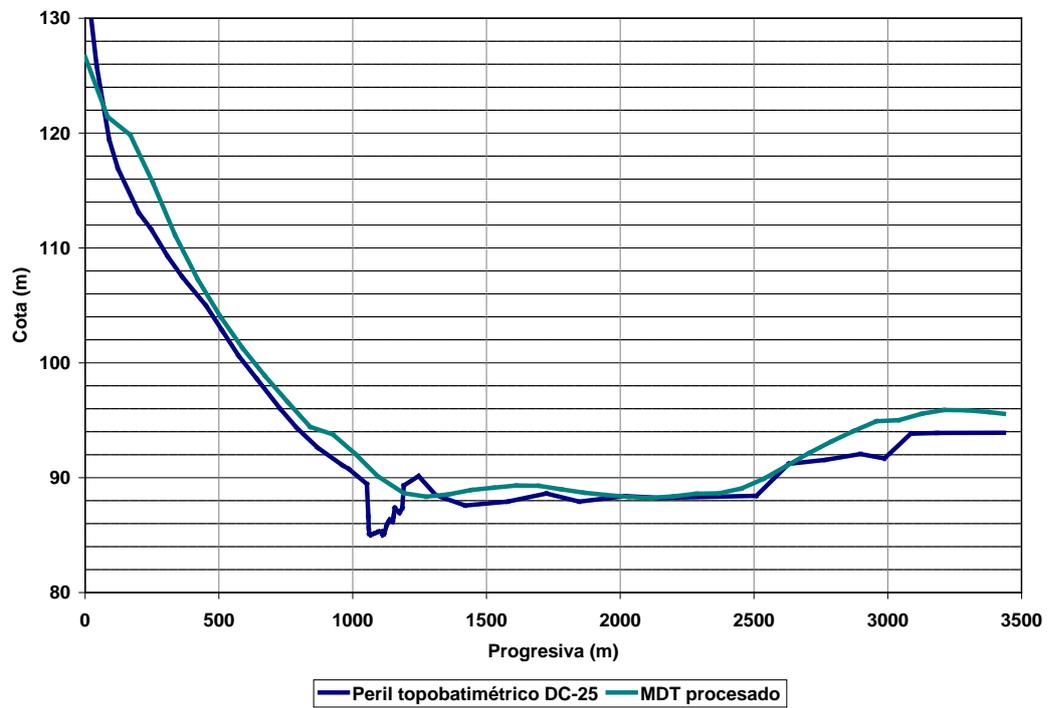


Figura 36: Comparación de perfiles de relevamientos de campo y MDT-SRTM 90m (DC-25)

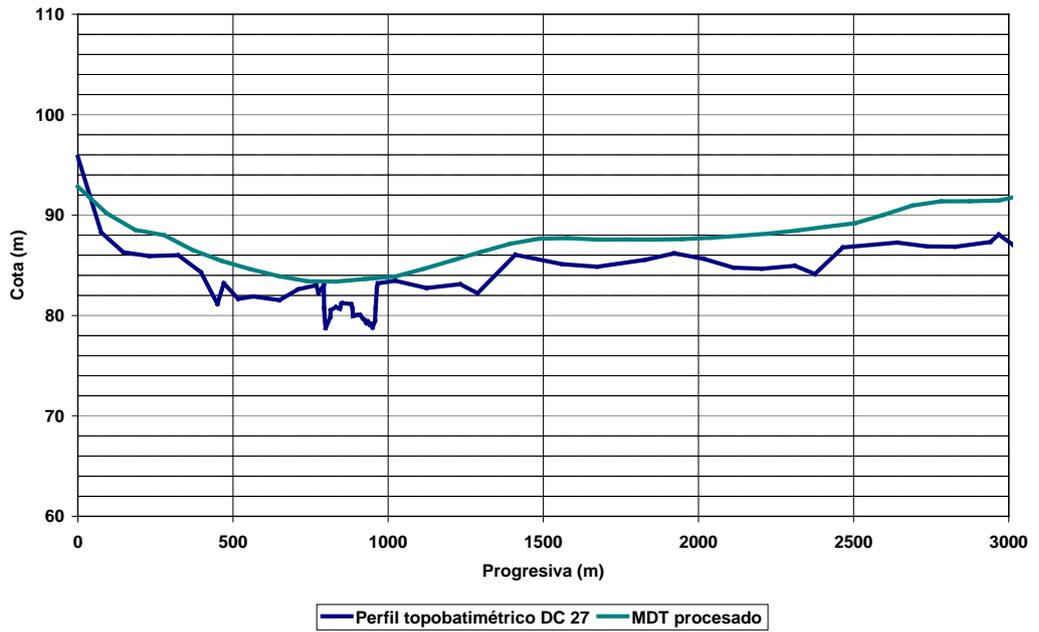


Figura 37: Comparación de perfiles de relevamientos de campo y MDT-SRTM 90m (DC 27)

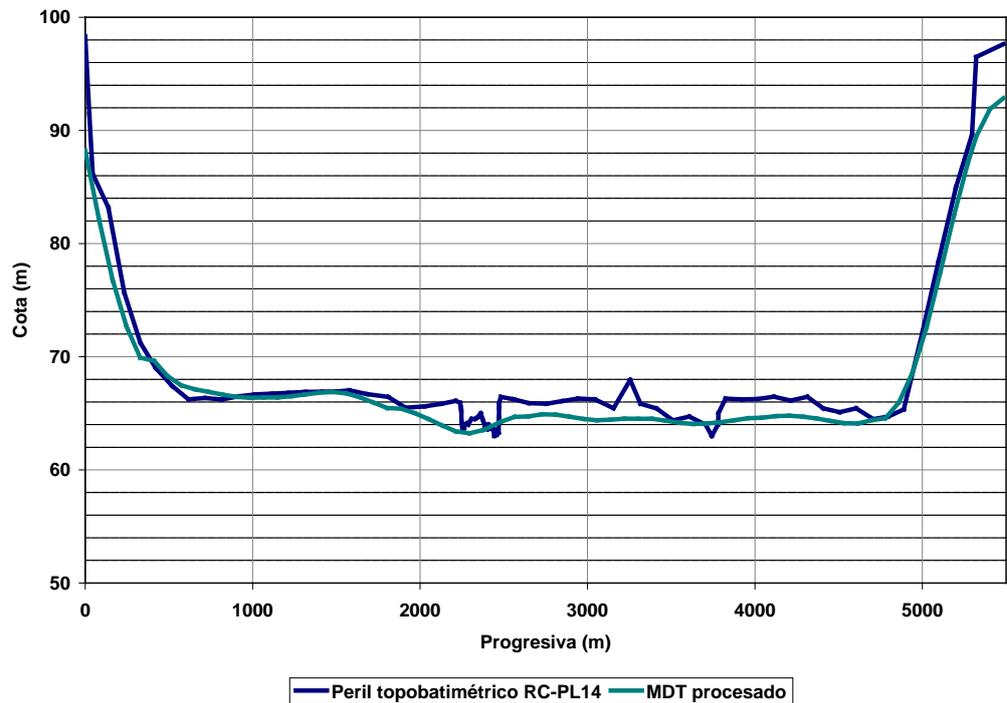


Figura 38: Comparación de perfiles de relevamientos de campo y MDT-SRTM 90m (RC-PL14)

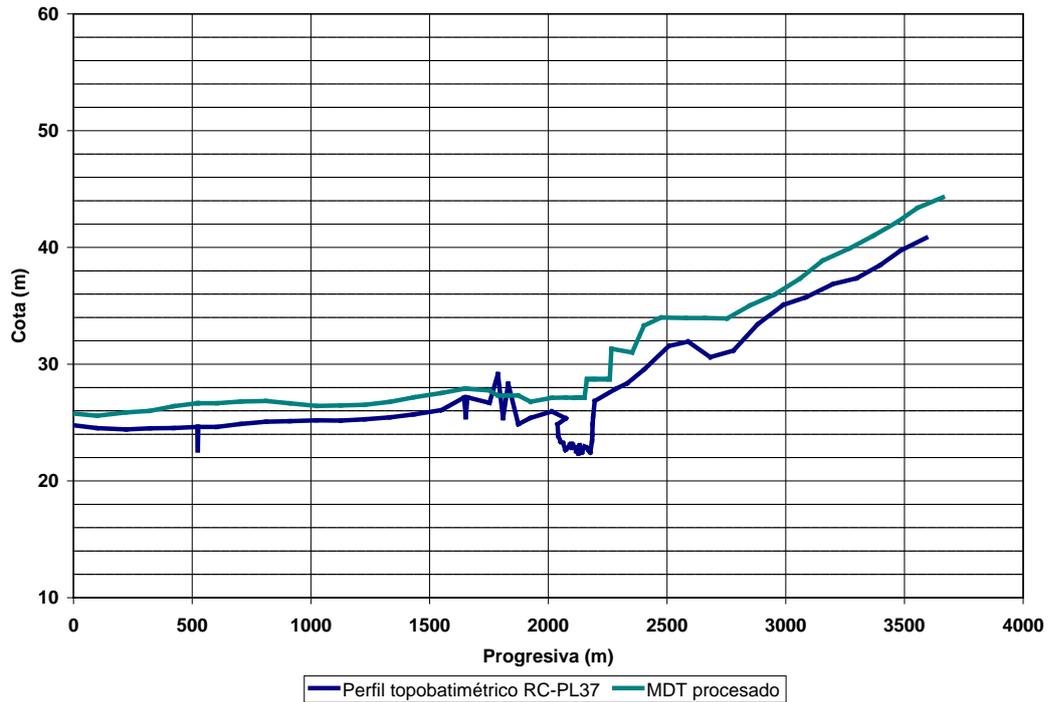


Figura 39: Comparación de perfiles de relevamientos de campo y MDT-SRTM 90m (RC-PL37)

Los valores de las cotas relevadas en cada perfil (sin incluir las batimetrías) se interpolaron espacialmente para generar una grilla de 90m de resolución, similar a la del MDT filtrado, con el objetivo de poder comparar, para cada celda, los valores del MDT con los relevados. Luego, se analizaron las diferencias obtenidas por sectores de perfiles, como se describe a continuación, obteniéndose los valores máximo, mínimo, medio y la distribución de frecuencias.

En la Figura 40 se presenta la comparación realizada entre el MDT Original (previamente filtrado) y los valores obtenidos a partir de los perfiles topográficos (recopilados y relevados) mediante las curvas de doble masa. Como se puede observar, los valores del MDT se encuentran en general por encima de la recta a 45 grados (en color rojo), es decir que son más elevados que los de los perfiles topográficos.

Del análisis de las comparaciones efectuadas en diferentes zonas de la Cuenca Alta, Media y Baja, y de la verificación de los chequeos realizados, se concluyó que se debían realizar algunos ajustes y que éstos debían realizarse por sectores ya que las diferencias no eran homogéneas a lo largo de toda la Cuenca. Se distinguieron a tal efecto cinco sectores distintos, según las diferencias a calibrar, como se puede apreciar en la Figura 41.

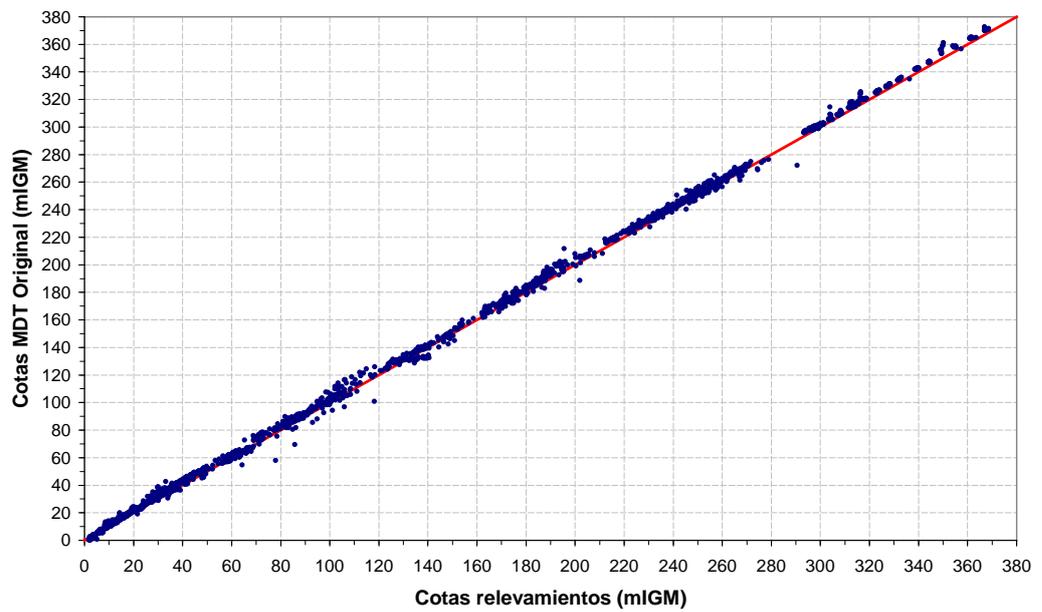
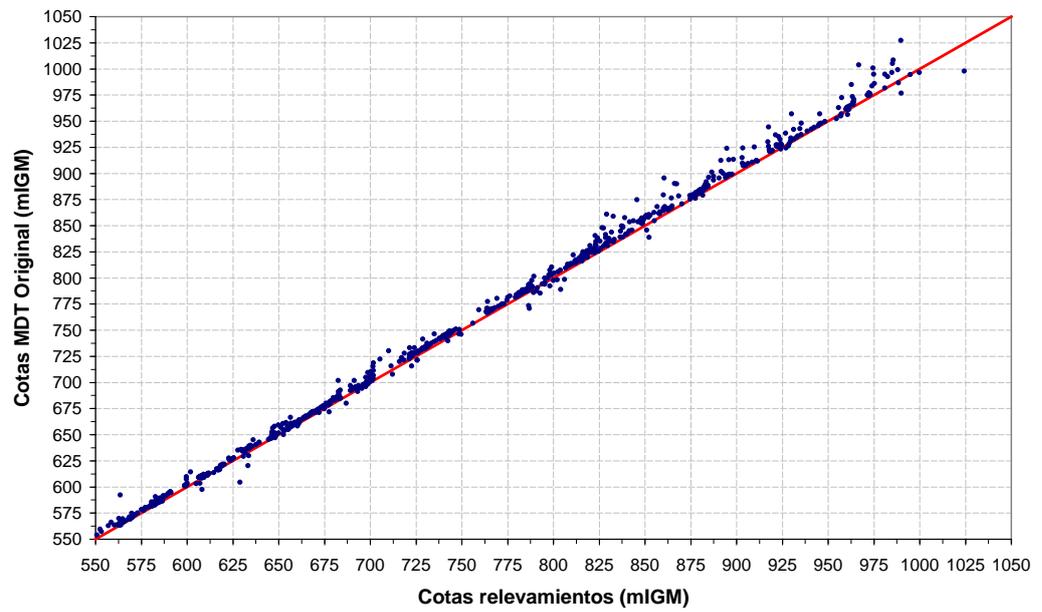


Figura 40: Comparación entre el MDT y los perfiles topográficos

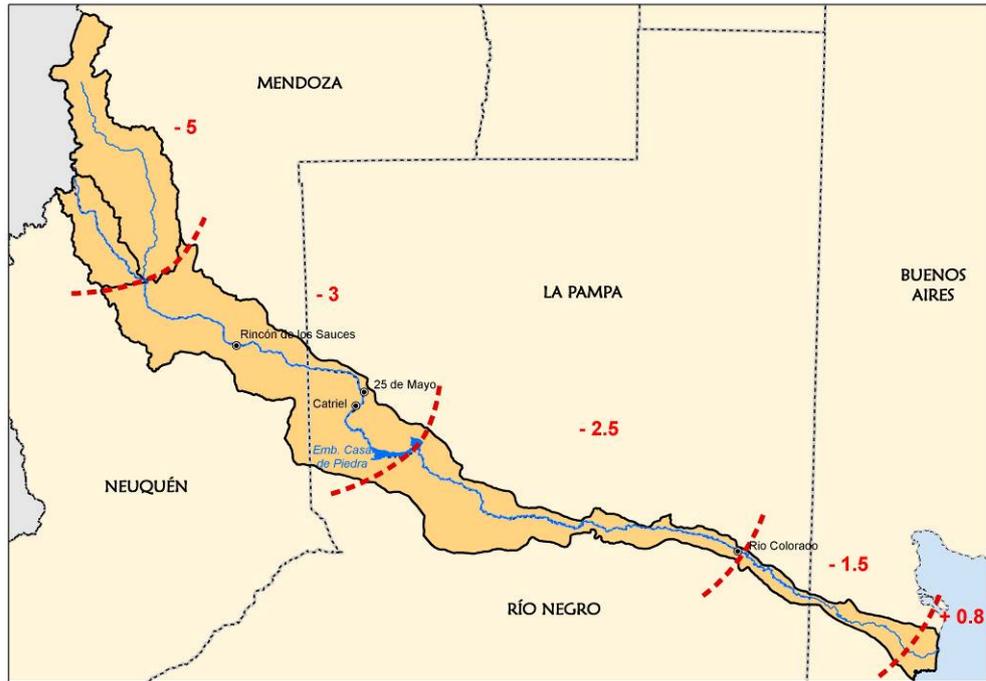


Figura 41: Ajustes del MDT por sectores de la Cuenca

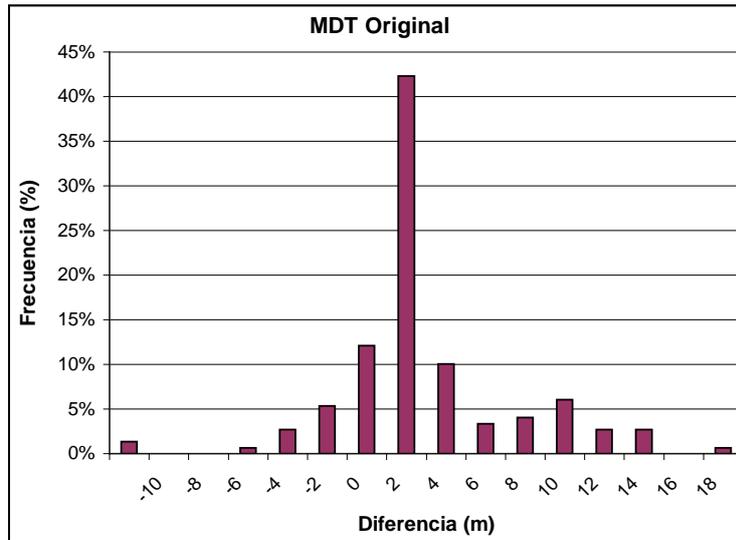
Desde la Cuenca Alta hacia la Cuenca Baja los cinco sectores mencionados son los siguientes:

- Sector 1 – Cuencas del Río Barrancas y Grande: en este sector en general el MDT filtrado muestra diferencias promedio de 5m por encima de los datos topográficos relevados
- Sector 2 – Confluencia / Embalse Casa de Piedra: el MDT presenta valores que en promedio están 3m por encima de los valores relevados
- Sector 3 - Aguas Abajo del Embalse Casa de Piedra / La Adela – Río Colorado: en este tramo el MDT tiene una diferencia de 2,50m por encima de los datos relevados
- Sector 4 - La Adela – Río Colorado / 30Km aguas arriba de la desembocadura: el MDT es en promedio 1,50m más alto que los relevamientos
- Sector 5 – 30 Km. aguas arriba / Desembocadura: en este sector los valores del MDT son levemente inferiores a los datos topográficos relevados, la diferencia es en promedio de 0,80m.

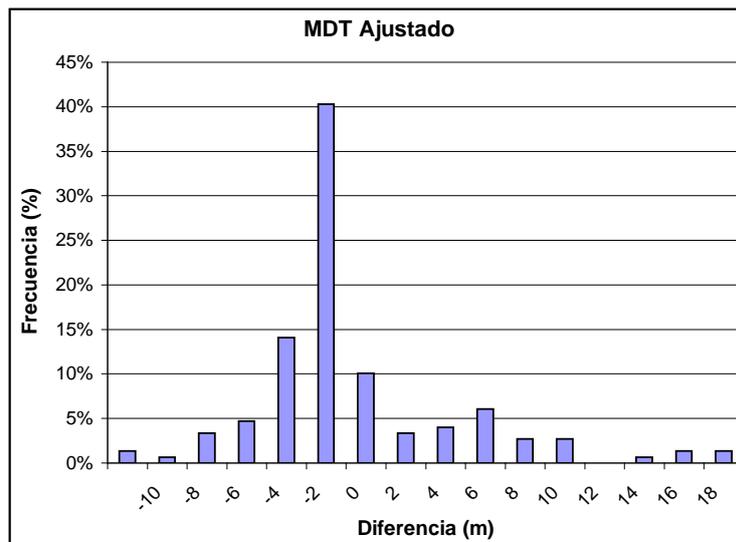
La calibración consistió en recortar el MDT filtrado por cada uno de los sectores mencionados y restarle o sumarle, según el caso, el valor medio definido en cada sector, utilizando en este proceso herramientas de la extensión Spatial Analyst.

Cada sector fue recortado con una zona de superposición, con una variación gradual en el valor a ajustar en dicha zona, con el objetivo de suavizar las zonas de unión de los diferentes sectores para generar el MDT calibrado.

En la Figura 42 a la Figura 46 se muestran los histogramas de frecuencias de las diferencias entre los valores relevados y el MDT original y el obtenido mediante el ajuste, evidenciándose la disminución del valor promedio de las discrepancias con los valores medidos mediante los ajustes realizados.

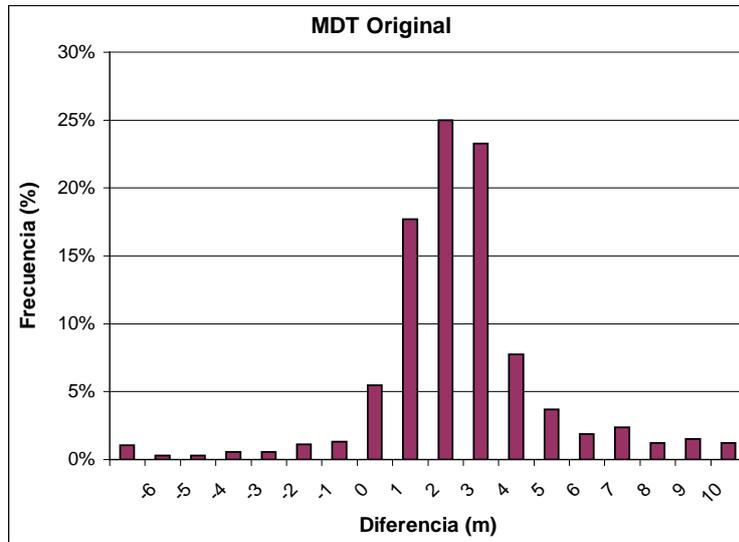


PROMEDIO = 5.3 m
MINIMO = -26.5 m
MAXIMO = 37.5 m
DESVIO STD. = 7.5 m

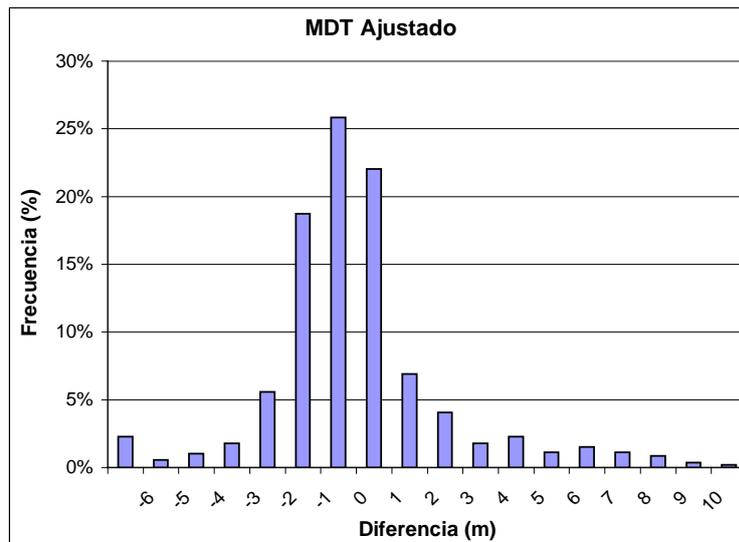


PROMEDIO = 1.2 m
MINIMO = -30.5 m
MAXIMO = 33.5 m
DESVIO STD. = 7.6 m

**Figura 42: Histogramas de frecuencias Sector 1
(ríos Barrancas y Grande)**

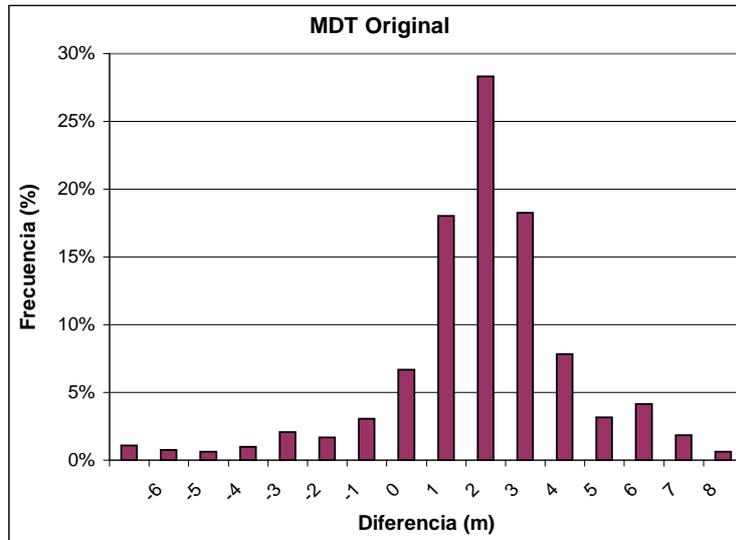


PROMEDIO = 3.4 m
MINIMO = -24.3 m
MAXIMO = 35.0 m
DESVIO STD. = 4.1 m

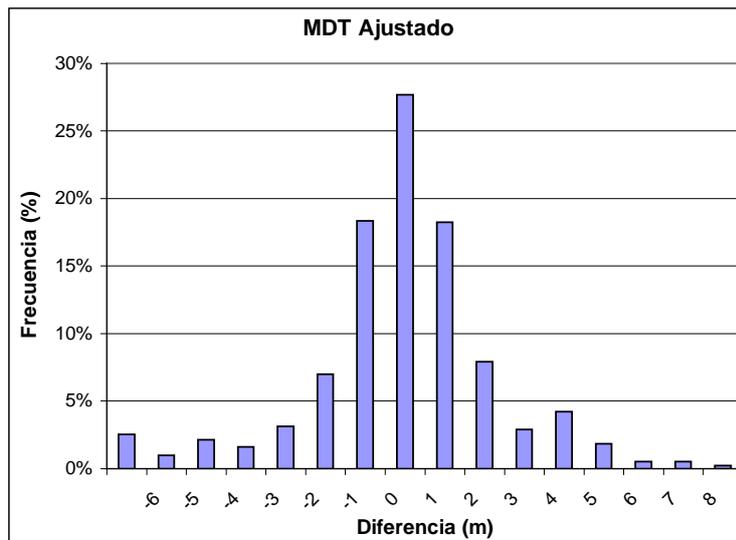


PROMEDIO = 0.3 m
MINIMO = -27.3 m
MAXIMO = 31.0 m
DESVIO STD. = 4.0 m

**Figura 43: Histogramas de frecuencias Sector 2
(río Colorado desde Confluencia a Casa de Piedra)**

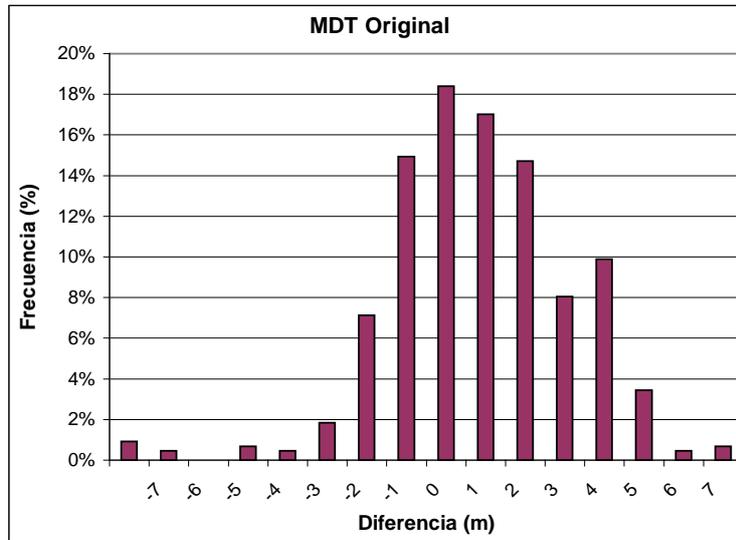


PROMEDIO = 2.4 m
MINIMO = -18.4 m
MAXIMO = 16.1 m
DESVIO STD. = 2.6 m

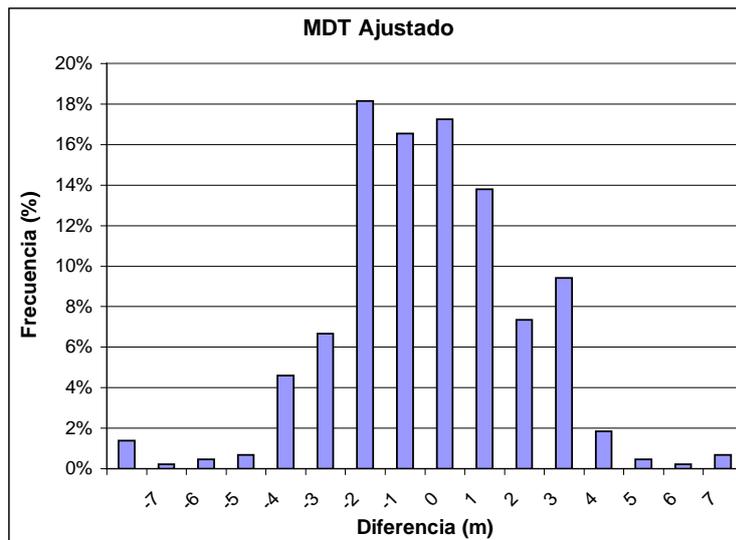


PROMEDIO = 0.4 m
MINIMO = -20.4 m
MAXIMO = 14.1 m
DESVIO STD. = 2.6 m

**Figura 44: Histogramas de frecuencias Sector 3
(río Colorado desde Casa de Piedra hasta La Adela-Río Colorado)**

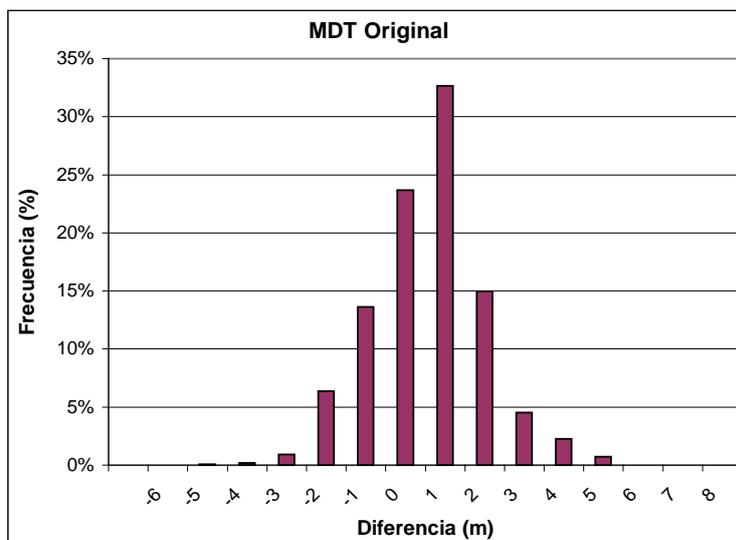


PROMEDIO = 1.4 m
 MINIMO = -20.1 m
 MAXIMO = 9.6 m
 DESVIO STD. = 2.7 m

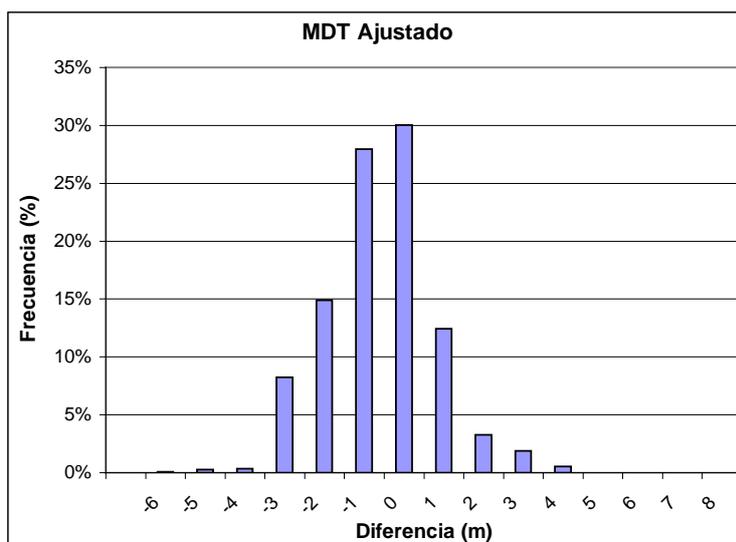


PROMEDIO = 0.1 m
 MINIMO = -21.3 m
 MAXIMO = 8.4 m
 DESVIO STD. = 2.7 m

**Figura 45: Histogramas de frecuencias Sector 4
 (río Colorado desde La Adela-Río Colorado hasta Paso Alsina)**



PROMEDIO = 1.1 m
 MINIMO = -4.4 m
 MAXIMO = 5.7 m
 DESVIO STD. = 1.4 m



PROMEDIO = -0.1 m
 MINIMO = -5.1 m
 MAXIMO = 4.5 m
 DESVIO STD. = 1.4 m

**Figura 46: Histogramas de frecuencias Sector 5
(río Colorado desde Paso Alsina hasta la Desembocadura)**

d) Ajuste y calibración del MDT final a partir de la evaluación de los datos topográficos

Si bien estos ajustes realizados en los pasos b) y c) han sido generales, se realizaron además ajustes localizados ya que algunas secciones transversales presentaban diferencias importantes respecto de los valores medios descriptos en las figuras anteriores.

El procedimiento en esos casos fue similar al utilizado en la calibración por sectores. Se procedió a generar polígonos en el área a ajustar y posteriormente se sumó o restó según fuera necesario, dejando zonas de superposición de manera de obtener una transición gradual.

e) Inclusión de ciudades

Otro procesamiento realizado sobre el MDT calibrado en el paso anterior, fue la incorporación de los valores de niveles altimétricos registrados en algunas de las ciudades de la Cuenca. Es el caso de las ciudades de Rincón de los Sauces, La Adela y Río Colorado, de donde se dispone de datos de cotas de esquina del ejido urbano.

En los tres casos se utilizó un archivo de puntos con el valor de las alturas y mediante la extensión 3D Analyst de ArcGIS, se generó para cada uno, una superficie del terreno en formato TIN que luego se exportó a formato GRID de 90m de resolución espacial. Las grillas generadas fueron incorporadas al MDT calibrado mediante un proceso de fusión de los archivos.

f) Inclusión de la red de drenaje

Como última etapa para el desarrollo del MDT final, se utilizaron los elementos principales de la red hídrica principal para lograr una representación más acabada de los rasgos fluviales del terreno. Para lograr esto se asignó el valor de cota a una serie de puntos a lo largo de los cursos de agua activos que fueron digitalizados en base a las fotografías aéreas del vuelo del año 2005.

Asimismo, se estableció el ancho de los cursos de agua para realizar la indentación y tener en consideración la presencia de islas o zonas del terreno más elevadas.

El ajuste de la red de drenaje fue realizado en forma iterativa, cotejando los resultados obtenidos del mapeo de las manchas de inundación con los resultados del modelo hidrodinámico, hasta obtener una compatibilidad aceptable entre ambos.

2.4 Conclusiones

El MDT Final del Proyecto fue el resultado del chequeo y la calibración con todos los relevamientos topobatimétricos, tanto de los perfiles antecedentes recopilados, como de los perfiles relevados; de la inclusión de las principales ciudades, y de la red de drenaje.

El producto obtenido, de 90m de resolución, tiene un adecuado nivel de detalle para el desarrollo de las actividades del estudio, a las que sustenta.

En la Figura 47 se representa el MDT Final obtenido luego del procesamiento y post procesamiento realizado. Asimismo, se presenta en el Mapa 02 del Anexo IV.B, en el que se muestran las curvas de nivel obtenidas a partir de él con diferente equidistancia para facilitar su visualización.

En base al MDT Final se generó el hillshade (mapas de luces y sombras) que brinda una visión tridimensional del relieve del área de estudio. En la Figura 48 se muestra una representación de ambos productos para un sector del área de estudio.

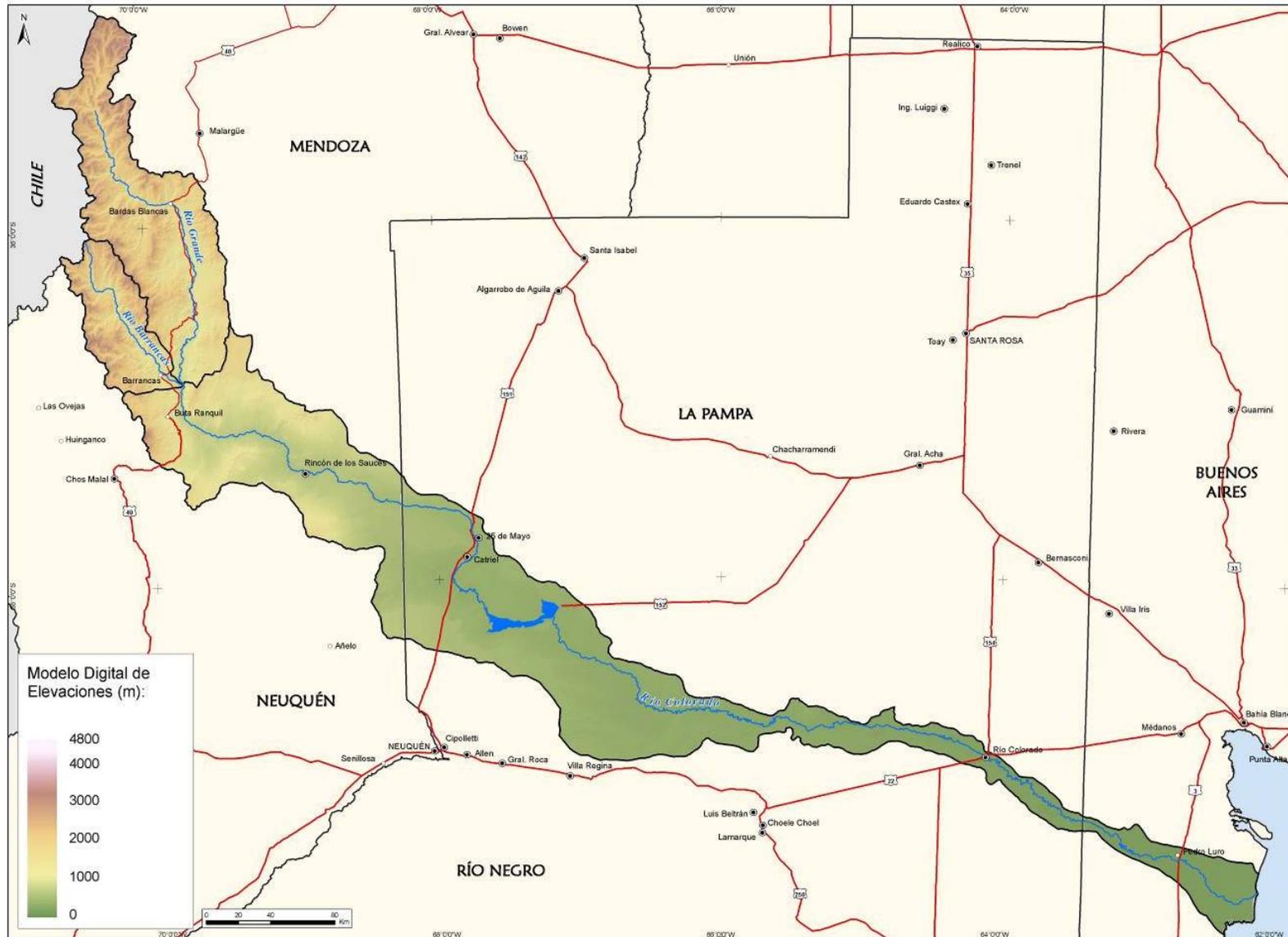


Figura 47: Modelo Digital de Terreno Final

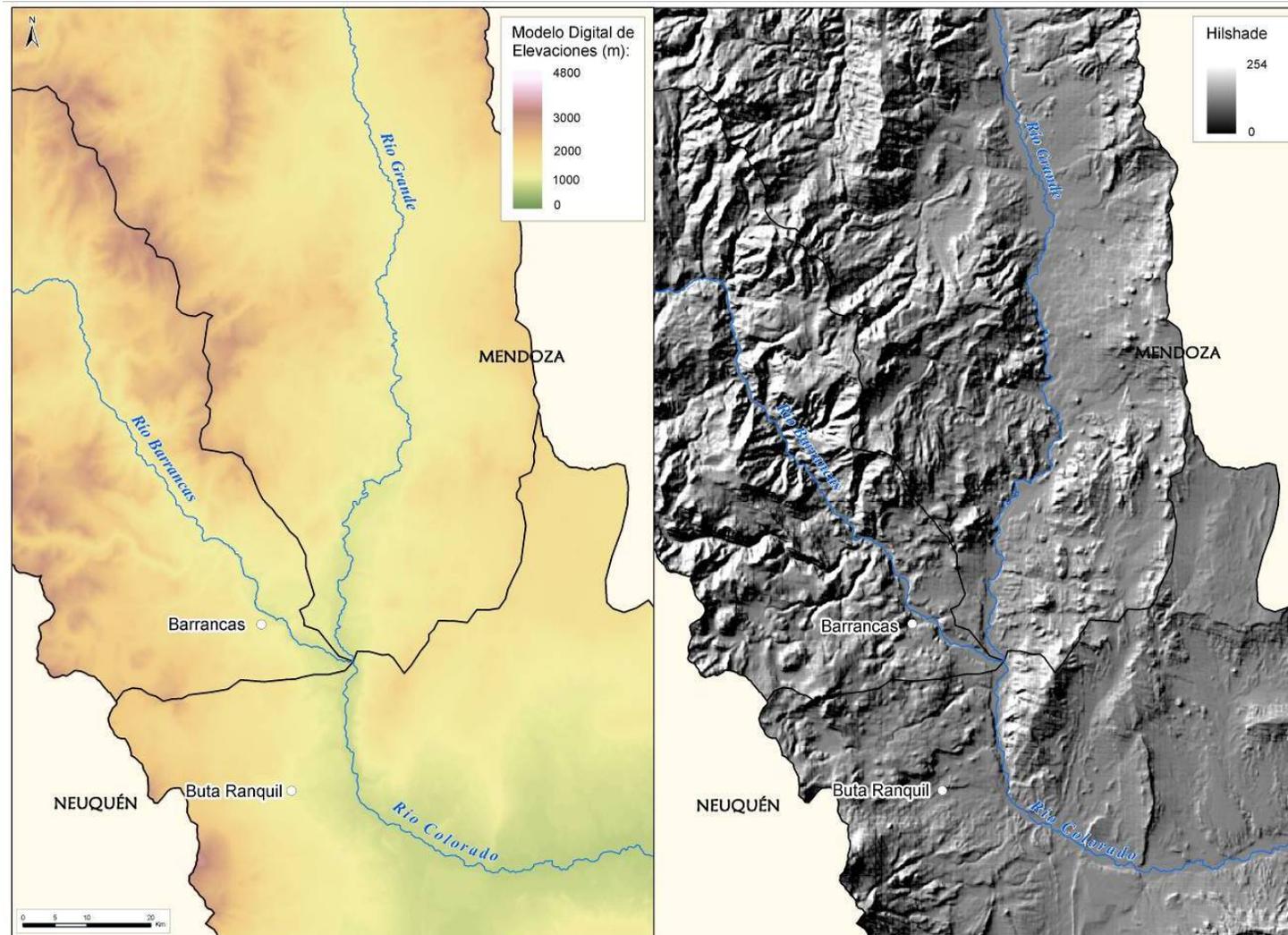


Figura 48: Detalle del MDT Final y del correspondiente Hillshade en la zona de Confluencia de los Ríos Barrancas y Grande

3 Procesamiento de imágenes satelitales y fotografías aéreas

Las imágenes satelitales constituyen un instrumento clave como apoyo para la realización de varios mapas y productos del proyecto.

De todas las imágenes Landsat disponibles que fueron mencionadas en 1.2.2, se procuró seleccionar escenas que permitieran realizar una interpretación visual y análisis digital de las mismas sobre el área de estudio, satisfaciendo las necesidades de:

- Disponer de cobertura para una fecha lo más actual posible y homogénea en toda la Cuenca
- Disponer de una cobertura complementaria temporalmente con los mosaicos de fotografías aéreas suministrados por COIRCO (año 2005)
- Visualizar un momento de típica crecida del río

Teniendo presente estos requerimientos se seleccionaron imágenes del año 2005 (de abril a octubre) y 3 escenas de 2006 (entre enero y abril).

Todas las imágenes Landsat fueron obtenidas a través del sitio de Internet que la Universidad de Maryland posee en conjunto con la NASA (Global Land Cover Facility Program: <http://www.glcfc.umiacs.umd.edu/index.shtml>), adquiriéndose todas las bandas espectrales de cada una de las escenas (en formato tif).

En la Tabla 5 se describen las principales características de las 13 imágenes seleccionadas. En cada una de las bandas los datos de radiancia de cada píxel o celda son cuantificados en 8 bits, o sea entre 0 y 255, de manera que cada una de ellas presenta una tonalidad de grises. En la Tabla 6 se presentan las principales características de los canales o bandas espectrales TM y ETM+ del satélite Landsat.

Tabla 5: Escenas Landsat seleccionadas

Imágenes Satelitales			
Satélite/Escena	Sensor	Fecha	Fuente
Landsat 226/087 (Bahía Blanca)	7 ETM+	06/10/2005	GLCF
Landsat 226/088 (Juan Pradere)	7 ETM+	06/10/2005	GLCF
Landsat 227/087 (Paso Alsina)	7 ETM+	13/10/2005	GLCF
Landsat 227/088 (Primera Angostura)	7 ETM+	13/10/2005	GLCF
Landsat 228/087 (Pichi Mahuida)	7 ETM+	11/04/2005	GLCF
Landsat 229/087 (Gobernador Duval)	7 ETM+	02/04/2005	GLCF
Landsat 230/086 (Catriel)	5 TM	04/04/2006	GLCF
Landsat 230/087 (Neuquén)	7 ETM+	09/04/2005	GLCF

Imágenes Satelitales			
Satélite/Escena	Sensor	Fecha	Fuente
Landsat 231/086 (Rincón de los Sauces)	7 ETM+	16/04/2005	GLCF
Landsat 231/087 (Zapala)	7 ETM+	18/03/2006	GLCF
Landsat 232/084 (El Sosneado)	5 TM	01/05/2005	GLCF
Landsat 232/085 (Bardas Blancas)	5 TM	25/01/2005	GLCF
Landsat 232/086 (Chos Malal)	7 ETM+	20/01/2006	GLCF

Tabla 6: Características de las bandas de los sensores TM y ETM+ del Landsat

Imágenes Satelitales Landsat			
Banda	Resolución espectral	Sector espectro	Resolución espacial
TM 1 ETM+ 1	0.450 - 0.520 μm 0.450 - 0.515 μm	Visible Azul	30 m
TM 2 ETM+ 2	0.520 - 0.600 μm 0.525 - 0.605 μm	Visible Verde	30 m
TM 3 ETM+ 3	0.630 - 0.690 μm 0.630 - 0.690 μm	Visible Rojo	30 m
TM 4 ETM+ 4	0.760 - 0.900 μm 0.750 - 0.900 μm	Infrarrojo Cercano	30 m
TM 5 ETM+ 5	1.550 - 1.750 μm 1.550 - 1.750 μm	Infrarrojo Medio	30 m
TM 6 ETM+ 6	10.400 - 12.500 μm 10.400 - 12.500 μm	Infrarrojo Lejano	60 m
TM 7 ETM+ 7	2.080 - 2.350 μm 2.090 - 2.350 μm	Infrarrojo Medio	30 m
ETM+ 8	0.520 - 0.900 (modo pancromático)	Combinación de bandas	15 m

Al proporcionar la información de radiancia por bandas, las imágenes satelitales permiten procesarlas y realizar una serie de combinaciones de color, pudiendo obtenerse diferentes productos de acuerdo a las necesidades.

Con la finalidad de obtener un resultado que permita diferenciar las diversas coberturas presentes en el área de estudio resaltando principalmente la presencia de agua, se realizó con cada una de las 13 imágenes Landsat seleccionadas una composición en color valiéndose de tres bandas espectrales.

El programa utilizado para tal proceso fue ENVI versión 4.1. Las combinaciones de bandas están especificadas en orden rojo, verde, azul (RGB), seleccionándose la combinación de bandas 7 5 2 en RGB. Se trata de una composición Falso Color Compuesto, que consiste básicamente en el desplazamiento del espectro visible hacia longitudes de ondas mayores, de manera de poder apreciar la respuesta de cada cubierta en el sector del infrarrojo medio. La banda del infrarrojo medio (7) fue puesta en la porción roja (R), la otra banda del infrarrojo medio (5) se colocó en la porción verde (G), y la banda del visible (2) fue asignada a la porción azul (B). Las principales características de esta combinación se resumen en la Tabla 7.

Si bien se realizó como primera aproximación al área de estudio, una combinación de bandas 3 2 1 (Color Natural o Visible) con la finalidad de visualizar los elementos de tierra como los vería el ojo humano desde el espacio, la misma se desestimó ya que no permite una buena diferenciación entre diferentes elementos presentes en la Cuenca.

Ejemplos de ambas combinaciones de bandas en diferentes sectores del área de estudio pueden apreciarse en Tabla 8.

El agua es fácilmente diferenciable a lo largo de todo el curso del río (tanto en la Cuenca Alta como en la zona de la desembocadura), en las lagunas, incluso se distinguen muy bien los meandros abandonados. Las parcelas cultivadas también aparecen en tonos que se resaltan diferenciándose de la vegetación natural. Las geoformas volcánicas entre otras, también se distinguen más claramente y el contraste litológico es nítido.

Por lo tanto, se puede concluir que la combinación Falso Color Compuesto 7 5 2 resultó ser la más apropiada de acuerdo al objetivo planteado en el proyecto. En la Figura 49 se muestran las imágenes combinadas.

Las imágenes combinadas (disponibles en formato tif) fueron el soporte que facilitó la interpretación visual y el análisis digital durante todo el proyecto, y se utilizan como base de los mapas en escala 1:100.000.

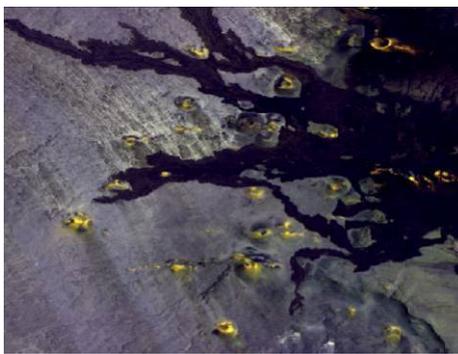
Se cuenta además, con un mosaico de imágenes satelitales Landsat 7ETM+ que cubre toda el área de estudio y que se utiliza de base para los mapas regionales.

Este mosaico se encuentra ortorrectificado y es el resultado de una combinación Falso Color Compuesto (7-4-2). Ha sido confeccionado por la NASA con imágenes del período 1999-2001.

Tabla 7: Características de la Combinación de bandas 752

Bandas espectrales combinación 7 5 2		
Banda TM 7 ETM+ 7	Banda TM 5 ETM+ 5	Banda TM 2 ETM+ 2
<p>Principal Característica</p> <p>Presenta sensibilidad a la morfología del terreno; permite obtener información sobre geomorfología, suelos y geología</p>	<p>Principal Característica</p> <p>Sensible a las condiciones de humedad de la vegetación y suelos</p>	<p>Principal Característica</p> <p>Presenta muy buena penetración en cuerpos de agua</p>
		<p>Combinación de Bandas 752</p> <p>En esta combinación la absorción casi completa del infrarrojo medio por parte del agua, otorga muy buena definición de los bordes del río, lagunas y océano, resaltando la presencia de agua en la imagen.</p> <p>El agua se presenta en tonalidades azul oscuro o negro. El hielo y la nieve aparecen de color azulado.</p> <p>Las ciudades se presentan en colores magentas y se identifica en ellas el reticulado correspondiente a la planta urbana. Las parcelas cultivadas van de tonalidades blancas al color magenta, y en diferentes tonos de verdes. El suelo desnudo presenta color blanco.</p> <p>Las diferentes geoformas (volcánicas, kársticas, fluviales, glaciares) se realzan por los colores que presentan así como por la textura y formas asociadas.</p>

Tabla 8: Comparación de sectores con diferente combinación de bandas

Comparación Combinación bandas		
Ejemplo sector Cuenca	Falso Color Compuesto (752)	Color Natural-Visible (321)
Zona desembocadura del Río Colorado Escala 1:80.000		
Alrededores de la ciudad de 25 de Mayo Escala 1:80.000		
Coladas del campo lávico Payún Matru (Mendoza) Escala 1:80.000		
Zona meandros (Río Colorado) escala 1:80.000		

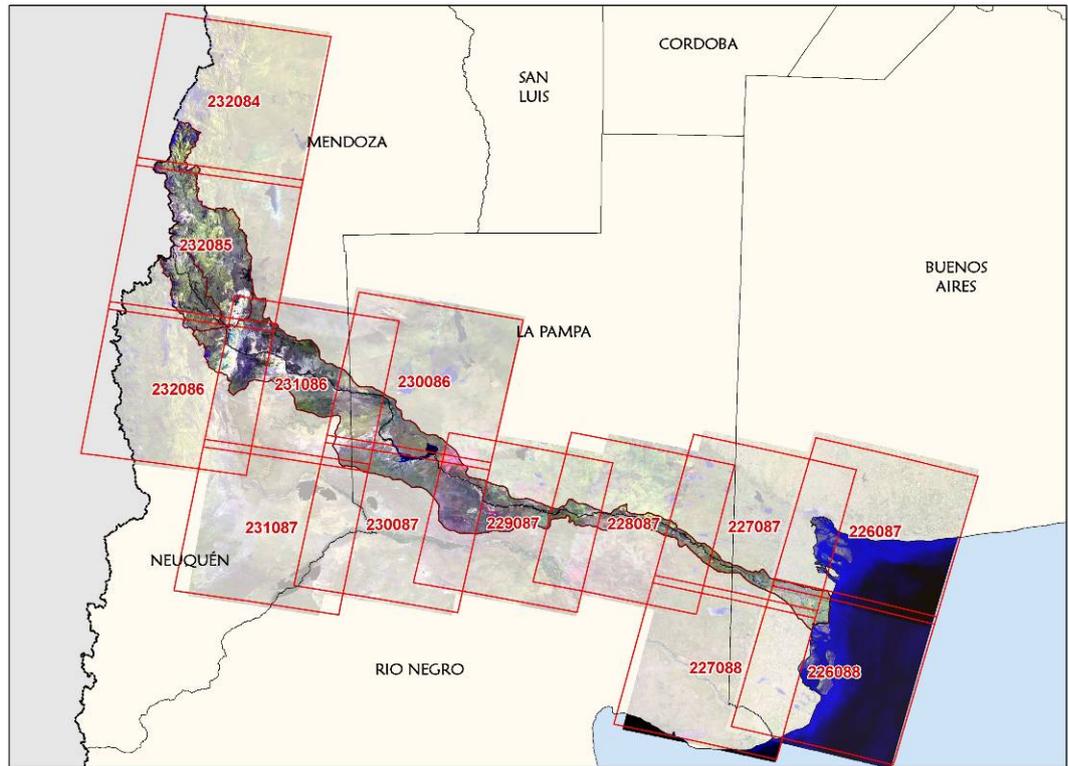


Figura 49: Ubicación de las imágenes Landsat seleccionadas

3.1.1 Procesamiento de Fotografías aéreas

El mosaico de fotografías aéreas disponible fue suministrado por COIRCO y corresponde a un vuelo realizado en el año 2005. El área de cobertura del mismo se extiende sobre el cauce del Río Colorado desde la confluencia de los ríos Barrancas y Grande hasta la zona de la desembocadura del Río Colorado en la Bahía Anegada.

A diferencia de las imágenes satelitales, donde se llevó a cabo una composición de color a partir de canales o bandas permitiendo resaltar diferentes elementos, con las fotografías aéreas no hubo posibilidades de alterar el color. De manera que la interpretación visual se basó en los contornos, las texturas, las formas y los tonos, siendo estos elementos más importantes que el color en sí.

Las fotografías han sido el soporte para la interpretación visual de la zona del río en una escala de detalle y han facilitado la calibración del Modelo Digital del Terreno.

4 La Base de Datos Geográficos (Geodatabase)

La definición de la estructura de la base de datos geo-relacional del proyecto o Geodatabase (GDB), está orientada a conformar una única base de datos, para unificar los criterios de gestión de la información, entendiéndose por tal al conjunto de:

- capas temáticas de información secundaria y de información generada durante el proyecto (en formato vectorial y en formato raster)
- tablas de datos asociadas a las distintas capas temáticas

El diseño de la base de datos geográfica se organiza en dos secuencias:

- el diseño lógico, es decir, la definición de las capas de información gráfica y las tablas y el nivel de información necesario para el proyecto y
- el diseño físico, es decir, la definición de la organización de los datos, especialmente de las tablas de atributos de las capas temáticas y las tablas de datos propiamente dichas y las relaciones entre ellas.

Se ha analizado la base de datos espacial Geodatabase, actualmente en funcionamiento en las oficinas de la COIRCO. Se ha observado que es un modelo ordenado y simple, respecto a la organización de la información y que la información se encuentra en coordenadas geográficas con el elipsoide World Geodetic System (WGS84).

El objetivo del desarrollo de la GDB del Proyecto es conformar una única Base de Datos por lo cual su diseño se definió siguiendo los lineamientos generales del SIG de COIRCO y su modelo lógico, no siendo así en lo que respecta al sistema de proyección de la información donde se respetó el sistema establecido para el proyecto: Gauss Krüger -Faja 3- POSGAR 94.

La Base de Datos Geográfica desarrollada es una File Geodatabase con capacidad de almacenamiento de hasta 1TB. El programa utilizado para la generación de la misma fue ArcGIS Desktop 9.2 de ESRI.

4.1.1 Modelo lógico y físico de la Geodatabase

La File Geodatabase alberga información cartográfica base recopilada específicamente para llevar adelante el Proyecto que ha sido editada, mejorada y ampliada en todos los casos necesarios, e información temática inédita generada durante el desarrollo del estudio.

Esta Geodatabase está compuesta por varios Conjuntos Temáticos de Información (Feature Dataset) cada uno de los cuales contiene varias capas de información en formato vectorial (Feature Class); además incluye archivos en formato raster.

A continuación, en la Tabla 9 se detallan las principales características de los Feature Class contenidos en cada uno de los Feature Dataset de la Geodatabase.

Los archivos en formato raster que contiene la Geodatabase preliminar se resumen en la Tabla 9.

Tabla 9: Feature Datasets y Feature Classes de la Geodatabase

ENTIDAD	TIPO	GEOMETRIA	FUENTE
Aportes_Sedimentos			
Erosion_Superficial	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Puntos_muestreo_sondeo_sedimentos	FeatureClass	Punto	Halcrow
Remocion_masa	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Subunidades_Funcionales	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Zonas_Sedimentogenas	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Areas_inundacion			
Area_inundacion_TR2_Final	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Area_inundacion_TR10_Final	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Area_inundacion_TR25_Final	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Area_inundacion_TR50_Final	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Area_inundacion_TR100_Final	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Area_inundacion_TR1000_Final	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Linea_evacuacion_crecidas	FeatureClass	Línea	Halcrow
Linea_inundacion	FeatureClass	Punto	Halcrow
Linea_ribera	FeatureClass	Punto	Halcrow
Q525_alcance_maximo	FeatureClass	Punto	Halcrow
Auxiliar_mapas			
Archivos varios utilizados en mapas			
Cobertura_Suelo			
Cobertura_Suelo_Cuenca	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Division_Politica			
Departamentos_CuencaColorado	FeatureClass	Polígono	Halcrow - INDEC
Provincias_CuencaColorado	FeatureClass	Polígono	COIRCO - Halcrow
Estacion_de_registro			
Estaciones_Diseño_Final_HL_existentes	FeatureClass	Punto	Halcrow
Estaciones_Diseño_Final_HL_propuestas	FeatureClass	Punto	Halcrow
Estaciones_Registro	FeatureClass	Punto	COIRCO - SSRH - Halcrow

ENTIDAD	TIPO	GEOMETRIA	FUENTE
Geología			
Geología_poly	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Geomorfología			
Geomorfología_poly	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Hidrografía			
Cuerpos_Agua_CuencaColorado	FeatureClass	Polígono	Atlas Recursos Hídricos-Halcrow
Embalse_CasadePiedra	FeatureClass	Línea	Halcrow-OIST
Red_Hidrica_COIRCO	FeatureClass	Línea	COIRCO
Red_Hidrica_Principal_COIRCO	FeatureClass	Línea	COIRCO
Red_Hidrica_Secundaria_COIRCO	FeatureClass	Línea	COIRCO
Subcuencas_COIRCO	FeatureClass	Polígono	COIRCO
Subcuencas_Proyecto	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Infraestructura			
Infraestructura_CuencaColorado	FeatureClass	Punto	Halcrow
Perfiles_topobatimetricos			
Perfiles_modelo_explotacion	FeatureClass	Línea	Halcrow
Perfiles_topobatimetricos_relevados_lineas	FeatureClass	Línea	Halcrow
Perfiles_topobatimetricos_relevados_puntos	FeatureClass	Punto	Halcrow
Poblacion			
Centros_Poblados	FeatureClass	Punto	IGN - COIRCO
Reconocimiento_Cuenca			
Reconocimiento_CuencaColorado	FeatureClass	Línea	Halcrow
Ubicación_Fotos_ReconocimientoCuenca	FeatureClass	Punto	Halcrow
Ubicación_Fotos_Vuelo	FeatureClass	Punto	Halcrow
Vuelo_Exploracion	FeatureClass	Línea	Halcrow
Red_Vial			
Ferrocarril	FeatureClass	Línea	IGN - COIRCO
Ruta_Nacional	FeatureClass	Línea	IGN - COIRCO
Ruta_Provincial	FeatureClass	Línea	IGN - COIRCO
Rotura_Presa			

ENTIDAD	TIPO	GEOMETRIA	FUENTE
Area_inundacion_RP_Casa_de_Piedra_EscA	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Area_inundacion_RP_Casa_de_Piedra_EscB	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Area_inundacion_RP_Casa_de_Piedra_EscC	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Area_inundacion_RP_Huelches	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Area_inundacion_RP_PortezueloViento	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Ubicación_Presas	FeatureClass	Punto	Halcrow
Suelos			
Tipo_Suelos_CuencaColorado	FeatureClass	Polígono	INTA - Halcrow
Topografía			
Curvas_100m_MDT	FeatureClass	Línea	Halcrow
Curvas_50m_MDT	FeatureClass	Línea	Halcrow
Ubicación_gral			
Cartas_IGN_100000_CuencaColorado	FeatureClass	Polígono	IGN
Cartas_IGN_250000_CuencaColorado	FeatureClass	Polígono	IGN
Diagrama_Imagenes_CuencaColorado	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Diagrama_mapas_100000_Cuenca	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Diagrama_mapas_100000_sector_Cuenca	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Diagrama_mapas_50000_sector_Cuenca	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Variables_climaticas			
Isohietas_CuencaColorado	FeatureClass	Línea	Halcrow
Isotermas_CuencaColorado	FeatureClass	Línea	Halcrow
Vegetación			
Vegetacion_Cabrera_CuencaColorado	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Vegetacion_GLC2000_CuencaColorado	FeatureClass	Polígono	GLC200 – Halcrow
Vulnerabilidad			
Vulnerabilidad_Departamentos	FeatureClass	Polígono	Halcrow
Vulnerabilidad_RadiosCensales	FeatureClass	Polígono	Halcrow

Tabla 10: Archivos raster de la Geodatabase

ENTIDAD	TIPO	FUENTE
Imagen_Landsat_226087	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_226088	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_227087	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_227088	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_228087	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_229087	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_230086	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_230087	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_231086	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_231087	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_232084	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_232085	Raster	GLCF - Halcrow
Imagen_Landsat_232086	Raster	GLCF - Halcrow
Precipitación media anual	Raster	Halcrow
Temperatura media anual	Raster	Halcrow
MDT_CuencaColorado	Raster	Halcrow - NASA USA - USGS
MDT_Hillshade	Raster	Halcrow
Vegetacion_GLC2000	Raster	Global Land Cover 2000

En el Anexo IV.A se detalla cada uno de los archivos que la conforman (Feature Datasets, Feature Class y archivos raster) y se presenta una descripción de los campos que contiene cada uno de ellos.

En la Figura 50 se muestra la estructura de la File Geodatabase del Proyecto.

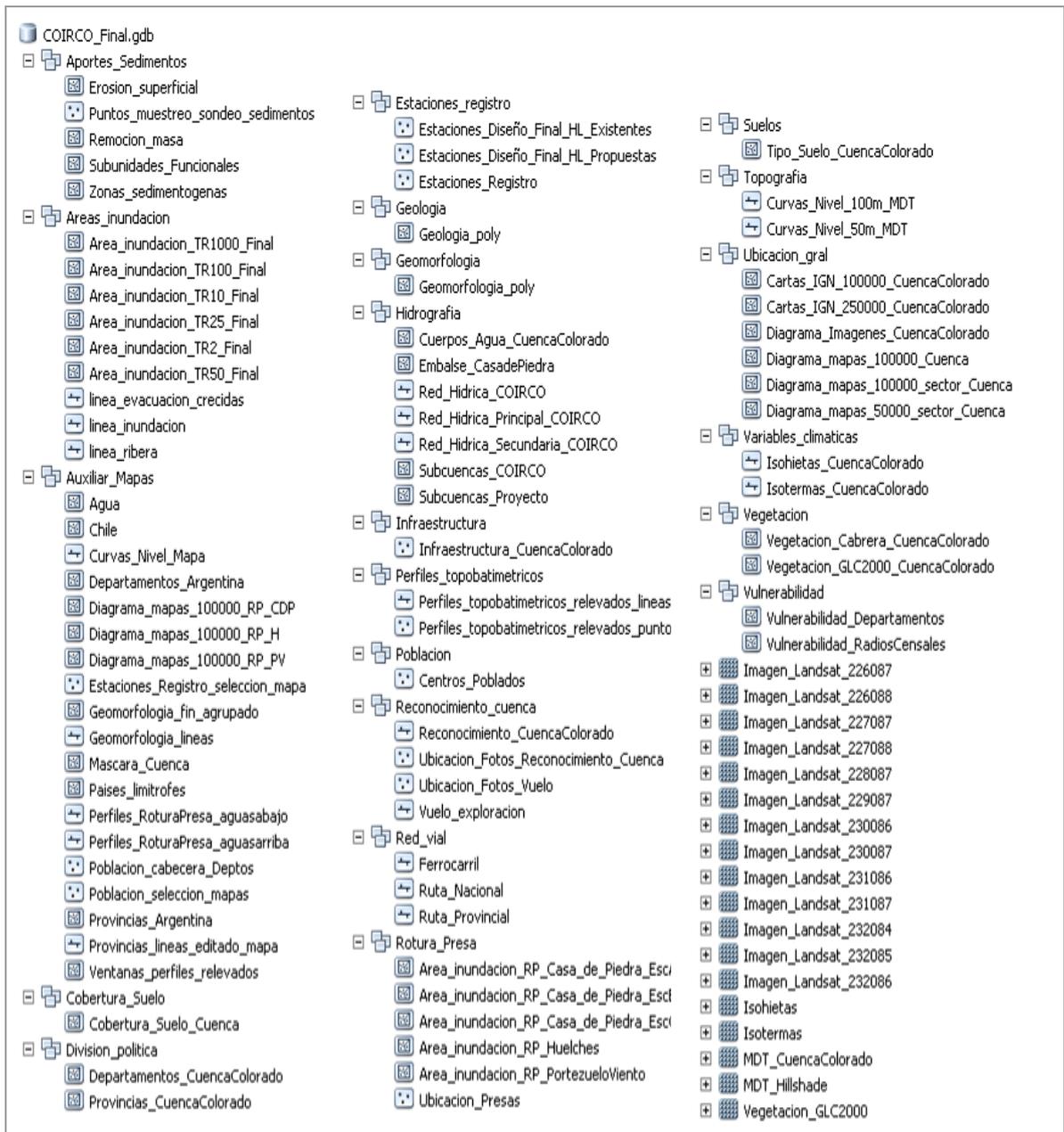


Figura 50: Esquema de la Geodatabase

5 Producción de mapa base y mapas temáticos

Se ha producido un total de 142 mapas, de los cuales ciento dieciséis (118) tienen formato A1 y veinticuatro (24) tienen formato A3.

Los mismos se presentan impresos adjuntos al presente informe y se hace entrega asimismo de todos los proyectos del SIG (.mxd) para su reproducción. Los mismos han sido generados con rutas relativas invocando directamente los archivos de la GDB del Proyecto.

5.1 Mapa Base

Se ha elaborado un mapa base de carácter físico-político a escala 1:1.200.000 que se presenta en el Anexo IV.B, impreso en tamaño de hoja A1.

El mapa base presenta en forma general el área de estudio del proyecto y su ubicación geográfica en el contexto de nuestro país, y constituye un elemento de apoyo cartográfico para el desarrollo del resto de los mapas temáticos del estudio.

La información incluida en el mapa consiste en la división política, la localización de principales ciudades y localidades, las rutas nacionales y provinciales, la red ferroviaria, la red hidrológica y las estaciones de registro clasificadas por tipo. Para su presentación, se utilizaron imágenes satelitales como fondo como se puede apreciar en la Figura 51.

5.2 Mapas Temáticos

Se han producido 142 mapas temáticos con el objetivo de representar la información recopilada y analizada, que forma parte del SIG del proyecto.

En la Tabla 11 se presenta un listado de los mapas desarrollados que se adjuntan impresos en el Anexo IV.B.

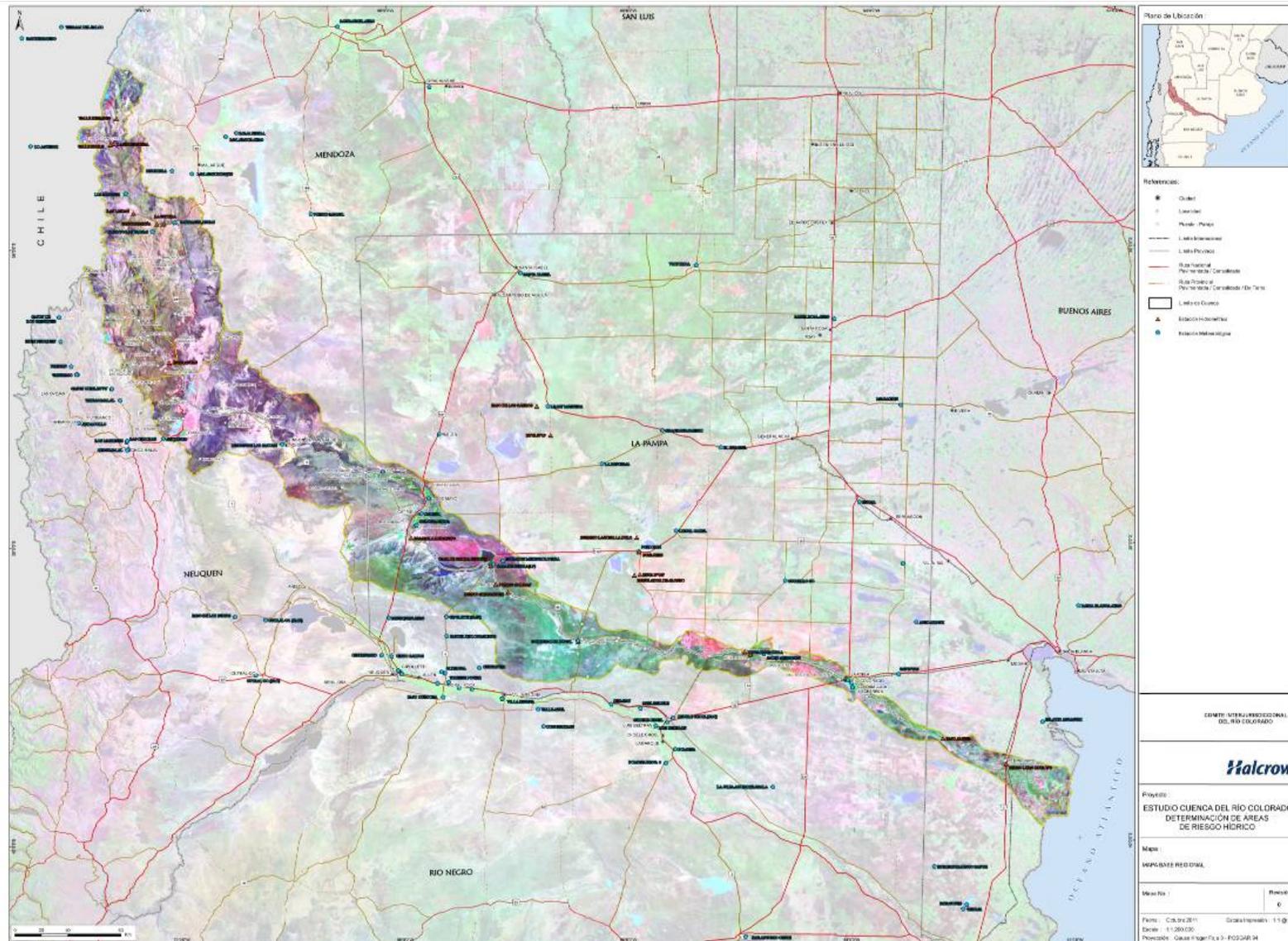


Figura 51: Mapa Base

Tabla 11: Listado de mapas producidos

N°	Nombre del Mapa	Breve Descripción	Escala	Hoja
01	Mapa Base Regional	Mapa con fondo de imágenes satelitales Landsat y con información básica recopilada por el proyecto: división política, red vial (rutas nacionales, provinciales, ferrocarril), hidrografía, estaciones de registro y centros urbanos	1:1.200.000	A1
02	Mapa Topográfico Regional	Se presenta el MDT elaborado por la Halcrow así como las curvas de nivel generadas en base al mismo. Para una mejor visualización, las curvas de nivel tienen una equidistancia que varía según el sector de la Cuenca, siendo del orden de los 10 m en las zonas más bajas (en la desembocadura del Río Colorado en el Océano Atlántico) y llegando a 500m en la Cuenca del Río Barrancas y del Río Grande.	1:1.200.000	A1
03	Mapa de Infraestructura	Mapa con las principales obras de infraestructura presentes en la Cuenca (entre otros: puentes, canales, presa, central hidroeléctrica, estación de bombeo, estaciones de aforo, obras de toma, aliviaderos, tuberías, enrocados y espigones).	1:2.000.000	A3
04	Mapa de Estaciones de Registro y Subcuencas de Aporte	Mapa con subcuencas de aporte al Río Grande, al Río Barrancas y al Río Colorado. Presenta además las estaciones de registro clasificadas en 4 categorías (hidrológicas, hidrometeorológicas, meteorológicas y nivométricas).	1:2.000.000	A3
05	Mapa de Isohietas medias anuales	Mapa de precipitación media anual (expresada en mm) e isohietas medias anuales.	1:2.000.000	A3
06	Mapa de Isotermas medias anuales	Mapa de temperatura media anual (expresada en °C) e isothermas medias anuales.	1:2.000.000	A3
07	Mapa de unidades geológicas	Mapa de unidades geológicas digitalizadas de cartas geológicas de SEGEMAR	1:2.000.000	A3
08	Mapa de Unidades de Suelo	Mapa de unidades de suelo cuya fuente es el Atlas de Suelos 1:500.000 del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria del año 2000. La Fuente original presenta discrepancias entre las unidades localizadas en los límites provinciales	1:2.000.000	A3
09	Mapa de Regiones Fitogeográficas y Unidades de Vegetación	Presenta a escala regional las regiones fitogeográficas (Cabrera A., 1976) y el archivo de polígonos de vegetación (de elaboración propia en base a GLC2000) con la clasificación de la vegetación. Se presenta un cuadro con las categorías y subcategorías de las Unidades.	1:2.000.000	A3
10	Mapa de Cobertura de Suelo	Mapa de Cobertura de Suelo regional elaborado por el INTA en marco del Programa Nacional de Ecorregiones (Sistema de clasificación Land Cover Classification System de FAO). Presenta una tabla con las categorías, subcategorías y superficie de las mismas en la Cuenca.	1:2.000.000	A3

N°	Nombre del Mapa	Breve Descripción	Escala	Hoja
11	Mapa de Reconocimiento de la Cuenca Alta	Recorrido de reconocimiento realizado por la Consultora en la Cuenca Alta, desde los Pasos Internacionales hasta la confluencia de los ríos Barrancas y Grande. Se presentan 20 fotografías seleccionadas tomadas durante el trayecto	1:500.000	A1
12	Mapa de Reconocimiento desde la Confluencia hasta 25 de Mayo	Recorrido de reconocimiento realizado por la Consultora desde la confluencia de los ríos Barrancas y Grande hasta la localidad de 25 de Mayo. Se presentan 16 fotografías seleccionadas tomadas durante el trayecto	1:500.000	A1
13	Mapa de Reconocimiento de la Cuenca Media del Río Colorado	Recorrido de reconocimiento realizado por la Consultora desde los alrededores de Colonia el Sauzal hasta la localidad de Gobernador Duval. Se presentan 20 fotografías seleccionadas tomadas durante el trayecto	1:500.000	A1
14	Mapa de Reconocimiento desde Pichi Mahuida hasta Pedro Luro	Recorrido de reconocimiento realizado por la Consultora desde Pichi Mahuida hasta la localidad de Pedro Luro. Se presentan 16 fotografías seleccionadas tomadas durante el trayecto y dos ventanas de detalle: Pedro Luro y Río Colorado - La Adela	1:500.000	A1
15	Mapa de Exploración aérea	Recorrido de reconocimiento aéreo realizado por la Consultora desde los alrededores de Malal Ranquil hasta aguas abajo del Embalse Casa de Piedra. Se presentan 30 fotografías seleccionadas tomadas durante el vuelo	1:500.000	A1
16	Mapa de Unidades Geomorfológicas	Serie de 23 mapas con las unidades geomorfológicas que cubren toda el área de estudio. En las referencias se presenta un cuadro con las unidades clasificadas por tipo de geoforma	1:100.000	A1
17	Mapa de localización de sondeos	Mapa de localización de los cuarenta (40) sitios de muestreo de sedimentos. Se presentan 17 fotografías tomadas durante la realización de los mismos	1:1.500.000	A3
18	Mapa de Producción de Sedimentos por Erosión Superficial	Presenta la distribución espacial del volumen estimado de producción de sedimentos (en m ³ por año).	1:2.000.000	A3
19	Mapa de Suceptibilidad a la Remoción en Masa	Mapa de la suceptibilidad a la remoción en masa en toda la Cuenca clasificada en cuatro (4) categorías (nula-baja, moderada, alta y muy alta)	1:2.000.000	A3
20	Mapa de Zonas Sedimentógenas	Mapa de clasificación de zonas sedimentógenas con el volumen estimado de producción de sedimentos (en m ³ por año). Se presenta un cuadro de las unidades con datos de área, producción, volumen, tasa de erosión y calificación	1:2.000.000	A3
21	Mapa de Producción de Sedimentos por Unidades de Cobertura del Suelo	Mapa de producción de sedimentos por unidades de Cobertura de Suelo. Se presenta un cuadro resumen por subcategoría	1:2.000.000	A3
22	Mapa de volumen erosionado de sedimentos por	Mapa del volumen erosionado de sedimentos por unidades geomorfológicas agrupadas por geoforma. Se presenta un cuadro resumen de la información	1:2.000.000	A3

N°	Nombre del Mapa	Breve Descripción	Escala	Hoja
	Unidades Geomorfológicas	representada.		
23	Mapa de producción de sedimentos por Subunidades Funcionales	Presenta las zonas sedimentógenas y el volumen de producción de sedimentos (en m ³ por año). En un cuadro se detallan datos por unidad: área, producción en toneladas, volumen, tasa y una descripción asociada	1:2.000.000	A3
24	Mapa de tasas de erosión por Subunidades Funcionales	Mapa de tasa de erosión superficial (expresada en Ton/Km ²). Se presenta un cuadro con información de cada una de las unidades: área, producción, volumen, tasa y descripción	1:2.000.000	A3
25	Mapa de Relevamientos Topobatimétricos	Mapa con una ventana central en la cual se muestran los perfiles topobatimétricos relevados en diferentes campañas y 18 ventanas de detalle donde se muestran a mayor escala muchos de esos perfiles	1:500.000 1:50.000	A1
26	Mapa de Áreas de Inundación – Recurrencias de 2, 100 y 1000 años	Serie de 11 mapas (escala 1:100.000) que se extienden desde la Confluencia hasta la desembocadura del Río Colorado. Se muestran las áreas de inundación para las recurrencias de 2, 100 y 1000 años.	1:100.000	A1
27	Mapa de Áreas de Inundación	Serie de 22 mapas (escala 1:50.000) que se extienden desde la Confluencia hasta la desembocadura del Río Colorado. Se muestran las áreas de inundación para las recurrencias de 2, 100 y 1000 años.	1:50.000	A1
28	Mapa de Áreas de Inundación	Mapas de las áreas de inundación para las recurrencias de 2, 100 y 1000 años en 5 sectores de la Cuenca (escala 1:20.000): A) Rincón de los Sauces; B) 25 de Mayo y Catriel; C) Gobernador Duval; D) Río Colorado y La Adela; E) Paso Alsina.	1:20.000	A1
29	Mapa de Línea de Ribera y Conexas	Serie de veintidós (22) mapas (escala 1:50.000) que se extienden desde la Confluencia de los Ríos Barrancas y Grande hasta la desembocadura del Río Colorado. Se muestran la línea de ribera, la línea de evacuación de crecidas y la línea de inundación. En los mapas aguas abajo de Casa de Piedra se presentan además los puntos de alcance máximo del caudal de atenuación de crecidas (Q=525m ³ /seg).	1:50.000	A1
30	Mapa de Línea de Ribera y Conexas	Mapas de la línea de ribera, línea de evacuación de crecidas y línea de inundación en 5 sectores de la Cuenca (escala 1:20.000): A) Rincón de los Sauces; B) 25 de Mayo y Catriel; C) Gobernador Duval; D) Río Colorado y La Adela; E) Paso Alsina.	1:20.000	A1
31	Mapa de Áreas de Inundación por Rotura de Presa Portezuelo del Viento	Serie de cuatro (4) mapas (escala 1:100.000) que muestran el área de inundación por el escenario de rotura de la presa proyectada Portezuelo del Viento. Ventanas de detalle (1:20.000) en zonas de interés y cuadro con datos de las progresivas (nivel máximo, tirante máximo, caudal pico, tiempo de arribo y tiempo al pico).	1:100.000	A1
32	Mapa de Áreas de Inundación por Rotura	Serie de diez (10) mapas (escala 1:100.000) que muestran el área de inundación para 2 escenarios de	1:100.000	A1

N°	Nombre del Mapa	Breve Descripción	Escala	Hoja
	de Presa Casa de Piedra	rotura de la presa existente Casa de Piedra (Escenario A y C). Ventanas de detalle (1:20.000) en zonas de interés. Cuadro con datos de las progresivas para los 2 escenarios (nivel máximo, tirante máximo, caudal pico, tiempo de arribo y tiempo al pico).		
33	Mapa de Áreas de Inundación por Rotura de Presa Huelches	Serie de 8 mapas (escala 1:100.000) que muestran el área de inundación por el escenario de rotura de la presa proyectada Huelches. Ventanas de detalle (1:20.000) en zonas de interés. Cuadro con datos de las progresivas (nivel máximo, tirante máximo, caudal pico, tiempo de arribo y tiempo al pico)	1:100.000	A1
34	Mapa de Indicador de Exposición por Departamento	Mapa de la Cuenca que muestra el resultado a nivel departamental del Indicador de Exposición con seis (6) categorías (muy alta, alta, media, baja, muy baja y sin datos)	1:2.000.000	A3
35	Mapa de Indicador de Fragilidad por Departamento	Mapa de la Cuenca que muestra el resultado a nivel departamental del Indicador de Fragilidad con seis (6) categorías (muy alta, alta, media, baja, muy baja y sin datos)	1:2.000.000	A3
36	Mapa de Indicador de Resiliencia por Departamento	Mapa de la Cuenca que muestra el resultado a nivel departamental del Indicador de Resiliencia con seis (6) categorías (muy alta, alta, media, baja, muy baja y sin datos).	1:2.000.000	A3
37	Mapa de Índice de Vulnerabilidad por Departamento	Mapa de la Cuenca que muestra el resultado a nivel departamental del Índice de Vulnerabilidad con seis (6) categorías (muy alta, alta, media, baja, muy baja y sin datos).	1:2.000.000	A3
38	Mapa de Indicador de Exposición por Radio Censal	Mapa de la Cuenca que muestra el resultado a nivel de radio censal del Indicador de Exposición con seis (6) categorías (muy alta, alta, media, baja, muy baja y sin datos). Ventanas de detalle (escala 1:100.000) de Buta Ranquil, Rincón de los Sauces, 25 de Mayo, Catriel, Rincón Colorado – La Adela y Pedro Luro.	1:2.000.000 1:100.000	A3
39	Mapa de Indicador de Fragilidad por Radio Censal	Mapa de la Cuenca que muestra el resultado a nivel de radio censal del Indicador de Fragilidad con seis (6) categorías (muy alta, alta, media, baja, muy baja y sin datos). Ventanas de detalle (escala 1:100.000) de Buta Ranquil, Rincón de los Sauces, 25 de Mayo, Catriel, Rincón Colorado – La Adela y Pedro Luro.	1:2.000.000	A3
40	Mapa de Indicador de Resiliencia por Radio Censal	Mapa de la Cuenca que muestra el resultado a nivel de radio censal del Indicador de Resiliencia con seis (6) categorías (muy alta, alta, media, baja, muy baja y sin datos). Ventanas de detalle (escala 1:100.000) de Buta Ranquil, Rincón de los Sauces, 25 de Mayo, Catriel, Rincón Colorado – La Adela y Pedro Luro.	1:2.000.000	A3

N°	Nombre del Mapa	Breve Descripción	Escala	Hoja
41	Mapa de Índice de Vulnerabilidad por Radio Censal	Mapa de la Cuenca que muestra el resultado a nivel de radio censal del Índice de Vulnerabilidad con seis (6) categorías (muy alta, alta, media, baja, muy baja y sin datos). Ventanas de detalle (escala 1:100.000) de Buta Ranquil, Rincón de los Sauces, 25 de Mayo, Catriel, Rincón Colorado – La Adela y Pedro Luro.	1:2.000.000	A3