

PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS

# ANEXO 1

## REGISTROS DE LLUVIAS

ING. ANÍBAL COMBA  
*Dirección de Recursos Hídricos*  
*Secretaría de Estado de Medio Ambiente*  
*Ministerio de Desarrollo Productivo*  
*Provincia de Tucumán*

COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO

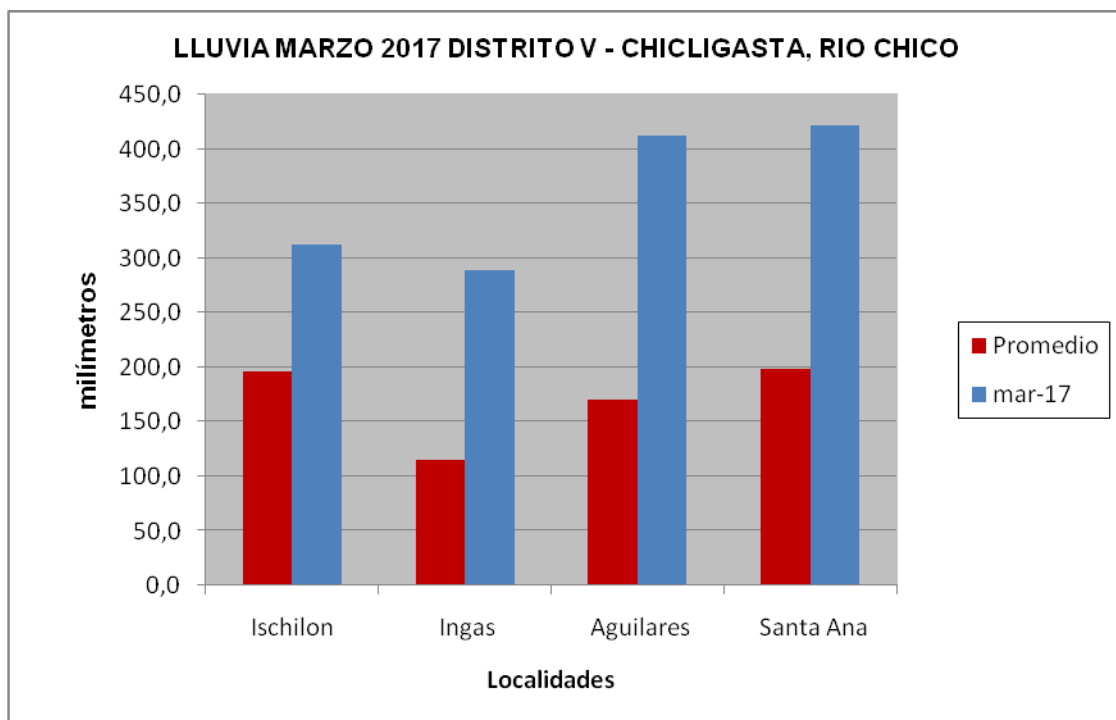
MAYO 2017

<b>CITROMAX</b>		2017	NORMAL	MAX DE SERIE	MAR2017 MAX HIST	MAR2017 MED HIST	MAX DIARIO
ESTACION		ENE-MAR	ENE-MAR	ENE-MAR	%	%	2017
FINCA LA ESCONDIDA	J.B. ALBERDI	693	745	1172 (2015)	92%	179%	105 (7/3)
FINCA YUPI	AGUILARES	835	885	1361 (2015)	84%	154%	80 (4/1)
FINCA SOLCO	CONCEPCION	851	889	1281 (2016)	89%	130%	84 (2/4)
FINCA VICTORIA I	COCHAMOLLES	880	893	1342 (2011)	64%	114%	92 (9/1)

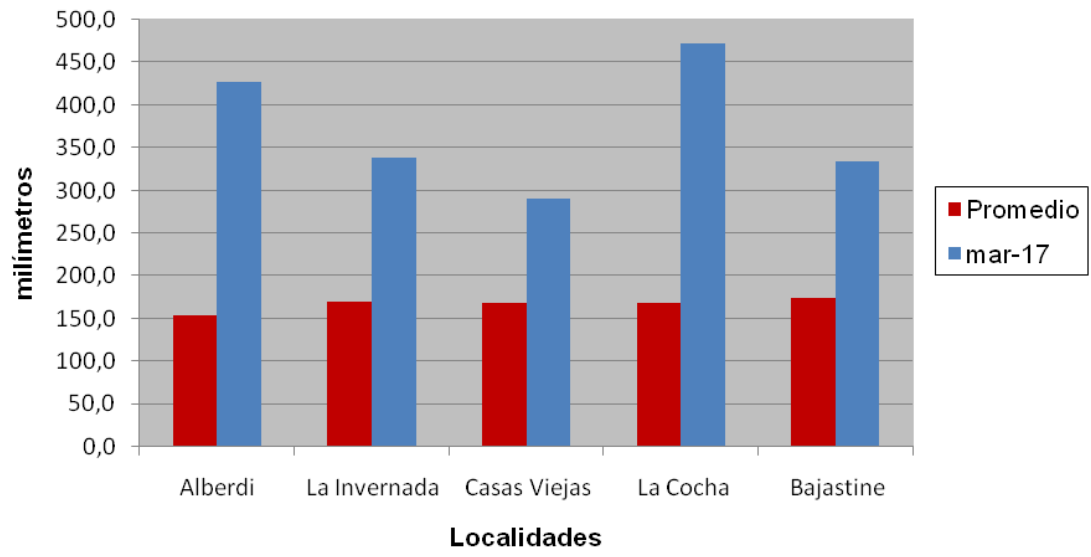
		2017		MAR17		MAR2017	
<b>ARGENTI LEMON</b>		ENE-MAR	mar-17	ENE-MAR		MED HIST	
ISCHILON	CONCEPCION	742	352	47%			
LOS SARMIENTO	AGUILARES	751	373	50%			
LOS COCHAMOLLES	CONCEPCION	769	318	41%			
SANTA ANA	SANTA ANA	751	496	66%			
UCUCHACRA	J.B. ALBERDI	1090	662	61%			108 (7/3)

		NORMAL	MAX DE SERIE	MAX DE SERIE	MAR17
<b>BALCOZNA</b>	mm	ENE-MAR	DRH TUC	SEC RH CAT	ENE-MAR
ENERO	66,2				
FEBRERO	109,8				
MARZO	400,4				
<b>TOTAL</b>	<b>576,4</b>	406	848,4	852 (1981)	69%

		NORMAL	MAX DE SERIE	MAX DE SERIE	MAR17
<b>SINGUIL</b>	mm	ENE-MAR	DRH TUC	SEC RH CAT	ENE-MAR
ENERO	129,0				
FEBRERO	86,4				
MARZO	193,0				
<b>TOTAL</b>	<b>408,4</b>	326	597,8	713,5 (1984)	47%



**LLUVIA MARZO 2017 DISTRITO VI - ALBERDI, LA COCHA, GRANEROS**



PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS

# ANEXO 2

## CUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCO

ING. CLAUDIO BRAVO

*Consultor Hidráulico adscripto Equipo Técnico de  
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología  
Universidad Nacional de Tucumán*

COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO

MAYO 2017

## ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO

### DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID

Sobre la base de un análisis multitemporal de imágenes realizado con los datos del programa Google Earth, se verificaron las superficies desmontadas entre los años 1984 y 2016. Se ha determinado que el área, hoy íntegramente agrícola, ubicada entre la margen derecha del río Marapa agua abajo de la desembocadura del río San Ignacio y la localidad de Lamadrid, el sector de pie de monte entre las Sierras de Ancasti al Sur sur-oeste y las cumbres de Los Llanos al Oeste, de una superficie aproximada de 1.368 km<sup>2</sup>, presenta un desmonte de bosque virgen de 956 km<sup>2</sup> o su equivalente de 95.600 has., en el periodo analizado de 33 años. Esto significa un 70% del área en análisis. Con certeza hasta fines de los años 1970 la mayor parte de esta área mantenía su equilibrio con bosques nativos y especies arbustivas autóctonas.

El frágil equilibrio fue gradualmente modificándose hasta que en entre los años 1995/6, se inician las primeras perforaciones para obtener agua subterránea con muy buen éxito. A partir de este hecho emprendedor se produjo el crecimiento sostenido y una vigorosa expansión del área agrícola de granos sin ningún tipo de planificación, la que tomo su mayor impulso con los buenos precios de la soja en la década del 2000 -2010. Así se observa lo que fue un incremento explosivo de los pozos profundos para extracción de agua subterránea.

#### **Función de los Bañados**

Es muy conocido el nombre de Bañado de Ovanta, una de las localidades analizadas en el área catamarqueña de la cuenca de aporte al río San Francisco.

Los sectores de bañados funcionaron como pulmones de expansión de los grandes volúmenes de agua que descienden de los sectores montañosos. El bosque nativo favoreció en gran medida con esta dinámica hidrogeomorfológica manteniendo las velocidades de tránsito de las crecientes de los diferentes ríos lo suficientemente bajas para que el agua escurra laminarmente y vaya depositando los suelos finos. Esto ocurrió a través de miles de años induciendo a que una gran proporción de agua superficial se infiltre hacia los depósitos subterráneos mencionados, a que no existan cauces definidos y a que se desarrolle un bosque nativo totalmente cerrado. En años húmedos el agua llegaba a cubrir grandes superficies de bosque hasta la cercanía del río Marapa.

Mientras se mantuvo este equilibrio, las rutas que unen las diferentes localidades de región, presentaban pequeñas obras de arte, por los bajos caudales que se manifestaban en las mismas. La RPN° 334 en la intersección con el cauce del río San Francisco tenía una pequeña alcantarilla de apenas 15m. El mismo cauce sobre el terraplén de la vía Férrea que se ubica paralela a la RNN° 157, unos 16km agua abajo, presenta un puente de 12 m de luz, mientras que en la RN una pequeña alcantarilla de 2,5 x1m de altura, que posteriormente fue ampliada. La dinámica descrita fue drásticamente modificada en los últimos 20 años con el desmonte sin ningún tipo de planificación y orientada sobre la rentabilidad de los emprendimientos.

Los bañados que se observan en el cuadrante noreste entre el río Marapa, la RNN° 157, la RPN° 334 y una línea imaginaria de norte a sur que se ubica a unos 10 km al oeste de la ruta nacional fueron los pulmones de atenuación natural del río San Francisco con una expansión en una superficie de aproximadamente 12.000has. Estos son hoy los únicos espacios con esa función donde se observan muy pocas intervenciones antrópicas hasta hoy.

### **El caso del río Ovanta es muy ilustrativo de esta problemática (cuenca catamarqueña)**

Es elocuente el informe elaborado por el Colegio de Geólogos de Catamarca encomendado por el Gobierno de Catamarca en el año 2015 donde indican:

“La interpretación de imágenes satelitales de los años 2005 al 2013 permiten aseverar que el río Ovanta tiene su descarga terminal más al norte, que en el periodo registrado en los fotogramas del año 1968. El comportamiento del flujo escurrido durante estos años ha permanecido dentro de la dinámica del lecho activo, al menos entre su salida a la zona del piedemonte hasta la localidad de Bañado de Ovanta.”

En el año 1968 el río llegaba hasta 2km agua debajo de la RNN° 64. Esta dinámica se mantuvo estable hasta fines del año 1990, donde el cauce se expandía y escurría tranquilo por el monte nativo.

A partir del desmonte no planificado se comenzaron a producir fenómenos desde el punto de vista hidrogeomorfológico muy marcados:

1. Se dejó sin cobertura a suelos frágiles disminuyendo la rugosidad de los campos frente al avance del agua que escurría pendiente abajo con lo que se incrementa la velocidad de tránsito.
2. En el afán de defender los campos cultivados por donde transitaba el río en forma expandida conformaron canalizaciones con bordos o albardones de suelo, induciendo artificialmente a un cambio brusco de la dinámica natural de estos cauces. Al concentrar el flujo de agua tiene mayor poder erosivo, generando cárcavas retrocedentes; (no disipa energía, como lo hacía cuando el cauce se mantenía expandido). Con este nuevo escenario de la dinámica hidrogeomorfológica en suelos finos y colapsibles, con presencia predominante de arenas, limos y varios sectores loes, o limos arenosos, con un perfil casi informe en varios centenares de metros, no se puede esperar más que se incremente la erosión. Concentración del flujo de agua en un ancho reducido en relación a como lo hacía naturalmente, expandido en varios cauces de anchos muy superiores, desestabilizaron toda el área.
3. Con el desmonte del bosque nativo retentivo se modificó además los coeficientes de escorrentía superficiales de toda el área desmontada de aporte de los ríos Ovanta, El Abra o Capellanía y el San Francisco, con lo que se incrementaron los caudales superficiales a gran escala generados por sus propias parcelas.
4. Está cubeta de suelos finos y permeables de espesores considerables de hasta varios centenares de metros permitió un importantísimo reservorio de agua subterránea que hoy ve totalmente desbalanceado el nivel de recarga, por el incremento desmesurado de los escurrimientos superficiales en particular en estos dos últimos años.

Los cauces actuales de los ríos El Abra y Ovanta se unen 8.2km agua arriba de la RPN° 334, mientras que el Abra y el San Francisco se une a 2,4km de esta ruta.

## **Precipitaciones correspondientes a años húmedos**

El 12 de abril año 2015 se presentó un evento extraordinario que afectó a toda el área de la cuenca y generó el desborde del dique Escaba. Mientras que en el año 2017 hacia fines de marzo se presentó un evento extraordinario con una precipitación total en cinco a seis horas del orden de los 270mm (Lamelas), con sectores donde esta se midió en 320mm (comunicación verbal de productores).

Todo lo antes descrito se concatenó en una suerte de “hechos desafortunados” que inexorablemente incidieron en el incremento exponencial de los caudales de agua abajo. Es así que la RPN° 334 de poseer una pequeña alcantarilla de 12m de luz, paso a ser un cauce de 50m de ancho y 5 de profundidad en el año 2016, mientras que hoy tiene poco más de 200m de ancho y 8 m de profundidad.

Sobre este tema se expone en el anexo de Estudios Hidrológicos

## **El caso del río San Francisco en la cuenca tucumana**

Hacia el este de la RPN° 334 un emprendimiento agrícola que aparece indicado como finca El Zapallar en imagen Google del 2011, aplicó la misma técnica de riego por pivó y por “defender” su pequeña área productiva del río San Francisco, que cada vez aportaba más agua, canalizó el agua mediante bordos y/o albardones bordeando los cultivos y posteriormente orientó el encauzamiento por el límite de una finca a lo largo de 10km hasta llegar directamente al río Marapa en dirección sur norte.

En la imagen del año 2016 ya se observa claramente la canalización y el abandono del sistema de riego de Pívot, además del gran avance de la erosión por haber concentrado el flujo de agua, en vez de dejarlo que escurra expandido por los humedales o bañados del cuadrante sur oeste que se ubica entre el río Marapa y la RNN° 157. El galpón de esta finca fue totalmente arrastrado por el avance de la erosión del nuevo cauce del río San Francisco y la canalización la terminaron realizando en forma perpendicular al cauce del Marapa inundando un área importante de la margen izquierda frente a la desembocadura.

## **Inundación de Lamadrid**

En función de los hechos descritos se tiene certeza que el incremento de los caudales que transitó en el río Marapa por la ciudad de Lamadrid que produjo la mayor inundación registrada a la fecha, tuvo en peso gravitante el incremento exponencial de caudales líquidos y sólidos que incorporaron los 2300km<sup>2</sup> de cuenca “nueva” que se activaron por manejo inadecuado de los suelos agrícolas asociados a un evento extraordinario, con una recurrencia superior a los 100 años y a la ausencia de controles por parte de las instituciones estatales. También modificaron el aporte de caudales sólidos, estimándose no menos de 30hm<sup>3</sup> de sedimentos finos en este solo evento.

En razón de los hechos expuestos nos encontramos frente a una cuenca en manifiesto estado de desequilibrio, que de no intervenir adecuadamente y con premura, las poblaciones de agua abajo como la ciudad de Lamadrid sufrirán inundaciones con mucho mayor frecuencia como nunca vista antes.

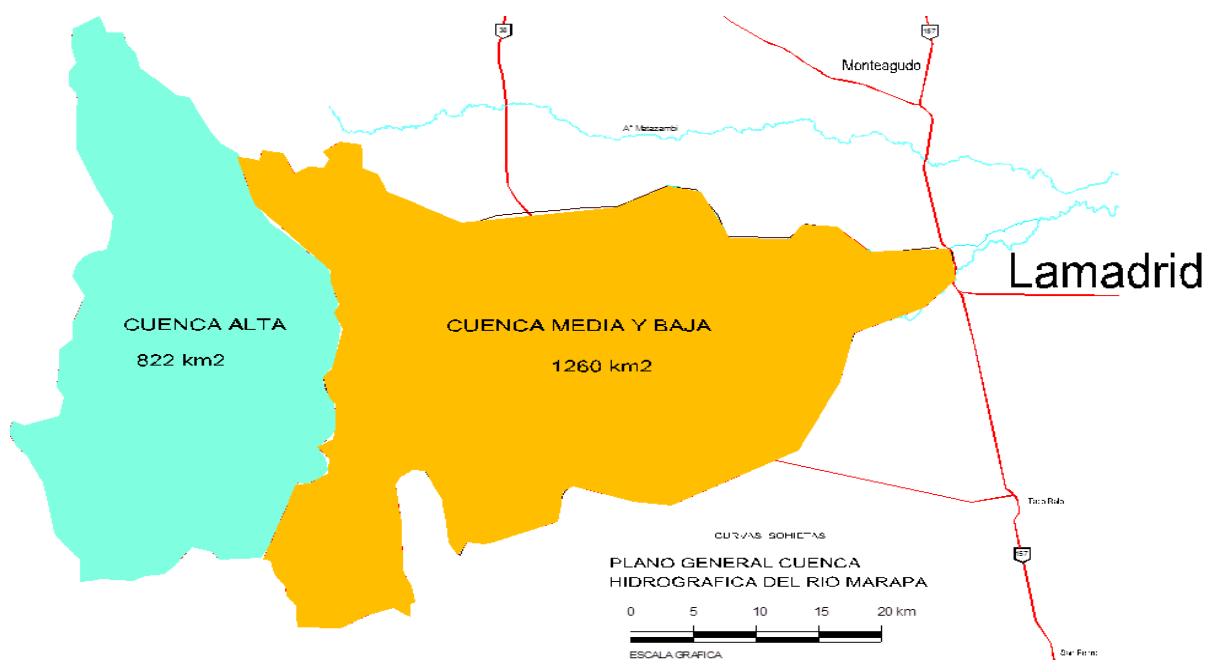
Además al haberse incrementado el caudal sólido, es esperable que cualquier intervención que se haga en una ciudad de Lamadrid esté sujeta a un probable cambio del nivel de base del río por el importante traslado de sedimentos finos de la cuenca alta hacia los sectores bajos, con lo que no se tiene certeza que se mantengan los niveles de fondo del río → se pueden modificar las secciones de tránsito en menos. Tal es así que en sectores de pendiente tan bajas del orden de 0.0006 m/m con el incremento de caudales indicados el cauce ya se encuentra lleno por el área de aporte no regulada de la cuenca media y baja y cuando llega el pico de creciente atenuado erogado por el embalse de Escaba, el cauce ya no tiene posibilidad de expansión y desborda hacia las barrancas más bajas.

### Actores involucrados

Se trata de una cuenca inter-jurisdiccional como son la de los ríos San Francisco, Escaba, Y San Ignacio. En el caso particular del río San Francisco intervienen las provincias de Catamarca con 76 % (907km<sup>2</sup> cuenca superior más 827 km<sup>2</sup> cuenca inferior) y la provincia de Tucumán con 24% (541km<sup>2</sup> cuenca inferior), donde las actividades de los productores particulares que se desarrollen en las mismas deben estar supervisadas formalmente a través de los organismos de control de ambas provincias. En el caso de Santiago del Estero debe intervenir por el gran aporte de sedimentos al embalse de río Hondo y la incorporación franca de un caudal puntual al río Marapa que modifica los caudales de pico que llegan a río Hondo con 2275km<sup>2</sup> de cuenca de aporte más. Se entiende que la intervención del Comité de Cuenca Salí Dulce, tiene un rol protagónico en esta situación

### Conclusiones

La concatenación de hechos sucintamente descriptos demuestra que se duplicó el área de aporte al río Marapa, llevándola de 2.082km<sup>2</sup> a 4.357km<sup>2</sup>.



**IMAGEN 1** Cuenca de aporte del río Marapa en el puente de la RNN° 157, en Lamadrid en el año 2004. Esta característica se mantuvo hasta el año 2015



La conjunción de acciones antrópicas (expansión de área agrícola sin planificación + falta de controles del estado) asociado a eventos climáticos extremos generó el incremento tanto de superficies de aporte como de caudales de la cuenca intermedia y baja. Estos hechos tuvieron un rol gravitante en la magnitud de las inundaciones de Lamadrid.

El embalse de Escaba con todas sus limitaciones de manejo, con una creciente con volumen extraordinario extendido en el tiempo, con un pico máximo horario ingresante al embalse de 770m<sup>3</sup>/s, erogando durante prácticamente un día entero 600m<sup>3</sup>/s, fue menor que los caudales erogados en los eventos de los años 1992, 2000 y el de la gran creciente de abril de 2015. Basta recordar que en este último cuando fue sobrepasado el paredón del dique, ingresaron al embalse 1800m<sup>3</sup>/s y apenas se erogaron 956m<sup>3</sup>/s. De no estar el embalse, los poblados de Graneros y Lamadrid hubieran sufrido una inundación catastrófica.

	DENOMINACION CUENCAS	Super parciales Km <sup>2</sup>	% Subcuenca	Sub totales en superf
CUENCA ACTIVA DIRECTA HASTA AÑO 2015	EL SUEÑO Y LA POSTA	260	21	
	SAN IGNACIO SUPERIOR	169	13	
	ENTRE RIOS SAN IGNACIO Y MARAPA	298	24	
	SECTOR DE RIEGO BATIRUANA	98	8	
	Aº EL CHILENO	129	10	
	ENTRE Aº CHILENO Y MARAPA	66	5	
	Aº SAUCE HUASCHO Y LA INVERNADA	240	19	
	RIO MARAPA MEDIA E INFERIOR			1260
	RIO MARAPA SUPERIOR (REGULADO POR ESCABA)			822
<b>TOTAL DE LA CUENCA APORTANTE AL 2004</b>				
CUENCA SUR QUE INGRESA POR CANAL A MARAPA DESDE 2015	CUENCAS DESDE EL SUR			
	SUPERIOR RIOS SAN FRANCISCO Y ALIJILAN	599		
	SUPERIOR RIO OVANTA	308		
	CUENCA INFERIOR S. FRANCISCO, ALIJILAN Y OVANTA	1368		
	TOTAL CUENCA INFERIOR			2275
<b>TOTAL DE LA CUENCA APORTANTE AL 2016</b>				
CUENCA INFERIOR SF, ALIJILAN Y OVANTA + LA POSTA Y EL SUEÑO				1748
SUPERFICIE DESMONTADA EN 1984		desde 1984 a 2016		956
		33 años	95600 has	

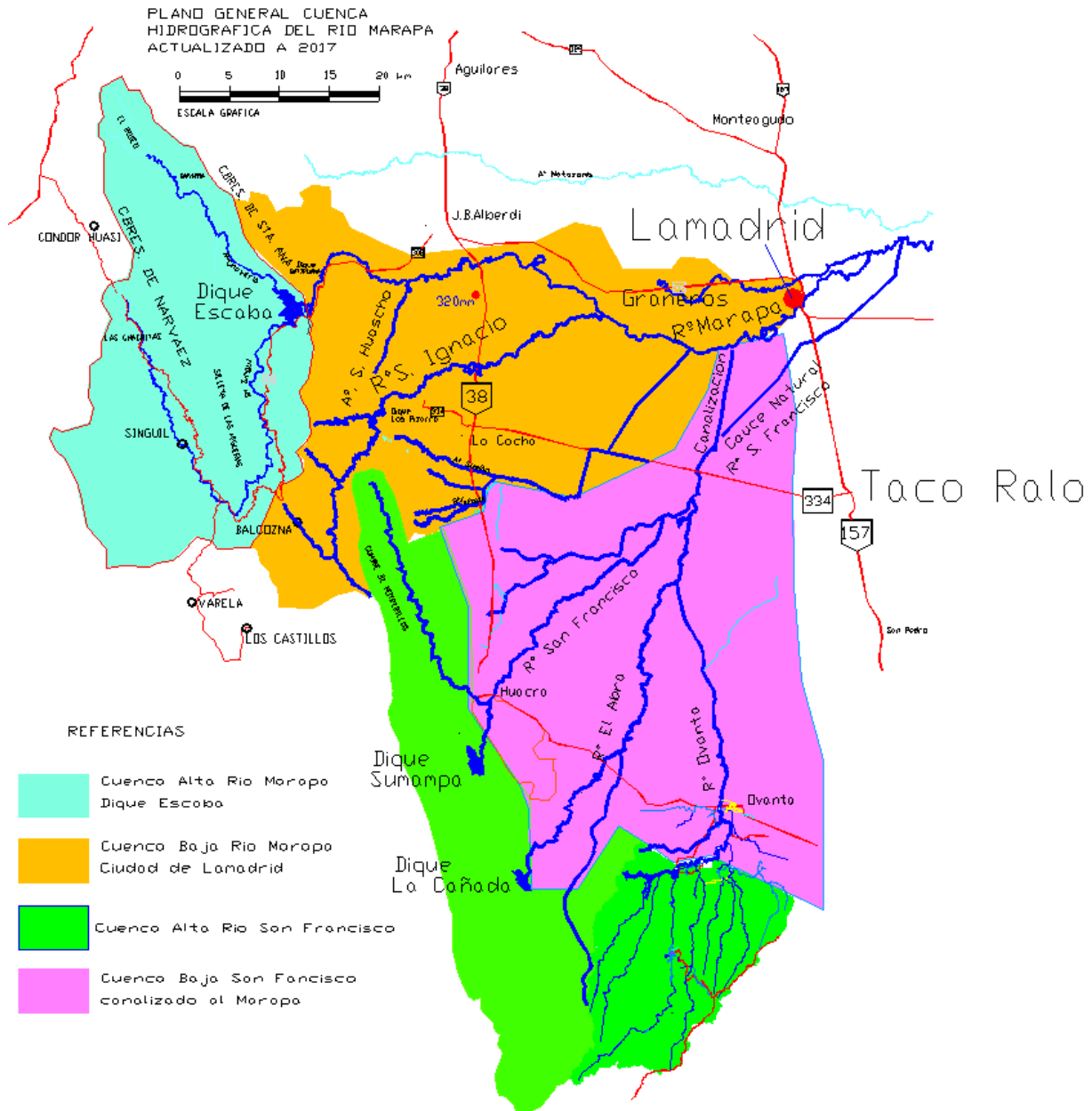
En resumen una cadena de hechos no deseados se alinearon generando la incorporación de esta importante área:

- Desmontes no planificados 950km<sup>2</sup> en 33 años (casi 100.000has). Posibilidad cierta de que disminuya el abastecimiento de los acuíferos subterráneos
- Eventos climáticos con recurrencia superior a los 100 años
- Ausencia de Instituciones estatales de Control y Planificación que ejerzan el poder de policía.
- Cambio de la dinámica de la cuenca
- Flujos concentrados que llegan al río Marapa por canalizaciones indebidas
- Suelos frágiles de características limo a limo arenosas de los cuales se estiman Evento extraordinario

**ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID**

- Embalse de Escaba aun con escaso volumen de regulación funciono adecuadamente pese a esta limitación
- ingresaron al embalse de rio Hondo no menos de 30 hm<sup>3</sup> en los eventos de este año. (como referencia vale que este es la mitad del volumen almacenado en el Dique la Angostura)
- Planta urbana ocupando sectores bajos e inadecuados.

Todo deriva en que los cauces y los espacios de laminación del rio Marapa ya estén ocupados por los caudales de la cuenca inferior y media y cuando llega la creciente evacuada por Escaba el rio ya no tiene capacidad de conducción ni almacenamiento.



**IMAGEN 2** En el evento del año 2016 se ha incorporado artificialmente una duplicación del área de aporte hídrico a Lamadrid, activándose por mano del hombre el cauce del río San Francisco. El área nueva agregada se observa en la siguiente imagen en lila y verde. Esto implica que Lamadrid se inundará con mayor frecuencia que hasta ahora. Será necesario actualizar la hidrología del puente sobre Ruta 157

## RECOMENDACIONES

Lo sucedido en 2015 y recientemente en 2017 plantea un cambio dinámico en los paradigmas establecidos. Requiere de una nueva visión de la compleja relación entre el hombre en sociedad con el medio ambiente.

Las obras de infraestructura que fueron dimensionadas en la década de 1940, hoy no verifican la hidrología presente. Por ejemplo en Escaba, Complejo hídrico cuyas obras de alivio (descargadores de fondo y aliviadero superior) fueron dimensionadas para evacuar picos de crecientes de  $1.000\text{m}^3/\text{s}$ , hoy se ven superados. Se están haciendo cálculos de verificación estructural para analizar estado de la obra en su conjunto. A partir de los resultados se analizara de posibilidad de ampliación de los descargadores de fondo para poder controlar crecientes ordinarias y darle flexibilidad de operación y poder garantizar el pulmón para grandes crecientes y/o ampliación de capacidad de descarga superficial, u otras soluciones. Los mismos problemas del cierre de Escaba se presentan en los embalse de Sumampa y de La Cañada en las nacientes de los ríos San Francisco y La Capellania. En este último el agua supero los 2m de altura de los cajeros del vertedero y paso por sobre el coronamiento del dique en arco.

Es urgente proceder a lograr un Ordenamiento hídrico-ambiental de LA CUENCA AMPLIADA de río Marapa-Graneros, que comprende unas 400.000 ha de Catamarca y Tucumán (una quinta parte de la extensión de la Provincia de Tucumán). Realizar un vuelo fotogramétrico en escala conveniente para tener la situación actual de la cuenca.

En la Ciudad de Lamadrid, se debe determinar la sección requerida por el cauce del río, para crecientes del orden de magnitud de  $1.200$  a  $1.500\text{m}^3/\text{s}$ , que son factibles que se generen en la cuenca para los volúmenes registrados en 2015 y 2017. Se deben plantear obras de reencauce que permitan mayor caudal de escurrimiento.

Se deben actualizar los relevamientos planialtimétricos de todos los centros urbanos vinculados al río Marapa. Sobre la base de estudios de áreas urbanas y de la cuenca media y baja del Marapa, se deben determinar las obras necesarias de saneamiento y su viabilidad económica, con la posibilidad de traslado parcial del pueblo hacia sectores de menor riesgo de hídrico. Se deben analizar las plantas urbanas de Graneros y Lamadrid, que presenta sectores bajos inundables con crecidas ordinarias, ya sea por la infraestructura vial existente o por estar asentados en zonas bajas y con descarga insuficiente de excedentes pluviales.

Se debe hacer un estudio muy detallado de la dinámica de la cuenca y tender a tratar de recuperar los sectores de bañados en forma planificada. En tal sentido esta tarea debe considerarse como prioritaria donde se justifique desactivar el canal de drenaje y plantear un manejo para reforestar sectores a modo de barreras que incrementen la rugosidad del sector de tránsito de los bañados. Se debe notificar a los propietarios involucrados con la afectación de esta tarea. Para ello deberán realizar los relevamientos planialtimétricos en la situación actual de dicho reencauce.

Exigirles a todos los emprendedores que el caudal que evacuen a futuro sea menor o igual al de la condición precedente de bosque nativo. **Caudal cero** Este requisito implica que con un manejo adecuado la superficie destinada a detención de crecientes implica entre el 5 al 10 % de la superficie del emprendimiento se puede destinar a sector de

detención temporal, sin que implique que se la pierda la misma. Se deben plantear tareas de sistematización de campos para evitar la erosión superficial.

En el caso particular de los ríos en las cuencas catamarqueñas, basados en los estudios hidrogeomorfológicos realizados por el Gobierno de la Provincia a través del Colegio de Geólogos, definieron planicies de inundación. Se aconseja actualizar estos estudios a la situación de hoy por cuencas de ríos individuales y utilizarlas para realizar espacios de expansión controlados con barreras permeables, muy similares a las planteadas para el estudio de sistematización del río Gastona. En este caso en particular, advirtiendo que la pendiente regional es muy baja, y que se observan sectores donde la separación entre barrancas altas llega a tener casi 1000m, se ven muy aptas para este tipo de obra, que sin lugar a dudas ayudaran a disminuir y desfasar los picos de crecientes. Para avanzar en este sentido se deberán hacer los relevamientos planialtimétricos de estas áreas con los niveles de barrancas actuales, que con seguridad se ampliaron en relación a lo que se observaba en las imágenes del 2015. Sobre un tanteo expeditivo se llegó a estimar un volumen retenido temporario en cauces públicos de aproximadamente 25hm<sup>3</sup>.

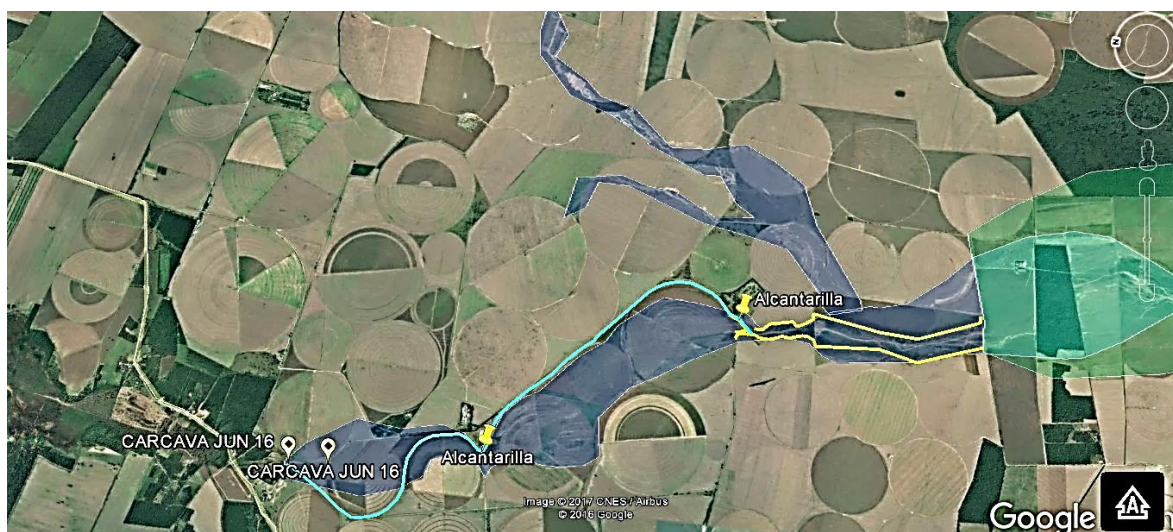
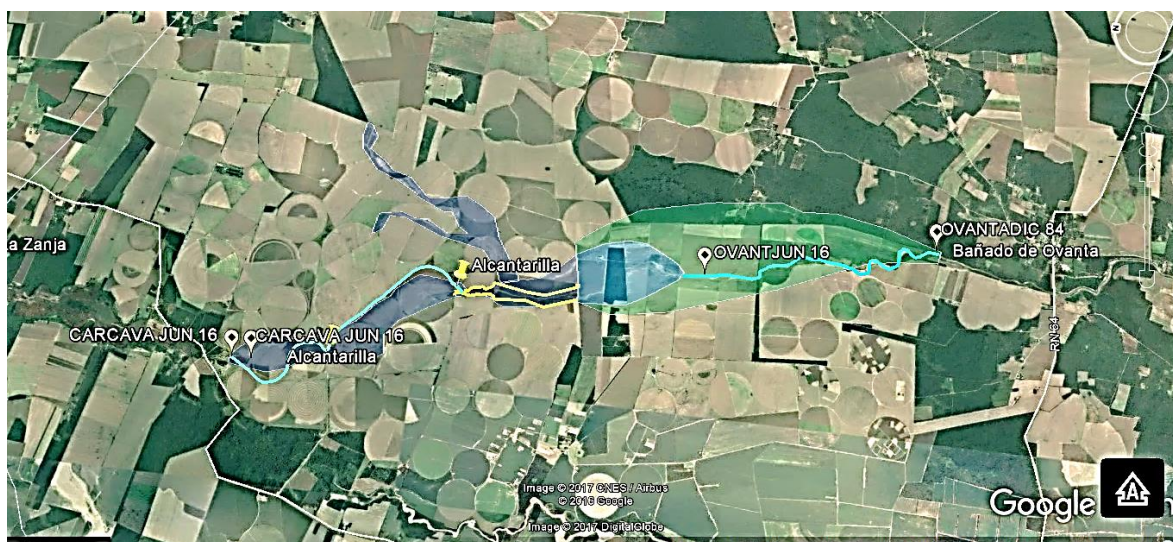
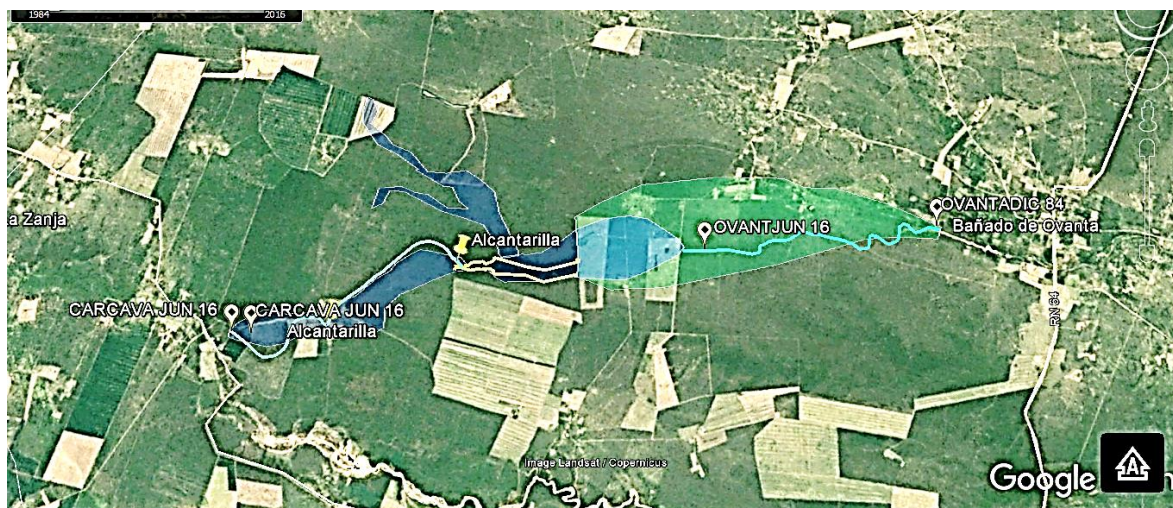
Por lo expuesto se deberá convocar a participar del comité de cuenca a las autoridades del gobierno de Catamarca y a los productores para tratar de ordenar las tareas sobre las premisas planteadas.

Recuperar la red caminera vial principal y secundaria como el puente sobre la RPN° 334 y se analice la posibilidad de ampliar alcantarillas en RNN° 157 y vía férrea paralela a esta última.

Modificar y actualizar el plano de Zonificación Territorial Ley Nacional 26.331. Provincia de Tucumán (la ley de Bosques de la Provincia), indicando color amarillo o rojo al sector de humedales correspondiente a los A° La Posta y El Sueño y a la cuenca del San Francisco y eventuales desbordes del Marapa y que actualmente aparecen como Categoría III de bajo valor de conservación.

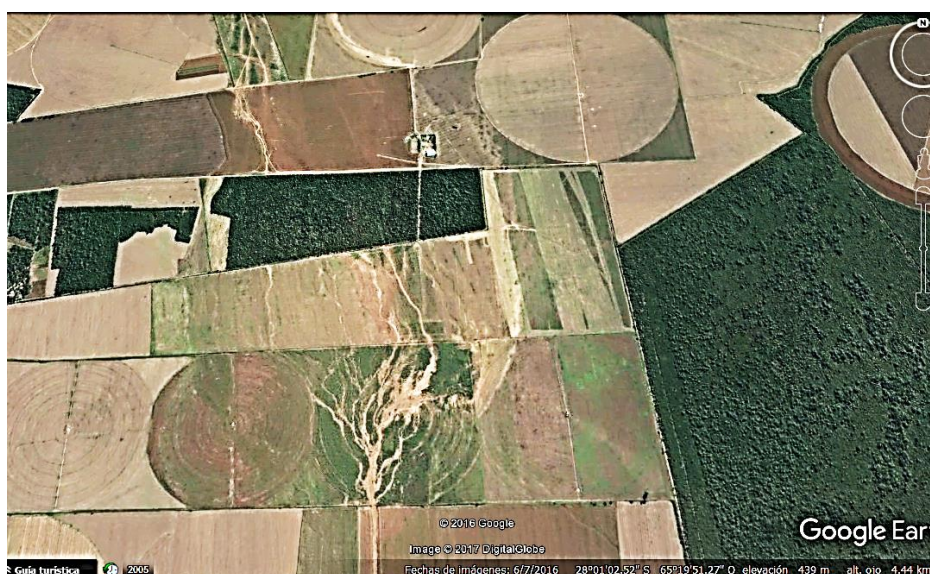
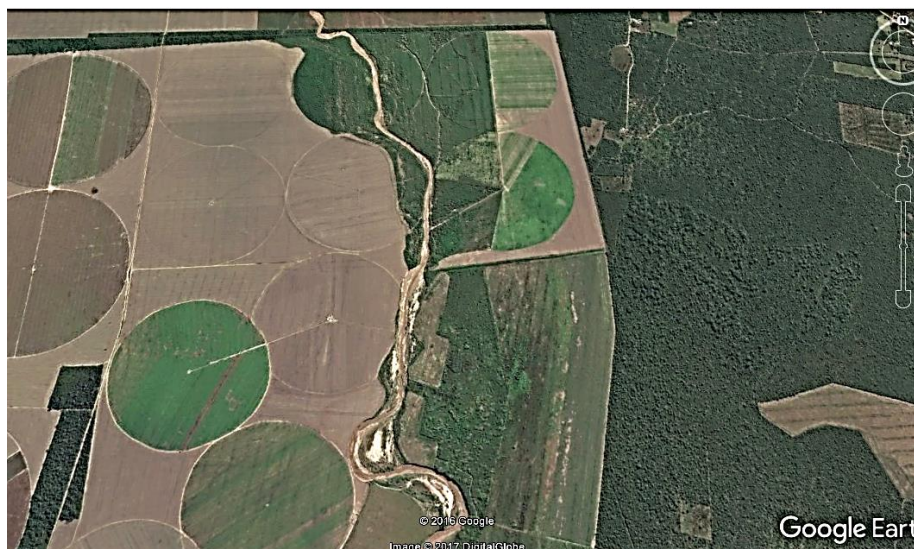
Ing. Civil Claudio Bravo  
Consultor Externo convocado por la FACET

## SECUENCIA DE IMÁGENES Y FOTOS



**IMÁGENES 3, 4 Y 5** Secuencia de la cuenca del río Ovanta 1984 -2016 con el detalle de punto de infiltración en 1984 y el avance y canalizaciones al 2016. En sombreado verde se observa el área de tránsito a 1984. Canalizaciones y encauzamiento llevaron a concentrar el flujo y conformación de cárcavas

ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID



**IMÁGENES 6 a 9** Secuencia detallada de la situación al 2016 de manejos inadecuados. Primer tramo profundización y carcavamiento; construcción de pívot en sectores de transito y canalización irregular de aproximadamente 3km por medio de lo que era una línea de pívot hoy inutilizados

ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID



IMÁGENES 10 y 11 Canalizaciones concentrando el flujo de agua



IMÁGENES 12 Casco de la estancia con campo deportivo y canalización a la par



**IMÁGENES 13** Imagen Sentinel2 (agencia espacial europea) 12 de mayo de 2017. Se observan las canalizaciones bordeando y cortando sectores hoy cultivados, antes cauces de expansión del río Ovanta. Áreas indicadas en Imagen 4, 5 y 12.

#### **Estado de situación del Puente RPN° 334 en río San Francisco**

Los comentarios de un conocedor de la zona, publicadas en el diario La Gaceta son realmente elocuentes en cuanto a la percepción y las expectativas de solucionar el problema de construcción de un nuevo puente en la zona.

Cabe destacar que la DPV viene estudiando este problema hace tiempo, donde también se incorpora el problema del manejo de los A° La Posta y EL Sueño, que en una gran proporción hoy esta canalizado por la cuneta de la RPN° 334 y va entregando agua hacia el este tratando de buscar el “bañado” natural por donde escurría originalmente. Cuando las lluvias son fuertes esta cuneta llega a conectarse con el actual cauce del río San Francisco.



ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID

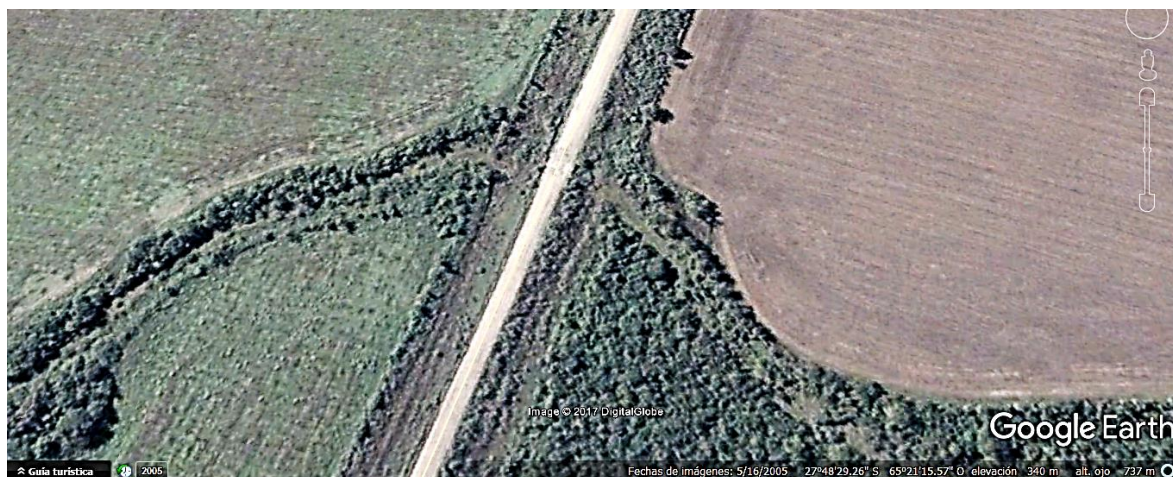


IMAGEN 14 Alcantarilla RPN°334 al año 2011 15 m. Vale el comentario que hizo Adrián Farias en La Gaceta, “Cuando este rio no tenía mas de 15m y carecía de un puente seguro, nos costo años de gestion para lograr que se construyera uno. Ahora que se lo llevó el agua y quedo con 200m de largo, no se si llegaremos a estar con vida cuando se levante otro”

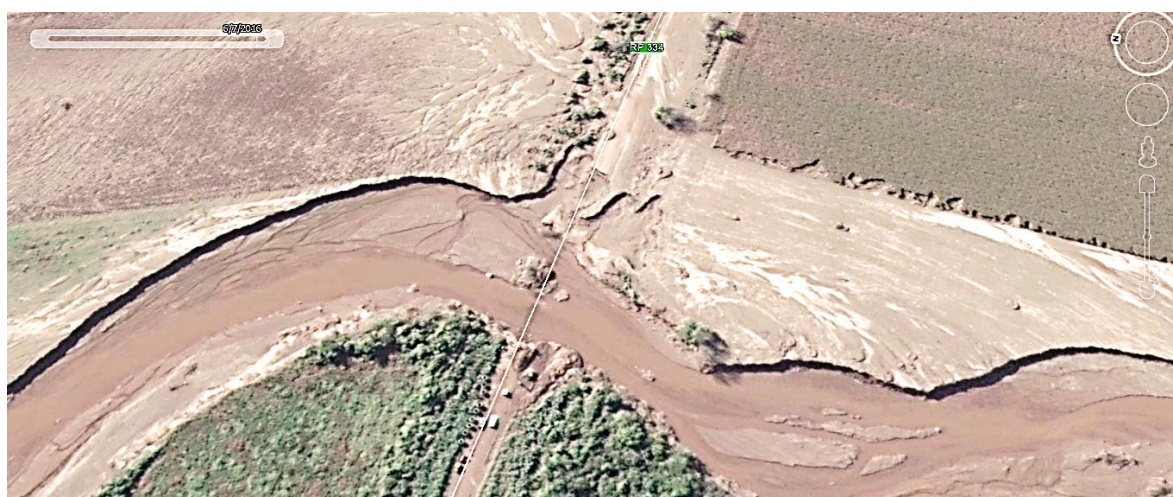


IMAGEN 15 Cauce de 50m de ancho en RPN°334 al año 2016

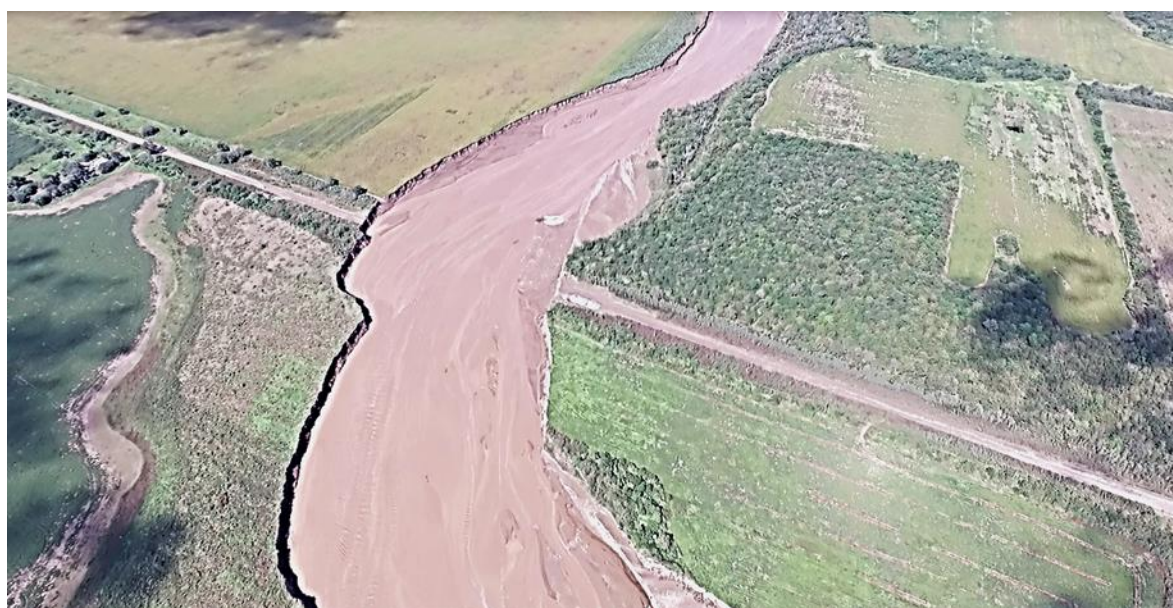


IMAGEN 16 Cauce de 200m de ancho y 8 a 10m de profundidad en RPN°334 al año 2017

ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID



IMAGEN 17 Vista panorámica de la canalización hacia finca El Zapallar desde RPN° 334

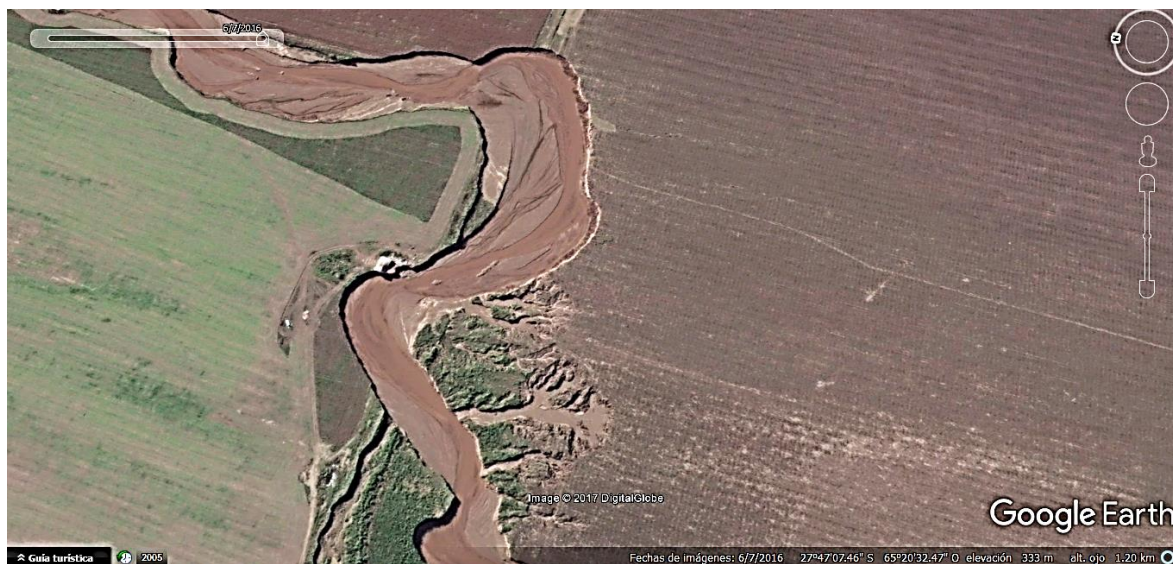


IMAGEN 18 Cultivos a pivot en finca el Zapallar (Google) al 2011 con canalización para proteger su área agrícola



IMAGEN 19 finca el Zapallar (Google) al 2016 con canalización en 80m

ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID



IMÁGEN 20 Imagen 2016 donde se observa el galpón semidestruido



IMÁGEN 21 Imagen 2017 donde se observa el galpón no existe, fue totalmente arrastrado por el desmoramiento de la barranca

ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID



IMÁGEN 22 Descarga puntual en margen derecha del rio Marapa de la canalizacion



IMÁGEN 23 Vista del puente en vía Férrea paralela a RNN° 157 hacia el sur del puente del rio Marapa

ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID

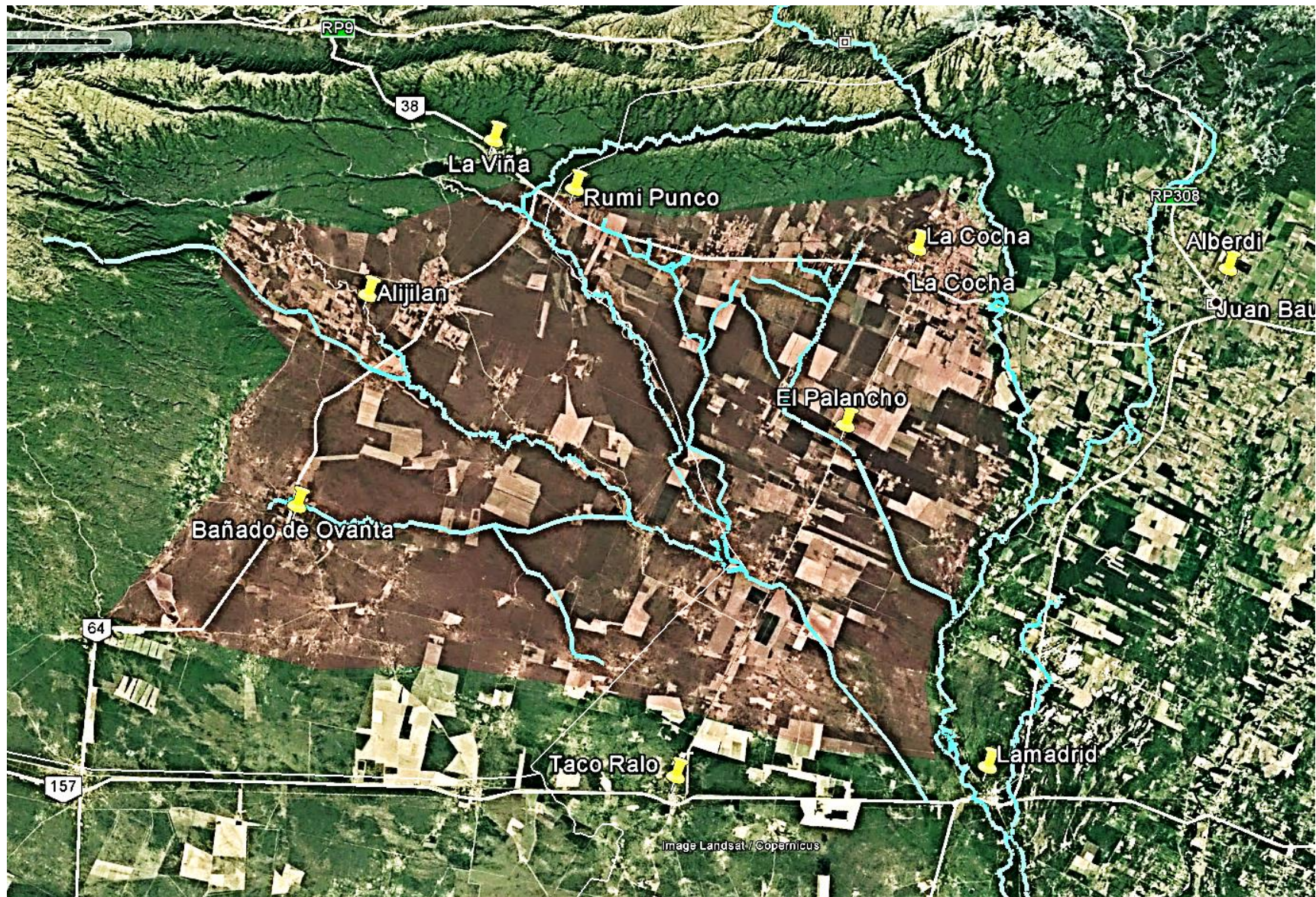


IMAGEN 24 Area agrícola 1984 - superficie total incluida área con monte 1784 km<sup>2</sup>

ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID

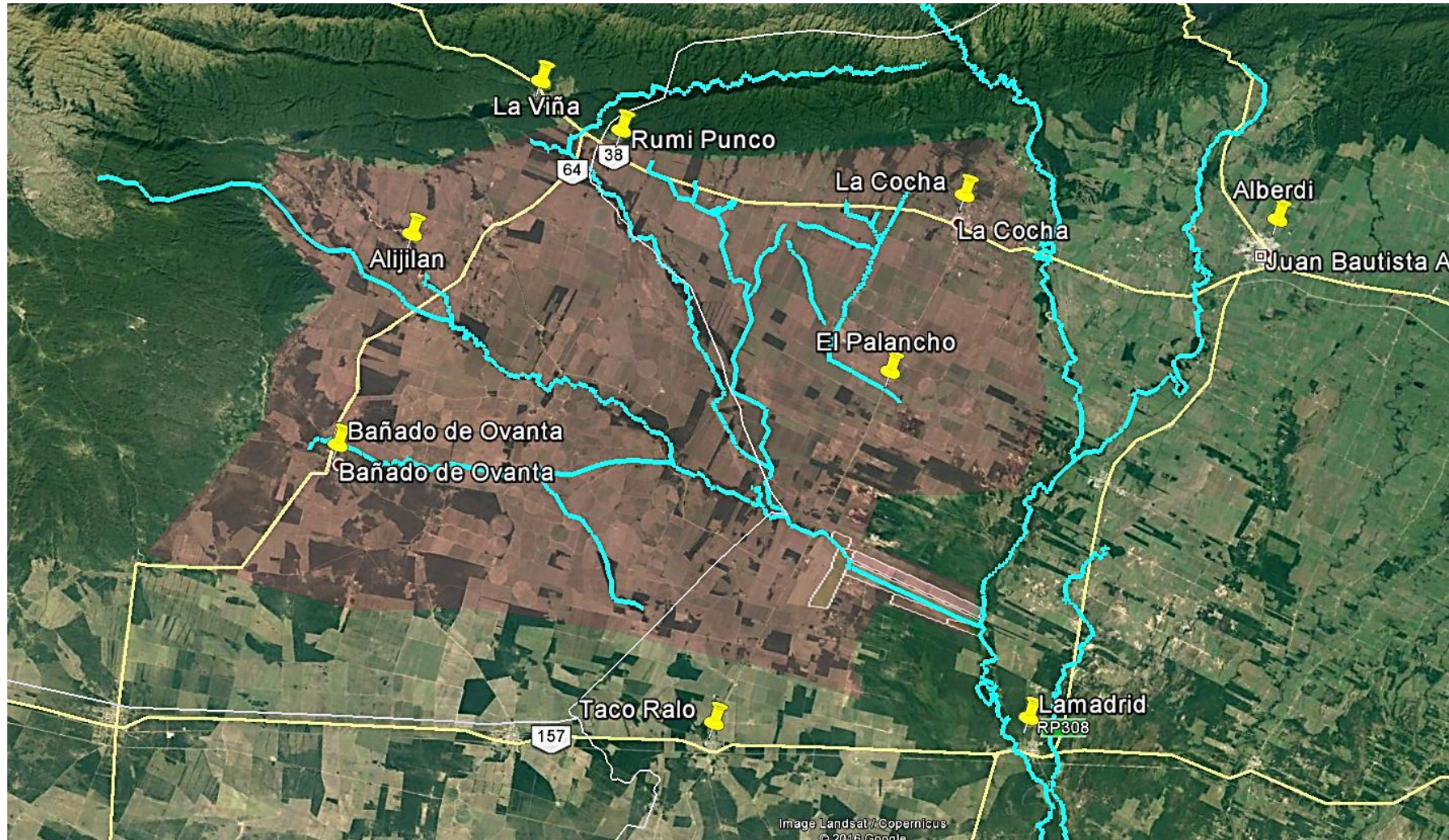


IMAGEN 25 Área agrícola 2016 - desmontada entre hasta 2016 => 96000has en 33 años

ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID

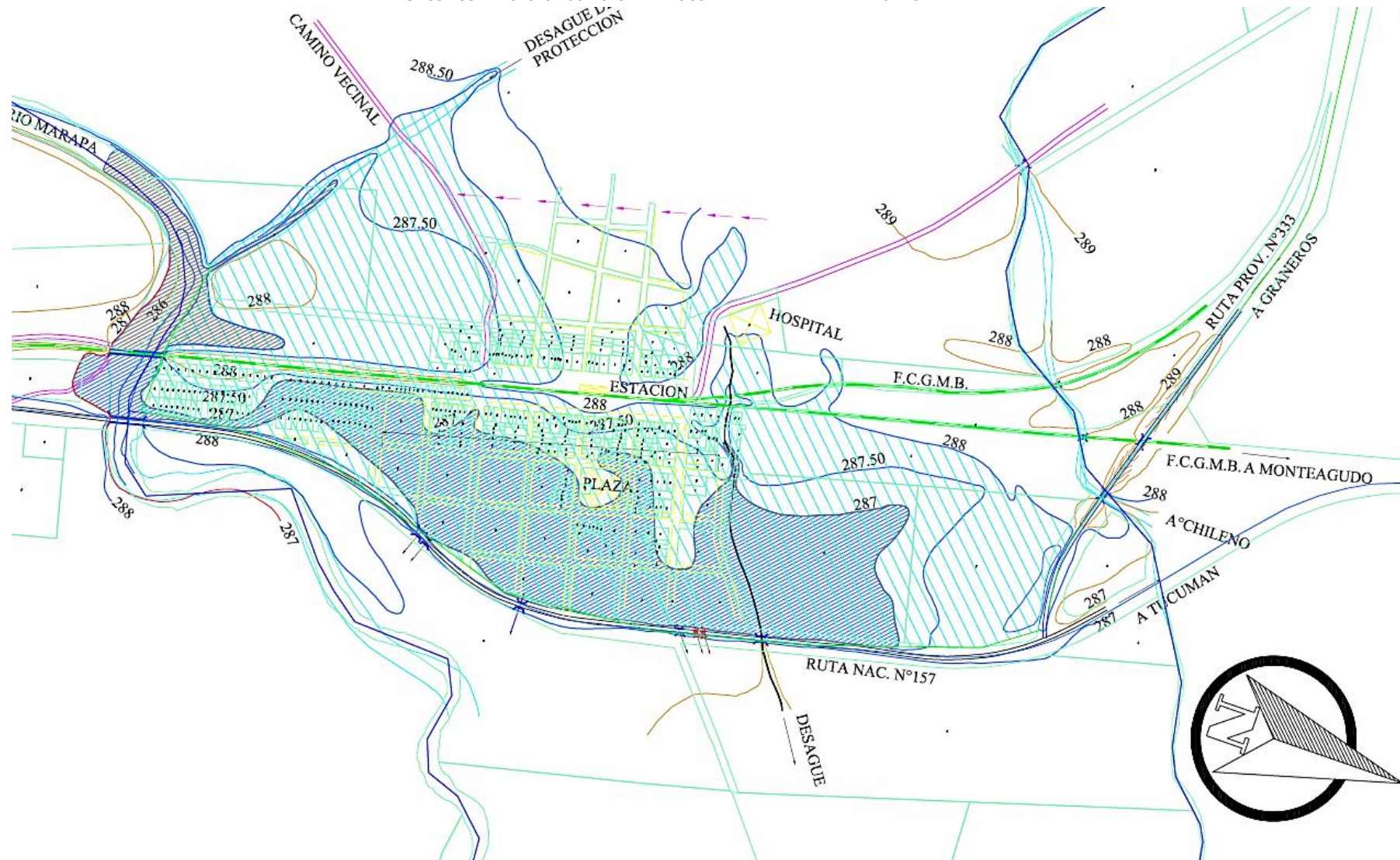


IMAGEN 26 Inundación del Lamadrid del año 1992 (sombreado oscuro,) versus inundación 2017 (sombreado claro)

ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID



**IMAGEN 27** Imagen rasterizada 15 abril 2017. En azul se observan los sectores que ocuparon el agua suministrada por el ejército Argentino

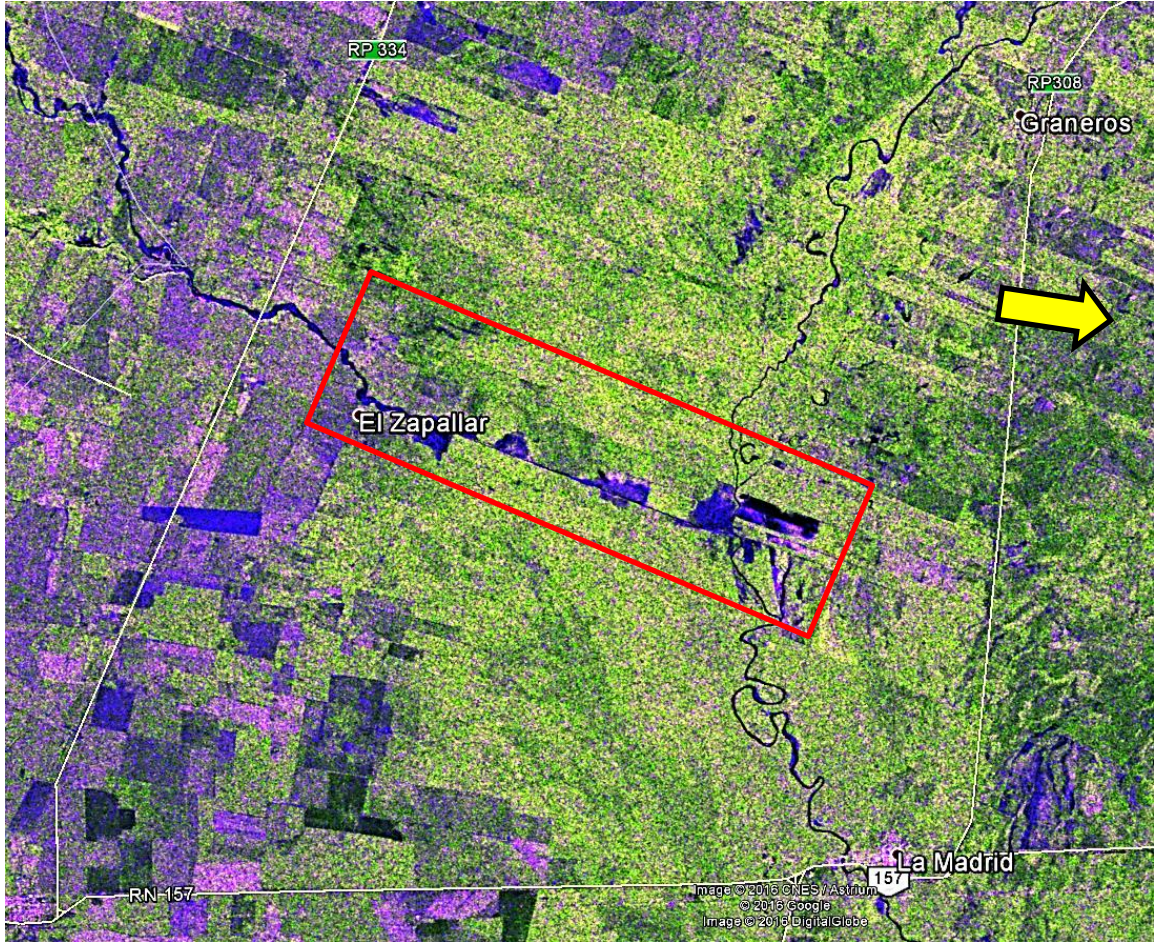


ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID



**IMAGEN 28** Imagen rasterizada 15 abril 2017. En azul se observan los sectores que ocuparon el agua con canalizaciones en zonas de riego por pivot del rio Ovanta y el Abra

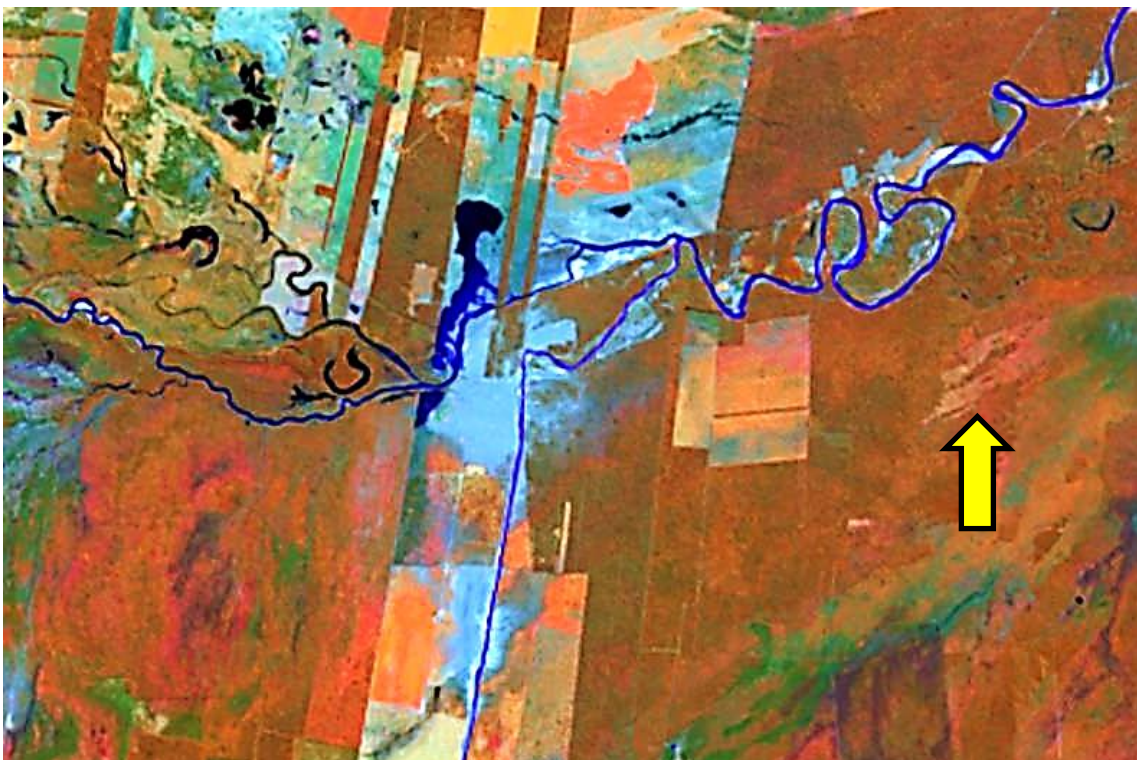
IMAGEN 29 Imagen rasterizada 15 abril 2017. En azul se observan los sectores que ocuparon el agua



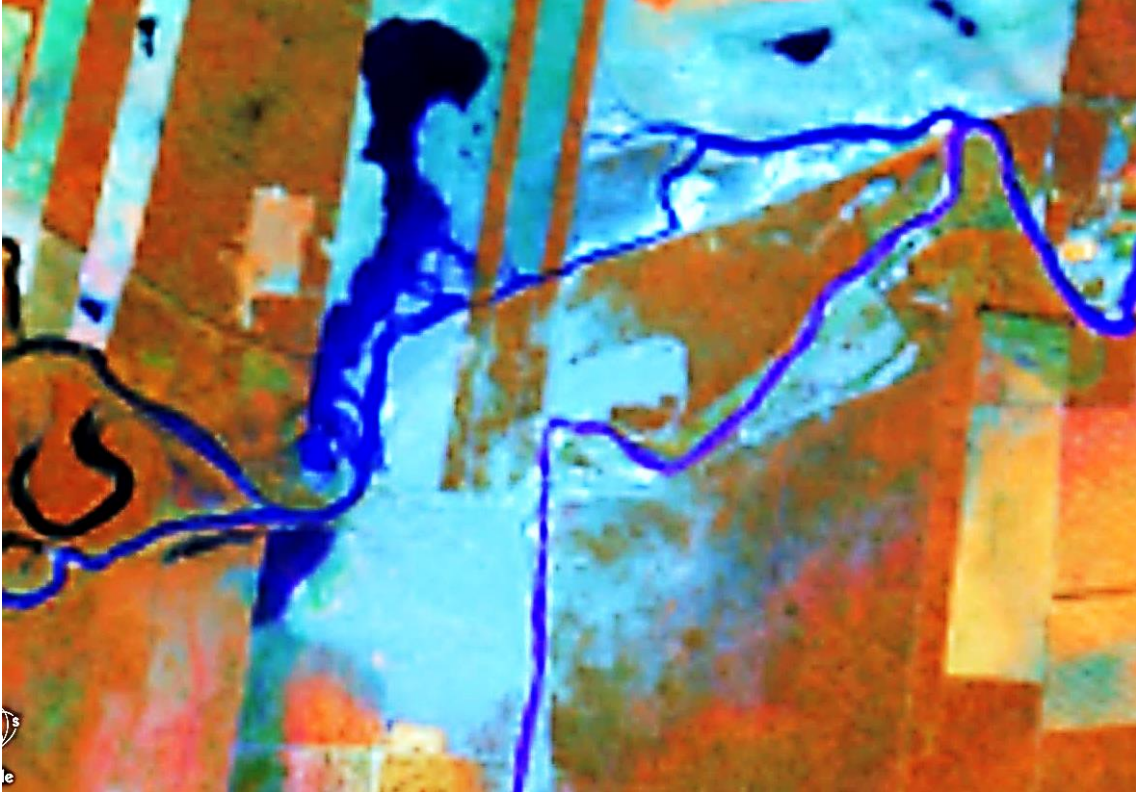
Canal de 10 km construido entre finca El Zapallar (Google) y el rio Marapa. Se observan la línea azul de inundación con desbordes sobre el sector norte. También se observan las dos áreas de bañado que deben preservarse como tales. Se deben volver a reencazar estos ríos a dichas áreas correspondiente al A° La Posta y El Sueño en la zona de arriba y abajo la del rio San Francisco



IMAGEN 30 Imagen Sentinel2 (agencia espacial europea del 12 de mayo de 2017. Se observan los sectores de desborde con el rastro de sedimentos arrastrados



**IMAGEN 31-32** Comparativa de Imagenes lansat 8 28 de Febrero 2017 con la del 19 de Mayo 2017 donde se observa claramente influencia de la canalización del río San Francisco sobre el río Marapa. Genero un nuevo cauce del Marapa desplazándolo hacia el norte unos 500m. Un tramo de aproximadamente 500m hacia el oeste se relleno de material fino, el cauce canalizado del río San Francisco utilizo el antiguo cauce del Marapa, uniéndose aproximadamente 1,5km agua abajo. Se afecto y conformo un área inundada hacia el norte de aproximadamente 1300m de largo por un ancho variable de 150 a 300m.



**IMAGEN 33** Imagen lansat8 del 19 de Mayo 2017. Nuevo cauce del Marapa desplazado hacia el norte unos 500m.

Cauces de ríos S. Francisco, El Abra y el Ovanta pertenecientes a la cuenca catamarqueña.

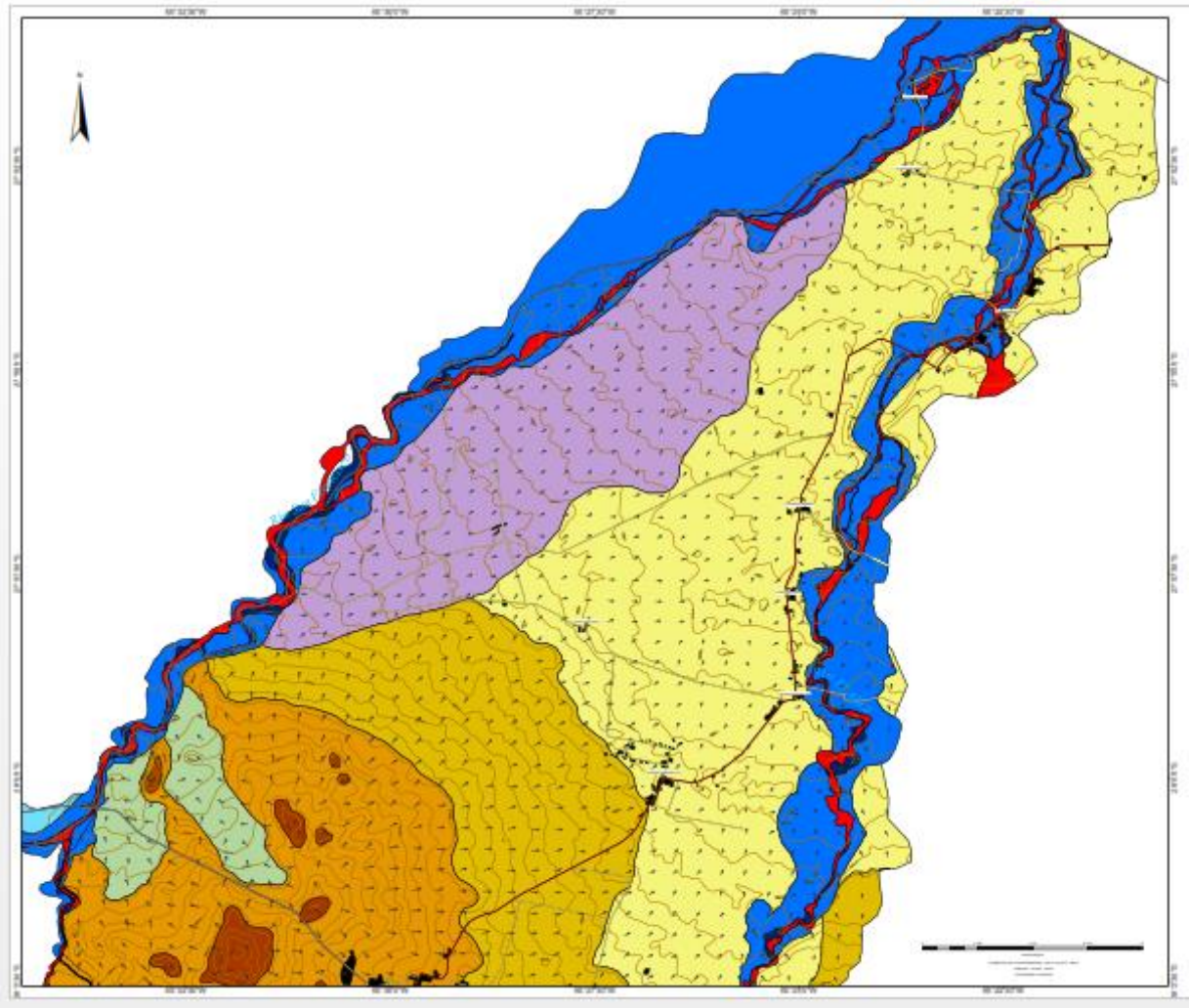


IMAGEN 34 Cauces activos con posibilidad de utilizar como áreas de detención temporaria de los ríos San Francisco y El Abra. Gobierno de Catamarca - Colegio de Geólogos



IMAGEN 35 Imagen Sentinel2 (agencia espacial europea del 12 de mayo de 2017. Situación actual de carcavamiento de ríos San Francisco y El Abra en el sector indicado en imagen anterior

**ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID**



**GEOFORMAS**

<b>RASTRA</b>	<b>GEOFORMA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PROCESOS</b>	<b>GRUPO HIDROLÓGICO DE LOS SUELOS</b>
	<b>CAUCE ACTIVO</b>	Espacio natural por donde escurren aguas naturales. (En rojo: Creciente 2015. En azul: Cauce antiguo).	Erosión y agradación transitoria	No Aplica
	<b>TERRENOS RIBEREÑOS</b> Lecho mayor de inundación, planicies y terraza baja	Franja de terrenos ribereños semi-activos, susceptibles de inundación en forma esporádica	Agradación y erosión esporádica	<b>"C"</b> Moderadamente Alto Potencial de Escurrimiento
	<b>PALEOCAUCES</b>	Antiguos cursos de agua que se reactivan esporádicamente	Flujos laminares lentos, zona de anegamiento	
	<b>TERRAZA ALTA</b>	Faja de terrenos ribereños, estables, susceptibles de inundación o de socavación lateral por crecientes mayores a los 500 años	Terrenos estabilizados	
	<b>PLANICIE DE DESBORDAMIENTO</b>	Terrenos originados por antiguos desbordes de los ríos, en los tramos de la cuenca baja del curso de agua	Geoforma estabilizada, erosión laminar en surco en sectores aislados	<b>"B"</b> Moderadamente Bajo Potencial de Escurrimiento
	<b>BAJOS Y VALLES COLUVIALES</b>	Terrenos deprimidos, susceptibles de inundación por anegamientos esporádicos	Movimientos de flujos coluviales de los sectores laterales hacia el centro de la geoforma	
	<b>PLANICIE ALUVIAL</b>	Grandes superficies de terrenos de baja pendiente, susceptibles de inundación por anegamientos esporádicos o periódicos	Unidad estable, con flujos superficiales laminar y erosión en surco o en cárcavas esporádica	<b>"C"</b> Moderadamente Alto Potencial de Escurrimiento
	<b>RELIEVE DE LADERA DISTAL</b>	Geoformas del tipo ondulada, inclinada.	Flujos lentos del tipo coluvial. sub-	

**IMAGEN 36** Hidrogeomorfología de los ríos San Francisco y El Abra. Gobierno de Catamarca - Colegio de Geólogos

**ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID**



**Figura 19: Trazado del río El Abra sobre imagen satelital Rapid Eye de fecha 29/03/2015**

RASTRA	GEOFORMA	DESCRIPCIÓN	PROCESOS	GRUPO HIDROLÓGICO DE LOS SUELOS
	<b>CAUCE ACTIVO</b>	Espacio natural por donde escurren aguas naturales. (En rojo: Creciente 2015. En azul: Cauce antiguo)	Erosión y agradación transitoria	No Aplica
	<b>TERRENOS RIBEREÑOS</b> Lecho mayor de inundación, planicies y terraza baja	Franja de terrenos ribereños, semiactivos susceptibles de inundación en forma esporádica	Agradación y erosión esporádica	"B" Moderadamente Bajo Potencial de Escurrimiento
	<b>PALEOCAUCES</b>	Antiguos cursos de aguas, que se reactivan esporádicamente	Flujos laminares lentos, zona de anegamiento	"C" Moderadamente Alto Potencial de Escurrimiento
	<b>TERRAZA ALTA</b>	Faja de terrenos ribereños, estables, susceptibles de inundación o de socavación lateral por crecientes mayor a los 500 años	Terrenos estabilizados	"B" Moderadamente Bajo Potencial de Escurrimiento
	<b>PLANICIE DE DESBORDAMIENTO</b>	Terrenos originados por antiguos desbordes de los ríos, en los tramos de la cuenca baja del curso de agua.	Geoforma estabilizada, erosión laminar en surco en sectores aislados	
	<b>BAJOS Y VALLES COLUVIALES</b>	Terrenos deprimidos susceptibles de inundación por anegamientos esporádicos	Movimientos de flujos coluviales de los sectores laterales hacia el centro de la geoforma	"C" Moderadamente Alto Potencial de Escurrimiento
	<b>VALLE COLUVIAL LAS CAÑAS</b>	Tramo superior Las Cañas, en donde descarga el río homónimo.	Erosión y agradación	"D" Alto Potencial de Escurrimiento
		Tramo medio Quebrachito, sector donde se infiltra el curso de agua del río Las Cañas	Agradación fluvial	
		Tramo inferior Las Marias, área deprimida de uso dominante pecuario	Procesos coluviales lentos	

ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID

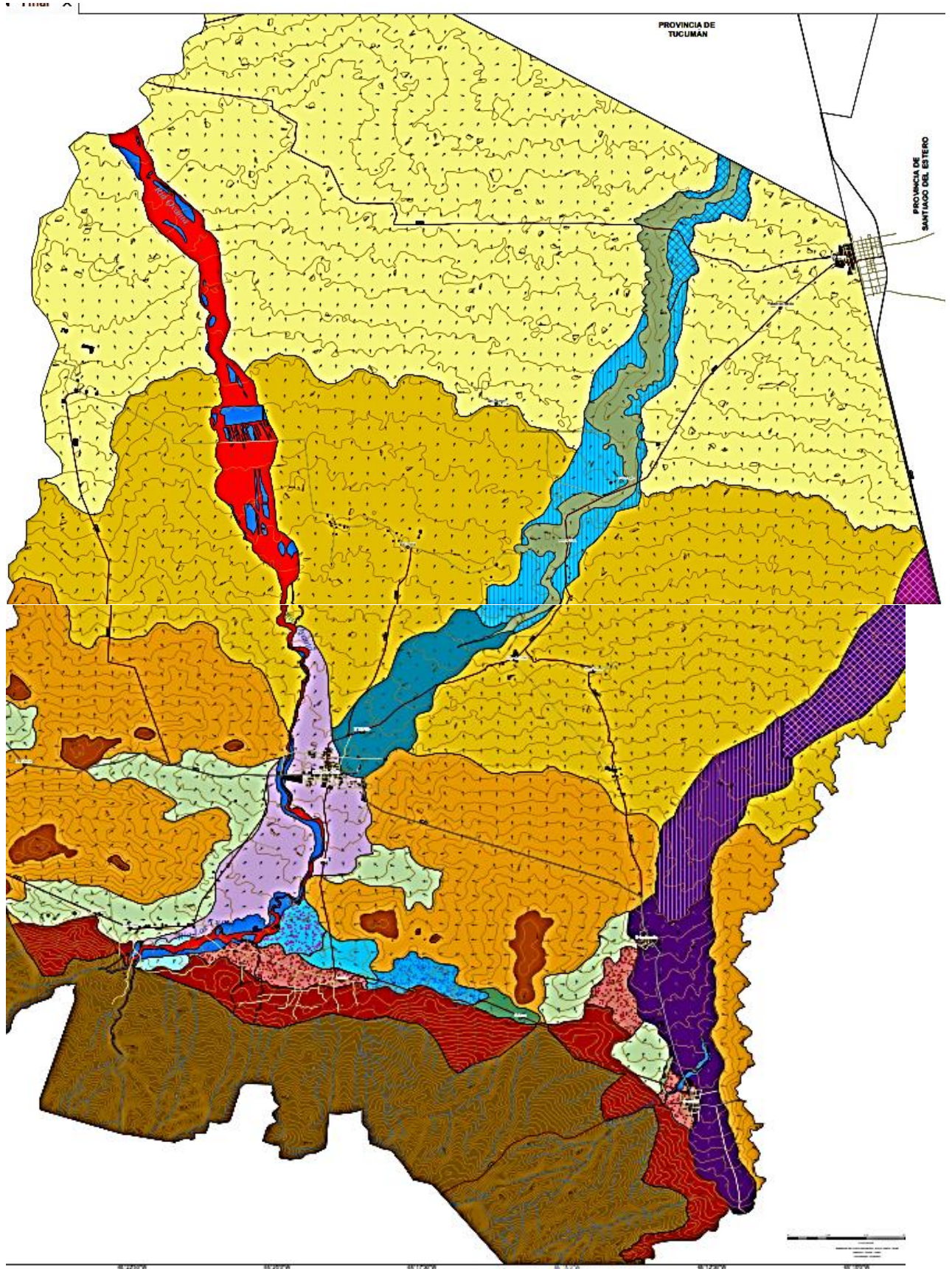
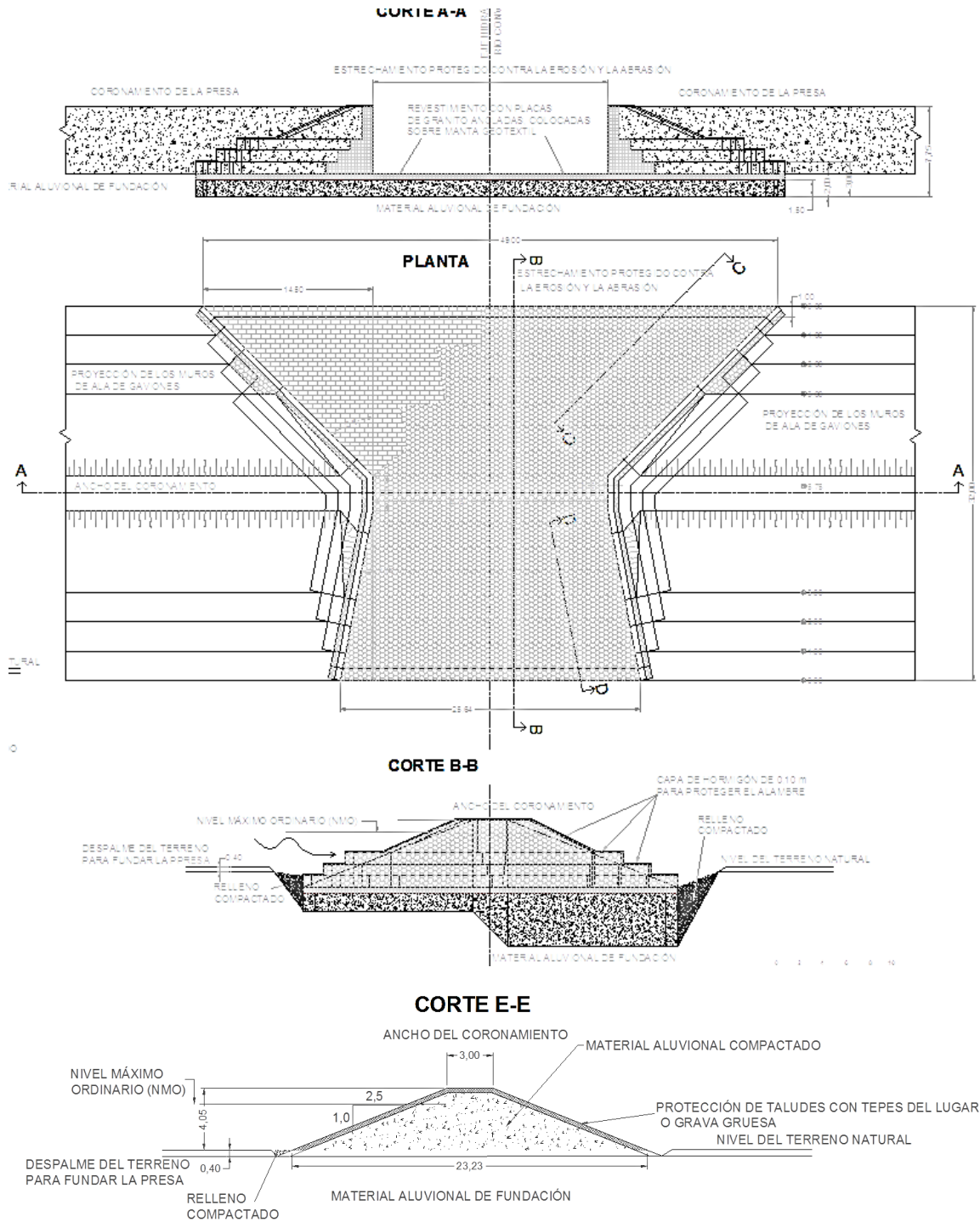


IMAGEN 37 Hidrogeomorfología del río Ovanta. Gobierno de Catamarca - Colegio de Geólogos



**ANEXO 2 CUENCA DEL RIO SAN FRANCISCO  
DIAGNOSTICO DEL SECTOR SUR OESTE DE TUCUMAN EN EL AREA DE INFLUENCIA DE LAMADRID**



**IMAGEN 38** Obras tipo de estrechamiento en cauces planteada para la cuenca del rio Gastona (Roldan 2000) para analizar en el cauce con planicie de inundación.

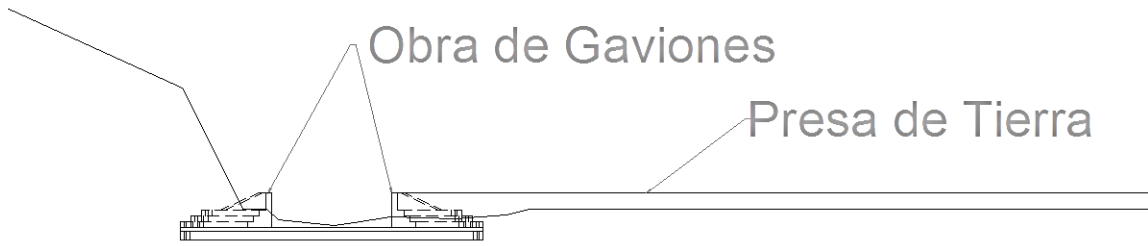
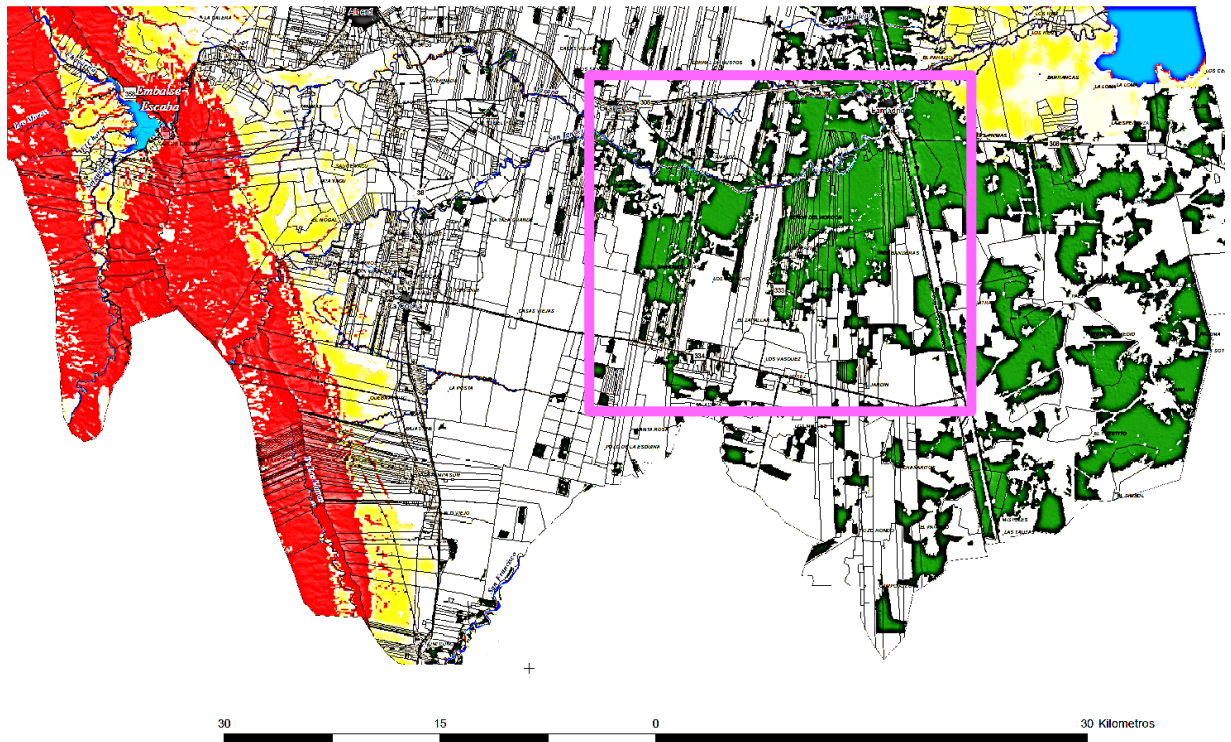


IMAGEN 39 Obras tipo de estrechamiento en cauces - Vista Corte



**Categorías de Conservación  
 (Art. Nº 9, Ley Nº 26.331)**

TOTAL SUP. BOSQUES: 910.512,77 Ha.

- Categoría I : (526.638,17 ha),  
Alto Valor de Conservación (57,84 %)
- Categoría II : (219.413,44 ha),  
Mediano Valor de Conservación (24,10 %)
- Categoría III : (164.461,16 ha),  
Bajo Valor de Conservación (18,06 %)

**Zonas Complementarias de  
 Integración al Bosque Nativo**

TOTAL SUP. ZONAS INTEGRACIÓN: 1305.878,57 ha.

- Categoría A (Mayor Integración) :  
388.371,02 ha., (29,74 %)
- Categoría B (Menor Integración) :  
917.507,55 ha., (70,26 %)

IMAGEN 40 Mapa con delimitación de categorías boscosas de la provincia de Tucumán, sector sur. Se observa en el área delimitada de con violeta un bosque categoría III y se lo pase a categoría II o I según surja de los estudios para que sea utilizada como humedales.

PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS

## **ANEXO 3**

# **HIDROGEOMORFOLOGÍA DE LAS CUENCAS DEL SUDESTE TUCUMANO**

**SERGIO GEORGIEFF**  
*Doctor en Geología*  
*Facultad de Ciencias Naturales*  
*Universidad Nacional de Tucumán*

**ROMINA DÍAZ GÓMEZ**  
*Doctora en Geología*  
*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas*

**COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO**

**MAYO 2017**

## HIDROGEOMORFOLOGÍA DE LAS CUENCAS DEL SUDESTE TUCUMANO

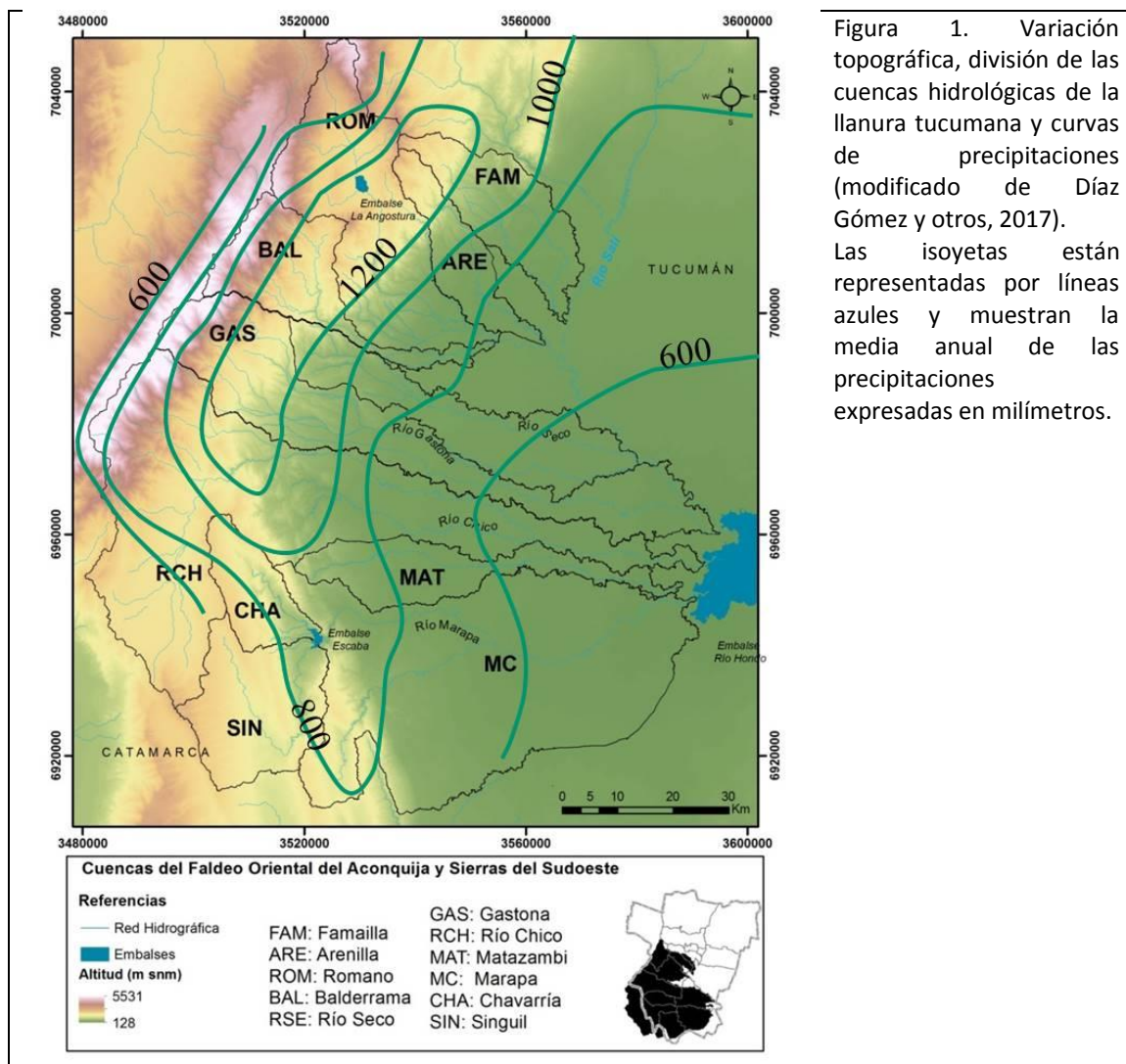
Sergio M. Georgieff <sup>1,2</sup> y Romina Díaz Gómez <sup>2</sup>

1. Facultad de Ciencias Naturales e IML – UNT. Miguel Lillo 205, T4000JFE – San Miguel de Tucumán.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET – CCT Tucumán.

### Introducción

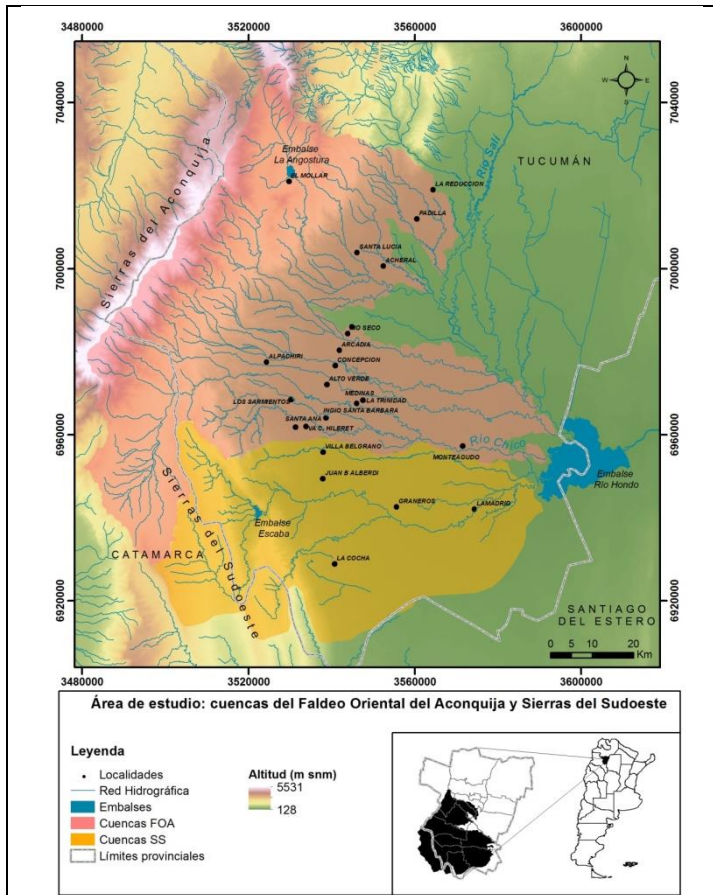
La región que se extiende desde el sur del Departamento Capital hasta el sur de río Marapa en el Departamento Graneros es conocida como la Llanura Deprimida (Zuccardi y Fadda, 1972). Constituye una región suavemente ondulada con débiles depresiones y cuya pendiente es de 0,5% aproximadamente. Fue subdividida en 2 subregiones: la llanura deprimida no salina (al oeste) y la llanura deprimida salina (al este), en base al contenido de sales del nivel freático (figura 1).

En base al régimen de precipitaciones, la llanura deprimida salina se divide en subhúmeda y semiárida. El límite entre ambas está dado por la isoyeta de 650mm (figura 1).



Díaz Gómez y otros (2017) han caracterizado morfológicamente a las cuencas del faldeo oriental del Aconquija (FOA) y las desarrolladas a partir de las Sierras del Sudoeste de Tucumán (SS), Figura 2 y Tabla 1.

La cuenca del Marapa (teniendo en cuenta al río Marapa propiamente dicho, a los ríos Singuil y Chavarría, y al arroyo Matazambi) es la más importante desde el punto de vista areal (Tabla 1), tiene 3.372 km<sup>2</sup>.



Las cargas, líquida y sólida, de la cuenca alta del río Marapa se encuentran reguladas por el dique Escaba (Tucumán).

Por otro lado, el río San Francisco nace de la unión del río Huacra y el río Alijilán, y conforma hidrológicamente la cuenca del río Marapa. La cuenca alta del río Alijilán está regulada por el dique Sumampa.

Los caudales que el río San Francisco, hasta febrero de 2017, aportaba a la cuenca del Marapa fueron relativamente escasos ya que históricamente la cuenca baja del río San Francisco se insumía en una serie de lagunas y charcas, conformando una cuenca arreica (o sistema hidrológico sin desembocadura en río, lago o mar).

Figura 2. Clasificación de los cuencas teniendo en cuenta a las sierras que drenan, en rosa Sierras del Aconquija y en ocre Sierras del Sudoeste (tomado de Díaz Gómez y otros, 2017).

	Cuencas	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Longitud axial (km)	H máxima (mnsnm)	H mínima (mnsnm)
FOA	ARE	283	155	42,49	2117	314
	BAL	464	243	43,91	1889	320
	FAM	436	191	58,57	3603	328
	RSE	614	307	50,94	4625	325
	ROM	937	273	65,45	1078	278
	GAS	1074	493	105,29	5130	270
	RCH	2097	329	114,04	3647	270
SS	CHA	257	113	69,96	685	271
	MAT	424	332	70,88	1492	270
	SIN	550	166	31,12	2168	678
	MC	2141	455	28,18	1953	648

Tabla 1. Parámetros morfométricos de las cuencas de la llanura tucumana (tomado de Díaz Gómez y otros, 2017).

El mapa de Díaz Gómez y otros (2017) es una compilación realizada hasta el año 2015 y por eso no considera la cuenca del río San Francisco al sistema del Marapa.



Figura 3. Dique La Cañada, nacientes del río Manantiales y tributario al río San Francisco (2/3/2014, foto de Gonzalo Martínez)

Además, el río San Francisco recibe en su cuenca baja (casi en el límite Tucumán - Catamarca) al río Manantiales (cuya cuenca alta está regulada por el dique La Cañada, figura 3).

De acuerdo a Aníbal Comba (comunicación epistolar), datos del gobierno de Catamarca indican que el dique La Cañada erogó más de  $500\text{m}^3/\text{seg}$  al río Manantiales. En Paclín se registraron 463 milímetros de lluvia acumulada en 6 días (fines

de marzo de 2017) y en Santa Rosa cayeron 385 mm en ocho días (desde el sábado 25 de marzo hasta el domingo 2 de abril de 2017).

### Hidrogeomorfología

En una propuesta de manejo de cuencas, además de las morfometrías, es necesario conocer otras características básicas:

1. pendientes locales y regionales,
2. morfología de los ríos (sinuosidad y parámetro de enlazamiento de los canales),
3. aportes de caudal líquido (precipitaciones, infiltración, balance hídrico, tiempo de concentración, tipos de escurrimiento y jerarquía de los canales)
4. caudal sólido (cobertura y cambios de uso), y
5. procesos de transporte (intensidad y duración), entre otros.

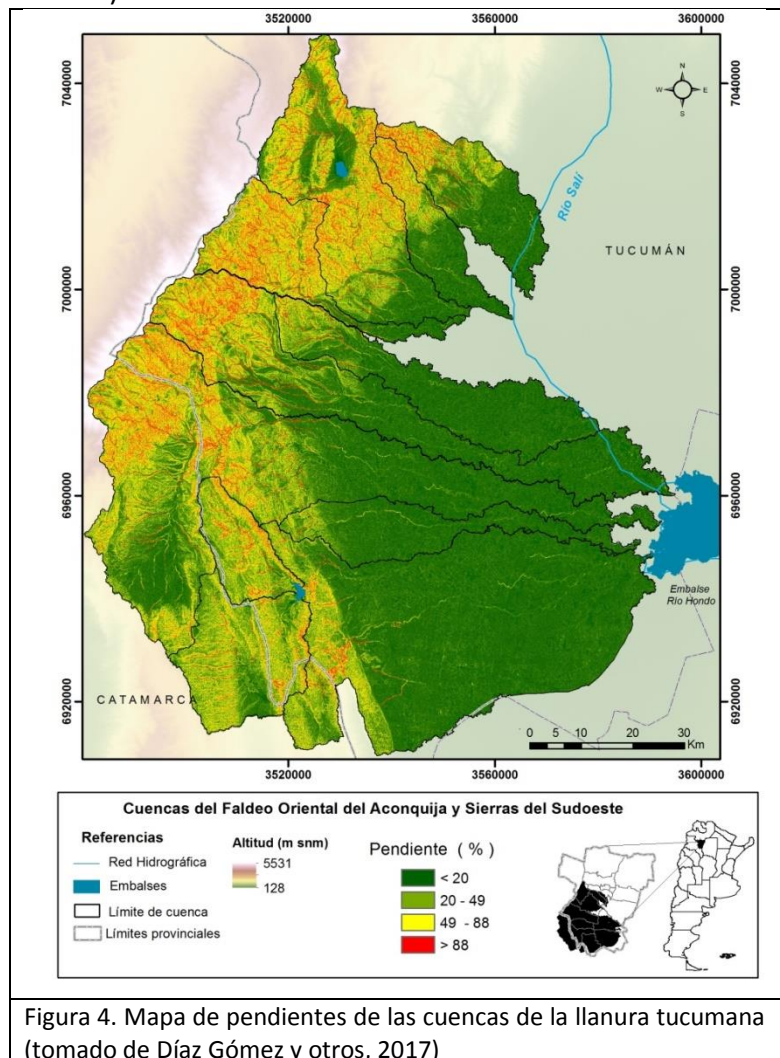


Figura 4. Mapa de pendientes de las cuencas de la llanura tucumana (tomado de Díaz Gómez y otros, 2017)

La figura 4 muestra las pendientes (expresadas en % y obtenidas mediante análisis de imágenes con una resolución de píxeles de 30x30m) para las cuencas del Faldeo Oriental del Aconquija y Sierras del Sudoeste. El rango de pendiente que se expresa tiene un sesgo en sus extremos de mayor (>) y menor (<) debido a la escala que debe usarse para incluir a toda la región. En el caso de las pendientes menores a 20%, podría subdividirse y se obtendrían hasta valores de pendientes menores a 0,1%.

### **Sistema fluvial (Georgieff, 2007)**

Los ríos de la cuenca del Salí presentan características muy particulares ya que en un recorrido relativamente corto (por ejemplo: 20 km) muestran importantes cambios en la geometría de sus canales. En las cabeceras forman cursos más o menos encajados con trayectorias influenciadas por fracturas (fallas, diaclasas y lineamientos) en el basamento de rocas metamórficas e ígneas, al salir a la zona pedemontana se produce un ensachamiento del cauce con desarrollo de barras fluviales gravosas en distintas posiciones del cauce, estas barras permanecen más o menos estables durante el estiaje pero sufren importantes migraciones durante la época de crecientes, el mismo río más abajo comienza a ser más sinuoso y el material predominante es la arena, en este sector se producen importantes migraciones laterales de los cauces, erosión de las márgenes y posibles desbordamientos en las épocas de creciente.

Por lo expuesto se deduce que estos sistemas están en un equilibrio poco estable ya que además de los cambios de pendiente, el aumento y la estacionalidad de las precipitaciones, otros factores concurren a desestabilizar este equilibrio:

1. Deforestación del piedemonte: aumento del caudal sólido y líquido. La tala de árboles es una actividad muy intensa en el pedemonte tucumano debido a la buena calidad de los suelos como terrenos cultivables. Este efecto no ha sido totalmente cuantificado pero es muy importante en la producción de sedimentos por erosión del margen y aumento del escurrimiento superficial.
2. Deforestación de los márgenes de los ríos: inestabilidad de los márgenes, aumento del caudal sólido y líquido. El otro tipo de deforestación es la que se realiza en los márgenes de los ríos (bosques en galería) que si bien no tiene el volumen de la tala del pedemonte genera inestabilidad de los márgenes e incrementa el caudal sólido y líquido de los ríos. La otra gran diferencia en este tipo de tala es que se produce a todo lo largo del curso del río por lo que afecta a los cauces también en la zona de llanura.
3. Terraplenes de las redes viales y ferroviarias: anegamiento. El trazado de las principales redes viales y ferroviarias en la provincia se disponen en sentido nortesur, aproximadamente perpendicular a la red de drenaje de las subcuencas que alimentan la cuenca del río Salí. Estos terraplenes tienen una altura entre 2 y 3 m por encima del terreno, las obras de alcantarillado son insuficientes e inapropiadas para el volumen de agua involucrado durante la época de crecientes. El rápido taponamiento del sistema de alcantarillado (por árboles caídos, basura y sedimento) ocasiona el anegamiento de extensas áreas tanto pobladas como agrícolas – ganaderas.

4. Puentes: cambios en la sección transversal del cauce. Los puentes son obras de arte necesarias para la libre transitabilidad entre distintas regiones. El diseño y las características de un puente se estudian en detalle antes de la construcción; aunque estos y otros recaudos se tienen en cuenta, no hay que si las características geomorfológicas del entorno cambian se producirán serios problemas en las zonas cercanas a estas obras civiles. El efecto de los puentes es no sólo de fijar el ancho del río sino fijarlo en un punto en particular, impidiendo los movimientos laterales naturales en la evolución de un sistema fluvial. Al limitar la sección transversal del río se impide que el exceso de sólidos, líquido y eventualmente árboles sean transportados libremente y se produce el taponamiento paulatino de los vanos del puente, llegando a obstruir totalmente el drenaje y produciendo desbordes, inundaciones de zonas adyacentes y muy posibles daños en la obra en sí.
5. Gasoductos: canalizaciones y cambios del perfil del suelo. En este tipo de ductos es necesario realizar una excavación, que por razones económicas es lo más recta posible y por lo tanto existe una inevitable modificación de las condiciones del suelo. En determinadas condiciones, como las observadas en las márgenes del río Medina al sur de La Reina, la zanja de un gasoducto funciona como un canal cuando el río se desborda. Esto permite que el cauce tenga una vía de drenaje alternativa que puede perjudicar seriamente a poblaciones cercanas al ducto un cambio permanente en las condiciones del río (Georgieff y Bossi, 2002).

La figura 5 muestra el uso y cobertura del suelo en el año 1986 (mapa de la izquierda) y los cambios ocurridos luego de 24 años en el mapa de la derecha (año 2010). Hay que considerar que, por cuestiones de escala, las áreas cumbrales representadas como pastizales corresponden a zonas rocosas o sin cobertura.

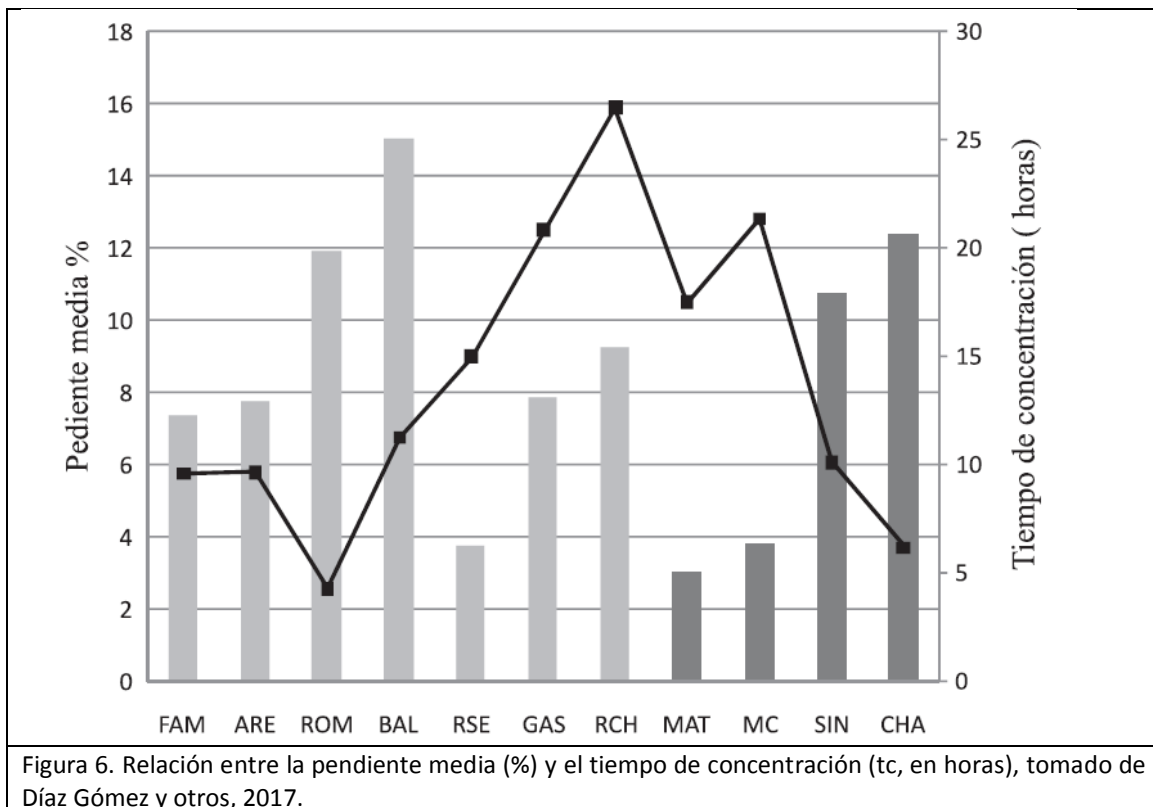
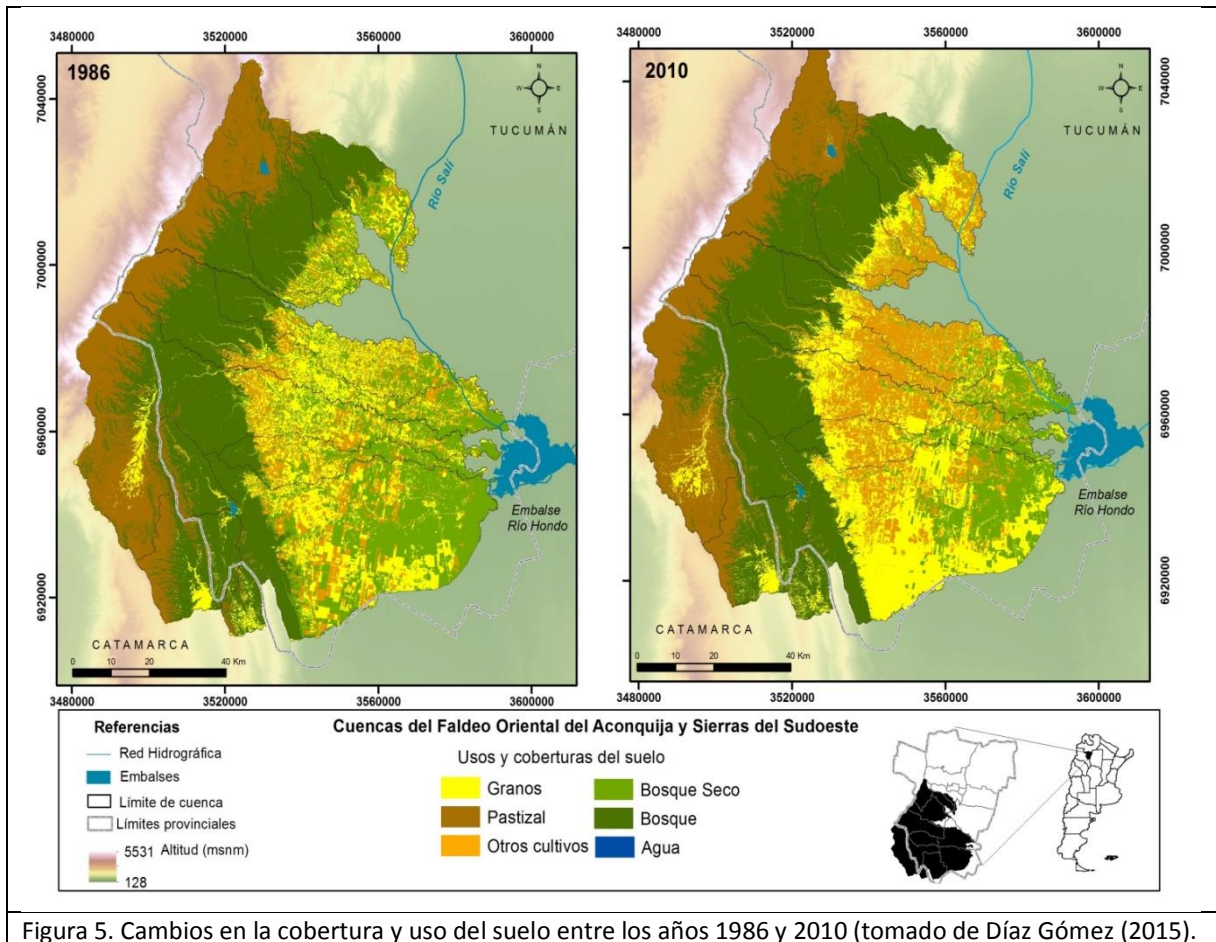
En general, puede observarse, aunque también ha sido cuantificado, el cambio areal en la parte media y baja de las cuencas de Bosque Seco (bosque chaqueño) por cultivos.

Si se comparan las figuras 1, 4 y 5 puede entenderse que las máximas precipitaciones ocurren en las áreas cumbrales y pedemonte donde se combinan, en el primer caso, la mínima cobertura arbórea con las máximas pendientes, dando como resultado condiciones de máxima escorrentía.

El tiempo de concentración,  $t_c$ , es el tiempo que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida, desde el punto más alejado hasta la desembocadura de la cuenca y depende de la forma de la cuenca (figura 1).

En la figura 6 se ha combinado la pendiente media y el tiempo de concentración para cada cuenca, este resultado muestra que los sistemas de aviso temprano, tanto de lluvias como crecientes, deben contemplar protocolos de emergencia diferentes. En este caso, se destaca que las cuencas del Río Seco y Marapa tienen los menores  $t_c$  y por lo tanto, el tiempo disponible para tomar decisiones se reducen a menos de 6 horas de comenzado el fenómeno.





## Efecto de la cobertura

La escorrentía superficial se produce luego de la saturación por infiltración de la zona de suelo ubicada entre la superficie y el nivel freático (denominada zona vadosa). Las características principales de la zona vadosa es que el espacio poral se encuentra ocupado preferentemente por aire aunque algunos poros puedan encontrarse rellenos por agua.

El espesor de la zona vadosa (suelo seco) es variable y depende de la estacionalidad de las lluvias, el ingreso de agua de manera adicional (escorrentías superficiales o riego), por ciertas prácticas agrícolas (efecto del “pie de arado” o capa de arcilla iluvial) y cercanía a embalses (ver más abajo Avulsiones).

Una rápida saturación de la zona vadosa tiene como consecuencia inmediata el aumento de la escorrentía superficial con el consecuente incremento de caudal en los ríos.

Tanto el área pedemontana como la llanura están sometidas a una creciente presión de productividad de materias primas para exportación o industrias nacionales. Esto ha conducido a mejorar el sistema de riego para lograr una optimización en el uso del agua y bajar los costos de producción.

El tipo de cobertura tiene efectos directos sobre la infiltración y percolación del agua meteórica (lluvias y escorrentías) y el agua utilizada para riego.

Díaz Gómez (2015) realizó ensayos de campo (anillo simple) en la cuenca del Marapa para medir las respuestas a la infiltración de acuerdo a las diferentes coberturas (figura 7):

- naturales: pastizales de altura, bosque húmedo (yungas) y bosque seco (Bosque Chaqueño), y
- cultivos: papa, caña de azúcar, arándanos, tabaco y limón.
- 

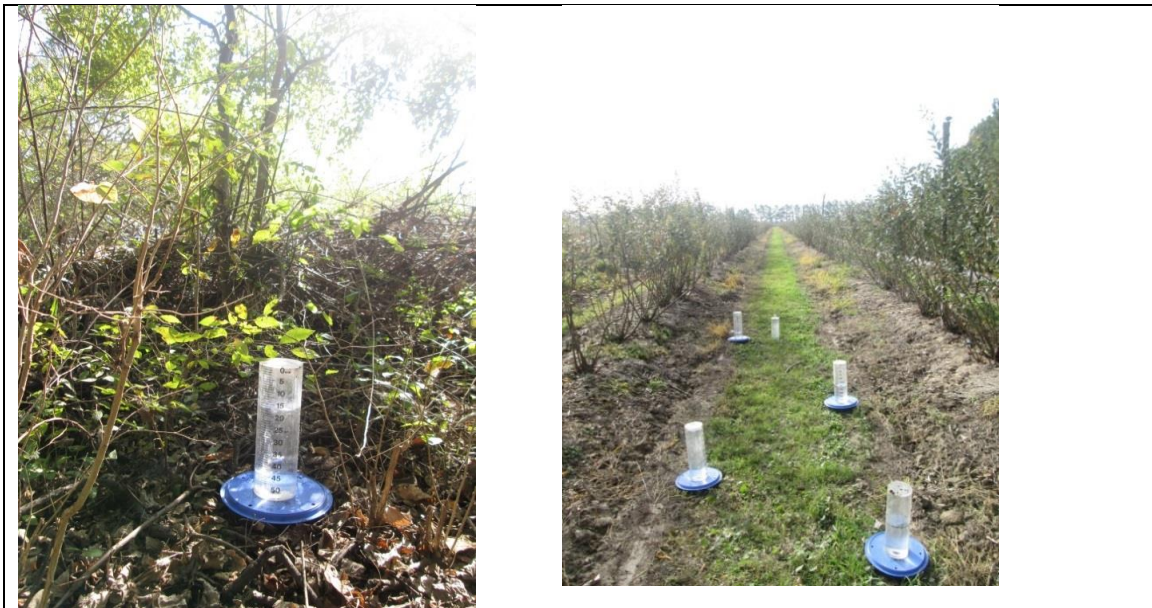




Figura 7. Ensayos de infiltración con el método del anillo simple (tomado de Díaz Gómez, 2015).

La figura 8 muestra las tasas de infiltración obtenidas para cada tipo de cobertura, se destaca que en el caso de los cultivos la infiltración tiende a estabilizarse entre los 10 y 25 minutos.

En el caso de la cobertura natural, los pastizales tienen un comportamiento similar al del arándano o limón (ambos con riego controlado por goteo) y en los casos de cobertura de bosques, tanto húmedo como seco, no pudieron obtenerse una estabilización de la infiltración; en ambos casos no fue posible continuar con los ensayos debido a los volúmenes de agua que se infiltraban.

Las conclusiones de Díaz Gómez (2015) son:

*“Los resultados indican que el cultivo de limón y de papa presentan la mayor tasa de infiltración a los 5 min del ensayo, con rangos entre (600 – 1000 mm). Mientras que las tasas de infiltración inicial para el cultivo de caña, arándano y tabaco oscila entre (200-400 mm). En cuanto a la tasa de infiltración en las coberturas naturales, se observa que los rangos de infiltración inicial son diferentes en el bosque y en la cobertura de pastizal. La cobertura de bosque húmedo presenta el máximo valor de infiltración inicial (1250 mm) mientras que es menor en la cobertura de pastizal (400mm).*

*[...] La velocidad de infiltración es máxima al inicio de la precipitación, con el suelo seco y disminuye hasta alcanzar un valor constante llamado infiltración base. Para cuantificar su valor, se realizó el ajuste de la ecuación de Horton con las lecturas de infiltración medidas a campo.*

*Por comparación de valores de infiltración base, se identifica que el cultivo de limón (112mm), presenta el máximo valor de infiltración base, seguido del cultivo de papa (79 mm), arándano (27 mm), tabaco y caña (15mm). Se debe tener en cuenta que los valores de infiltración dependen del uso del suelo y de la textura del mismo, además de las condiciones de humedad antecedente.*

*Cabe destacar que para el análisis de la cobertura natural de bosque (Bosque húmedo y seco), el ensayo se llevó a cabo durante 40 min y no se pudo realizar este ajuste.”*

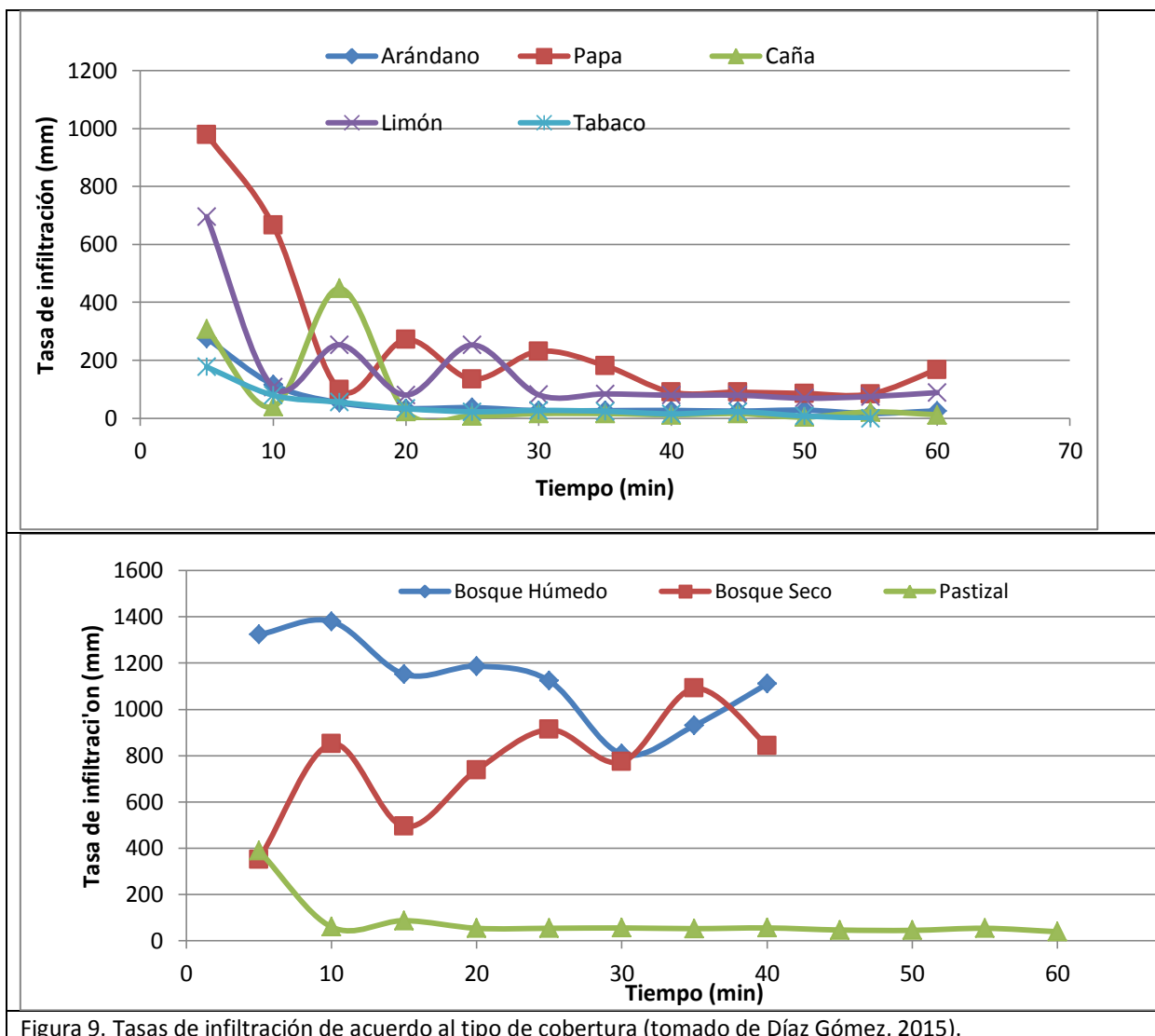


Figura 9. Tasas de infiltración de acuerdo al tipo de cobertura (tomado de Díaz Gómez, 2015).

Estos datos permiten sostener la importancia de la reforestación, tanto de las zonas de llanura (para mantener deprimido el nivel freático) como la zona ribereña de los ríos como protección a las migraciones laterales de los cauces y contener el efecto de aporte de agua desde la freática hacia los cauces fluviales.

### Embalse Termas de Río Hondo

El embalse Río Hondo está ubicado en la llanura deprimida es el más extenso con una superficie inicial de 50 km<sup>2</sup> y con una profundidad en el cierre menor a 30 m.

El terraplén que dio origen al embalse de Río Hondo tiene 4.360 m y una altura máxima de coronamiento de 33 m. En este embalse desemboca todo el caudal sólido y líquido de la cuenca del río Salí y la del río Marapa. Georgieff (2007) muestra un estudio detallado de la zona circundante al lago ha permitido estudiar en detalle el efecto producido por el embalse en los ríos que desembocan en él.

### Elevación del nivel de base

El nivel de base es el nivel de referencia (un lago, el mar u otro río) que define las características y la evolución de los ríos. Si este nivel de base sufre un cambio: ascenso o descenso, el sistema en su totalidad se desequilibra. El sistema natural (en este caso el río) tiene ciertos parámetros que se encuentran en equilibrio: pendiente (relación entre el punto de arranque y el nivel de base), tipo de carga (tamaño del sedimento transportado), caudal, estabilidad de los márgenes. Entre los principales efectos asociados al ascenso del nivel de base producido por el embalse de Río Hondo se encuentran: elevación del nivel freático - anegamientos, incremento en la salinización de los suelos, desbordes de los ríos e inundaciones.

#### Elevación del nivel freático

Ha llevado a que grandes extensiones de terreno permanezcan anegadas todo el año. La salinización de los suelos es el efecto natural por la elevación de la napa. Las barrancas de los ríos se reducen drásticamente, las fotografías corresponden al río Marapa sobre la ruta 157 y el río Medina 10 km aguas abajo de la ruta. Esta disminución de la sección transversal de los ríos facilita los desbordes de los cursos. Las rutas forman terraplenes artificiales que ocasionan que una vez taponada está vía de drenaje comiencen a anegarse las zonas adyacentes.

#### Perfiles de los ríos-geometría

El efecto que produce el cambio de nivel de base ha sido bien documentado. En general, los ríos que desembocan en el Embalse Termas de Río Hondo muestran una agradación de los cauces que varía entre 1 y 1,5 m, es decir que el piso del cauce es elevado reduciéndose la sección transversal del curso y ocasionando que crecientes menores superen la altura de las márgenes y se inundan las áreas adyacentes. Los cambios que se observaron en los cauces se relacionan a un aumento del anastomosamiento del río Salí antes de la desembocadura en el lago, que ocasionó la captura del río Gastona. El perfil original del río Marapa y el nivel freático en el año 1967, anterior a la habilitación del dique, estaban por debajo del nivel del lago. La habilitación del lago produce que la línea de equilibrio quede por encima de la anterior y que el río para adaptarse al nuevo perfil debe depositar sedimento en el cauce.

#### Avulsiones

- Río Medina

Se han sucedido 6 eventos principales de desborde y cambio de cauce en este río (figura 10). El de mayor envergadura es el producido en el año 1992 ya que el río Medina captura al arroyo Matazambi y ocupa su cauce. Note que todos los episodios de avulsión tienen un sentido aguas arriba desde el embalse, este es un comportamiento típico de una elevación del nivel de base. El problema más grave se planteará si el río Medina avulsiona nuevamente pero aguas arriba de la ruta 157, las consecuencias pueden ser de que la ruta sirva de canal y el curso se encauce hacia la ciudad de La Madrid al sur.

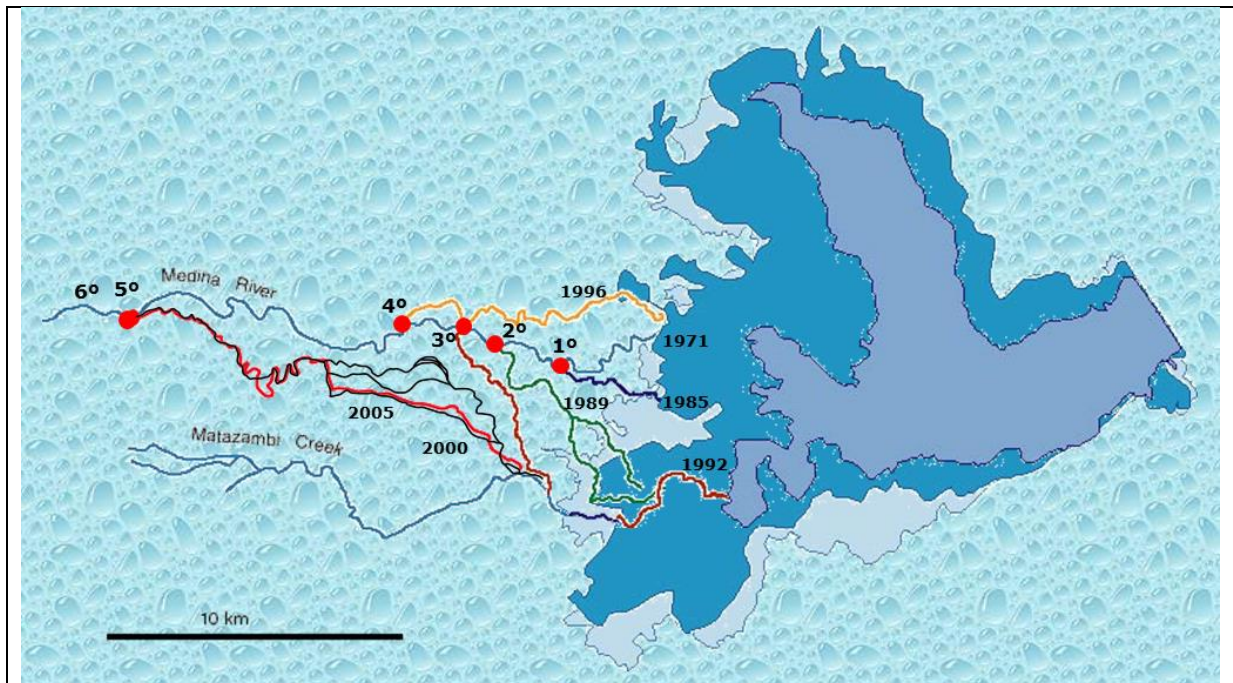


Figura 10. Avulsiones del río Medina entre 1971 y 2005, note el proceso de captura del arroyo Matazambi en la avulsión de 1992 (tomado de Georgieff, 2012).

- Río Marapa

En el caso del río Marapa tanto los procesos de migración lateral como las avulsiones han sido de poca envergadura o inexistentes debido al efectivo control ejercido por el embalse Escaba.

La figura 11 muestra la situación actual de la cuenca baja del río Marapa.

Parte superior de la figura 11, la línea roja se indica la canalización del tramo inferior del río San Francisco que produjo la erosión y transporte de  $30\text{Hm}^3$  de sedimento (provenientes tanto de la cuenca alta, como media y baja) durante las crecientes de abril de este año (Bravo, 2017). En línea celeste se indica el tramo inferior de un paleocauce del río San Francisco que puede reutilizarse, para ello es necesario implementar un desvío del río cerca del límite con la provincia de Catamarca, esta reocupación del cauce modificará la actual desembocadura del río a una posición de varios kilómetros aguas abajo de la ciudad de Lamadrid (asterisco amarillo a la derecha de la figura), esta propuesta conlleva el reacondicionamiento de los puentes sobre la RN 157 y RP 333. El asterisco amarillo a la izquierda indica la posición de la ciudad de Graneros. En línea verde se muestra la posición aproximada de un paleocauce del río Marapa que podría utilizarse como una alternativa para derivar futuros excedentes del río aguas arriba de la ciudad de La Madrid.

Parte inferior de la figura 11, es una ampliación del recuadro amarillo de la parte superior de la figura en la que puede observarse el paleocauce del río Marapa (línea verde) que podría funcionar como derivador de los excedentes durante épocas de crecienta. Hay que notar que el re-encuzamiento del río San Francisco y el funcionamiento del derivador del río Marapa ocasionarían una descarga simultánea en las cercanías del paraje denominado Sol de Mayo por lo que habría que considerar la relocalización de estos pobladores.

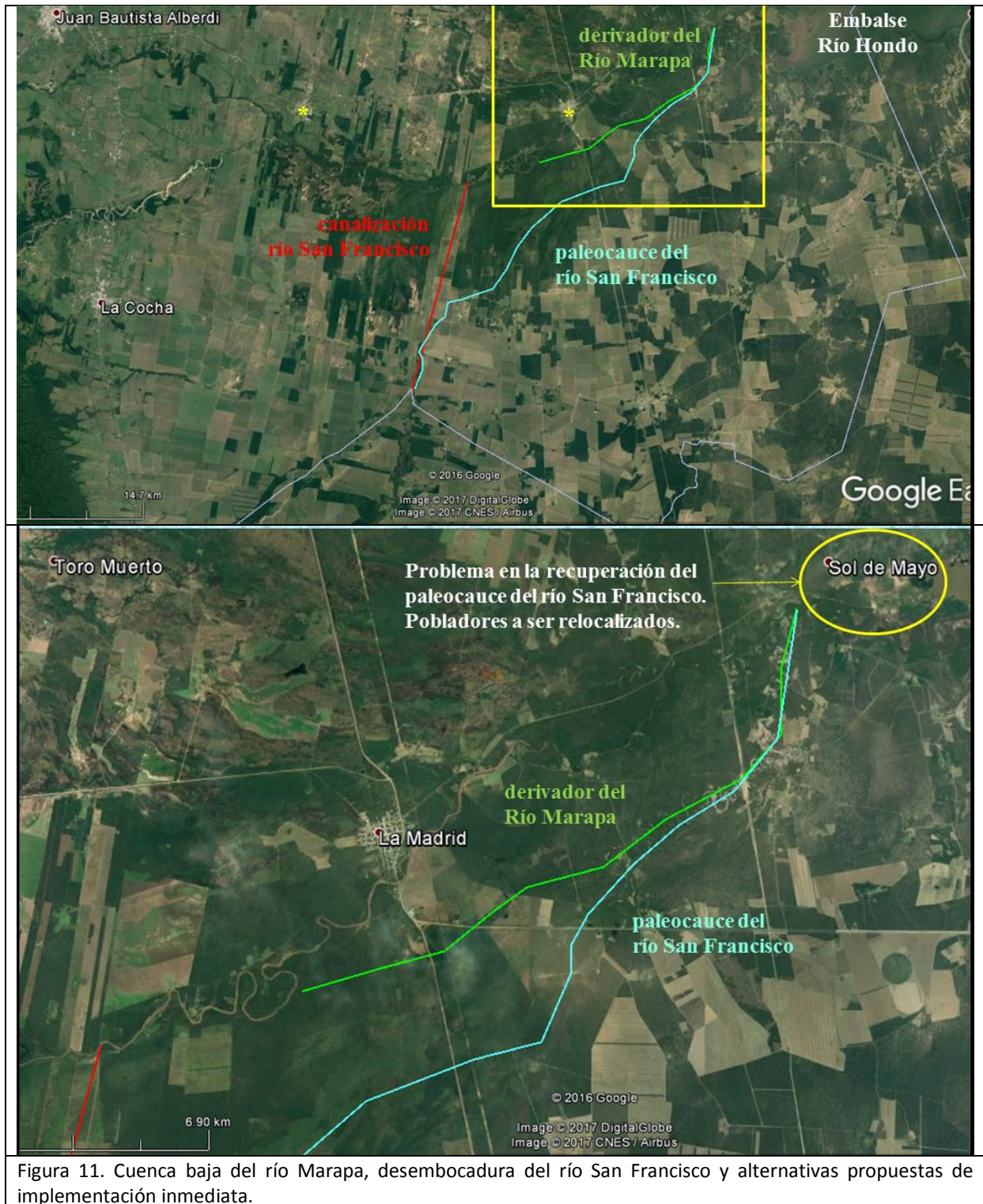


Figura 11. Cuenca baja del río Marapa, desembocadura del río San Francisco y alternativas propuestas de implementación inmediata.

### Consideraciones finales

- El incremento de las precipitaciones y de las áreas cultivadas son las causas principales de desbordes e inundaciones en la parte superior de los sistemas fluviales.

- Los embalses producen elevaciones del nivel de base que afectan los perfiles longitudinales y transversales de los ríos y elevan el nivel freático, provocando avulsiones e inundaciones. Este cambio está afectando la parte inferior del sistema fluvial y es cuantitativamente mayor que la influencia conjunta del incremento de las precipitaciones y la deforestación.
- La recuperación del área circundante al embalse de Río Hondo debe orientarse a una disminución del nivel freático (forestación de llanura) y a una estabilización de los márgenes de los ríos (forestación de riberas).
- Re-encauzamiento del río San Francisco.
- Acondicionamiento de un paleocauce derivador del río Marapa.
- Relocalización de los pobladores de Sol de Mayo.

### Bibliografía

- Díaz Gómez, A.R. 2015. Análisis de la vulnerabilidad a cambios climáticos y de uso del territorio de las cuencas hidrológicas del faldeo oriental de la sierra del Aconquija y del Sudoeste, Tucumán. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Tucumán.
- Díaz Gómez, A.R., Gaspari, F. y Georgieff, S.M. 2017. Aspectos morfométricos de cuencas subtropicales del Noroeste de Argentina. Acta geológica lilloana 29 (1). En prensa.
- Georgieff, S.M. 2007. Aspectos hidrológicos de la cuenca del río Salí. En D.S. Cicerone y M.V. Hidalgo (Eds.), Los humedales de la Cuenca del Río Salí, Argentina: 29-48. Jorge Baudino Ediciones Buenos Aires, ISBN 987-9020-68-5.
- Georgieff, S.M. 2012. Las causas de los desbordes e inundaciones en el sudeste de Tucumán: diagnóstico actual y perspectivas futuras. Taller: "Propuesta para la participación de los pobladores y las organizaciones sociales de la Cuenca Salí Dulce". Comité Interjurisdiccional de la Cuenca del Río Salí – Dulce. Villa Chicligasta, Tucumán.



**PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS**

**ANEXO 4a**

**CAMBIO CLIMÁTICO**

**OPERACIÓN DE EMBALSE DEL COMPLEJO DE  
ESCABA**

**AGR. CARLOS A. GIOBELLINA**  
*Subsecretaría de Recursos Hídricos*  
*Secretaría de Estado de Medio Ambiente*  
*Ministerio de Desarrollo Productivo*  
*Provincia de Tucumán*

**COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO**

**MAYO 2017**

↓

## **INFORME DE LA OPERACIÓN DEL COMPLEJO DE ESCABA**

### **1. INTRODUCCION**

El presente informe tratará de reflejar lo observado y analizado en la operación de embalse y desembalse del Complejo de Escaba, desde el 01 de Enero hasta el 10 de Abril de 2017; en un entorno climático variante pasando desde la escases al exceso del recurso hídrico.

Tomamos parte de lo elaborado por el equipo de profesionales que comenzamos a estudiar los eventos climáticos de fines de Marzo y comienzo de Abril que desencadenaron, entre otros daños, la inundación de la ciudad de Lamadrid.

Se formula finalmente un diagnóstico de la situación observada y se proponen líneas de acción tendientes a optimizar los aspectos estructurales y no estructurales del Complejo de Escaba.

### **2. METODOLOGÍA DE TRABAJO**

Se analizaron los informes semanales de Hidroeléctrica Tucumán S.A., que obran en poder de la Comisión de Embalse y Desembalse de los Complejos de Escaba, Pueblo Viejo y El Cadillal.

Se analizaron los Informes Técnicos de las Auditorías Ordinarias y Extraordinarias del Complejo de Escaba, realizadas entre el evento de Abril de 2015 y el transcurso de 2016.

Se analizaron las "Instrucciones y Recomendaciones" del Organismo Regulador de Presas (ORSEP), de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación, del Ministerio del Interior.

Se analizaron datos de precipitaciones promedio mensuales e intensidades de eventos provistos por la Sección de Agrometeorología de la EEAOC y la DRH.

Se evaluó el comportamiento de la cuenca media y baja del Río Marapa durante los eventos de precipitaciones de fines de Marzo y comienzo de Abril de 2017; inspeccionando las secciones de control que la SSRH-SEMA relevaron y aforaron en el transcurso de 2016.

### **3. DESARROLLO**

A los fines del presente informe, dividiremos el trabajo en la observación de la operación de embalse y desembalse del Complejo de El Cadillal, y luego del Complejo de Escaba.

**Gráfico 1**

**HIDROELECTRICA TUCUMAN - COTAS NIVEL Y APORTES EMBALSE EL CADILLAL - AÑO 2017**

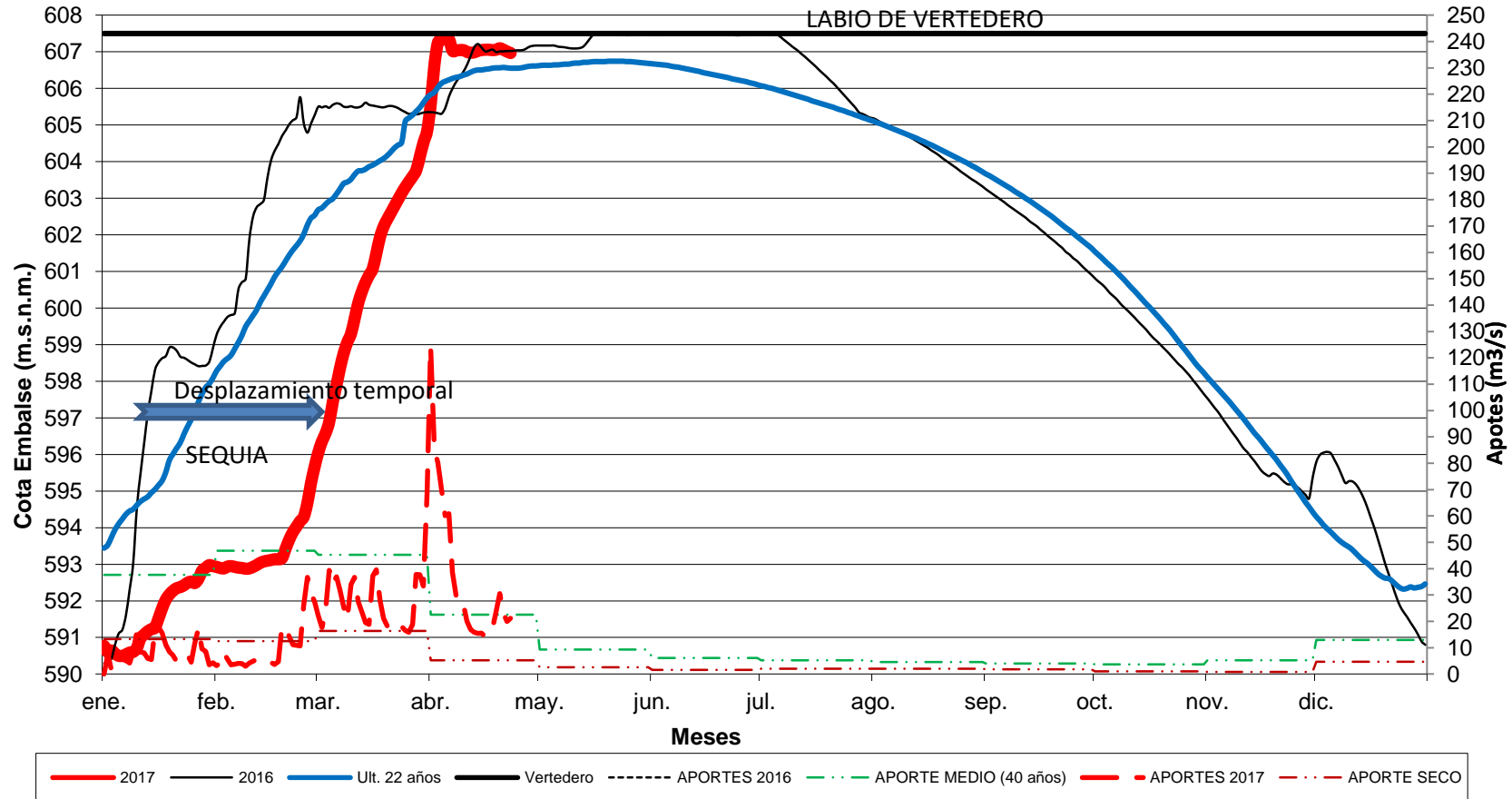


Gráfico 1: Se observa una marcada "sequía" en la cuenca de aporte en los meses de Enero y Febrero, tanto en la curva de nivel de embalse (rojo grueso) como en la línea de caudal de aporte (trazo fino rojo). Relativo al período 2016 (negro fino) como al promedio histórico (trazo azul).

## **NUEVOS ESCENARIOS CLIMATICOS : EMBALSE DE ESCABA** **SEQUIA HASTA EL 07/III. HÚMEDO DESDE 28/III/2017**

**Cotas y aportes Escaba - 2017**

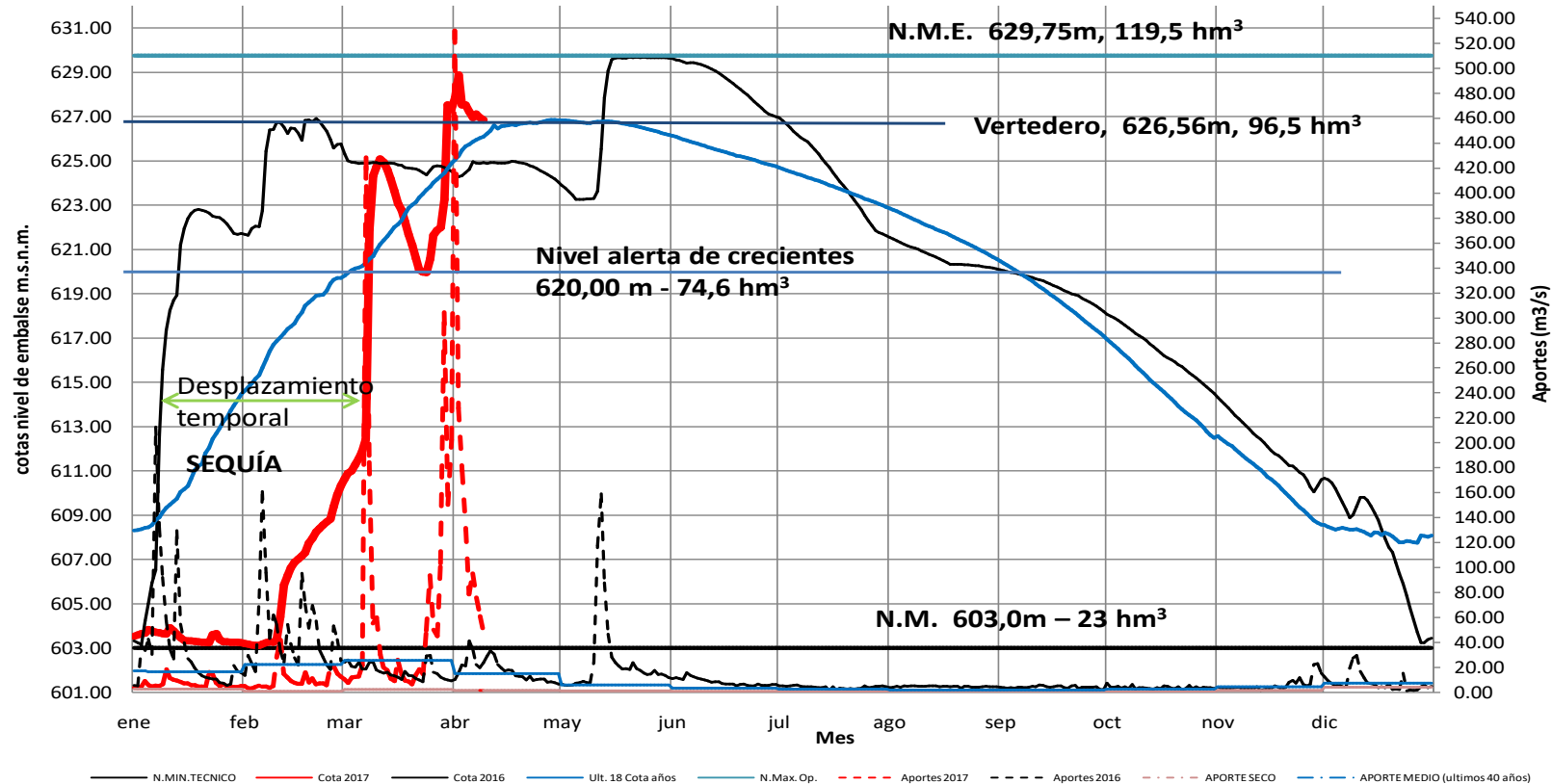
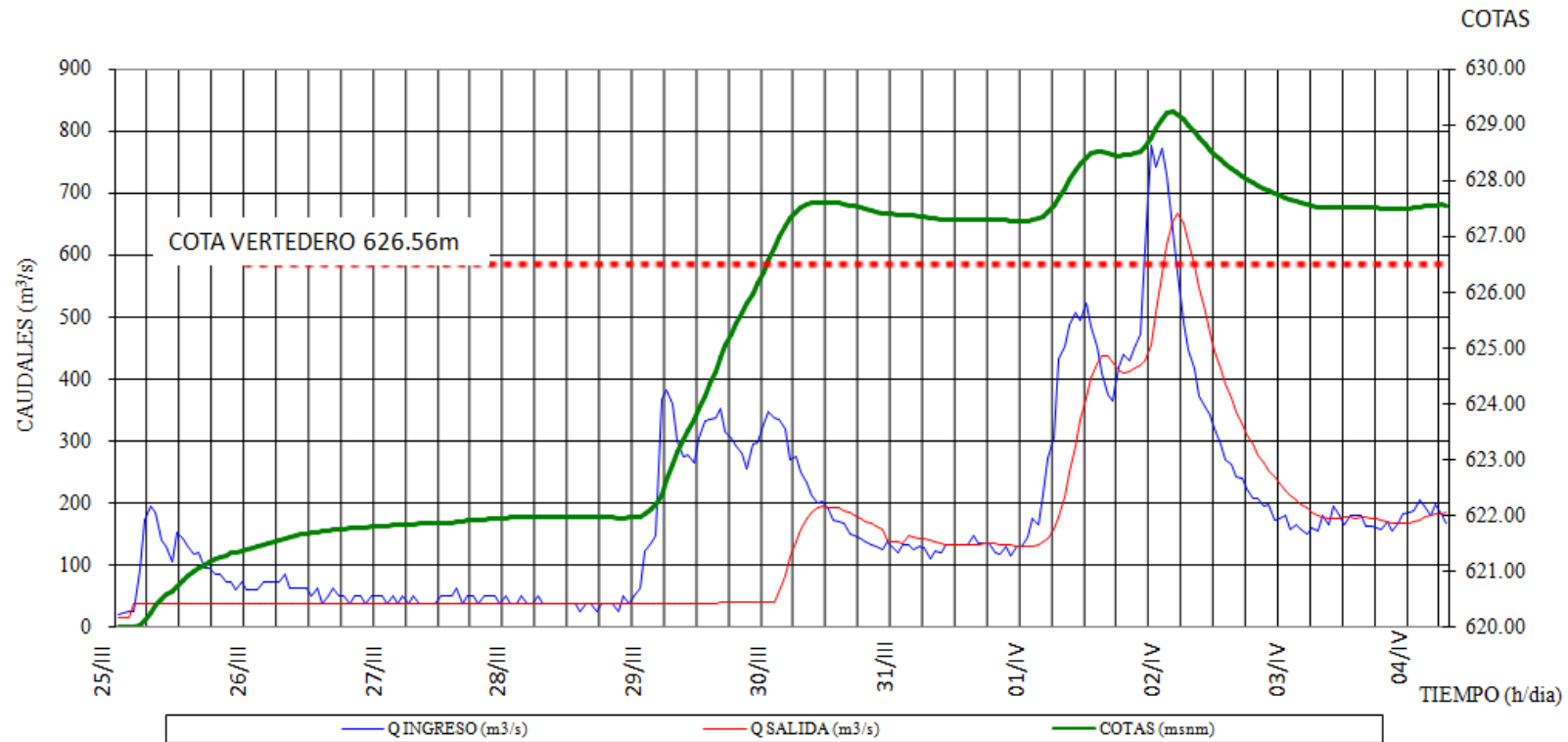


Gráfico 2: Se observa una marcada "sequia" en la cuenca de aporte en los meses de Enero y parte de Febrero, tanto en la curva de nivel de embalse (rojo grueso) como en la línea de caudal de aporte (trazo fino rojo). Relativo al período 2016 (negro fino) como al promedio histórico (trazo azul). El 7 de Marzo es la primera lluvia importante en la Cuenca superior Chavarría-Singuil.

## **OPERACIÓN DE CRECIENTES EMBALSE ESCABA POR INSTRUCCIÓN DEL ORSEP HASTA QUE SE VERIFIQUE EL ESTADO ESTRUCTURAL**



**La integral de la curva de caudales de aportes (línea azul) es igual al volumen ingresado al embalse.**

### Tabla de aportes y egresos diarios del Embalse de Escaba

Fecha	Q erogad prom. 24h (m <sup>3</sup> /s)	Q aporte prom. 24 h (m <sup>3</sup> /s)	Vol. aporte (hm <sup>3</sup> /día)	Max. Q Aporte (m <sup>3</sup> /s)
26/03/2017	38	72	12.46	153
27/03/2017	38	45	3.88	62
28/03/2017	38	92	7.98	382
29/03/2017	67	304	26.27	353
30/03/2017	163	159	13.74	252
31/03/2017	146	163	14.11	433
01/04/2017	466	523	45.21	777
02/04/2017	308	235	20.29	418
03/04/2017	177	177	15.34	206

**159.28 hm3**

45.21

**Creciente TR > 50 años**

#### 4. CONCLUSIONES

El embalse y desembalse del Complejo de Escaba, para el período 01/Enero/17 al 30/Abril/17, se realizó de acuerdo a las recomendaciones del Ing Zamanillo producto de la “Auditoría Extraordinaria Hidráulica e Hidrológica”, a similar recomendación del Consultor Dr Ing Bremen y a la “Instrucción – Recomendación” impartida por la autoridad en seguridad de presas “ORSEP”.

Dicha norma de operación fue la de adoptar como nivel de espera de crecientes la cota 620,00m manteniendo el Nivel Máximo Extraordinario (N.M.E.) del embalse en cota 629,75 m, durante el período 01 de Enero al 30 de Abril, y con apertura de compuertas del Vertedero según tabla siguiente.

Cota Embalse	Apertura de compuerta
(m.s.n.m.)	(m)
620,00	0,70
627,30	0,70
627,35	3,50

Superado el nivel de espera de crecientes en cota 620,00 m, se operó con la máxima capacidad actual de los órganos de alivio de fondo que permiten erogar un caudal  $Q = 38 \text{ m}^3/\text{s}$ , compuestos por dos grupos de generación hidroeléctrica ( $7 \text{ m}^3/\text{s}$  cada uno) y dos Válvulas de Riego ( $12 \text{ m}^3/\text{s}$  cada una); destacando que se encuentran sin operar un tercer grupo de generación y la Válvula del Descargador de Fondo.

Se solicitó a Hidroeléctrica Tucumán S.A. un informe detallado referente a la “operación real del Complejo de Escaba” en el período del 28 de Marzo al 04 de Abril de 2017.

El detalle de lo solicitado, fue contestado el 19 de Abril de 2017 mediante expediente Nro 183/630-HT-2017, el cual también agrego fotocopia al presente informe como “Anexo 4.b. HTSA. Expte 183.630.HT.2017.pdf”.

Analizado la respuesta de H.T. S.A., con sus informes técnicos respectivos, podemos asegurar que tuvimos un evento climático extraordinario en la cuenca (alta) de aporte al embalse del Complejo de Escaba, habiéndose registrado en solo 24 horas un aporte de  $45,2 \text{ hm}^3$  a Escaba entre las 8h del día 01 de Abril y las 7h del día siguiente 02 de Abril; con un caudal pico de  $777 \text{ m}^3/\text{s}$  a las 0h del día 02/Abril, llegando a un nivel máximo de embalse Cota = 629,09 m a las 03h del día 02/Abril y erogándose un caudal máximo de  $Q = 639 \text{ m}^3/\text{s}$  a las 03h del mismo día.

Desde la cota 620,00 m que se logró mantener hasta las primeras horas del día 25 de Marzo, debido a las intensas lluvias en la cuenca alta de aporte al Complejo de Escaba, registramos un volumen superior a los **159,3 hm<sup>3</sup>** hasta el día 04 de Abril, destacando que dicho volumen es casi el doble de la capacidad útil del embalse, que entre las cotas 620m (Nivel de espera de crecientes ORSEP.2017) y la 629,75m N.M.E. resultan de **46,2 hm<sup>3</sup>**; y si consideramos el volumen entre la cota 603m (nivel mínimo de embalse) y la del N.M.E. de **97,3 hm<sup>3</sup>**. Lo cual quiere decir que el volumen ingresado entre el 25/Marzo y el 04/Abril (159,3 hm<sup>3</sup>) es de 3,4 veces el volumen entre el nivel de espera de crecientes y el N.M.E.

Observando los datos volcados en la “Tabla de aportes y egresos diarios del Embalse de Escaba”, el día 01/Abril ingresó un volumen de 45,2 hm<sup>3</sup> equivalente a un tiempo de retorno TR > 50 años, lo que nos dice que estuvimos ante un evento climático extraordinario.

## **5. PROPUESTAS**

### **ESCENARIO ACTUAL DEL COMPLEJO DE ESCABA**

Los eventos climáticos extremos registrados en los últimos años (2000, 2015, 2017) nos introducen una nueva variable de análisis para estudiar el nuevo y cambiante escenario relativo a la operación del Complejo de Escaba en particular y de los otros Complejos hidro energéticos en general.

En la operación efectiva de Escaba en el período 2017 (01 de Enero a 30 de Abril) se adoptaron medidas de “seguridad de Presa” que modifican los supuestos contractuales en:

- 1) Modifica el nivel de espera de crecientes a cota 620,00 m, con respecto al establecido en cota 624,92 m por el último Manual de operación de Escaba aprobado.
- 2) Extiende en un mes la operación del embalse, estableciéndola desde el 01 de Enero al 30 de Abril, cuando dicho período era hasta el 31 de Marzo.

### **Las modificaciones antes citadas, que obedecen a aspectos de “seguridad”, implican una urgente revisión contractual.**

Mientras que los efectos de los eventos extremos registrados en los últimos años, ponen en evidencia que al Complejo de Escaba para un adecuado funcionamiento tanto en período de “atenuación de crecientes” como en el período de atención a los múltiples usos consuntivos (agua para industria, riego, bebida animal, generación hidro eléctrica), hay que realizarle obras de adecuación de su estructura para mejorar su performance,



disminuida o perdida por efectos del cambio climático, en por lo menos los siguientes aspectos:

- 3) Aumentar la capacidad de los órganos de alivio de fondo ó de media altura (entre cotas 603,00m y 620,00m) para poder evacuar caudales suficientes y recuperar en forma rápida el volumen de atenuación de crecientes. Esto es necesario para devolverle la seguridad hidrológica al Complejo de Escaba.
- 4) Aumentar la capacidad del Vertedero, para gestionar adecuadamente los caudales registrados en los últimos eventos climáticos en la cuenca alta, cuya capacidad actual es de 1.000 m<sup>3</sup>/s, habida cuenta que en el evento climático de Abril/2015 se registraron caudales pico instantáneos muy superiores a los de diseño del vertedero (aprox. 1.800 m<sup>3</sup>/s).
- 5) Recuperar la operación del tercer grupo de generación. Fuera de servicia por problemas electro mecánicos desde hace más de dos décadas.
- 6) Realizar una efectiva limpieza de fondo y/u otras medidas estructurales para devolver la operación del descargador de fondo, hoy fuera de servicio por colmatación de la torre de toma y del túnel de conducción.
- 7) Estudiar las alternativas de construcción de represas en la cuenca alta y aguas arriba del actual embalse. Como opción de aumentar la capacidad de atenuación de crecientes y disminuir el riesgo hidrológico de la cuenca media y baja del Río Marapa-Graneros.
- 8) Estudios y proyectos para la readecuación del cauce del Río Marapa-Graneros, en la cuenca media y baja, con el fin de aumentar la capacidad de transporte de los excedentes hídricos producto de los fenómenos climáticos extremos.
- 9) Medidas no estructurales: A) Sistema de alerta temprana (S.A.T.) hidro meteorológica, en la cuenca alta de aporte al Complejo de Escaba. B) Instalación urgente del RADAR meteorológico en la vecina provincia de Santiago del Estero. C) Ordenamiento territorial hídrico ambiental de la cuenca alta de aporte al embalse. D) Estudio de la hidrología de la cuenca alta del embalse de Escaba, ampliada a la cuenca del Río San Ignacio, teniendo en cuenta la recurrencia de eventos extremos ocurridos en 2015 y 2017.

**Fdo.: Agrim. Carlos Alberto Giobellina**

PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS

## **ANEXO 4.b**

### **REGISTROS OPERACIÓN DE EMBALSE COMPLEJO DE ESCABA – 25/03/2017 AL 04/04/2017**

Aportado por:

**AGR. CARLOS A. GIOBELLINA**  
*Subsecretaría de Recursos Hídricos*  
*Secretaría de Estado de Medio Ambiente*  
*Ministerio de Desarrollo Productivo*  
*Provincia de Tucumán*

**COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO**

**MAYO 2017**

San Miguel de Tucumán, Abril 17 de 2017

**Sr. Gerente**

**Hidroeléctrica Tucumán S.A.**

**CPN Mario Corán**

**Don Bosco N° 2929. S.M.T.**

Ref.: Operación del embalse de Escaba. Periodo: 28 de marzo al 04 de abril de 2017

De nuestra mayor consideración

Nos dirigimos a Usted, en vista de los acontecimientos meteorológicos recientes, con efectos de público conocimiento en una vasta zona del sur tucumano, solicitamos a ustedes información detallada de:

- 1) Operación del embalse de Escaba. Hidrograma de creciente cada 15min, y de erogación. De acuerdo a lo efectivamente actuado en la operación de embalse - desembalse.
- 2.a) Simulación matemática de operación del embalse en base a igual hidrograma, aplicando el procedimiento de apertura de compuertas de vertedero propuesto por HTSA (norma 3 post Zamanillo) y con la última norma aprobada (vigente en Abril 2015). Comparación de los tres hidrogramas de salida, conclusiones.
- 2.b) Riesgos asociados de los tres métodos de manejo de compuertas, p.e. picos de erogaciones superiores a 300 m<sup>3</sup>/s, o superar el NME, etc.
- 3) Datos pluviométricos registrados en Escaba y de la cuenca superior.
- 4) Comunicaciones de crecientes. Metodología de comunicaciones utilizadas (p.e. correo electrónico, mensajes txt, radial y/o telefónicas), distribución temporal (p.e. "horaria"), listado de Organismos y personas comunicadas.
- 5) Comunicaciones especiales: ¿se realizaron comunicaciones especiales?, ¿a quienes (p.e. Delegado de Lamadrid, Intendente de Graneros)?, ¿fueron telefónicas y/o mensajes de txt?; en caso afirmativo los horarios aproximados de las comunicaciones especiales.

A la espera de vuestros comentarios, sirva la presente de atenta nota de solicitud de informes.



AGRIENSOR CARLOS ALBERTO GIOBELLINA  
SUB. SECRETARIO DE RECURSOS HÍDRICOS

Muy IMPORTANTE



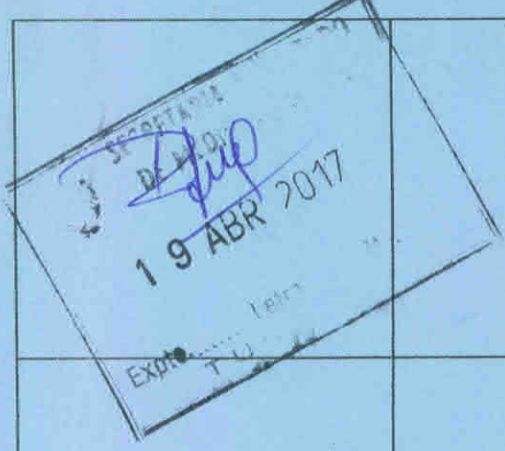
# MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO

## Secretaría de Estado de Medio Ambiente

EXPEDIENTE <u>183/630</u>	LETRA: <u>HT</u>	AÑO: <u>2017</u>
---------------------------	------------------	------------------

CAUSANTE	<u>Hidroeléctrica Tucumán S.A.</u>
ASUNTO	<u>Ref: Nota n° 007-66 2017- Informe operación</u> <u>Escriba 28/03/17 al 04/04/17. —</u>

### SELLOS IDENTIFICATORIOS DE LAS MESAS DE ENTRADAS Y SALIDAS

### EXPEDIENTES Y OTROS AGREGADOS

Nº	LET.	AÑO	CAUSANTE	ASUNTO	FOLIOS

### EXPEDIENTES Y OTROS DESAGREGADOS

Nº	LET.	AÑO	CAUSANTE	ASUNTO	FOLIOS

ARCHIVO



San Miguel de Tucumán, 18 de Abril de 2017

**Secretaría de Estado de Medio Ambiente  
Señores Comisión Coordinadora  
de Embalse y Desembalse de las Presas EL CADILLAL, ESCABA y  
Aprovechamiento Hidroeléctrico PUEBLO VIEJO  
Ing. Alfredo MONTALVÁN**

Haití 197

4000 – S. M. de Tucumán

Ref.: Nota N° 007 -GG-2017. Informe operación Escaba 28 marzo  
al 4 de abril 2017.

De acuerdo a vuestro pedido de nota del 17/04/17 y en el mismo orden, se realiza el siguiente informe. Cabe aclarar que hemos extendido el período solicitado al 25 de marzo del 17, ya que desde esa fecha se inicia el ascenso del nivel de embalse.

- 1) OPERACIÓN DEL EMBALSE DE ESCABA. HIDROGRAMA DE CRECIENTE CADA 15MIN, Y DE EROGACIÓN. DE ACUERDO A LO EFECTIVAMENTE ACTUADO.

Se transcriben los datos de operación del embalse en frecuencia horaria. Los datos no se registraron cada 15 minutos como se lo solicita, ya que la Norma de Operación de Manejo de Compuertas aplicada (Ing. Zamanillo, ver Expte. 135/630), al tener sólo dos aperturas de compuertas, no aplica a dicho período.

En soporte magnético adjunto a la presente el archivo electrónico correspondiente.

**DATOS HORARIOS EVOLUCION EMBALSE ESCABA. 24/3/17 AL 04/04/17**

AÑO		Completar solamente las columnas en amarillo														
Mes		Cota del Embalse [msnm]	Q1 Potencia de Carga [MW]	Q3 Potencia de Carga [MW]	Cantidad de Válvulas Howell Burger Abiertas	Porcentaje de Apertura Válvula Howell Burger	Apertura de compuertas de Vertedero							Caudal Total Erogado [m³/s]	Caudal Aporta [m³/s]	Observaciones
DÍA	HORA						C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7			
							0, 10, 20, 30, 40, 50,									
25	00	620,00	8,30	8,60	0	0	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	16	24	
	01	620,01	8,30	8,60	0	0	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	16	26	
	02	620,02	8,30	8,60	0	0	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	16	28	
	03	620,06	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	37	34	
	04	620,20	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	37	173	
	05	620,34	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	197	
	06	620,47	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	168	
	07	620,36	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	141	
	08	620,64	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	130	
	09	620,70	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	107	
	10	620,80	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	107	
	11	620,89	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	103	
	12	620,97	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	142	
	13	621,04	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	131	
	14	621,11	8,30	8,60	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	119	
	15	621,16	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	120	
	16	621,21	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	96	
	17	621,25	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	87	
	18	621,29	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	85	
	19	621,32	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	85	
	20	621,35	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	73	
	21	621,37	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	73	
	22	621,40	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	82	
23	621,42	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	74		
26	00	621,44	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	62	
	01	621,46	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	62	
	02	621,48	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	62	
	03	621,52	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	74	
	04	621,55	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	74	
	05	621,58	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	74	
	06	621,62	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	74	
	07	621,64	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	86	
	08	621,66	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	62	
	09	621,68	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	62	
	10	621,70	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	62	
	11	621,71	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	62	
	12	621,73	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
	13	621,73	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38	
	14	621,74	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38	
	15	621,76	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
	16	621,77	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	62	
	17	621,78	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
	18	621,78	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
	19	621,79	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38	
	20	621,80	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
	21	621,80	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
	22	621,81	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38	
23	621,82	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50		
27	00	621,83	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
	01	621,83	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
	02	621,84	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38	
	03	621,84	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
	04	621,85	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38	
	05	621,85	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
	06	621,86	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38	
	07	621,86	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
	08	621,86	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38	
	09	621,86	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38	
	10	621,86	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38	
	11	621,87	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38	
	12	621,89	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50	
13	621,89	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50		
14	621,91	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50		
15	621,91	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	62		
16	621,92	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38		
17	621,93	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50		
18	621,93	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50		
19	621,94	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	38		
20	621,95	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50		
21	621,96	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50		
22	621,96	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	50		
23	621,97	8,40	8,70	2	50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	38	60		



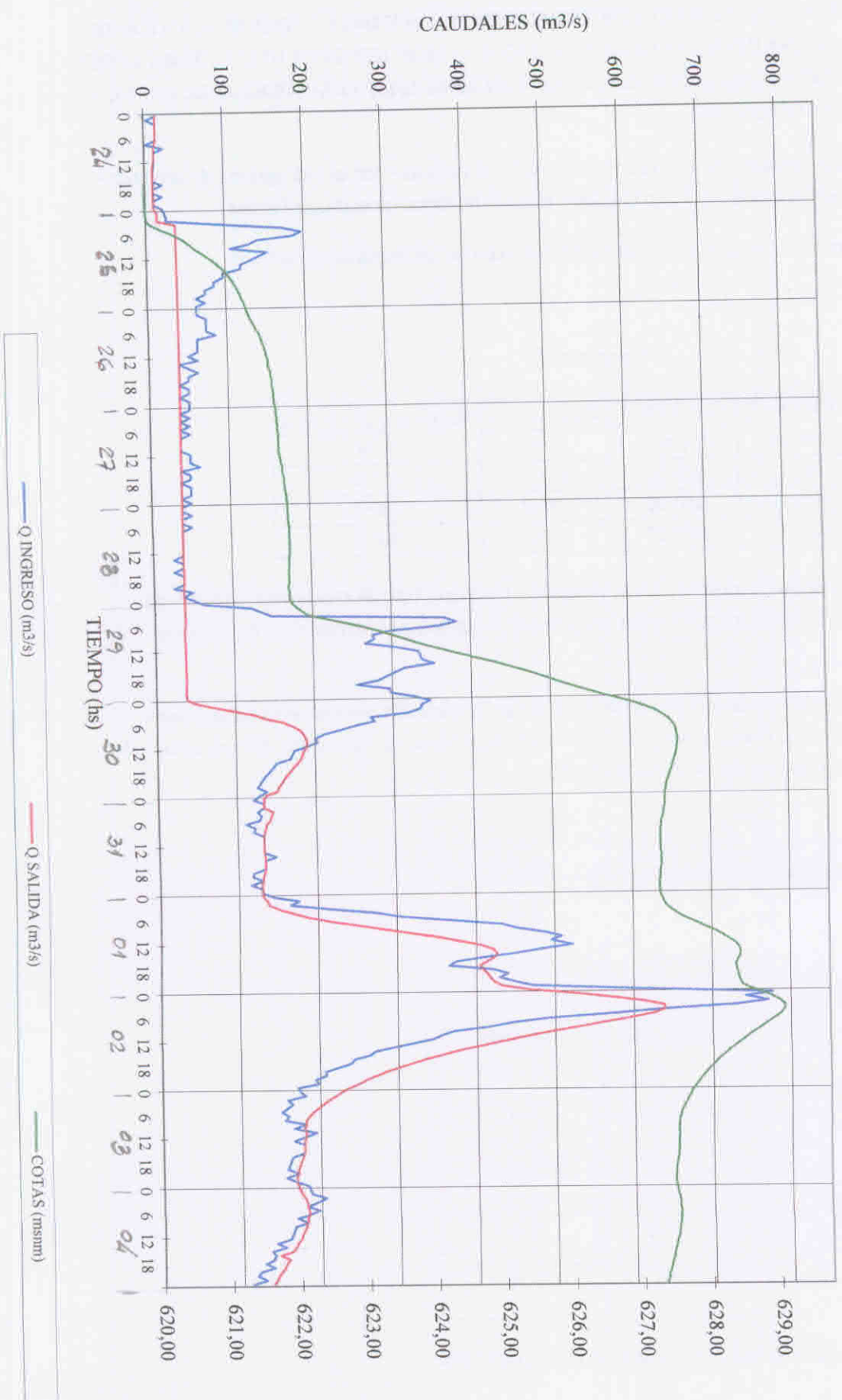
AÑO		Completar solamente las columnas en amarillo												Caudal Total Erogado (m³/s)	Caudal Aporte (m³/s)	Observaciones
2017		Cota del Embalse (msnm)	G1 Potencia de Carga (MW)	G2 Potencia de Carga (MW)	Cantidad de Volantes por Buzo Abiertos	Porcentaje de Apertura por Buzo	Apertura de compuertas de ventilado									
DÍA	HORA						C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7			

28	00	621.97	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	01	621.97	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	02	621.98	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	03	621.98	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	04	621.98	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	05	621.99	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	06	621.99	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	07	621.99	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	08	621.99	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	09	621.99	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	10	621.99	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	11	621.99	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	12	621.99	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	13	621.98	8.40	8.70	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	14	621.98	8.40	8.40	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	15	621.98	8.40	8.60	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	16	621.97	8.40	8.60	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	17	621.97	8.40	8.60	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	18	621.97	8.40	8.60	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	19	621.97	8.40	8.60	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	20	621.96	8.10	8.10	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	21	621.97	8.10	8.10	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
	22	621.97	8.10	8.10	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38	
23	621.98	8.40	8.60	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	38	38		
00	622.00	8.40	8.60	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	63		
01	622.07	8.40	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	123		
02	622.15	8.40	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	135		
03	622.24	8.40	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	148		
04	622.31	8.40	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	167		
05	622.79	8.40	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	262		
06	623.05	8.50	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	290		
07	623.38	8.50	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	289		
08	623.45	8.50	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	276		
09	623.64	8.80	8.90	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	278		
10	623.82	8.80	8.90	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	286		
11	624.03	8.80	8.90	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	305		
12	624.26	8.90	8.90	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	318		
13	624.49	8.90	8.90	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	329		
14	624.72	8.70	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	339		
15	624.96	8.70	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	353		
16	625.17	8.70	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	375		
17	625.37	8.70	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	385		
18	625.58	8.70	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	393		
19	625.74	8.70	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	381		
20	625.90	8.50	8.90	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	255		
21	626.09	8.50	8.90	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	297		
22	626.28	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	298		
23	626.49	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	39	327		
00	626.71	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	48	347		
01	626.91	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	76	337		
02	627.08	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	87	335		
03	627.24	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	123	326		
04	627.34	8.60	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	168	271		
05	627.43	8.70	8.70	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	169	277		
06	627.49	8.70	8.70	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	173	252		
07	627.53	8.70	8.70	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	180	254		
08	627.55	8.80	8.80	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	186	252		
09	627.56	8.80	8.80	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	188	263		
10	627.57	8.20	7.80	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	189	263		
11	627.57	8.20	8.00	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	190	168		
12	627.56	7.40	7.50	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	186	174		
13	627.55	7.40	7.50	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	184	171		
14	627.54	7.50	7.80	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	182	169		
15	627.52	7.50	7.70	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	178	152		
16	627.50	7.60	7.80	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	173	147		
17	627.48	7.60	7.60	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	169	143		
18	627.48	7.20	7.40	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	164	138		
19	627.44	7.20	7.40	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	160	134		
20	627.42	8.00	8.00	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	159	134		
21	627.40	8.00	8.00	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	157	130		
22	627.39	8.00	8.00	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	150	127		
23	627.38	0.00	0.00	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	152	136		
00	627.37	0.00	0.00	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	152	121		
01	627.37	0.00	0.00	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	152	134		
02	627.37	0.00	0.00	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	154	134		
03	627.36	8.50	8.50	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	146	126		
04	627.35	8.50	8.50	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	144	120		
05	627.34	8.50	8.50	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	143	128		
06	627.32	8.50	8.50	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	138	111		
07	627.31	8.50	8.50	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	136	123		
08	627.30	8.80	8.80	2	50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	134	121		
09	627.30	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	133	124		
10	627.30	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	133	123		
11	627.30	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	133	123		
12	627.30	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	133	122		
13	627.30	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	133	123		
14	627.31	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	134	146		
15	627.31	8.80	8.80	2	50	0.70	0.70	0.70								





**CRECIENTE 24/3 AL 4/04/17  
 PRESA DE EMBALSE ESCABA**



2.a.) SIMULACION MATEMÁTICA DE OPERACION DEL EMBALSE EN BASE A IGUAL HIDROGRAMA, APLICANDO EL PROCEDIMIENTO DE APERTURA DE COMPUERTAS DE VERTEDERO PROPUESTO POR HTSA (NORMA 3 POST ZAMANILLO) Y CON LA ULTIMA NORMA APROBADA (VIGENTE EN ABRIL 2015). COMPARACION DE LOS TRES HIDROGRAMAS DE SALIDA, CONCLUSIONES.

En cuadro nº 1 siguiente se presentan los resultados de modelar el embalse con el hidrograma de creciente correspondiente al 24/3 al 4/4/17, registrado en caudales medios horarios en el dique Escaba.

En soporte magnético adjunto a la presente el archivo electrónico con las modelizaciones.

**Cuadro nº 1**

Norma Operación Compuertas	COTA MAX m. s. n. m.	$Q_{MAX E-H}$ (m <sup>3</sup> /s) m <sup>3</sup> /s	$Q_{MAX E-24}$ (8 a 7 hs.) (m <sup>3</sup> /s) m <sup>3</sup> /s
Norma 3	629,58	818,1	421,9
Vigente	630,06	755,2	399,8
Real	629,09	639,0	466,0

Del cuadro anterior se concluye que la norma más aconsejable, para este tipo de crecientes, es la usada (Zamanillo). Esto se fundamenta en el menor caudal instantáneo erogado, y el menor nivel de embalse alcanzado.

Se aclara que la creciente acaecida es de una duración 3 a 4 veces, la duración para la cual se estimaron como las de mayor riesgo para la presa Escaba (24 horas). Todas las normas de operación comparadas, salvo la Norma Vigente, fueron confeccionadas bajo esa premisa.

Las normas usadas tienen las siguientes características.

### Norma 3

Cota Embalse	Apertura Compuertas
(msnm)	(m)
624.50	0.70
627.30	0.70
627.35	3.50

Nivel de espera de crecientes: 624.50 m.s.n.m. (1 de enero a 30 de abril).

**Norma Vigente**

Cota Embalse (msnm)	Apertura Compuertas (m)
624.92	0.65
629.60	0.65
629.75	1.00
629.85	1.20
629.90	1.40
629.95	1.80
630.00	1.90
630.05	2.00
630.10	2.50
630.30	3.00
630.35	3.50
631.90	3.50

Nivel de espera de crecientes: 624.92 m.s.n.m. (1 de enero a 31 de marzo).

**Norma S/Zamanillo (operación real)**

Cota Embalse (msnm)	Apertura Compuertas (m)
620.00	0.70
627.30	0.70
627.35	3.50

Nivel de espera de crecientes: 620.00 m.s.n.m. (1 de enero al 30 de abril).

2.b.) RIESGOS ASOCIADOS DE LOS TRES METODOS DE MANEJO DE COMPUERTAS, P.E. PICOS DE EROGACION SUPERIORES A 300M3/S, O SUPERAR EL NME, ETC.

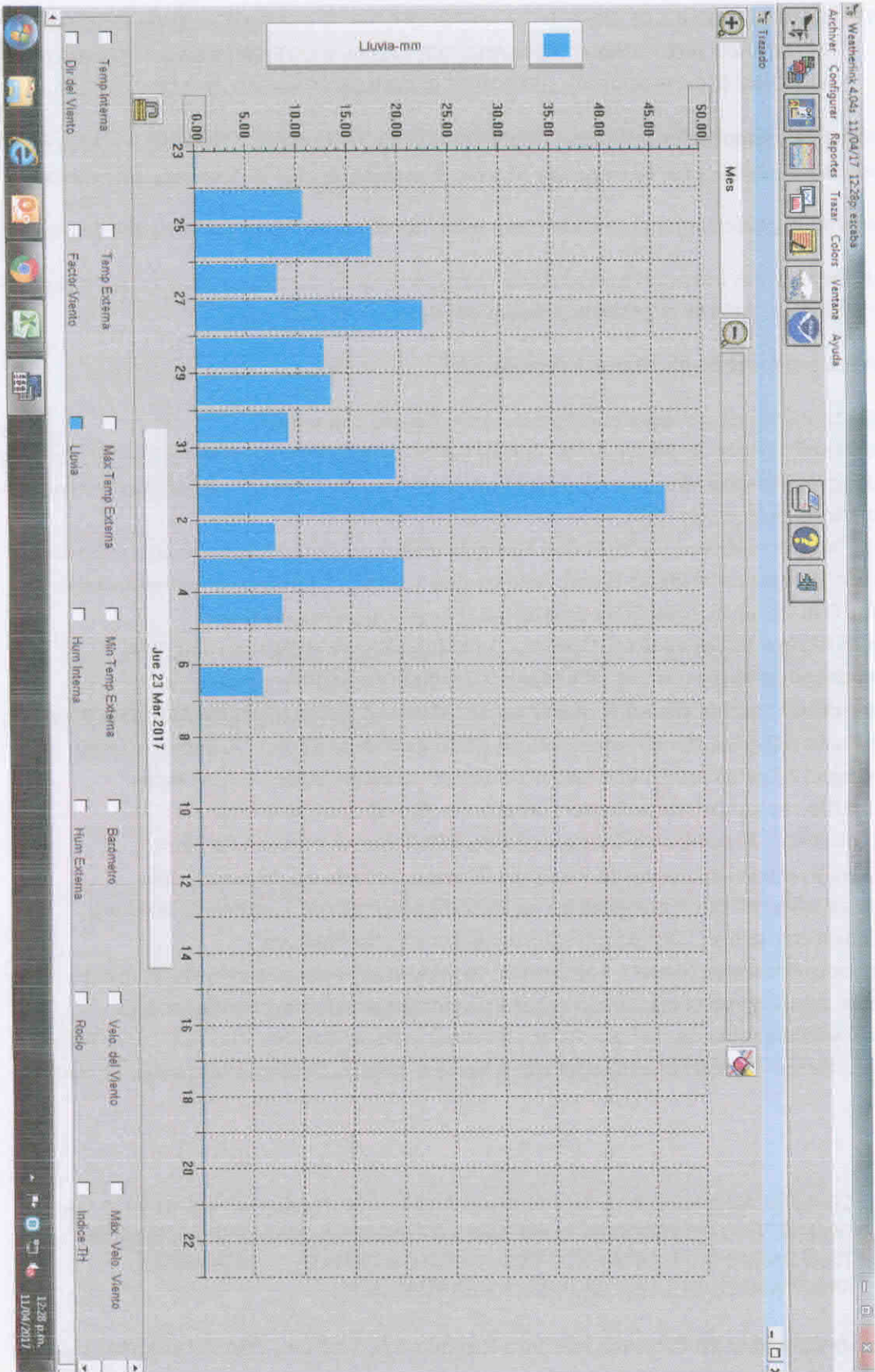
Del cuadro N° 1 también se determina que con todas las normas se superarían los 300 m3/s de erogación instantánea y que, con la Norma Vigente, el nivel de embalse superaría el Nivel Máximo Ordinario (629.75).

3) DATOS PLUVIOMETRICOS REGISTRADOS EN ESCABA Y DE LA CUENCA SUPERIOR

Se añade un cuadro con las precipitaciones acumuladas diarias en el período, registradas por la estación meteorológica de la Empresa, ubicada en el dique Escaba. En soporte magnético adjunto a la presente se acompaña la serie de datos horarios.

No contamos con otra fuente de información meteorológica.

PRECIPITACIONES ACUMULADAS DIARIAS. ESTACION ESCABA.



4) COMUNICACIONES DE CRECIENTES. METODOLOGÍA DE COMUNICACIONES UTILIZADAS (P.E. CORREO ELECTRÓNICO, MENSAJES TXT, RADIAL Y/O TELEFÓNICAS), DISTRIBUCIÓN TEMPORAL (P.E. "HORARIA"), LISTADO DE ORGANISMOS Y PERSONAS COMUNICADAS.

El sistema de comunicaciones horarias usado desde el día 25 de marzo a las 03:00 hs., hora en que se abren los descargadores de riego por superar el nivel 620.00, fue el del correo electrónico.

En soporte magnético adjunto se encuentran todos los mensajes desde esa fecha al 4 de abril.

La lista de personas a las que se envió dicho correo, en la que Ud. estaba incluido, fue mutando en el período por adición de direcciones, algunas de ellas por Ud. solicitadas.

Se listan a continuación las mismas a continuación:

Agustin perelmut <agustinperelmut@gmail.com>; Alfredo Montalbán (amontalvan01@yahoo.com.ar); Anibal Comba (anibalcombaa@yahoo.com.ar); Blanca Dominguez (bdominguez@orsep.gob.ar); Carlos Giobellina (cgiobellina@herrera.unt.edu.ar); Carlos Giobellina (geomatico@gmail.com); Carlos Raya <careduraya@gmail.com>; Cuni Cejas (cuniet\_91@hotmail.com); Defensa Civil Tucumán (defensacivil@tucuman.gov.ar); Defensa Civil Tucumán (guardia.ccr.dc@gmail.com); Defensa Civil Tucumán 1 (proteccivtuc@hotmail.com); Defensa Civil Tucumán 2 (defcivilprocadif@tucuman.gov.ar); Desiderio Dode (ddode@recursoshidricos.gov.ar); Domingo Caridi (domingocaridi@gmail.com); DPA (carlomariocchi@yahoo.com.ar); DPA (dpa.privado@gmail.com); Fernando Torres (fettorresdciv@tucuman.gov.ar); fernando torres.. <fernando.jorge.torres@gmail.com>; Francisco Alanis (fnalanis@gmail.com); Francisco Alanis (fnalanis@hotmail.com); Guillermo Niederle (niederlegal12@gmail.com); Hebe Amparo <hebeamparo@gmail.com>; Hebe Barber (hbarber@orsep.gob.ar); Hebe Barber (hebebarber@gmail.com); Jose Contreras (dpdc\_cat@hotmail.com); Jose Contreras (josecon59@hotmail.es); Juan Porrieux (juanpoux@yahoo.com); Leonardo Diaz (ldiaz@herrera.unt.edu.ar); Marcelo Gallo (marcergallo@gmail.com); mateo bauza <mateobauza@gmail.com>; mateo bauza orsep (mbauza@orsep.gob.ar); Orsep (norte@orsep.gob.ar); Pablo Brainovich <pbrainovich@hidrotuc.com.ar>; pablo yedlin <pabloyedlin@hotmail.com>; Planeamiento (planeam.dctuc@gmail.com); Ramón Imbert (rlimbert@hotmail.com); Ruben Pereyra <rpereyra@hidroriohondo.com.ar>; Santos Martinez (santosgmartinez@hotmail.com); Torres Fernando (fettorresdciv@hotmail.com); Victor Herrera <herrera.victorhumberto@gmail.com>

5) COMUNICACIONES ESPECIALES: SE REALIZARON COMUNICACIONES ESPECIALES?, A QUIENES (P.E. DELEGADO DE LAMADRID, INTENDENTE DE GRANEROS)?, FUERON TELEFONICAS Y/O MENSAJES DE TXT?; EN CASO AFIRMATIVO LOS HORARIOS APROXIMADOS DE LAS COMUNICACIONES ESPECIALES.

El 6 de diciembre del 2016 Hidroeléctrica Tucumán S.A. creó un grupo de WhatsApp con todos los participantes que cada ente decidió incluir, a fin de cambiar el sistema de SMS antes usado (hoy obsoleto), como resguardo ante posibles imposibilidades de acceso al correo electrónico.


Se incluye archivo de este grupo en soporte magnético.



En otro orden de cosas y sin haber sido solicitado, agregamos las características más importantes de la creciente.

Desde el día 1 de abril a las 8 hs., hasta el 2 de abril 07 hs. se produjo el volumen máximo de ingreso totalizando 45 hm<sup>3</sup>, con un caudal pico de 777 m<sup>3</sup>/s. Este volumen ingresado es superior al vol. de creciente ordinaria (37.8 hm<sup>3</sup>) indicado en la norma Zamanillo. Por ende se trató de un evento extraordinario.

Sin otro particular saludo a Ud. Atte.

  
C.P.N. MARIO CESAR CORAN  
GERENTE GENERAL  
HIDROELECTRICA TUCUMAN S.A.



San Miguel de Tucumán, 19 de abril de 2017.-

Remítanse los presentes actuados al señor Subsecretario de Recursos Hídricos, para su conocimiento y fines que hubiere lugar. Sirva de atenta nota de remisión.-

EXPEDIENTE N° 183/630-HT-2017.-  
APM/ic-

CPN. ANA PONCE de MOLINA  
SUB-DIRECTORA DE ADM. Y DESPACHO  
SEC. DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE

República de Tucumán, Sec. de Estado de	
ME Medio Ambiente	
N°	630
Expte.	183/630-HT-17
Fecha	21 04 17
Por	88
Libro de E.	



PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS

**ANEXO 5**

**RELOCALIZACIÓN PARCIAL CERCANA**

**VIVIENDAS ZONA BAJA**

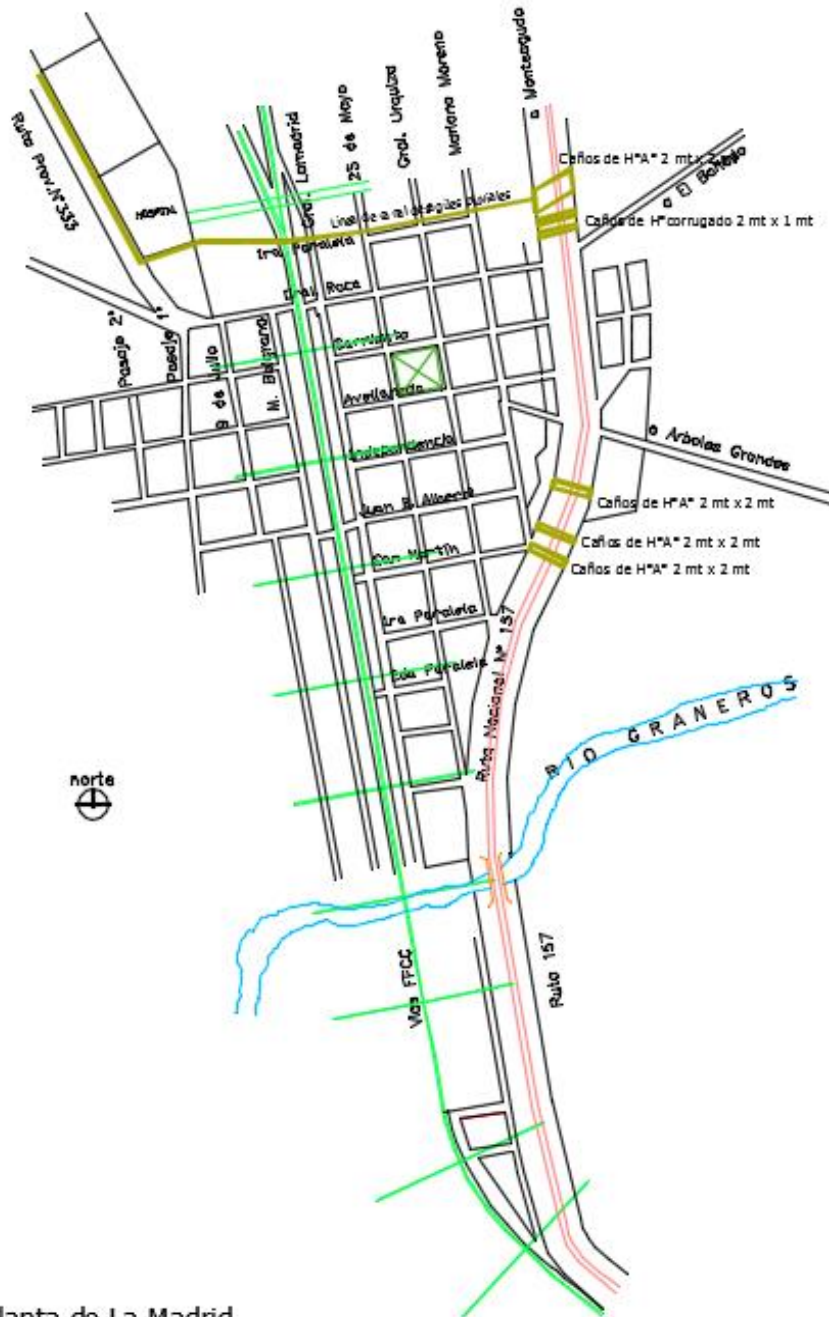
**LOCALIDAD DE LA MADRID**

ARQ. CLAUDIO CATTÁNEO  
*Secretaría de Estado Unidad Ejecutora Provincial*  
*Provincia de Tucumán*

COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO

MAYO 2017

**COMUNA DE LAMADRID – DEPARTAMENTOS GRANEROS - TUCUMAN**



Planta de La Madrid



Área de Inundación Año 2017

La Madrid tiene según el censo del 2010 unas 4580 personas con una cantidad aproximada de 980 viviendas ubicadas dentro del casco urbano.

Dicho casco tiene una división de manzanas cuadradas en forma de cuadrícula, con una plaza central, las vías del tren pasan al oeste de dicha plaza, siendo una barrera importante tanto para la urbanización de la misma como para el cuidado de las inundaciones.

La pendiente de la ciudad es de noroeste hacia el este, con una pequeña pendiente, las calles tienen una altimetría con un escurrimiento hacia el río ubicado al sur, escurriendo también las aguas de lluvia hacia la banquina de la Ruta Nacional 157 que se encuentra al este del casco.

Esta Ruta N° 157 está sobre elevada aproximadamente 1,60 metros del centro de la plaza, con lo cual la misma actúa como una pequeña presa, cuenta con varios imbornales en su altoplanicie, pero los mismos resultan mínimos cuando el río penetra a la ciudad, causando un retardo considerable en el escurrimiento de dichas aguas.

Una vez que las aguas pasan al otro lado de la ruta 157 esta escurre lentamente hacia el embalse del Frontal aproximadamente a unos 17 km hacia el este.

Existen varias poblaciones como Sol de Mayo, Las Animas, Los Cercos que quedan en medio del agua por varios días.

Es importante considerar algunas situaciones de esta población como ser su historia de radicación.

La localidad tuvo su época de auge con la construcción de la estación de ferrocarril (Estación La Madrid) del Ramal CC del Ferrocarril General Belgrano, que la comunicaba al norte con San Miguel de Tucumán; la estación de estilo inglés y una pasarela peatonal lucen desmedidas para el movimiento actual de la estación. La estación fue habilitada en 1889.

La estación La Madrid aún late, como un corazón cansino, al oeste del kilómetro 97 de la ruta nacional N° 157. Casi en el centro del pueblo y al término de la cuarta cuadra del boulevard Roca. La arteria de acceso a esa jurisdicción comunal también es paralela y lateral a la plaza Congreso de Tucumán.

Sin los talleres ni la plataforma giratoria para locomotoras, los fantasmas y la nostalgia acechan a los habitantes. Además, la ausencia de trenes de pasajeros condenó a la estación a la soledad. La ocasional llegada de formaciones de cargas le devolvió una ínfima y tenue porción de vigencia a esa población parida por el ferrocarril.

Don Manuel Estergidio Pérez reside desde hace más de 52 años en la esquina de Presidente Perón (ex General La Madrid) e Independencia, frente a la estación, recuerda sus tiempos de pasajero y de vecino del intenso movimiento.

"Al frente estaban los talleres de las máquinas. Era impresionante la cantidad de gente que transitaba por acá, ya fuera para abordar los trenes o el coche motor. Había una formación a la que le decían el tren de palo. Durante un tiempo se lo tomaba en el Central Córdoba y después en El Provincial, la estación que en la capital estaba en Buenos Aires y Roca", detalló don Pérez, de 81 años y jubilado de la Policía.

"Aquí paraba el Cinta de Plata, el tren VIP del ex Belgrano. Reunía una multitud de viajeros y acompañantes en el andén que ahora está casi en desuso. También estaba el tren marrón -"El Directo" le decíamos, porque no paraba en todas partes-. Viajaban muchas familias, conscriptos y estudiantes que iban o retornaban a Jujuy, Salta, Córdoba, Rosario de Santa Fe y Retiro. También en este andén se bajó Perón, cuando era coronel y secretario de trabajo en la década de 1940", contó Celín Fernández Chanta, de 79 años, un barbado y enciclopédico vecino conocedor del pasado de su comunidad. "Que saben de Taco Ralo, / y de ese cielo abierto de Simoca/ Y de esos pueblitos perdidos sin caminos/ por esas vías pasaba la ilusión", remata la composición del cordobés Drube.

La realidad hoy es diferente. Sólo cuatro empleados la operan y transitan, a razón de uno por turno. El movimiento ferroviario es escaso. A pesar del deterioro, la construcción estilo inglés - en la que predominan la chapa y la madera- se mantiene en pie. Vetusta, pero útil. Las vías - principal y secundaria- exhiben vestigios de uso reciente. Las otras a veces se camuflan con el verde cuando los yuyos de la playa de maniobras crecen. Recuperan la traza cada vez que los cortan.

El desolado paisaje se completa con dos pilas de durmientes de quebracho, otros rieles que se van mimetizando con la nada y uno que otro vagón de carga en desuso. En ese espacio donde contrastan el ayer y el presente todo es incomprensible. Y la monotonía se altera con algún esporádico ciclista, un vecino curioso, el perro del frente, una intrusa gallina o un elegante gallo de riña.

La imponente y reacondicionada pasarela peatonal albirroja, que atraviesa a lo ancho la otrora concurrida parada ferrocarrilera, todavía es requerida por la comunidad, que cruza desde la Perón a la Belgrano o a la inversa.

Hacia los inicios de la década del 40 se levanta la iglesia del Bañado, edificio a dos aguas, construido con baldosones de ladrillos cocido, entrada angosta, con techo de chapa y arco para sostén del campanario, perteneciente al Curato de Marapa.

La patrona del lugar es Nuestra Señora del Monte Carmelo o Virgen del Carmen.

Como toda gran obra, el ferrocarril en su construcción se fue cobrando vidas humanas, los accidentes y en algunos casos la muerte natural se cobraron la vida de muchos de los operarios que trabajaban a diario, los mismos fueron sepultados en un predio acondicionado tal fin a unos quinientos metros del actual paso a nivel norte, entre el trazado de las vías del noroeste y de central. Los criollos la llamaban el cementerio de los gringos.

Esta obra trajo como consecuencia la llegada al lugar proveniente de parajes vecinos los comerciantes, que les resultaba más cómodo instalarse en el lugar que ir y venir de sus lugares en el interior de la localidad.

A las casas largas que los ingleses construyeron con el típico estilo que los caracterizaba para instalar sus oficinas para la administración de la obra, se le iban sumando otras construcciones urbanas, con la promesa de constante desarrollo que significaba el ferrocarril, así nació La Madrid.

## Propuesta Urbana

La acometida del agua en las últimas inundaciones fue principalmente en el sentido oeste – Este desde el Río Marapa y desde los Ríos San Francisco y San Ignacio, generando estos dos últimos un aporte sumamente importante a los caudales de inundación.

Como parte de este aprendizaje mi propuesta es que las familias que están al borde del río Marapa o en sector sur de la planta urbana sean trasladadas al norte de la misma.

Es decir se compren los terrenos que deberán ser alteados para que los mismos superen la altura actual para así darle más protección aun ante posibles inundaciones.

Se siga la traza de cuadrícula con calles internas con estudios de escurrimientos de los cordones, para tener un correcto drenaje pluvial, evitando que en caso de entrada de agua de los ríos adyacentes el agua acumulada no corra o se formen lagunas internas.

Los terrenos de las familias trasladadas formen parte de las defensas cercanas al río, o se los foreste de manera de consolidar la estructura de las tierras con las raíces de los árboles, evitando en lo posible cualquier otro tipo de construcción en por lo menos doscientos o trescientos metros desde el borde del río hacia ambos lados.

Esta restricción deberá ser desde el lado oeste de la planta urbana hasta unos quinientos metros del lado este del puente carretero sobre la ruta Nacional N° 157.



Sector que deberá ser liberado para forestar

La superficie de los terrenos donde se asentaran las nuevas viviendas estarán en relación directa con la propiedad donde estaban asentados, es decir una familia vive en una propiedad de 20 x 50 es imposible pensar en ubicarlas en propiedades de 10x30.



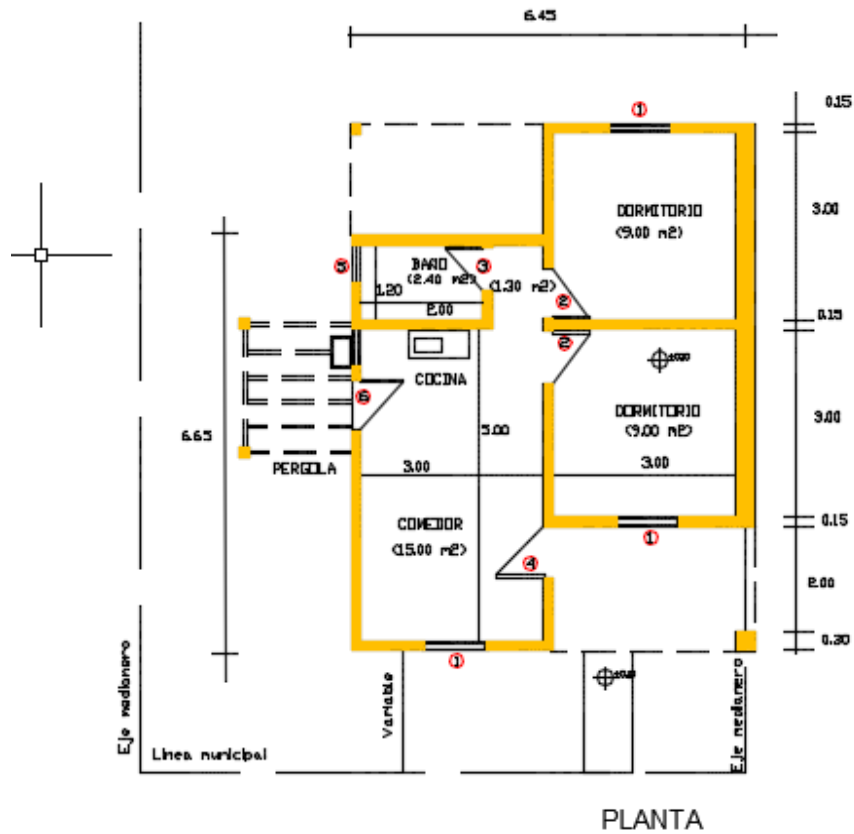
Nuevo sector para el traslado de las familias

Además los materiales que se rescaten de la demolición de las casas anegadas son propiedad de los mismos propietarios y pueden ser rehusados en las nuevas viviendas, las cuales tendrán un diseño evolutivo, para que cada familia que tenga disponibilidad pueda agrandar las suyas o mejorarlas si esa es su idea final.

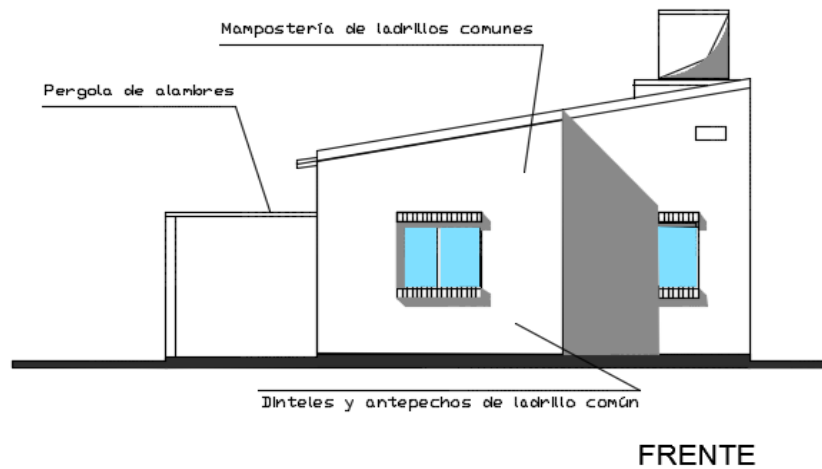
También se considerara que las escuelas y las reparticiones oficiales tengan lugares preparados para dichos eventos para resguardar elementos que sean de utilidad inmediata.

Un tema importante es el diseño que hacíamos mención que es el prototipo de vivienda evolutiva, este prototipo es el ideal para este tipo de intervención urbana, ya que el mismo permite además de ser homogéneo, el crecimiento de dichas viviendas según las necesidades o de las posibilidades de cada familia.

Se deja pre diseñado las posibilidades de crecimiento, para que las instalaciones estén programadas y no se incurra en gastos inútiles, dejando varias alternativas de seguir en la mejora de las casas, poniendo cada uno su gusto personal en los colores o en las terminaciones de las mismas, obteniendo un conjunto urbano rico en formas.



La planta es una posibilidad de las tantas que se podrían tener en cuenta para encarar este trabajo. Es más se debería organizar reuniones con la población a erradicar planteando varias opciones y que se decida por el prototipo que más los identifique a la mayoría, teniendo como premisa que la satisfacción plena de las familias que van a habitar dichas viviendas es la meta principal.





La característica típica de la construcción de la zona es el uso predominante de ladrillos, es decir la construcción tradicional, con revoques y cubiertas de chapa, pensando sobre todo en construir sobre una plataforma elevada sobre el galibo de la calle.

Con referencia al proyecto urbano se debería considerar un amanzanamiento en cuadrícula pero con forma rectangular no cuadrada, a los fines de tener más superficie de escurrimiento en relación a lo construido. Es decir tratar de que las calles funcionen de manera ordenada como canales de conducción de aguas pluviales, diseñando las pendientes de las mismas hacia canales internos de la ciudad.



Propuesta de amanzanamiento

Es importante señalar que las parcelas de cada una de las familias estarán en relación directa con la superficie que poseían en los terrenos desalojados.

Lo único que estará en función de la nueva ubicación, es la forma de los mismos, tratando de que todos mantengan la forma rectangular, como a continuación señalamos:

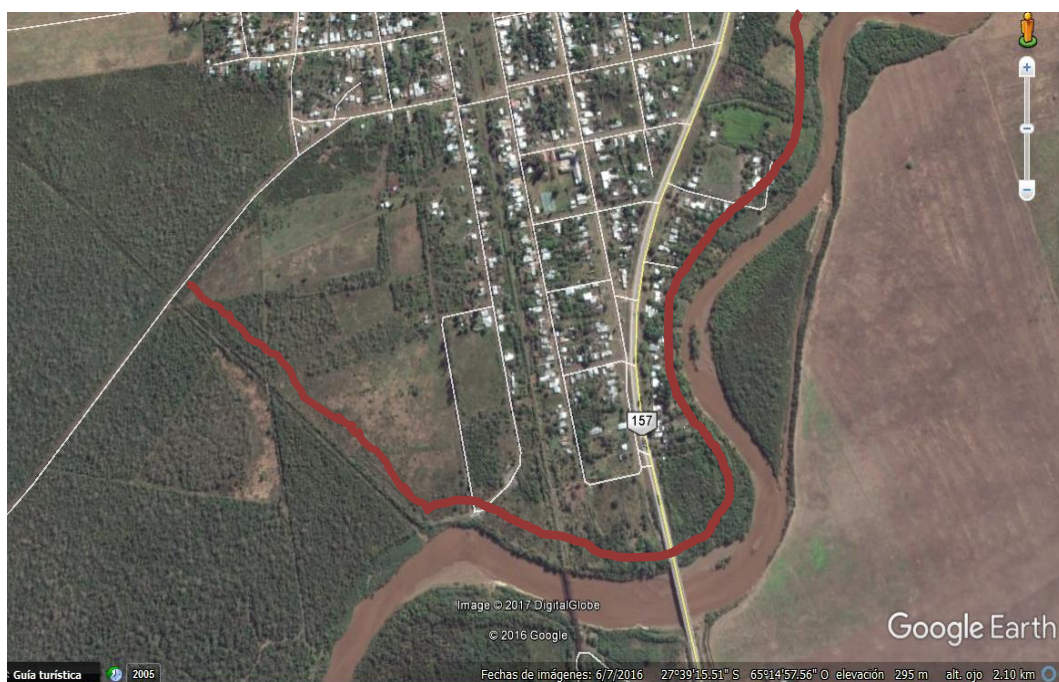
100 metros



Se diseñara que los fondos de las parcelas tengan una determinada medida sin construir, como así también los frentes de los mismos, para evitar que se deje sin terreno natural a los amezanamientos.

En la parte de la ciudad, a la par del rio se construirá unas defensas de gaviones, de unos dos metros de altura y en todo el ancho comprendido al sector donde penetraron las aguas en la última inundación.

Estas defensas tendrán del lado interno de la ciudad, una pendiente de relleno de tierra natural con una forestación con un determinado tipo de árbol que permita que las raíces fijen dicho talud interno y que además impidan la intrusión nuevamente de familias en la vera del rio.

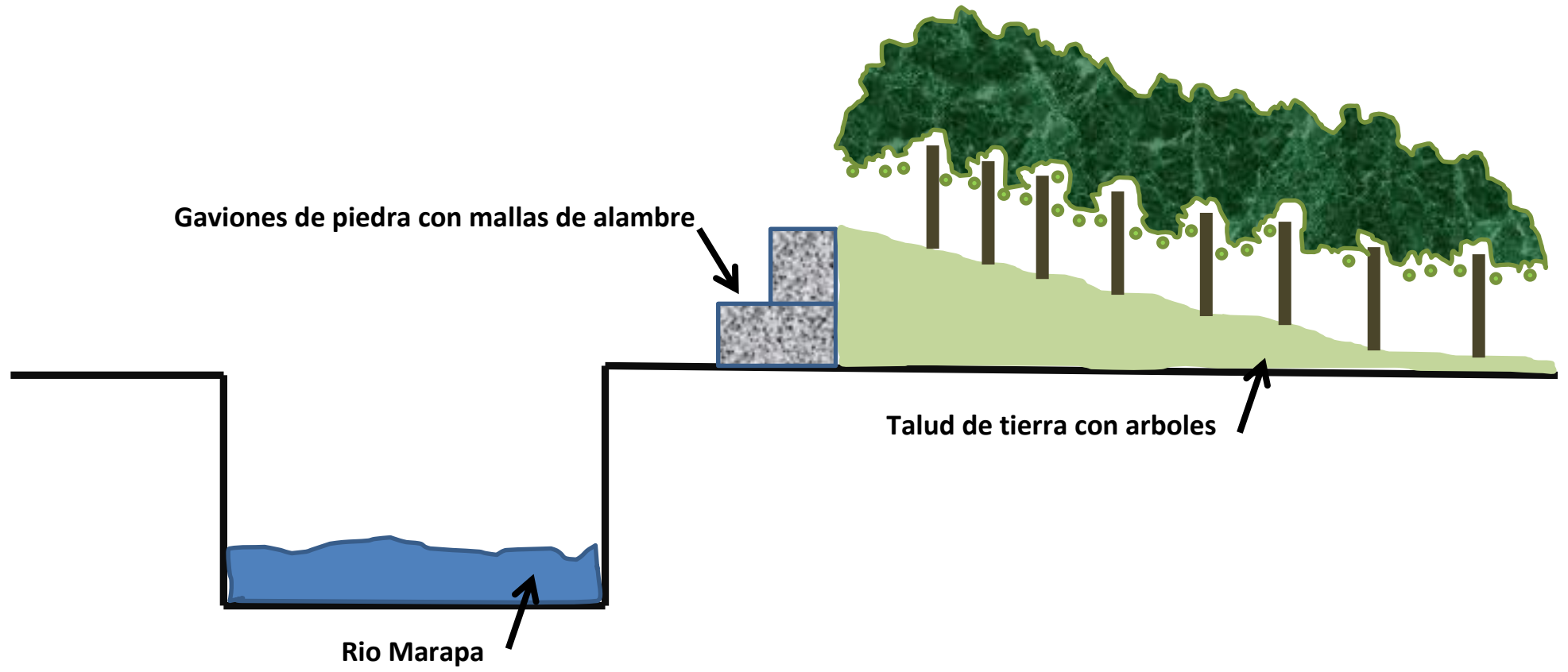


Lugar de ubicación de gaviones de defensas



Sector de gaviones con arbolado en laderas

Esquema de gaviones con parques inundables en las márgenes del Río Marapa



PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO  
HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS

## **ANEXO 6**

### **INUNDACIONES EN LA LOCALIDAD DE LA MADRID**

ING. AGRÓNOMO JORGE A. DELGADO  
*Cátedra de Uso del Suelo*  
*Facultad de Agronomía y Zootecnia*  
*Universidad Nacional de Tucumán*

COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO

MAYO 2017

## **INUNDACIONES EN LA LOCALIDAD DE LAMADRID.**

**EN BASE A LO TRATADO EN LAS REUNIONES TECNICAS REALIZADAS SE PODRÍA SINTETIZAR LOS SIGUIENTES ASPECTOS EN LA MEDIDA DE ACERCAR UN DIAGNOSTICO GENERAL SOBRE LA PROBLEMÁTICA HIDROLOGICA QUE AFECTA ESA ZONA DE LA PROVINCIA.**

**ANALISIS DE RIESGO HIDROLOGICO Y SEDIMENTOLOGICO QUE TIENE ESA LOCALIDAD (LAMADRID) EN FUNCIÓN DE SU UBICACIÓN GEOGRAFICA.**

**1.-La ubicación que actualmente tiene el ejido urbano tiene un alto grado de Vulnerabilidad, ya que se encuentra geográficamente en el cono de salida de tres grandes cuencas o áreas de descarga hacia la Vía Principal de Drenaje que tiene ese (Sistema Marapa- Graneros) tal como lo muestra las imágenes satelitales y los resultado sobre análisis de cuencas distribuidos en el espacio geográfico analizado. Este grado de vulnerabilidad se incrementa en la medida en que, las variables de control de la cuenca, se ven afectadas en su distinta forma ya sea directa o indirecta. (Caudales de escorrentía en la vía principal y en los planos de flujo superficial hacia la vía principal que determinan transporte de sedimentos productos de la erosión de cauces y de planos de flujo superficial)**





## 2.- CAUSAS DIRECTAS.

El efecto directo es, la Ocurrencia de Lluvias Extremas, en relación a la Duración e Intensidad de las mismas, es a las claras, la principal causa de un evento de crecidas, que modificó sustancialmente la principal variable de control que es el caudal máximo de escorrentía en la vía de drenaje principal Sistema Hidrológico (Marapa – Graneros). Este evento ocasionó transformaciones en los regimenes de funcionamiento pasando de un régimen de flujo laminar característico de zonas de llanura a un tipo de flujo mixto (Torrencial y Laminar) según la duración del evento de crecida. Este proceso se observa en la parte baja de la cuenca donde se puede visualizar diferentes signos en el transporte de sólidos hacia la vía principal (Flujos Hiperconcentrados desde la parte aguas arriba de la cuenca y de los planos de aporte lateral, signos de erosión digital y en cárcavas). Esto trae graves consecuencia y grandes alteraciones en el Nivel de Base de la vía de drenaje principal, que dificultan aún más, la rápida evacuación de los excedentes causando indefectiblemente los desbordes y ampliación del margen de rivera. Máxime si se tiene en cuenta la baja pendiente de la zona.

**Las causas que agravan esta situación y que influyen en el grado vulnerabilidad de esa Localidad de Lamadrid pueden sintetizarse en lo siguiente;**

- **Si tomamos un indicador directo del potencial de escorrentía de los suelos que caracterizan esa extensa zona en la parte media y baja de la cuenca estos presentan un alto potencial de escorrentía entre los grupos C y D de la Clasificación del SCS USDA, al ser pobremente estructurados por su génesis( textura limo arenosa fina, dispersos por efecto del sodio , baja infiltración básica algunos menores a 15 mm/h y se agrava por efecto del planchado de los mismos(Suelos Colapsibles de estructura panalaoide que se planchan por efecto de una carga de agua y se masifican , escasa cobertura y de naturaleza xerófito, disminuye aún más, los niveles de Abstracción Inicial sobre la precipitación caída, son en alguna medida características del área de captación, que rápidamente es superada su capacidad de almacenaje aumentando el coeficiente de escurrimiento, determinando así, altos niveles de excedentes de agua, que deben ser evacuados por la vía principal de su red hidrológica.**
- **Sumado a esto el Uso No Planificado de los suelos, específicamente los destinados a la Agricultura Extensiva, provocando modificaciones, que afectan también, las variables de control de las Cuencas (caudales de escorrentía y Relación lluvia/ Escurrimiento).**
- **Las Practicas Conservacionistas de los Suelos por su Aptitud de Uso No deben estar desconectadas de un Sistema de Ordenamiento Territorial Destinado a Regular Los excedentes de Agua Volcados hacia las Vías de Drenaje Natural y Menos aún a los Colectores Pluviales de las Obras e Infraestructura de Servicio. Estas son Bienes Públicos, que al ser afectados por distintos tipos de Externalidades ponen en riesgo Vidas y Bienes, tanto Privados como Públicos.**
- **La importancia que tiene el cambio de cobertura en relación a su participación en la ponderación del Coeficiente de Escorrentía es relativa. Digo esto, porque muchos hablan del cambio Monte natural que es ralo y xerofito a AgroSistema Secuencia Trigo- Soja y Maíz, estos últimos, en definitiva se siembran sobre rastrojos en algunos casos de trigo pero**



siempre con cobertura completa, sin dudar que los primeros 15 cm de suelo mejoran su capacidad de infiltración evitando el planchado.

- Ahora bien, frente al evento meteorológico de Lluvias de Alta Intensidad, y alta duración,(se habla de picos mayores a 200 mm/hs en el Pluviograma global de el evento), no hay forma que un excedente de 170 o 180 mm/hs en una determinada duración del Pluviograma, no se transforme en escurrimiento y provoque gran alteración en las Variables de Control de las Cuencas que Afectan la Localidad de Lamadrid.

### **3.- CAUSAS INDIRECTAS**

- Existe un Estado Provincial Y Nacional Desconectado o Incomunicado, donde la Principal Función que es el Servicio de Monitoreo de las Variables Ambientales que son afectadas por la Actividad Humana, No es tenido en cuenta ni ejercido con el Profesionalismo que merece, y esto atenta contra la Planificación necesaria para Evitar o Atenuar anticipadamente el Impacto que la Naturaleza produce sobre las Vidas y Bienes Públicos y Privados.

### **4.- ACCIONES O MEDIDAS URGENTES.**

#### **MEDIDAS ESTRUCTURALES.**

- Restaurar las Condiciones de Retardo de las CUENCAS DE APORTE adecuadas y posibles, con obras de retención, defensas de márgenes y derivación de excedentes caudales a zonas de laminación, tratando de restaurar el SISTEMA HIDROLOGICO hacia un régimen de funcionamiento previsible. Ayudaría mucho para la obtención de los Parámetros de Diseño Hidrológicos e Hidráulicos, el empleo de Modelos de Simulación Hidrológica tipo HEC-HMS; HEC-RAS; GEO-RAS, pero debe tenerse bien en cuenta que la carga de datos, debe estar apoyada con rigurosos y precisos estudios geomorfológicos, fluviomorfológicos y sedimentológicos en los tramos del río cercanos a la población de Lamadrid, zonas que presentan un alto grado de vulnerabilidad. Esto permitirá enlazar Sistemas de Alerta y Programas de Contingencia, a la vez que

ayudará a un Sistema de Monitoreo de las principales variables de control que influyen en la FluvioMorfología del cauce cercano a la Localidad de Lamadrid

#### **MEDIDAS NO ESTRUCTURALES.**

- Es necesario y urgente la **FORMACIÓN DE CONSORCIOS DE CONSERVACIÓN Y MONITOREO PERMANENTE** en zonas que presentan estas características ambientales de **ALTA VULNERABILIDAD**.
- Estos Consorcios deben ser **INTEGRALES** y **NO SOLAMENTE TRANQUERAS ADENTROS** tipo CREA. Ya que se trata de sistemas intervenidos con Multiciplidad de Actividad Sociales y Económicas que interactúan entre sí y producen **EXTERNALIDADES AMBIENTALES** donde “**SIEMPRE**” salen perjudicados Vidas, Bienes Públicos y Privados.
- Excede a esta **PROPUESTA** la formación de los mismos. Pero sin duda qué, el **ESTADO PROVINCIAL Y NACIONAL, SEGÚN SU JURIDICCIÓN**, deben ser **PROMOTORES OBLIGADOS** para la formación de estos **CONSORCIOS** donde los **PRODUCTORES DE CUALQUIER TIPO DE ACTIVIDAD**, sobre todo la Agropecuaria , estén obligado a cumplir con todas las reglamentaciones vigentes en relación a la Conservación de los **RECURSOS NATURALES** e informar en las **REUNIONES PERMANENTES DEL CONSORCIO**, sobre las actividades en relación a **OBRAS DE MEJORA, CAMBIO EN EL USO DEL SUELO** y toda actividad que involucre afectar las variables de control de la **ESCORRENTÍA SUPERFICIAL**.

**Ing. Agr. Jorge A Delgado**

**Prof. Adj. Cátedra de Uso del Suelo FAZ-UNT**

**PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS**

**ANEXO 7**

**INFORME EVALUACIÓN DE DAÑOS**

**ZONA SUD TUCUMÁN**

**ING. AGRÓNOMO JORGE CARRERO VALENZUELA**  
*Departamento Suelos*  
*Dirección de Flora, Fauna Silvestre y Suelos*  
*Secretaría de Estado de Medio Ambiente, Ministerio de la Producción*  
*Provincia de Tucumán*

**COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO**

**MAYO 2017**

## **INFORME SITUACION SUR PROVINCIAL**

### **1. INTRODUCCION**

El presente informe tratará de reflejar lo observado y analizado en las áreas afectadas por precipitaciones en el sur provincial. Involucra los departamentos de J. B. Alberdi, La Cocha y Graneros.

***Es preciso aclarar, que el diagnóstico que se presenta no incluye el análisis de funcionamientos (embalse y desembalse) de presas ubicadas en Tucumán (Dique de Escaba) y Catamarca y que se encuentran ubicadas en cuencas de aporte al territorio tucumano y que sin duda serán abordados por las áreas específicas del estado provincial.***

Tampoco se incluye el estado y características hidrológicas de cauces (Río Marapa y Río San Francisco).

Se formula finalmente un diagnóstico inicial de la situación observada y se proponen líneas de acción destinadas a mitigar los efectos del proceso.

### **2. METODOLOGIA DE TRABAJO**

- Se realizó interpretación de imágenes Landsat del mes de Marzo de 2017 provistas por el laboratorio de teledetección e imágenes de la AER INTA-Famaillá.
- Se empleó el programa QGis a fin de definir cuencas, microcuencas, líneas naturales de escurrimiento y curvas de nivel en sectores afectados con el objetivo de interpretar lo sucedido.
- Se analizaron datos de precipitaciones promedio mensuales e intensidades de eventos provistos por la Sección de Agrometeorología de la EEAOC, AER INTA Famaillá, DRH y productores.
- Se evaluaron los diferentes usos de suelos en las cuencas involucradas en Google Earth Pro.
- Se estimaron caudales generados aplicando el método de la Curva Número (SCS-EE.UU).
- Se efectuaron recorridas a campo a fin de evaluar los daños.

***❖ Todos los datos aportados referentes a caudales, usos de suelos, superficie sistematizada, superficies de cuencas, etc. son estimativos.***

### 3. DESARROLLO

A los fines del trabajo se divide a la zona sur en cuatro áreas a saber:

Área 1: La Invernada, Domingo Millán, El Sacrificio Y Alto El Puesto en el Dpto. La Cocha.

Área 2: J. B. Alberdi en el Dpto. del mismo nombre.

Área 3: El Palancho, El Mistol, Puesto Los Pérez en el Dpto. Graneros.

Área 4: Lamadrid en el Dpto. Graneros.

#### 3.1 ÁREA 1

La Invernada, Domingo Millán, El Sacrificio y Alto El Puesto en el Dpto. La Cocha.

La superficie de aporte es de, estimativamente, 6.273 ha de las cuales, en 533,7 ha se mantiene el bosque nativo, 245 ha con plantación de limón y 5.494,37 ha con otros cultivos (caña, soja, tabaco y arándanos).

El caudal generado se estima en 108 m<sup>3</sup>/s, correspondiendo al monte nativo 3,65 m<sup>3</sup>/s y al citrus 2,31 m<sup>3</sup>/s.

De esta superficie se encuentran sistematizadas en curvas de nivel y terrazas de desagüe 1.083 ha.

Se definieron dos cuencas de aporte directo y otras nueve cuencas cuyos escurrimientos son parcialmente interceptados por sistemas de riego y trasvasados a la zona conflicto. El sistema de riego no presenta sistema de desagüe complementario.

La RN 38 actúa como receptor de estos escurrimientos y son conducidos en sentido Sur-Norte hacia el río Marapa. Parte de estos escurrimientos se conducen por calles (Alto El Puesto, Estación Zootécnica, Palo Blanco, Yánima, etc.) y de allí el deterioro notable de las mismas.

Existe un canal de desagüe (Canal de la vía FF.CC) con orientación Sud-Norte que intercepta parte del escurrimiento, derivándolo al río Marapa. Este canal evita daños mayores en las localidades citadas. La descarga libre del caudal del canal en el río genera severos procesos erosivos en retroceso en lotes bajo producción.

Existen otros canales de desagüe que no pueden ser acondicionados debido a las viviendas que ocupan sus márgenes.

Daños observados: destrucción de caminos, destrucción y anegamiento de viviendas, anegamientos de lotes en producción, destrucción de obras de arte (sifones de riego, alcantarillas, ingresos a viviendas y fincas, laterales del puente sobre el río Marapa, etc.), destrucción parcial de canales de desagüe y de riego.

### **3.2   ÁREA 2**

J. B. Alberdi en el Dpto. del mismo nombre.

La superficie de aporte es de, estimativamente, 4.102 ha de las cuales, en 429,13 ha se mantiene el bosque nativo, 400,1 ha con plantación de limón, 2.607 ha con caña de azúcar, 257 ha con urbanización y 409,67 ha con otros cultivos.

El caudal generado se estima en 31,85 m<sup>3</sup>/s, correspondiendo al monte nativo 1,15 m<sup>3</sup>/s, al citrus 7,19 m<sup>3</sup>/s, a la caña de azúcar 17 m<sup>3</sup>/s y a la urbanización 6,51 m<sup>3</sup>/s.

De esta superficie se encuentran sistematizadas en curvas de nivel y terrazas de desagüe, estimativamente, 100 ha.

Se definieron dos cuencas de aporte directo y otras tres cuencas cuyos escurrimientos son parcialmente interceptados por sistemas de riego (canal derivado norte) y trasvasados a la zona conflicto.

Dos calles (del cementerio y puente del medio), orientadas en sentido oeste-este, actúan colectando aguas de otras cuencas y al no tener descargas en el derivado norte descargan en la ciudad de J. B. Alberdi. Estas calles están intransitables.

La RN 38 actúa como receptor de estos escurrimientos que son conducidos por una alcantarilla sobre la citada ruta hacia el canal de Los Guayacanes con descarga final en el Arroyo Matazambi. El canal de riego Derivado Norte con orientación Sud-Norte intercepta parte del escurrimiento, derivándolo al Arroyo Matazambi.

Este canal evita daños mayores en las localidades citadas pero al ser un canal de riego no tiene las dimensiones para aceptar y conducir la totalidad de los aportes, situación que deriva en roturas permanentes y anegamientos en la ciudad de J. B. Alberdi.

Daños observados: destrucción de caminos, anegamiento de viviendas en 4 (cuatro) barrios, anegamientos de lotes en producción, destrucción parcial de canales de desagüe y de riego.

### **3.3   ÁREA 3**

El Palancho, El Mistol, Puesto Los Pérez en el Dpto. Graneros.

Todas estas localidades se encuentran incluidas dentro del sistema hídrico correspondiente a las cuencas de los arroyos La Posta y El Sueño, cuencas de los arroyos Pueblo Viejo, Suncho y Manitala y cuenca del Río San Francisco.

La superficie estimada es de 47.715 ha considerando sólo el territorio provincial hasta RP 334 que une La Cocha con Taco Ralo de las cuales, 21.057 ha se encuentran con bosque nativo.

De esta superficie se encuentran sistematizadas en curvas de nivel y terrazas de desagüe, estimativamente, 5.307 ha. La cuenca de La Posta y El Sueño (15.449 ha, de las cuales se encuentran con bosque nativo 6.500 ha) descarga sobre la RP 334, y ésta

actúa como colector derivando aguas hacia el este generando inundaciones en campos y casas de vecinos de El Palancho, El Mistol, La Esperanza, Puesto Los Pérez.

La ruta actúa trasvasando la cuenca La Posta y El Sueño a la cuenca del Río San Francisco.

En esta cuenca se encuentran sistematizadas 2.044 ha y el caudal estimado, aplicando el método de huellas de crecidas en la salida del sistema en la RP 334, es de 32 m<sup>3</sup>/s. La cuenca integrada por los arroyos Pueblo Viejo, Suncho y Manitala (21.270 ha, de las cuales 3.561 ha se encuentran con bosque nativo) descarga en la cuenca del Río San Francisco.

En esta cuenca se encuentran sistematizadas 3.263 ha. La cuenca del Río San Francisco, siempre en territorio tucumano, tiene un aporte desde el oeste de 10.996 ha, todas con bosque nativo y desde el sud de 4.590 ha, todas con cultivo de granos hasta la RP 334.

Es del caso informar que esta cuenca continúa en la provincia de Catamarca (Dpto. Santa Rosa) que en el período Julio 2007 a Junio 2008 se cosecharon 29.127 ha de soja y 9.802 ha con cereales. En este Departamento hubo una pérdida de bosque nativo, en el período 2006-2011, en 5.799 ha. Estos datos se vierten a título orientativo ya que no se pudo definir, aún, cual es la superficie de aporte a la cuenca del Río San Francisco del Departamento de Santa Rosa.

Toda esta cuenca descarga en la RP 334, en Tucumán, en una alcantarilla que se destruyó por crecidas en el año 2015 (entonces tenía 15 m de ancho) y el caudal ingresa a una canalización que descarga en el Río Marapa. Actualmente la rotura sobre esta ruta supera los 150 m de ancho.

Daños observados: destrucción de la RP 334 que une La Cocha con Taco Ralo (9 km) destrucción y anegamiento de viviendas, anegamientos de lotes en producción, destrucción de obras de arte (alcantarillas sobre Río San Francisco, ingresos a viviendas y fincas, etc.), tránsito impedido, pérdidas de suelo productivo, pérdidas de cosechas, etc.

### **3.4 AREA 4**

Lamadrid en el Departamento Graneros.

Todas la cuencas anteriormente analizadas, sumadas a la cuenca del Arroyo El Chileno concentran el escurrimiento de 138.225 ha en el Río Marapa. De esa superficie 48.232 ha se encuentran con bosque nativo y 89.993 ha están ocupadas con cultivos diversos (caña de azúcar, soja, tabaco, arándanos, citrus, etc.) y urbanizaciones.

Se aclara que en esta superficie de aporte al Río Marapa no se considera la cuenca de aporte al dique de Escaba como tampoco la superficie que aporta a la cuenca del río San Francisco en territorio catamarqueño.

La superficie con sistemas de conservación de suelos se estima en 13.714 ha.

Daños observados: evacuación de vecinos, destrucción de caminos, destrucción y anegamiento de viviendas, pérdidas de bienes personales, anegamientos de lotes en producción, pérdida de la transitabilidad, destrucción de canales de riego, ascenso de napas, colapso de pozos ciegos, etc.

## 4. CONCLUSIONES

### 4.1 Desde el punto de vista climatológico.

**Los datos de lluvia registrados en el mes de Marzo 2017 indican que los registros promedios históricos han sido ampliamente superados en la provincia.**

**Además, la persistencia de las lluvias (21 días entre Marzo y Abril) ha sido desencadenante de volúmenes de escorrentía fuera de lo común (fuente DRH: <http://www.rekursoshidricos.gov.ar/webdrh/indexdrh.html>)**

*Se transcribe lo informado por el Ing.Agr. César Lamelas de la Sección Agrometeorología de la EEAOC: "Sólo en La Invernada, departamento de La Cocha, precipitaron 270 mm el 27 de marzo, cuando el promedio esperado para el mes es de 169 mm. Idéntica situación se replicó en localidades del sur y este tucumano".*

"Estamos en una situación extremadamente difícil porque se han producido eventos lluviosos extraordinarios en toda la provincia. Muchísima cantidad de agua concentrada en muy poco tiempo". El especialista, que elaboró un estudio comparativo, indicó por ejemplo que en Aguilares, del 25 al 30 de marzo, se colectaron 237 mm, dando un acumulado mensual de 399 mm, cuando el promedio normal es de 170 mm/mes. "Se duplicó el valor normal para esa localidad".

"En todos los casos, las lluvias del mes duplicaron el promedio de 150 a 160 mm para las localidades más afectadas. En el este de la provincia, la subestación de Monte Redondo captó 115 mm, representa 1.150 m<sup>3</sup>/hectárea, y consideró que el suelo no puede absorber tanta agua"

"El 2017 comparado con el año anterior, superó todas las expectativas. Además de los índices de lluvias, es necesario observar la capacidad del suelo de absorber líquidos. La tierra está saturada y si a eso le agregamos las lluvias de los últimos días, la problemática es muy importante. Siempre se buscan las razones de los daños pero, sencillamente, si vemos las precipitaciones de las últimas horas, observamos que esa cantidad de agua es inmanejable. Genera problemas donde fuere".

"Es obvio que hay situaciones de manejo de suelos y tipos de cultivos que pueden contribuir a agravar la situación, pero sin ningún lugar a dudas, la principal causa fue este fenómeno climatológico".

Se consultó también la información generada por la Dirección de Recursos Hídricos.

***Sin duda que deben atenderse todos los indicios que nos alertan sobre el establecimiento y persistencia de un cambio climático a fin de formular nuevas estrategias.***

### 4.2 Desde el punto de vista del Uso de los Suelos.



Si bien los registros de lluvia han sido calificados como extraordinarios, existen situaciones que son recurrentes en lo que respecta a daños observados, aún en años cuando los registros no exceden al promedio; tal el caso de La Invernada, El Palancho, El Mistol, La Esperanza, Puesto Los Pérez, Alto El Puesto, JB Alberdi y otros numerosos puntos de la provincia que no han sido incorporados al presente análisis, que experimentan inundaciones, cortes de ruta, pérdida de bienes personales, etc.

“Lamadrid y localidades aledañas vienen sufriendo inundaciones durante los años 1992, 2000, 2006, 2015 y 2017. Esta problemática debería convertirse en un Programa Interprovincial de Ordenamiento de Cuenca con prioridad en el seno del Comité de Cuenca”. *Fuente: DRH.*

Debemos entonces, analizar otros factores que son determinantes y entre estos, pueden citarse a los usos de los suelos y a las prácticas culturales que en ellos se hace.

La información que se consultó, nos permite concluir que, de las 138.225 ha analizadas y correspondientes a las cuencas descritas, 13.814 ha se encuentran bajo sistemas de conservación de suelos (terrazas de desagüe, plantaciones en curvas de nivel, etc.).

Representa esto un 9,29 % del total.

Las prácticas conservacionistas integran paquetes tecnológicos disponibles para dotar de sustentabilidad a la producción en áreas con limitantes de diverso origen. No solo permiten controlar procesos erosivos, mantener y/o recuperar las propiedades físico-químicas de los suelos, disminuir costos operativos, sino que también favorecen la economía del agua (cosechas de lluvia) y con ello es factible mitigar el impacto de los escurrimientos.

Sin duda que los cambios experimentados en el uso de los suelos, en su transformación de formaciones nativas a uso agrícola, generó riqueza y posibilitó la evolución social y económica de amplias franjas de nuestra población.

Se trata de un proceso que involucró décadas, caracterizado por su continuidad y solo interrumpido a partir del año 2011 cuando la Provincia ordena las masas boscosas nativas de su territorio (Ley N° 8.304) adhiriéndose a las pautas (Presupuestos Mínimos) establecidas en la Ley Nacional N° 26.331.

Debe aceptarse, y es imperioso que así se haga, que esta modificación en el uso de los suelos generó impactos que no fueron contemplados en su real dimensión, ni mitigados. Ello es atribuible a causas diversas. Estos impactos son consecuencia de la profunda modificación generada en el balance hídrico de los suelos, hoy en producción, en los que los escurrimientos predominan sobre la infiltración.

Las externalidades del proceso productivo provincial, de décadas de duración, no son aun plenamente atendidas y esto, complementado con otros factores, resulta en la aparición de los procesos observables.

#### **4.3 Desde el punto de económico.**

Un grupo de productores, integrados en un consorcio denominado La Cocha-Los Altos, evaluaron las consecuencias económicas generadas por las inundaciones producidas en cuencas de Catamarca (Bañado de Ovanta) y del sur tucumano durante las campañas 2014-2015 y 2015-2016.

Los cuadros que se incorporan reflejan la situación (información provista por los productores).

**Campaña 2014-2015**

Uso del suelo	Sup (ha)	Tn Perdidas	U\$/tn (Rosario)	U\$/tn Retención	Pérdida de U\$S impuestos directos	Pérdidas del Productor U\$S
Soja sin cosechar	1.442	4.456	235	126,5	563.684	712.960
Maíz sin cosechar	235	1.558	120	30	46.740	77.900
Poroto sin cosechar	30	39	500	25	975	17.000
Soja con pérdidas parciales	1.277	1.777	235	126,5	224.790	319.860
Maíz con pérdidas parciales	299	977	120	30	29.310	58.620
Poroto con pérdidas parciales	300	204,5	500	25	5.112	102.250
<b>TOTALES</b>	<b>4.380.6</b>				<b>870.611</b>	<b><u>U\$S 1.288.530</u></b>

## Campaña 2015-2016

Uso del suelo	Sup (has)	Tn Perdidas	U\$\$/tn (Rosario)	U\$\$/tn Retencion	Perdida de U\$S impuestos directos	Perdidas del Productor U\$S
Soja sin cosechar	812	2.559	260	111,4	285.073	511.800
Maíz sin cosechar	195	1.306	160	0		130.600
Poroto sin cosechar	0	0	800	0		
Soja con pérdidas parciales	1.748	1.914	260	111,4	213.220	410.940
Maíz con pérdidas parciales	180	634	120	0		63.400
Poroto con pérdidas parciales	55	27,5	800	0		22.000
<b>TOTALES</b>					<b>428.293</b>	<b><u>U\$S 1.138.740</u></b>

Informaron que estos cálculos son orientativos ya que por ejemplo, el único impuesto calculado, a partir de la estimación de las pérdidas, fue el de las retenciones. No se contemplaron ganancias, ingresos brutos, transacciones bancarias, etc., que también son importantes.

Podrían sumarse los graves daños (en su mayoría irreversibles) por la pérdida de suelos productivos, que en estas dos campañas y para la superficie relevada, suman más de 535 ha, sumadas a las más de 1.000 ha que quedaron cubiertas con sedimentos (entre 0,3 y 1,4 m de profundidad). Habría que agregar los daños en la infraestructura vial, las pérdidas y padecimientos de los pobladores de los pueblos afectados.

De acuerdo a estimaciones formuladas por el estado provincial se precisan, para reconstruir infraestructura en las áreas afectadas, \$835 millones (fuente: La Gaceta 8/05/2017).

## 5. PROPUESTAS

Debe analizarse en profundidad lo sucedido tomando como unidad geográfica territorial de intervención a la cuenca hidrográfica. Interpreto que es este el modo de conformar una visión integradora.

Cada intervención que ocurre dentro de una cuenca, necesariamente deriva en efectos que deben ser considerados y analizados en su real dimensión a fin de formular estrategias que contemplen al conjunto.

La modificación en el uso de los suelos generaron externalidades que deben ser mitigadas a través de la formulación de programas específicos de intervención que involucren el trabajo conjunto Estado-Administrados.

Deberá ello posibilitar:

- ❖ El tratamiento de la legislación a fin de su adecuación.
- ❖ El diagnóstico de la situación de las Áreas específicas del Estado en cuanto a su funcionamiento.
- ❖ El diagnóstico del estado de los suelos productivos.
- ❖ La generación de información específica.
- ❖ El trabajo interinstitucional (con otras áreas del estado provincial, con otras Provincias y con la Nación).
- ❖ El diagnóstico del funcionamiento de sistemas de riego y de la red vial.
- ❖ Las necesarias intervenciones estructurales y no estructurales en áreas declaradas críticas.
- ❖ La formulación de planes directores, etc.
- ❖ El necesario vínculo estado - administrados para la adopción de estrategias.
- ❖ La adopción de medidas precautorias como son los sistemas de alerta temprana.

En la provincia ya se han adoptado criterios y en consecuencia se exige desde áreas específicas, la instalación de medidas estructurales en proyectos de desarrollo urbanístico. Estas medidas incluyen el destino de superficies dentro de los emprendimientos, tal el caso de lagunas de laminación de crecidas, a mitigar el incremento de los escurrimientos por el cambio de uso de los suelos (impermeabilizaciones por urbanización).

Debe, por lo tanto, generarse las condiciones para que este concepto pueda extenderse a zonas en producción.

Se trata entonces de modificar la visión y con ello la gestión del Estado en el territorio.

Finalmente, reitero mi convencimiento de que, en el supuesto de que toda el área analizada hubiera contado con la adopción masiva de modelos conservacionistas, hubiera sido poca su influencia para mitigar efectos, ante la magnitud de los eventos extraordinarios registrados.

***Fdo.: Ing Agr Jorge Carrero Valenzuela***

PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS

## **ANEXO 8**

### **ESTADO DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA RUTA PROVINCIAL No. 334 Y SUS PUENTES TRAMO: LA COCHA – TACO RALO**

ING. AGUSTÍN DIVIZIA  
*Dirección Provincial de Vialidad  
Provincia de Tucumán*

COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO

MAYO 2017

# **PROVINCIA DE TUCUMAN**

## **DIRECCION PROVINCIAL DE VIALIDAD**

### **INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA**

#### ***ESTADO DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA RUTA PROVINCIAL N°334 Y SUS PUENTES TRAMO : LA COCHA – TACO RALO***

### **INFORME**

MAYO DE 2.017

**INFORME DE SITUACION  
RUTA PROVINCIAL N°334  
TRAMO: LA COCHA – TACO RALO**

## INTRODUCCION

El presente informe tiene como fin realizar un análisis de los problemas causados por las inundaciones que cortan la circulación vehicular en la Ruta Provincial N° 334, en el tramo que va desde la Cocha hasta Taco Ralo. Se describe principalmente los dos cauces que la cruzan la ruta, el A° La Posta y El Sueño y El Rio San Francisco.

## GENERALIDADES

La Ruta Provincial N° 334 se localiza en la zona sur de la provincia, y tiene una longitud total de 40,10 km.. Se desarrolla en la zona de llanura, involucrando los departamentos de La Cocha y Graneros. Vincula, en dirección Oeste – Este, a las Rutas Nacionales N°38 y N°157 en el extremo sur de la Provincia de Tucumán. Para analizar el estado de la ruta se puede separar en 3 tramos. El primer tramo va desde La Cocha y El Palancho con una longitud de 11.9 km, el tramo 2 va desde El Palancho hasta el Río San Francisco en una longitud de de 11.7 km y el último tramo, de 16.5 km, está comprende entre el Río San Francisco hasta la localidad de Taco Ralo.

La ruta permite principalmente la interconexión oeste–este, por lo que toda la producción de la zona podría seguir este circuito, e interconecta las provincias de Santiago del Estero, Tucumán y Catamarca, a través de la Ruta Nac. 38 hasta San Fernando del Valle de Catamarca, y a través de la Ruta Nac. 157 hasta Santiago del Estero.

## ANTECEDENTES HIDROLOGICOS DE LA ZONA DE INFLUENCIA

### RIO SAN FRANCISCO - ARROYOS LA POSTA Y EL SUEÑO

#### RIO SAN FRANCISCO

En mayo del año 2.015 se produjo una tormenta que provoco que la alcantarilla de eje sobre el R° San Francisco en la RPN° 334 colapsara. La alcantarilla de 6 metros de luz fue construída cuando se construyó la ruta. La obra de arte tenía más de 40 años de uso y después de la tormenta quedo totalmente destrozada. El cauce que era apenas un lecho casi inexistente pasó a abrirse 150 metros de ancho y la barranca izquierda quedó casi vertical con una altura mayor a 4 metros.



Como manera provisoria para poder dar paso vehicular y no dejar aislada a la población del lugar se construyó un badén sobre el rio nuevo.

En marzo del 2017, más precisamente el 27 de marzo, se produjo una precipitación que según el *Ing.Agr. César Lamelas de la Sección Agrometeorología de la EEAOC en La Invernada, Departamento de La Cocha, precipitaron 270 mm*. Este evento destrozó el precario badén del Rio San Francisco y el cauce se amplió 200 m y las barrancas tomaron una altura de 9 m de alto.

#### ARROYOS LA POSTA Y EL SUEÑO

Los arroyos La Posta y El Sueño, ubicados al sud de la RPNº 334, corren de oeste a este paralelo al eje de la citada ruta. Ambos cauces se unen después de atravesar a la R Nac Nº 38 hacia el Este, y se unen en un único cauce. Sobre los arroyos citados, propietarios de fincas aledañas al nuevo único cauce realizaron canalizaciones que provocaron que el arroyo gire bruscamente a 90º y se dirija hacia la ruta para luego canalizarse por las cunetas de la misma, es decir que la ruta se convierte en una ruta canal, en el tramo que llamamos 2. Cuando los caudales del arroyo son importantes, el agua de La Posta y El Sueño llega por calzada hasta el Rio San Francisco. Esta situación deja la ruta fuera de servicio y con enlames a lo largo todo el tramo.

La Dirección Provincial de Vialidad, la Dirección de Flora y Fauna y el Municipio de La Cocha, después de cada crecida del arroyo, trabajan para liberar la traza y poder dar salida a los pobladores que se encuentran aislados en esta zona. En el tramo se encuentran viviendas, centro de atención primaria y escuelas que quedan anegadas.

#### PROPUESTAS DE OBRAS PARA MANEJO DE CAUCES ARROYOS LA POSTA Y EL SUEÑO

Se puede mencionar que en el año 2008 la Dirección Provincial de Vialidad propuso como prefactibilidad continuar con la dirección oeste - este de los arroyos La Posta y El Sueño hasta su desembocadura en el Río San Francisco, además de una laguna de laminación, y la reparación de la ruta en todo su tramo. La mejora proyectada consistía en el mejoramiento de la obra básica y pavimentación, y elevar su Índice de serviciabilidad con la consecuente disminución de los costos generalizados de transporte en el tramo y esto permitiría elevar el Índice de Estado de la ruta. De esta manera se buscaba lograr un tránsito seguro en las zonas de producción primarias y mejorar el acceso a las localidades en la zona de influencia del proyecto. Esta prefactibilidad quedó solo como una idea y nunca se estudió en profundidad

En el verano de 2015 ante nuevas inundaciones y por los reclamos de las familias afectadas por las inundaciones, y después de reuniones con la Dirección de Flora y Fauna, Vialidad de la Provincia realizó un proyecto para la ejecución de un puente en la zona de El Palancho. El proyecto contempla demoler el badén existente y tiene la intención de dar continuidad al arroyo hacia el norte.

En los primeros días de otoño del año 2015 se produce el colapso de la vieja alcantarilla de la RPNº 334 provocada por la crecida del Rio San Francisco. Esto llevó a estudiar la posibilidad de implantar un puente para salvar el cauce de dicho Río.

Es por ello que se ejecutó un relevamiento topográfico detallado para ambos cauces, además de un estudio hidráulico e hidrológico que permitió definir la luz necesaria para cada uno de los cauces y se dimensionó estructuralmente cada una de las estructuras. Estos proyectos están en la DPV desde el 2016.

Si bien ya se dimensionaron ambos puentes es de aclarar que en la zona del Palancho, el cauce aguas abajo de la ruta no tiene cauce alguno, tomo dirección norte para luego volver hacia la ruta y canalizarse por ella.

El caso del San Francisco es diferente. Hoy existe un cauce bien marcado hacia aguas abajo de la ruta, después de la crecida del 2017 el cauce tiene un ancho de 200 m y barrancas de ambos márgenes de más de 9 m de altura como ya se suscribió. Esta situación hace posible que se pueda construir un puente sobre el Rº San Francisco porque ya están dadas las condiciones y lo único que hace falta es el puente con sus respectivas defensas. Es de aclarar que el proyecto del puente está pensado para que los estribos de ser necesario se puedan convertir en pilas y ampliar así la luz del puente. En cambio el Aº La Posta y El Sueño además del puente es necesario una canalización hacia el norte para alejarlo de la ruta.

#### USOS DE LOS SUELOS DEL ENTORNO DE LA RUTA PROVINCIAL Nº 334

Es importante señalar que el cambio de uso del suelo produjo aumento de los coeficientes de escorrentías que se relaciona directamente con el aumento de los caudales. Este cambio de uso del suelo se ve reflejado por el desmonte que fueron realizados para convertir las tierras en productivas. El desmonte de la cuenca baja del Rº San Francisco produjo la muerte de los humedales y la concentración del flujo produjo una transformación de un pequeño arroyo a un río de 200 m de ancho. Para poder cuantificar la superficie de desmonte se trabajó con las fotografías del Google Earth del año 2016 y el año 1985. La cuenca baja tiene una superficie total de 698 km<sup>2</sup>, tomando como punto de control el cruce con la ruta. De esa superficie 86% de la superficie fue desmontada. Se adjunta los planos correspondientes

Se trabajo de la misma manera con el Aº La Posta y El sueño, comparando las fotografías para visualizar la variación de desmonte en el tiempo. Comparando las fotografías del vuelo azúcar realizadas en 1976 con las imágenes del Google Earth de 2016, el resultado es el mismo. Se observa casi toda la cuenca baja desmontada. Es de destacar que en la fotografía de 1976 no existe cauce alguno que cruce la RNNº 38. Hoy el arroyo La Posta y El Sueño tiene un ancho medio de 20 m y a lo largo de su recorrido desborda en varios puntos. Se adjunta fotografías del lugar.

## CAMBIO CLIMATICO Y DESMONTE

Al desmonte hay que sumar el cambio climático. Los datos demuestran que la región del Noroeste Argentino está inmersa en el fenómeno del cambio climático (Minetti & Gonzalez, 2006). Según los estudios los datos demuestran que en el período 1914-2000 las precipitaciones en promedio aumentaron un 25 %. La suma de estos factores atenta con la infraestructura que posee nuestra repartición.

No solo la zona sur de la provincia sufre las inundaciones y la infraestructura se ve dañada. Se puede mencionar como ejemplo el Departamento de Burruyacu. En esta la zona, según información tomada desde el Instituto de Geociencias y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Naturales de la UNT, realizó un estudio donde remarca el gran desmonte que se produjo en estos años, dice el informe "hasta 1.990 se desmontó casi el 50% de las tierras del departamento Burruyacu. En el año 2.000 solo quedaba el 15% de monte en colinas aisladas en el sector distal del piedemonte de la sierra Del Campo ". También el estudio analizo el incremento de erosión y suelos degradados por acciones antropogénicas y variaciones climáticas midiendo las longitudes de las cárcavas y barrancos donde claramente se observa el empeoramiento de la situación con los años.

Las conclusiones del informe dicen "El piedemonte de la sierra Del Campo presenta riesgo moderado de erosión en cárcavas mientras que en la llanura oriental ondulada el riesgo de erosión en cárcavas es severo debido a que están separadas menos de 20 m, particularmente en los sectores donde la pendiente cóncava actúa como receptora del flujo superficial y lo canaliza. La remoción en masa se presenta combinada con los procesos de erosión hídrica en el retroceso de cabeceras y paredes laterales. El concepto de riesgo aplicado expresa la intensidad y distribución espacial alcanzada en cada proceso, *que podrían atenuarse con prácticas conservacionistas o agravarse si no se las aplica.*"

La Unión de Gestión Ambiental de nuestra repartición hace mención en un informe sobre un productor en la RPNº 336 que provocó la destrucción total de la cuneta, en casi 1 km, en el tramo Burruyacu Garmendia y dice "el beneficio económico es obtenido, por parte del productor, porque no se afronta un costo, que es el costo

ambiental, que se produce al afectar y dañar la infraestructura y el servicio de una obra pública que la pagan todos los usuarios, lo que se conoce como Externalidad Ambiental. *"Es la comunidad la que se empobrece a causa de las llamadas Externalidades Ambientales que surgen, como el beneficio de unos pocos sobre el perjuicio del resto de la sociedad"*. (Conesa et al 1995).

## CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

### Corto Plazo

Es necesario la construcción de un puente sobre el Rio San Francisco. Se cuenta con el proyecto y hay que dar salida a la población que queda atrapada cada verano entre el Rio San Francisco y el arroyo La Posta y El Sueño. Como ya se menciona el rio San Francisco tiene un cauce definido aguas abajo de puente por lo que las condiciones están dadas para la ejecución de la obra de arte mayor.

### Corto y Mediano Plazo

En lo referente al puente que cruzaría el arroyo La Posta y El Sueño este cauce no tiene un cauce definido hacia aguas abajo. Es necesario que la ruta no se convierta en cada lluvia en un canal. Se tiene que generar un cauce hacia el norte y alejar el agua del ámbito de camino y ejecutar el puente.

### Mediano y Largo Plazo

La modificación de los coeficientes de escorrentías generan mayor caudal en la cuenca y sería importante que los propietarios de las fincas utilicen el criterio de la Dirección Provincial del Agua donde el concepto sobre el que se sustenta, plantea que el caudal de pico generado por el cambio del uso del suelo para una tormenta de diseño, sea igual o menor que en la situación anterior donde existía monte o caña de azúcar. Esto se lograría realizando medidas estructurales activas que son destinadas a la reducción de caudales afluentes de la cuenca aguas arriba, hasta llegar a valores compatibles con la capacidad de los caudales aguas abajo. Una solución es la construcción de lagunas de detención en los campos de los productores logrando una disminución de los caudales que se canalizan por las rutas y zonas urbanas. Otra solución sería la recuperación de los humedales y los bosques.

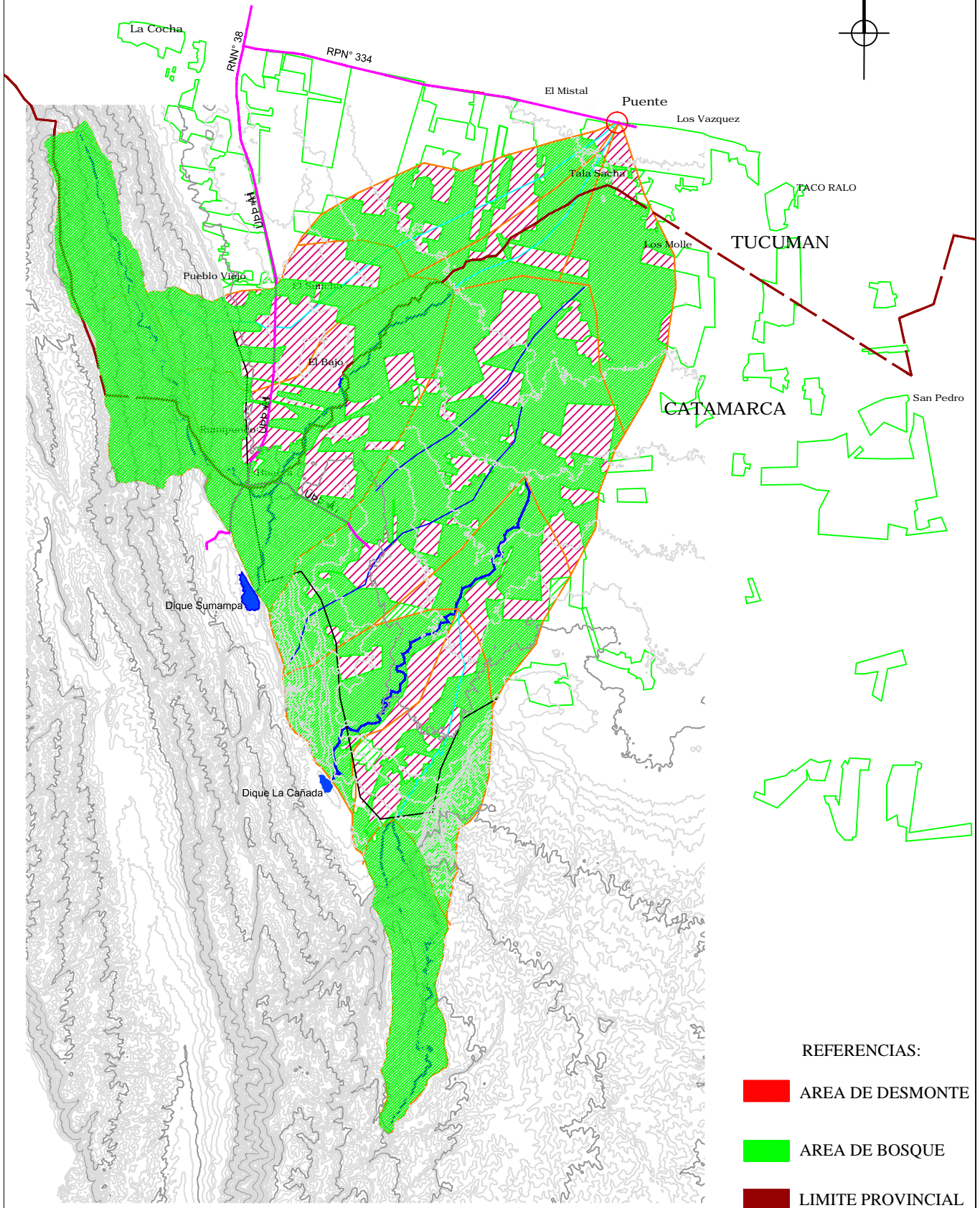
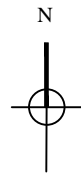
De todas maneras la solución a este tipo de problemas no tendrá solución si no se trabaja en conjunto. Tanto los productores como los diferentes organismos del estado

tendrían que trabajar en un plan director que genere pautas claras a corto, mediano y a largo plazo para controlar los desmontes, exigir obras de desagües dentro de cada una de las fincas y canalizaciones que ordenen esta zona de tan delicado equilibrio y recuperar los bosques. Como antecedente vale la pena remarcar el trabajo del Plan Director para la Sistematización de las Quebradas del Flanco Oriental de la Sierra de San Javier donde dice que: De cambiar la cobertura de caña de azúcar a citrus, el caudal se aumenta 5 veces, lo que da una idea del impacto que tiene el uso del suelo en la infraestructura de desagüe, que obliga al Estado a realizar inversiones millonarias ante la acción y consecuencia de un proyecto privado que no toma las precauciones para evitar ésta situación (léase cambio de caña de azúcar o de selva por citrus o soja). Se necesita instituciones fuertes que trabajen por el bien de la comunidad donde la misma comunidad defienda lo público y exista una unión entre lo público y lo privado para cuidar lo que es de todos.

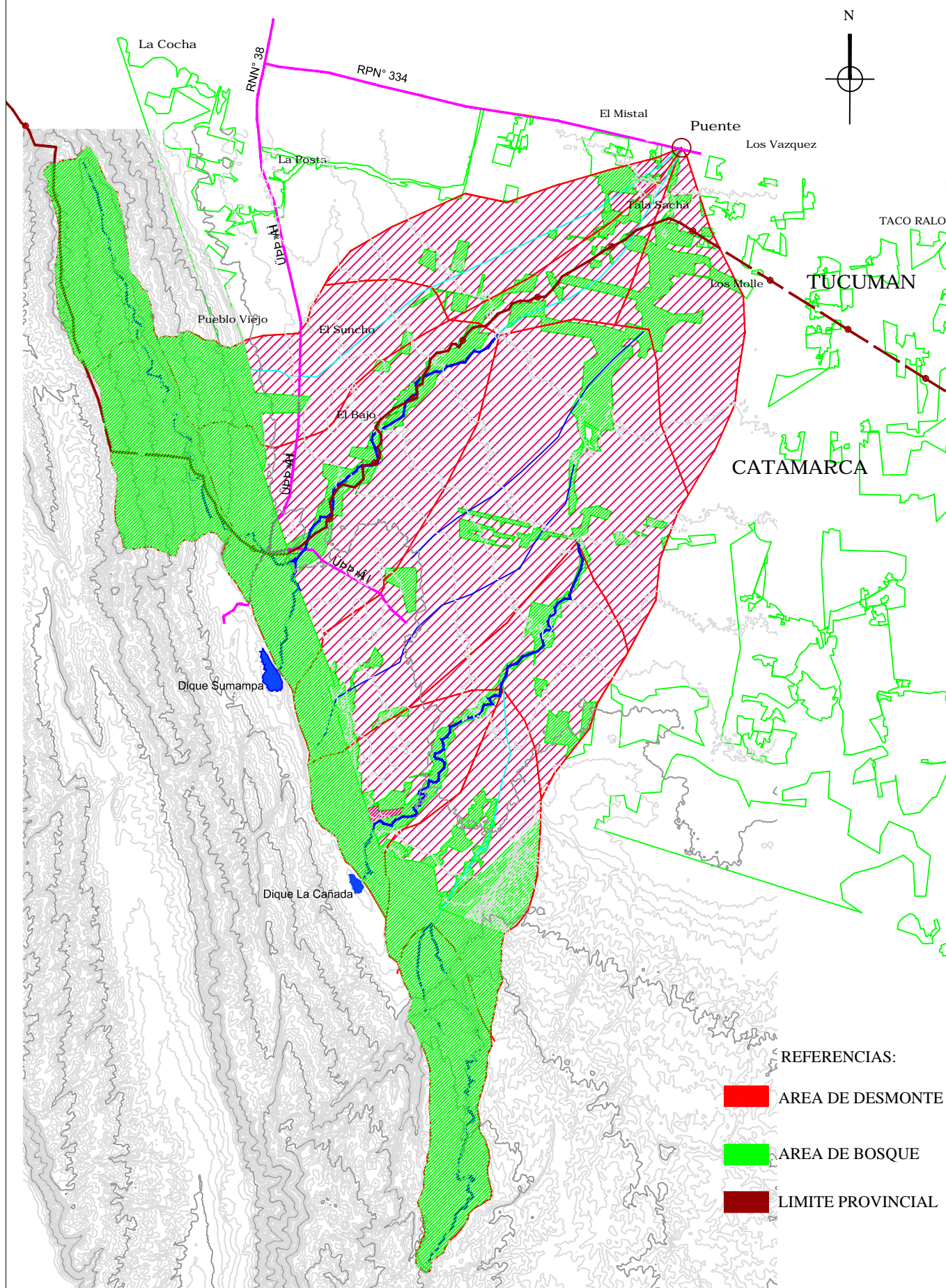
NOTA: Se adjunta gráficos con:

- a) detalles de áreas correspondientes a la cuenca de aporte del Río San Francisco, cubierta con montes y desmontada años 1.985, 2.016.
- b) detalles de áreas correspondientes a la cuenca de aporte de los arroyos La Posta y El Sueño, cubierta con montes y desmontada años 1.976 (vuelo Azúcar) y de Google Earth año 2.016.

# Situacion año 1985



# Situacion año 2016



# Area de desmonte año 76



# Situación actual





PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS

## **ANEXO 9a**

### **LINEAS DE ACCCIÓN Y OBRAS PROPUESTAS**

ING. JOSÉ RICARDO ASCÁRATE  
*Coordinador de Infraestructura*  
*Unidad Plan Belgrano, Jefatura de Gabinete*  
*Poder Ejecutivo Nacional*

COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO

MAYO 2017

**(Reproducción) Nota presentada a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH) el 9 de Mayo de 2017 por Ing. José R. Ascárate, Coordinador de Infraestructura de Unidad Plan Belgrano**

## **PROBLEMÁTICA INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN 2017**

### **LINEAS DE ACCION Y OBRAS PROPUESTAS**

En lo inmediato, atender emergencia y damnificados (subsidios ATN directo a los damnificados relevados).

#### **En corto plazo (año 2017):**

- Ejecutar obras de protección, encauce y construcción de defensas en la ciudad de La Madrid, rectificando y profundizando cauce meandroso aguas arriba y debajo de la localidad en una longitud de aproximadamente 5 Km.
- Sistematización cuenca San Francisco –Alijilán- Ovanta hacia el Marapa. Cierre de canales de productores y determinación de zonas de humedales al sur de La Madrid.
- Convenio con Catamarca para tratar un problema que se genera en el norte de dicha provincia.
- Iniciar planes de reforestación y determinar zonas de laminación para mejorar retención superficial
- Propuesta de TdR para regularización integral cuenca Marapa

#### **En corto y mediano plazo (1 a 4 años):**

- Legislar propuesta normas de uso de suelo  $\Delta Q = 0$
- Trabajar con entes de control provincial en la inspección “tranqueras adentro” de los productores para generar sistemas de atenuación de caudales y velocidades ( $\Delta Q = 0$ ). Sistemas de colección de aguas.
- Reconstrucción Ruta Prov. No. 334 c/criterio hídrico de obras de regulación de caudales en cuneta sur, sistemas de laminación y dos puentes sobre Ao. El Palancho y Río San Francisco.

#### **En mediano y largo plazo (1 a 8 años):**

- En base a TdR propuestos, regularización integral de Cuenca Marapa
- Diques de Potrero del Clavillo-El Naranjal-Regulación Gastona y Medina

#### **Permanentes:**

- Adhesión de todas las provincias al SINAGIR para la acción en situaciones de riesgo o emergencia
- Creación de unidades de respuesta rápida (en base territorial DNV y EEAA, con capacidad operativa y equipamiento...)
- Planes de reforestación en propiedad pública y privada, particularmente en zonas pedemontanas.
- Ordenamiento territorial y normativas de protección de humedales.

PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS

# **ANEXO 9b**

## **OBRAS PROPUESTAS 2016**

ING. JOSÉ RICARDO ASCÁRATE  
*Coordinador de Infraestructura*  
*Unidad Plan Belgrano, Jefatura de Gabinete*  
*Poder Ejecutivo Nacional*

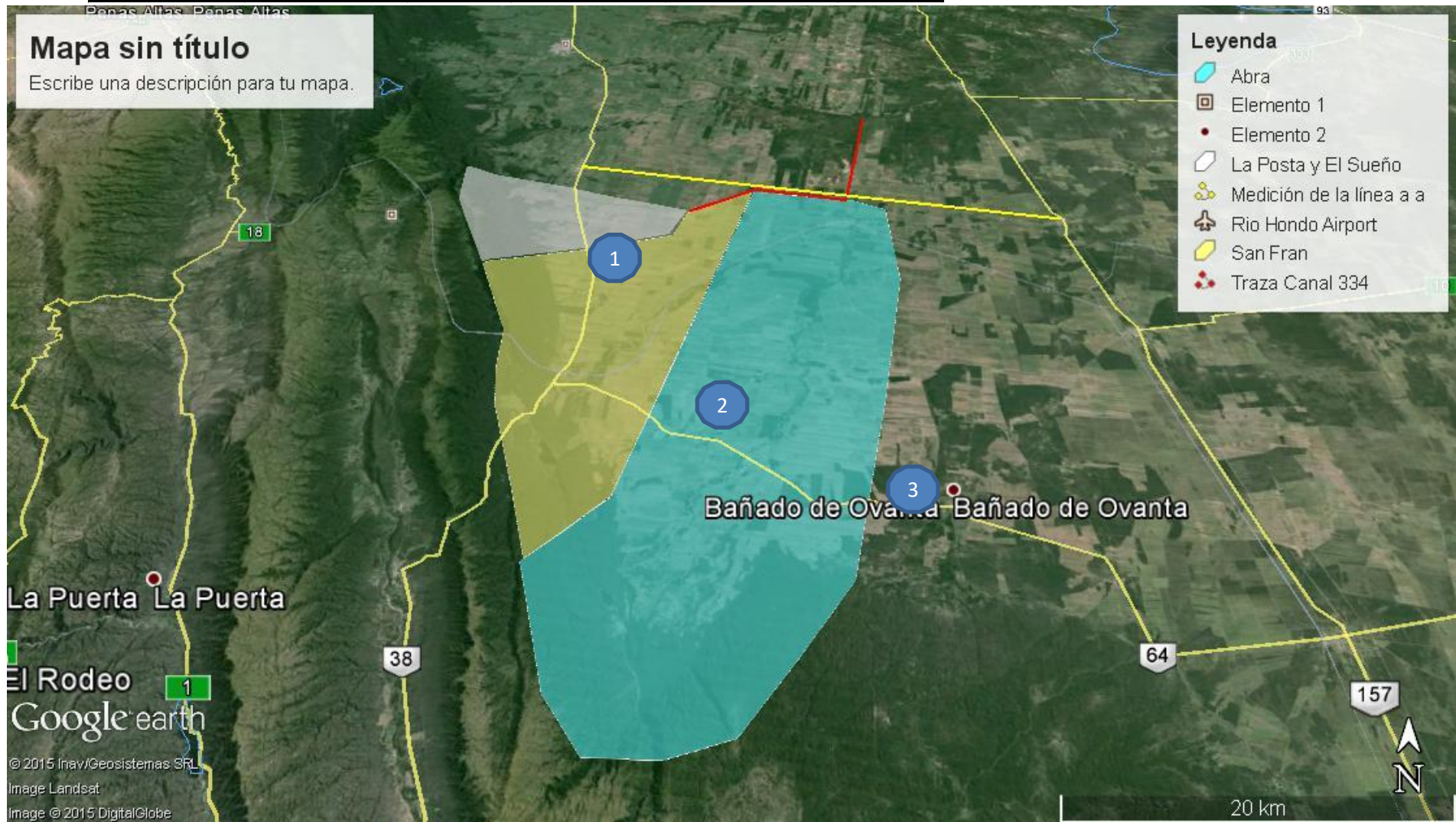
COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO

MAYO 2017

Cuencas que intervienen en el problema de La Cocha Taco Ralo

	Cuenca	Superficie (Ha)	Altura (m)	Longitud (Km)	pend media (%)	Delta H (m)
1	la Posta y S	13700	900-450	18	2,5	450
2	San Francisco	36300	1100- 380	29	2,5	720
3	El Abra-El Alto	75200	1550- 380	48	2,4	1170

Longitud de canal a ejecutar (rojo 30 Km)  
 Mas 3 lagunas de laminación de 50 Ha c/una  
 ubicadas en inicio de canal, y quiebres 1 y 2



PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS

# **ANEXO 10**

## **TAREAS INMEDIATAS RN No. 157**

ING. EVARISTO LOMBANA  
*Jefe del 3er. Distrito*  
*Dirección Nacional de Vialidad*  
*Poder Ejecutivo Nacional*

COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO

MAYO 2017

## **DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS A REALIZAR POR DNV EN LO INMEDIATO**

A los fines de darle permeabilidad al terraplén de la Ruta Nacional N° 157 en el sector de accesos a La Madrid se planificó la construcción de una alcantarilla transversal conformada por una batería de tres (3) conductos de caños de hormigón de 1,20m de diámetro con sus correspondientes muros de cabecera y alas y plateas en entrada y salida.

El objeto de la misma es permitir el paso del agua en caso de inundación de modo de evitar que, ante el avance de las aguas, se produzcan cortes no planificados en sectores no apropiados a los fines que se persiguen, tal como ocurriera en la pasada emergencia.

No se prevé efectuar otro tipo de tareas más allá de las correspondientes al mantenimiento de rutina y la periódica inspección del estado de los puentes y cauces en las proximidades de aquellos.

**PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS**

# **ANEXO 11**

## **ÁREAS INUNDABLES DEPARTAMENTO SANTA ROSA PROVINCIA DE CATAMARCA**

**COLEGIO DE GEÓLOGOS - GOBIERNO DE CATAMARCA  
Provincia de Catamarca**

**COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO**

**MAYO 2017**

## DETERMINACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES DE LAS LOCALIDADES UBICADAS EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS LAS CAÑAS Y LAS TUNAS - BAÑADO DE OVANTA DEPARTAMENTO SANTA ROSA, PROVINCIA DE CATAMARCA

Eremchuk Jorge E.  
Cisternas Miriam  
Costello Marcelo

### Resumen ejecutivo

Las condiciones para el desarrollo del presente estudio tuvieron como marco regulatorio, para su ejecución, los términos de referencia del comitente, cuyos criterios han sido lo suficientemente “amplios” para abordar la temática de inundabilidad en esta zona del departamento de Santa Rosa.

Para esta cuenca en particular, significó analizar una **superficie de 749.98 km<sup>2</sup>** y los asentamientos de más de **18 localidades**, los cuales yacen en terrenos generalmente deprimidos o en bajos topográficos y en donde el uso del suelo del entorno inmediato supera al 80% relacionado a la actividad agrícola, en tierras con **pendientes promedios del 1,18 %**.

Los resultados alcanzados cumplen con los objetivos y finalidad de los términos de referencia establecidos por el comitente. **Además, para cada sitio problema, se agregó un compendio de datos complementarios que conforman documentación e información de base para los estudios hidráulicos o de diseño hidrológico que se deseen implementar.**

El Dpto. Santa Rosa, según la norma IRAM 11.603 se ubica en la zona II Cálida – subzona a (IIa) con temperaturas 26,3 °C y 24,6 °C. El Instituto Nacional del Agua determina para el faldeo oriental de la Sierra de Ancasti, una precipitación media areal anual de 630 mm.

Sin embargo, estas condiciones se ven influenciadas regionalmente por la presencia, más al Oeste de una las regiones de mayor régimen de precipitaciones del NOA (*la bahía de Concepción en la provincia de Tucumán formada por la barrera orográfica de los sistemas serranos del Ambato y del Aconquija*) la cual supera los 1900 mm anuales. Esto significa que las variaciones de la pluviosidad de la zona de estudio están vinculadas con las fluctuaciones de dicha región.

Se ha tomado como meses estivales, al periodo de octubre a abril para analizar el régimen pluviométrico histórico y de correlación regional. Analizando las series históricas se observa que los periodos más lluviosos y de correlación regional, corresponden a las décadas de 1930, 1980 y las del presente periodo (2014 a 2016), en cuyo lapso estival, existen de 4 a 5 meses de lluvias que superan el umbral de los 100 mm mensuales, siendo el mes de marzo, el más relevante.

Históricamente el uso del suelo rural en la zona de estudio, fue cambiando a partir de los años 80 y 90, con el avance del cultivo de la soja en toda la región, pasando a una actividad agrícola intensiva, la cual ha generado una gran deforestación del monte chaqueño y ha invadido los espacios geográficos propios de la dinámica de los ríos.

En estas condiciones, el área de estudio, presenta un territorio con pequeñas aglomeraciones, sitios o asentamientos poblacionales y localidades de relevancia, rodeada de una geografía rural con una actividad agrícola intensiva que frente a la recurrencia histórica del régimen de precipitaciones, el comportamiento



de la escorrentía de las aguas de los ríos y de los campos generan problemas de inundabilidad sobre determinadas localidades de la cuenca.

El resultado de las investigaciones al problema potencial de inundabilidad de los diferentes asentamientos poblacionales en la zona de estudio, tiene como consecuencia dos tipos de problemas representados por:

**a. Crecientes repentinas de los ríos**

Estas no producen inundaciones directas sobre los asentamientos poblacionales, generan aislamiento de las localidades por los diferentes grados de afectación de los caminos y rutas, salvo el caso de los desbordes del río Ovanta – Las Tunas que afectó a la localidad de Bañado de Ovanta, por razones asociadas a problemas antrópicos.

**b. Excedentes hídricos de los suelos**

Los mismos generan inundaciones pluviales provenientes de las tierras agrícolas del área de estudio. Este es el principal problema en la zona y relacionado a: i) cambio de uso del suelo, ii) las condiciones de los asentamientos de la población, las rutas y caminos secundarios y iii) el régimen de precipitaciones de los últimos años.

El análisis de las geoamenazas hídricas se realizó desde estos dos puntos de vista: pluvial y fluvial, según su causa sean los excedentes hídricos que provienen de los campos de cultivos o bien sean fenómenos de avulsión de los cursos de agua. Para ello previamente se realizó una cartografía hidrogeomorfológica de la cuenca y sus interfluvios, a escala 1:25.000, que permitió detectar y definir las áreas problemas según sea el caso, identificándose que los asentamientos de **Bañado de Ovanta, Los Molles, San Pedro Norte y San Pedro Sur** se encuentran sometidos a fenómenos de inundabilidad. Dada la magnitud del trabajo cartográfico hidrogeomorfológico, se ha lo presentado dividido en una zona norte y otra sur, acompañada del correspondiente informe del tema y otra cartografía de inundabilidad de mayor detalle de las localidades problemas.

Para la presente cuenca de estudio, la localidad que tuvo problemas de inundaciones por la creciente extraordinaria del río Ovanta – Las Tunas, es **Bañado de Ovanta** ubicada sobre la ruta nacional N° 64, distante a 117 km de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. La ciudad es cabecera del Departamento Santa Rosa y es uno de los núcleos poblacionales más importantes (1096 habitantes) de la región NE de la provincia de Catamarca.

El río Ovanta – Las Tunas, durante la crecida repentina de 02 al 03 de marzo de 2015, desbordó por su margen derecha, en varios lugares, los flujos de agua alcanzaron la trama urbana de la ciudad de Bañado de Ovanta y se estancaron en los terrenos bajos del sector norte de la ciudad.

Es preciso señalar que los documentos de las fotografías aéreas y de las imágenes satelitales de los últimos 50 y 40 años respectivamente, de disposición pública, no se registran evidencias de avulsiones naturales del río por crecidas que hayan superado los límites del lecho mayor de inundación del río Ovanta – Las Tunas.

Sin embargo, se han detectado evidencias de degradación del talud natural, que corresponde al límite de la margen derecha del lecho mayor de inundación del curso de agua, en el tramo del río que va desde el paraje de Ovanta al puente de la ruta nacional N° 64. Estos sectores, identificados y documentados, son; i) el acceso al río por la margen derecha y perturbación del cauce y lecho en del río en el paraje de Ovanta, ii) la deforestación de un meandro abandonado con degradación de los taludes del mismo, iii) el acceso por margen izquierda y perturbación del lecho del río por extracción de áridos, en el sector del puente de la ruta nacional N° 64.

Estas condiciones de lecho de inundación del curso de agua, previas a la crecida repentina de marzo de 2015, fueron los sectores vulnerables por donde el río desbordó generando escorrentías laminares y ligeramente encauzadas las cuales alcanzaron rápidamente las vías de comunicación de acceso a la ciudad (ruta provincial N° 30, Ampolla - Bañado de Ovanta y ruta nacional N° 64 desde el puente a la ciudad). Estos accesos actuaron de simple viaducto de los caudales de crecida llevándolos directamente sobre la trama urbana.

Esta situación tuvo un agravante, en forma simultánea, que fue el estancamiento de los flujos del río a la altura del puente de la ruta nacional N° 64, generado principalmente por el atascamiento de una masa importante de vegetación.

Se ha verificado, en las imágenes satelitales pre y post evento, que dicho material fue arrancado por la socavación lateral de la creciente repentina sobre la zona de los meandros activos, ubicados a la altura del paraje de Ovanta afectando una superficie de unas 5 has. Este represamiento del río en el puente, fue la causa de los desbordes en dicho sector, que fluyeron por la ruta nacional N° 64 hacia Bañado de Ovanta.

Por otro lado, se verificó la existencia de flujos de agua laminares que llegaron a la ciudad por el acceso Este de la ciudad, comentado por los pobladores de la zona. Los mismos están relacionados a la escorrentía superficial de los excedentes hídricos de los suelos proveniente de los campos ubicados al sureste de la localidad.

La ciudad de Bañado de Ovanta, por su ubicación y por los terrenos deprimidos en donde se ha desarrollado su trama urbana, es una localidad vulnerable a los problemas de inundabilidad fluvial por los desbordes excepcionales del río Ovanta, en tanto y cuanto no se solucionen los problemas de la degradación de su ribera de la margen derecha. Cabe señalar que esta localidad también sufre problemas de inundabilidad por los excedentes hídricos de los suelos de un área agrícola que se ubica al sureste de la trama urbana, lo que implica medidas estructurales que requieren de una red de desagües y colectores pluviales para evacuar estos flujos de la ciudad.

La solución a estos problemas de inundabilidad de Bañado de Ovanta, se presentan complicadas si estas fuesen aisladas. La intervención conjunta de Vialidad Provincial y Recursos Hídricos, pueden dar respuesta al tema de las inundaciones fluviales. Por otro lado, la Municipalidad y los actores responsables de la explotación de las tierras agrícolas pueden ayudar a mitigar el tema de la inundabilidad pluvial de la ciudad.

En la zona de estudio, se han detectado otras dos localidades con problemas de inundabilidad pluvial, el asentamiento de **Los Molles** y la localidad de **San Pedro, zona norte y sur**.

Los Molles se ubica sobre la ruta provincial N° 27, se accede desde la localidad de Los Altos recorriendo unos 30 km hacia el norte y el asentamiento dista de unos 800 metros del límite con la provincia de Tucumán.

San Pedro zona sur, se accede desde Bañado de Ovanta por ruta provincial N° 10 y dista de una distancia de 25 km. San Pedro zona norte, se accede por el mismo recorrido o desde el oeste por ruta nacional N° 153.

Para los tres sitios considerados, la problemática de inundabilidad pluvial es la misma. Los excedentes hídricos de los suelos agrícolas del entorno son interrumpidos por las vías de comunicación y éstas conducen las aguas hacia las localidades, tal es el caso de la ruta provincial N° 27 para Los Molles, la ruta provincial N° 10 para San Pedro Sur y la ruta provincial N° 153 para San Pedro Norte.

Se han delimitado las cuencas de interfluvios, cuyos drenajes superficiales en forma directa o indirecta, alcanzan los diferentes sitios poblacionales. También se determinó si lo hacen en forma de drenajes

encauzados de baja escurrentía o de flujos laminares, esto facultó identificar y determinar los parámetros morfométricos de las cuencas problemas.

La solución para mitigar los efectos de la inundabilidad pluvial de estos sitios, consiste en contar con drenes u obras adecuadas para que los flujos no sean atascados y desviados por la infraestructura de las vías de comunicación. Sin embargo, pueden existir otras medidas de actores particulares, consistentes en retener y desviar los excedentes hídricos dentro de los campos, mediante terrazas de contención y desagües, fuera del alcance de la población.

Finalmente, la solución para las localidades de **Los Molles y San Pedro Sur y San Pedro Norte**, afectadas por fenómenos de inundabilidad pluvial generada por los excedentes hídricos de los suelos agrícolas de la zona de estudio, debiera ser participativa e integrada entre organismos del estado (Vialidad y Recursos Hídricos como mínimo) y los principales actores responsables de la explotación agrícola de la zona.

**PROBLEMÁTICA DEL ÁREA SUR DE TUCUMÁN, ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO  
DOCUMENTO SÍNTESIS**

## **ANEXO 12**

### **ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DE SANTA ROSA PROVINCIA DE CATAMARCA**

**INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA - GOBIERNO DE CATAMARCA  
Provincia de Catamarca**

**COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO**

**MAYO 2017**



SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS



## CONVENIO

INA – GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE CATAMARCA

ACUERDO ESPECÍFICO Nº 01 / 12

# ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DE SANTA ROSA

Departamentos: SANTA ROSA, EL ALTO, PACLÍN Y AMBATO

PROVINCIA DE CATAMARCA

INFORME FINAL

**Autores:** Lic. Carlos A. J. Torres  
Lic. Ernesto R. García  
Lic. Rubén N. Gianni  
Lic. Patricia S. Luna  
Ing. Gerardo H. Salvioli  
Ing. José J. Urcia

**Colaboradores:** Téc. Rolando A. Linares  
Prog. Juan M. Siri  
Téc. Víctor H. Valenzuela  
Informática Aplicada y  
Documentación

NFORME TÉCNICO – IT - 344 - SAN JUAN, NOVIEMBRE 2015

[www.ina.gov.ar](http://www.ina.gov.ar) / [cras@ina.gov.ar](mailto:cras@ina.gov.ar)

## **PERSONAL PARTICIPANTE**

Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos de la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Catamarca.

Téc. Diego Vallejos

Téc. Carlos Aciar

Téc. María de los Angeles Luna

Ing. Walter M. Angelini

## ÍNDICE

1 INTRODUCCION.....	1
2 OBJETIVO .....	1
3 ANALISIS DE ANTECEDENTES .....	2
4 SELECCIÓN DEL AREA DE TRABAJO .....	3
4.1 Base cartográfica .....	3
5 ASPECTOS GEOLOGICOS E HIDROGEOLOGICOS .....	4
5.1 Precámbrico – Paleozoico Inferior .....	4
5.2 Terciario .....	5
5.3 Cuaternario .....	6
5.4 Aspectos hidrogeológicos .....	7
6 RELEVAMIENTO HIDROGEOLOGICO.....	7
6.1 Diseño de la Base de Datos Hidrogeológica .....	7
6.2 Desarrollo de las tareas de campo .....	9
6.3 Profundidad del agua subterránea .....	11
6.4 Morfología del nivel piezométrico .....	12
7 PROSPECCION GEOFISICO – GEOLOGICA DE SUBSUELO .....	13
7.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) realizados .....	13
7.2 Equipamiento geoeléctrico y metodología .....	16
7.3 Cortes geofísico – geológicos.....	16
7.3.1 Consideraciones generales.....	17
7.3.2 Basamento resistivo .....	18
7.3.3 Relleno conductivo .....	19
7.3.4 Relleno resistivo .....	21
8 HIDROQUIMICA.....	23
8.1 Introducción .....	23
8.2 Muestreo y análisis de fuentes de agua .....	24
8.3 Criterios para caracterizar el agua y sistema de clasificación para riego .....	26
8.4 Características químicas principales del agua superficial .....	30
8.4.1 Río de La Capellanía .....	30
8.4.2 Arroyo Bañado de Ovanta.....	31
8.4.3 Río Sumampa .....	32
8.4.4 Río Huacra .....	32
8.4.5 Río La Aguada .....	33

8.4.6	Arroyo Las Cañas.....	33
8.5	Características químicas principales del agua subterránea .....	34
8.5.1	Bañado de Ovanta .....	37
8.5.2	Las Tunas y Ampolla.....	41
8.5.3	Los Altos – El Abra.....	42
8.5.4	Manantiales .....	44
8.5.5	Estancia San Francisco .....	45
8.5.6	El Tala – La Rinconada.....	46
8.5.7	Los Ortiz – Monte Redondo .....	47
8.5.8	Los Molles – Pozo Hondo .....	48
8.5.9	Dos Pocitos – Pozo del Bajo.....	50
8.5.10	Finca El Carmen.....	51
8.5.11	San Pedro .....	52
8.5.12	Las Cañas – Cortaderas - Lavalle.....	53
9	ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO.....	55
9.1	Magnitud de las precipitaciones medias anuales .....	55
9.2	Correlación de registros pluviométricos.....	56
9.3	Distribución temporal de las precipitaciones. Régimen pluviométrico .....	58
9.4	Distribución espacial de las precipitaciones .....	59
10	RECARGA DE LA CUENCA DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	60
10.1	Caso de las lluvias sobre los sedimentos cuaternarios .....	60
10.2	Recarga proveniente de las precipitaciones sobre sectores montañosos y serranos....	60
10.2.1	Análisis del coeficiente medio anual global de las cuencas .....	61
10.2.2	Análisis de los coeficientes de escorrentías eventuales .....	64
10.3	Volumen de recarga media anual a la cuenca subterránea.....	65
11	EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA RIEGO .....	66
11.1	Metodología para la identificación de las áreas cultivadas irrigadas con agua subterránea .....	66
11.1.1	Estimación preliminar de la superficie cultivada irrigada con agua subterránea .....	68
11.2	Estimación preliminar del volumen de agua subterránea extraído para riego.....	73
11.2.1	Cálculo de la extracción de agua subterránea según estimación del régimen de funcionamiento de las perforaciones .....	73
11.2.2	Cálculo de la extracción de agua subterránea según requerimiento de los cultivos y las precipitaciones.....	74
12	SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG) .....	75
12.1.	Etapa de diseño .....	76
12.2.	Etapa de implementación .....	80



12.3. Etapa de Análisis .....	84
13. ZONAS CON APTITUD PARA LA EXPLOTACION DE AGUA SUBTERRANEA APLICADA A RIEGO	84
14.- SINTESIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	91
15. RECOMENDACIONES .....	96
16.- BIBLIOGRAFIA .....	97

## FIGURAS

Figura 1: Capas del SIG Cuenca Santa Rosa. ....	81
Figura 2: Estructura de directorios del SIG Cuenca Santa Rosa. ....	81
Figura 3: Estructura de las relaciones entre las tablas de la Base de Datos Hidrogeológica del SIG Cuenca Santa Rosa. ....	82
Figura 4: Despliegue de la Base de Datos relacional. ....	82
Figura 5: Capas con consultas de la Base de Datos Hidrogeológica en el SIG Cuenca Santa Rosa. ....	83
Figura 6: Metadato de una Capa del SIG Cuenca Santa Rosa. ....	83
Figura 7: Clasificación de aptitud locacional según resolución Booleana de Riesgo Escalonado. ....	88
Figura 8: Clasificación de aptitud locacional según resolución por Lógica Difusa (Fuzzy). ....	90

## GRÁFICOS

Gráfico 1: Diagrama de Laboratorio de Salinidad de Riverside (modificado por Thorne y Peterson). ....	29
Gráfico 2: Gráfico de correlación estaciones La Cañada (estación base) y San Pedro de Guasayán (estación modificada). ....	56

## TABLAS

Tabla 1: Tablas y Campos de la Base de Datos Hidrogeológica. ....	8
Tabla 2: Coordenadas de ubicación y cotas de los Sondeos eléctricos Verticales (SEV) realizados. INA-CRAS; Año 2014. ....	9
Tabla 3: Métodos de análisis y equipos utilizados en el Laboratorio del CRAS. ....	25
Tabla 4: Niveles guía de calidad de agua para distintos usos (mg/l). ....	27
Tabla 5: Clasificación del agua por su Dureza Total. (Según la Organización Mundial de la Salud). ....	30
Tabla 6: Parámetros de clasificación de agua para riego. Área Bañado de Ovanta. ....	38
Tabla 7: Parámetros de clasificación de agua para riego. Perforaciones. Área Bañado de Ovanta. ....	40
Tabla 8: Parámetros de clasificación de agua para riego. Perforaciones. Área Los Altos – El Abra. ....	44
Tabla 9: Parámetros de clasificación de agua para riego. Perforaciones. Área El Tala – La Rinconada. ....	47
Tabla 10: Parámetros de clasificación de agua para riego. Perforaciones. Área Los Molles – Pozo Hondo. ....	49
Tabla 11: Parámetros de clasificación de agua para riego. Perforaciones. Área Finca El Carmen. ....	52
Tabla 12: Parámetros de clasificación de agua para riego. Área San Pedro. ....	53
Tabla 13: Ubicación y períodos de registro de estaciones pluviométricas. ....	55
Tabla 14: Resumen de precipitación en las estaciones pluviométricas. Período 1970 – 1996. ....	57
Tabla 15: Precipitaciones medias (mm) en las estaciones pluviométricas seleccionadas. Período 1970 – 1996.....	58

Tabla 16: Precipitaciones medias mensuales (mm) en las estaciones pluviométricas. ....	58
Tabla 17: Volumen precipitado en las subcuencas hidrográficas. ....	59
Tabla 18: Volumen de recarga a la cuenca de agua subterránea. ....	66
Tabla 19: Cultivos de verano. Superficie de áreas circulares regadas con agua subterránea (pivotes). ....	71
Tabla 20: Cultivos de verano. Superficie de áreas rectangulares regadas con agua subterránea. ....	71
Tabla 21: Cultivos de invierno. Superficie de áreas circulares regadas con agua subterránea (pivotes). ....	72
Tabla 22: Cultivos de invierno. Superficie de áreas rectangulares regadas con agua subterránea. ....	72
Tabla 23: Nombre, geometría y tipo de representación de las capas. (SIG Cuenca Santa Rosa). ....	77
Tabla 24: Valores de Transmisividad. (Villanueva e Iglesias, 1984). ....	86
Tabla 25: Intervalos de espesor sedimentario saturado (m). ....	86
Tabla 26: Peligro de Salinización según Conductividad Eléctrica del Agua Subterránea (micros/cm). ....	87
Tabla 27: Peligro de Sodificación según RAS. ....	87
Tabla 28: Estandarización discreta de Factores. Resolución Booleana. ....	88
Tabla 29: Clasificación de aptitud locacional por resolución Booleana. ....	88
Tabla 30: Estandarización inicial de Factores. Resolución de Lógica Difusa (Fuzzy). ....	89
Tabla 31: Clasificación de aptitud locacional por resolución de Lógica Difusa (Fuzzy). ....	89

## LÁMINAS

(ver Apartado Láminas y Anexo 1)

Lámina 1: Mapa de ubicación.

Lámina 2: Mapa Topográfico.

Lámina 3: Marco geológico regional.

Lámina 4: Mapa geológico.

Lámina 5: Ubicación de perforaciones y pozos excavados. Año 2014.

Lámina 6: Curvas de igual profundidad del nivel de agua subterránea. Año 2014.

Lámina 7: Variación del nivel de agua subterránea en pozos del área de trabajo. Período 2010–2014.

Lámina 8: Curvas de igual cota del agua subterránea (isopiezas).

Lámina 9: Ubicación de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y trazas de cortes geofísico – geológicos.

Lámina 10: Cortes geofísico – geológicos 1-1, 2-2', 3-3' Y 4-4'.

Lámina 11: Cortes geofísico – geológicos 5-5' Y 6-6'.

Lámina 12: Cortes geofísico – geológicos 7-7', 8-8' Y 9-9'.

Lámina 13: Mapa estructural.

Lámina 14: Mapa isopáquico.

Lámina 15: Ubicación de puntos de agua superficial y subterránea muestreados.

Lámina 16: Características químicas del agua superficial (Diagramas Circulares).

Lámina 17: Características químicas del agua subterránea. Perforaciones (Diagramas Circulares).

Lámina 18: Características químicas del agua subterránea. Pozos excavados (Diagramas Circulares).

Lámina 19: Curvas de isoterperatura del agua subterránea.

Lámina 20: Estaciones pluviométricas y subcuencas hidrográficas.

Lámina 21: Isoyetas. Período 1970 – 1996.

Lámina 22: Cultivos estivales bajo riego con agua subterránea. Áreas identificadas empleando combinaciones de bandas: 432 y 543.

Lámina 23: Cultivos estivales bajo riego con agua subterránea. Áreas identificadas empleando combinaciones de bandas: 654 y 564.

Lámina 24: Cultivos estivales bajo riego con agua subterránea. Áreas identificadas empleando combinaciones de índices: NDVI y NDWI.

Lámina 25: Cultivos invernales bajo riego con agua subterránea. Áreas identificadas empleando combinaciones de bandas: 432 y 543.

Lámina 26: Cultivos invernales bajo riego con agua subterránea. Áreas identificadas empleando combinaciones de bandas: 654 y 564.

Lámina 27: Cultivos invernales bajo riego con agua subterránea. Áreas identificadas empleando combinaciones de índices: NDVI y NDWI.

Lámina 28: Zonas de aptitud para la explotación del agua subterránea aplicada a riego. (Según Resolución Booleana de Riesgo Escalonado).

Lámina 29: Zonas de aptitud para la explotación del agua subterránea aplicada a riego. (Según Resolución por Lógica Difusa).

Lámina 30: Propuesta de red de monitoreo. Ubicación de perforaciones.

## **ANEXO 1**

(ver Apartado Láminas y Anexo 1)

Anexo 1: Base de Datos Hidrogeológica. Cuenca de Santa Rosa, Año 2014. (Datos de Relevamiento Hidrogeológico de Pozos y Muestreo Hidroquímico de Agua Superficial).

Anexo 1.1 Tabla ID y Ubicación del Punto de Agua Subterránea.

Anexo 1.2 Tabla Construcción y equipamiento de la Perforación.

Anexo 1.3 Tabla Construcción del Pozo Excavado.

Anexo 1.4 Tabla Estado y Uso\_de Perforaciones y Pozos Excavados.

Anexo 1.5 Tabla Mediciones Hidrológicas\_Agua Subterránea.

Anexo 1.6 Tabla Datos Hidroquímicos de Campo y Laboratorio\_Agua Subterránea.

Anexo 1.7 Tabla Datos Hidroquímicos de Campo y Laboratorio\_Agua Superficial.

## **1 INTRODUCCION**

A partir del Acuerdo Específico N° 01/12 celebrado en el marco del Convenio entre el Gobierno de la Provincia de Catamarca y el Instituto Nacional Agua, se ha realizado un estudio hidrogeológico en las cuencas denominadas de Santa Rosa y del Aconquija.

El presente informe corresponde a la Cuenca de Santa Rosa, ubicada en el centro – este de la provincia de Catamarca (Lámina 1). La cuenca de agua subterránea se desarrolla en el departamento de Santa Rosa y su límite excede a los de la provincia de Catamarca en dirección a las provincias de Santiago del Estero y Tucumán.

Las tareas de campo y de gabinete se efectuaron con la participación de profesionales y técnicos del Instituto Nacional del Agua (INA). – Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS), como así también de personal profesional y técnico de la Dirección de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos de la provincia de Catamarca. En los diferentes informes de avance presentados de acuerdo a lo establecido en el Acuerdo Específico, se hizo entrega de resultados parciales acompañados con representaciones cartográficas.

La Dirección de Hidrología de la Provincia de Catamarca realizó el acotamiento de precisión de una parte de las manifestaciones de agua subterránea (perforaciones) relevadas.

En el presente documento de Informe final, se expone la caracterización hidrogeológica de la cuenca en su aspecto geológico, hidrológico e hidroquímico y los resultados y conclusiones generales a las que se han arribado, dando cumplimiento a los objetivos establecidos en el Acuerdo Específico.

## **2 OBJETIVO**

El objetivo del presente estudio fue realizar un “Relevamiento de los Recursos Hídricos Subterráneos en la Cuenca de Santa Rosa”, a fin de disponer de un inventario de puntos de agua, establecer la geometría de la cuenca, determinar las características físico-químicas del agua y su aptitud para diversos usos, identificar posibles áreas potencialmente aptas desde el punto de vista de la cantidad y la calidad del agua y estimar el grado del impacto producido a la fecha por las explotaciones de agua subterránea para riego de cultivos en los emprendimientos agrícolas establecidos en la cuenca.

Al mismo tiempo este trabajo servirá de base para guiar en el futuro a una gestión sustentable del recurso, orientada a satisfacer las necesidades humanas promoviendo el mejoramiento de su calidad de vida, con aumentos de niveles de productividad primordialmente en las actividades rurales, en base a los criterios generales de la gestión integrada de los recursos hídricos. En este marco, será necesario realizar estudios complementarios de detalle y un modelo matemático del sistema acuífero a fin de determinar los caudales disponibles sustentables de ser explotados.

Se suma además uno de los objetivos importantes del proyecto referido a la capacitación de recursos humanos en la temática hidrogeológica, orientado a personal participante en el Proyecto perteneciente a la Dirección de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos de la Secretaría del Agua y del Ambiente de la provincia de Catamarca.

### **3 ANALISIS DE ANTECEDENTES**

De acuerdo a lo establecido en la propuesta metodológica se procedió a la recopilación de antecedentes, los cuales permitieron contar con valiosa información histórica que sirvió de base para la planificación de los estudios realizados.

Se dispuso de variada y valiosa información suministrada por el Gobierno de Catamarca, a través de la Dirección de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos, contenida en la Base de Datos (Access) General – Santa Rosa – 2012 de puntos de agua (perforaciones y pozos excavados) y en la Base de Dato (Access) de Perfiles Geológicos. Asimismo se suministraron Informes Técnicos de perforaciones realizadas por empresas privadas.

Cabe señalar el antecedente proporcionado por el Trabajo Final de Licenciatura en Ciencias Geológicas, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca denominado “Delimitación de acuíferos y calidad del agua subterránea en el Sector W del Departamento Santa Rosa. Provincia de Catamarca”. Año 1994.

La recopilación de antecedentes brindó además el acceso a cartografía de base, mapas geológicos e imágenes satelitales que se emplearon en la elaboración de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Tales niveles de información están referidos a:

Mapa base (vías de comunicación, centros poblados, etc.) de la Base de Datos Geográfica Institucional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) - SIG250 – y de la Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos de la provincia de Catamarca.

Hoja geológica 2766 – IV: Concepción. Provincias de Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero. Escala 1:250.000. (SEGEMAR).

Hoja geológica 2966 – II: San Fernando del Valle de Catamarca. Provincias de Catamarca, Santiago del Estero y Tucumán. 1:250.000. (SEGEMAR).

Hoja Geológica 14g El Alto. Provincias de Catamarca y Santiago del Estero. Escala 1:200000 (Servicio Geológico Nacional)

Imágenes satelitales correspondientes al satélite Landsat 8 y Landsat 7 con diferentes combinaciones de bandas.

Para el estudio hidrometeorológico se dispuso de información pluviométrica obtenida por la Secretaría del Agua y del Ambiente y Recursos Hídricos de la provincia de Catamarca, el INTA Catamarca, las estaciones de establecimientos agrícolas de Santa Rosa y las compiladas en el informe “Relevamiento de la Disponibilidad de Recursos Hídricos de Cuenca Salar Pipanaco, Cuenca Abaucán – Colorado – Salado y cuencas Faldeo Oriental del Ancasti”, (Vargas Aranibar; INA - CRA 2010).

#### **4 SELECCIÓN DEL AREA DE TRABAJO**

Se seleccionó un área de trabajo limitada al sur y al oeste por los afloramientos del Basamento Cristalino correspondientes a las sierra de El Alto - Ancasti, sierra de Guayamba, cumbre de Potrerillo y cumbre de Los Llanos. Al este y al norte se extiende hasta sobrepasar el límite con las provincias de Santiago del Estero y de Tucumán respectivamente (Lámina 1).

El área en cuestión se ubica dentro de las siguientes coordenadas Gauss-Krüger extremas:

Y mínimo: 3526040; Y máximo: 3595368

X mínimo: 6860678; X máximo: 6927965

Comprende una superficie de unos 4670 Km<sup>2</sup>, mientras que el área donde se produce la explotación del agua subterránea es de unos 1200 km<sup>2</sup>.

##### **4.1 Base cartográfica**

La denominada Base cartográfica agrupa información correspondiente al mapa base, topografía e imágenes satelitales.

Los niveles de información concernientes al mapa base están referidos a límites administrativos, vías de comunicación, centros poblados y cursos de agua. Su fuente de información corresponde a la Base de Datos Geográfica Institucional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) - SIG250 – y a la Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos de la provincia de Catamarca. El procesamiento de estos niveles de información estuvo referido a su proyección a coordenadas planas Gauss – Krüger seleccionadas para el SIG y la edición de sus propiedades gráficas adecuadas a la escala de representación adoptada.

La topografía del área de trabajo corresponde al Modelo Digital de Elevación (MDE) Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) versión 2 (Lámina 2). SRTM es un proyecto internacional liderado por la National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) y la National Aeronautics and Space Administration (NASA). Este MDE presenta aproximadamente 90 m de resolución. Sobre el Modelo para el área de la provincia de Catamarca; existen antecedentes de análisis de su precisión altimétrica a través de la comparación con un conjunto de 186 puntos de control terrestre de la red PASMA (Proyecto de Asistencia al Sector Minero Argentino), que lo señalan como adecuado, indicando un error cuadrático

medio alrededor de los 10 m, con mayores diferencias en las zonas de relieve más abrupto minimizándose sobre los relieves menos marcados y la ausencia de errores sistemáticos; (Puricelli et al., 2006).

El MDE correspondiente al área de trabajo fue procesado con el programa System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) versión 2.0.8, aplicando la metodología de llenado de depresiones o lugares donde se dirige el flujo sin posibilidad de salida, que representa una de las mayores dificultades para la utilización de un MDE como fuente de información hidrológica. Asimismo se emplearon distintos módulos disponibles en el mencionado software para realizar el análisis hidrológico del MDE, en particular la generación del área de aporte y red de drenaje, que concluyó con la delimitación de las subcuencas hidrográficas.

Las imágenes satelitales utilizadas corresponden al satélite Landsat 8, de 30 m de resolución con fechas de captura 24 de noviembre de 2013 y 4 de enero de 2014. Las mismas fueron procesadas con el programa ENVI 4.2 para la conformación de un mosaico de imágenes. Por otra parte se emplearon imágenes Landsat 7, igualmente procesadas con el software mencionado para la combinación de bandas, las cuales fueron empleadas para asistir en la identificación de las unidades geológicas presentes en el área de trabajo.

## **5 ASPECTOS GEOLOGICOS E HIDROGEOLOGICOS**

El área de trabajo forma parte de la cuenca hidrográfica del río Salí – Dulce.

Integra la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas y comprende la llanura desarrollada al norte y al este de los bloques montañosos que integran la sierra de El Alto - Ancasti, sierra de Guayamba, cumbre de Potrerillo y cumbre de Los Llanos (Láminas 1 y 2).

Esta llanura de la provincia de Catamarca es parte integrante de una mayor con nivel de base local en el Embalse de Río Hondo y limitada al oeste por los elementos orográficos antes señalados y al este por las elevaciones que conforman la sierra de Guasayán. Abarca parte de las provincias de Catamarca, Tucumán y Santiago del Estero, (Lámina 3).

Los terrenos aflorantes en la región de estudio corresponden a rocas metamórficas e intrusiones de rocas ígneas del Precámbrico – Paleozoico y una cubierta sedimentaria que comprende sedimentitas y sedimentos del Terciario y del Cuaternario (Lámina 4).

### **5.1 Precámbrico – Paleozoico Inferior**

Las rocas más antiguas, de edad Precámbrica - Paleozoica, son la componente principal de los mencionados cuerpos montañosos y constituyen el denominado Basamento Cristalino. Está integrado por esquistos, gneises, migmatitas, granitos, granodioritas, etc., afectados de abundantes fracturas (fallas y diaclasas). Estas rocas corresponden a las Formaciones Infanzón, Carreta Saltana, El Alto, etc.

Estas sierras, típicas montañas de bloque volcadas hacia el este, se extienden con rumbo meridiano a submeridiano y fueron elevadas por fallas inversas en su borde occidental. En consecuencia, presentan un perfil transversal asimétrico con una fuerte escarpa accidental y suave vertiente oriental. La fracturación y el ascenso de estos bloques tectónicos del Basamento con la conformación general del relieve actual, tuvo lugar principalmente hacia fines del Terciario durante las últimas fases de la orogenia Andina.

## **5.2 Terciario**

Las sedimentitas del Terciario alcanzan una distribución muy amplia en las Sierras Pampeanas. Sus afloramientos son restos de una cubierta sedimentaria, originalmente más potente y continua, depositada en discordancia sobre el Basamento Cristalino.

Fracturado el sustrato ígneo – metamórfico y ascendido en bloques hacia fines del Plioceno, los restos de la cubierta terciaria, dislocada y desmembrada, permanecen en la actualidad en el interior de los valles, sobre flancos poco inclinados de los bloques cristalinos u ocasionalmente ubicados en las partes altas de la sierra.

En el área de trabajo los terrenos del Terciario corresponden a las Formaciones Guasayán (Battaglia, 1982) y Las Cañas (Battaglia, 1982).

La Formación Guasayán, originada por una ingresión marina ocurrida durante el Mioceno, se encuentra aflorante y subaflorante en los bordes de la sierra de Ancasti en la zona de las localidades de Las Tunas, Ampolla, Las Cañas y bordo El Virqui. También fue identificada entre Los Altos y Manantiales en una lomada y en el camino de acceso a la misma, al oeste del casco de la propiedad de Milkaut. Litológicamente se caracteriza por arcillas y arcillitas verdes y gris verdosas yesíferas, en parte amarillentas y rojizas que incluyen nódulos y bancos de yeso fibroso y compacto; limolitas; areniscas finas, areniscas arcillosas con variable grado de consolidación. Esta Formación también es referida como Formación Río Salí (Minera TEA, 1968) y Formación Portillo (Aceñolaza et al., 1983).

La unidad geológica de edad Terciaria (Plioceno) correspondiente a la Formación Las Cañas está descrita como integrada por conglomerados con variable grado de consolidación, limolitas, limos, niveles de areniscas, arenas, gravas y gravillas y banco de ceniza volcánica en la parte superior de la secuencia. Esta Formación se apoya sobre la Formación Guasayán y aflora constituyendo lomadas a unos 15 km al este de la localidad de San Pedro siguiendo la ruta N° 10 a la Villa de Guasayán. Allí la exposición es bastante reducida y limitada ya que comprende la parte superior de la unidad; se observan areniscas limosas pardas, areniscas grises y en la parte superior un nivel de ceniza volcánica. En los alrededores de Las Cañas se menciona la presencia de conglomerados poco consolidados, limos arcillosos y limos pardo rojizo. A unos 2 km al este de Las Cañas siguiendo la ruta que vincula dicha localidad con la de Lavalle, afloran areniscas gruesas cuarzosas gris blanquecinas hasta areniscas sabulíticas – conglomerádicas con cemento calcáreo y rocas tobáceas? marrones.



Asimismo, en la Lámina 4 se delimitaron tentativamente desde aproximadamente la ruta Nacional 64 hacia el sur y desde Huacra hasta Las Cañas, materiales que se asignan al terciario indiferenciado. En toda esta región, la geoforma de relieve ondulado que se observa induce a considerar la presencia de estos terrenos a poca profundidad.

### **5.3 Cuaternario**

Posterior a los terrenos del Terciario, se desarrollan los sedimentos del Cuaternario que comprenden los depósitos de piedemonte, aluviales, eólicos y fluviales indiferenciados acumulados en la llanura bajo estudio.

Los depósitos de piedemonte incluyen materiales gruesos en proporciones variables; bloques, gravas, arenas y finos en menor magnitud. Marginan los bloques montañosos constituyendo el primer y segundo nivel de piedemonte; Formaciones Concepción (Fidalgo, 1965) - Capellanía y Coneta (Nullo, 1981) respectivamente. El primer nivel cubre tanto a rocas del Basamento Cristalino como a lomadas integradas por sedimentitas del Terciario. En las lomadas descritas frente al casco del establecimiento Milkaut se observa claramente la relación de discordancia entre los terrenos del Terciario y los depósitos de piedemonte integrados por rodados de diversos tamaños (hasta 30 cm de diámetro aproximadamente) con matriz areno limosa.

Los depósitos de piedemonte pasan a los depósitos aluviales que forman la planicie aluvial y las granulometrías presentes son arenas, gravas y limos, desarrollándose también acumulaciones eólicas en forma de loess.

Finalmente deben mencionarse los depósitos fluviales que comprenden a los materiales transportados y depositados por los ríos y arroyos que nacen en las sierras y atraviesan los depósitos pedemontanos y aluviales. Comprenden bloques, gravas y arenas – limos distribuidos según la capacidad de transporte de las corrientes fluviales; disminuyendo su tamaño desde las áreas serranas hacia las partes distales.

En cuanto a los cauces fluviales, los más importantes que atraviesan la región son, de oeste a este, los ríos Huacra – San Francisco, Sumampa, Sauce Mayo, de la Capellanía (también llamado Manantiales o El Abra), La Aguada y los arroyos Bañado de Ovanta (también conocido como río La Capilla) y Las Cañas, (Lámina 1). Estos cursos fluviales, todos ellos pertenecientes a la cuenca del Salí – Dulce y con sus cabeceras o cuencas receptoras de las lluvias en las áreas serranas, constituyen la principal fuente de recarga del sistema acuífero, a partir de la infiltración del agua que circula por ellos cuando ingresan al relleno sedimentario que conforma la llanura estudiada.

En este sentido cabe señalar que en fecha 12 de julio de 2014 se efectuó un aforo expeditivo orientativo (se utilizó el método del flotador) al río de la Capellanía cuando cruza la ruta que une las localidades de Los Altos con Manantiales, resultando un caudal de 420 litros/seg. Este escurrimiento se infiltra totalmente en el relleno fluvial para contribuir a la recarga de la cuenca inmediatamente aguas

abajo del lugar de aforo ya que cuando el río cruza la ruta nacional N° 64 en El Abra, el cauce se encuentra seco, sin escurrimiento superficial.

#### **5.4 Aspectos hidrogeológicos**

Conceptualmente y desde el punto de vista hidrogeológico, la columna estratigráfica presente en la región abarca los siguientes grupos de terrenos identificados como Unidades Hidrogeológicas 1, 2 y 3:

a) La Unidad Hidrogeológica 1 comprende a las rocas ígneas y metamórficas del Basamento Cristalino las cuales poseen porosidad y permeabilidad secundaria debido a las fracturas (fallas y diaclasas) que las afectan. En estas rocas el agua puede circular por dichas discontinuidades y ser diferida, en parte, al sistema fluvial como escurrimiento superficial y en parte aportar subterráneamente a la recarga de la cuenca de agua subterránea. Los caudales que pueden brindar perforaciones realizadas en estos medios fisurados son escasos por lo cual a los fines prácticos y de acuerdo a los requerimientos de la zona (riego agrícola, ganadería), estas rocas se consideran no acuíferas constituyendo el basamento hidrogeológico de la cuenca de agua subterránea.

b) La Unidad Hidrogeológica 2 incluye las rocas sedimentarias del Terciario (Mioceno) con reducida permeabilidad y con elevado contenido de yeso y otras sales que contribuyen a la mineralización y desmejoramiento de la calidad química del agua para diversos usos. Los componentes litológicos, fundamentalmente arcillosos de esta unidad geológica, favorecen a las condiciones de confinamiento. Los pozos que exploraron estos terrenos corroboran lo expresado ya que detectaron acuíferos confinados, en algunos casos surgentes, con agua que puede llegar a ser inapta para consumo humano y demás usos y caudales corrientemente bajos.

A los fines prácticos y por las características que poseen los niveles acuíferos que contiene, se considera a esta unidad como “acuífero secundario”.

c) La Unidad Hidrogeológica 3 abarca rocas y sedimentos del Terciario (Plioceno) y sedimentos porosos y permeables del Cuaternario. Estos terrenos presentan las mejores condiciones hidráulicas para almacenar y conducir agua, constituyendo los principales acuíferos del área de estudio. Son los que se explotan actualmente para riego, consumo humano y demás usos.

## **6 RELEVAMIENTO HIDROGEOLOGICO**

### **6.1 Diseño de la Base de Datos Hidrogeológica**

La Base de Datos Hidrogeológica (Anexo 1.1 a 1.7) se implementó bajo el software Excel 2010, con una estructura de tablas individuales que residen en sus respectivas Hojas incluidas en un libro de Excel, y empleo de herramientas tales como filtros para la consulta de los datos almacenados.

Incluye datos extraídos de la Base de Datos (Access) Censo General – Santa Rosa - 2012 elaborada por el Departamento de Hidrología Subterránea de la Dirección de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos de la provincia de Catamarca, e información generada durante las campañas de relevamiento hidrogeológico realizadas durante el año 2014.

El diseño se adecuó a las necesidades del proyecto y la información almacenada se refiere a puntos de agua subterránea (perforaciones y pozos excavados) y agua superficial (ríos y arroyos).

A cada punto de agua subterránea se le asignó un número con el cuál se lo identifica en el presente proyecto de investigación (N° ID del Proyecto); mientras que los puntos de agua superficial se identificaron con letras (ID del Proyecto). Los datos se han estructurado en siete tablas (Anexos 1.1 a 1.7) referidas a: Identificación y Ubicación del Punto de Agua, Construcción y Equipamiento de la Perforación, Construcción del Pozo Excavado, Estado y Uso de Perforaciones y Pozos Excavados, Mediciones Hidrológicas\_Agua Subterránea, Datos Hidroquímicos de Campo y de Laboratorio\_Agua Subterránea y Datos Hidroquímicos de Campo y de Laboratorio\_Agua Superficial. Los campos residentes en las tablas totalizan 130, los cuales se indican en la Tabla 1.

<b>Tabla</b>	<b>Campos</b>
ID y Ubicación del Punto de Agua Subterránea (Anexo 1.1.)	Nº ID del Proyecto, Fecha Relevamiento, Nombre del Punto de Agua, Propietario, Tipo de Punto de Agua, Departamento, Localidad y/o Distrito y/o Paraje de referencia, Latitud (GPS modo autónomo), Longitud (GPS modo autónomo), Coordenada Gauss Krüger X, Coordenada Gauss Krüger Y, Latitud (Relevamiento Topográfico), Longitud (Relevamiento Topográfico), Coordenada Gauss Krüger X, Coordenada Gauss Krüger Y, Cota Terreno (Relevamiento Topográfico), Observaciones de ubicación.
Construcción y equipamiento de la Perforación (Anexo 1.2)	Nº ID del Proyecto, Fecha Relevamiento, Empresa Perforadora, Fecha de terminación de la perforación, Perfil geológico, Perfilaje eléctrico, Profundidad total, Profundidad de entubación, Diámetro de entubación en boca de pozo, Material de entubación, Longitud total de filtros, Profundidad inicial Primer filtro, Profundidad Final último filtro, Cantidad de tramos de filtros, Tipo de bomba, Caudalímetro.
Construcción del Pozo Excavado (Anexo 1.3)	Nº ID del Proyecto, Fecha Relevamiento, Profundidad, Diámetro boca de pozo, Tipo de sección, Pozo calzado, Material de calzado, Longitud calzada.
Estado y Uso_de Perforaciones y Pozos Excavados (Anexo 1.4)	Nº ID del Proyecto, Fecha Relevamiento, Estado, Uso, Observaciones de la perforación - pozo excavado - equipamiento – estado y uso
Mediciones Hidrológicas_Agua Subterránea (Anexo 1.5)	Nº ID del Proyecto, Fecha Relevamiento, Fecha de medición, Medición de Nivel Estático, Nivel estático desde el suelo, Caudal, Rendimiento específico, Transmisibilidad, Observaciones sobre mediciones hidrológicas.
Datos Hidroquímicos de Campo y de Laboratorio_Agua Subterránea (Anexo 1.6)	Nº ID del Proyecto, Fecha Relevamiento, Fecha toma de muestra, Temperatura del agua en campo, pH de campo, Conductividad Eléctrica de campo, Aspecto del agua, Observaciones, Análisis Químico INA-CRAS, Nº de análisis INA-CRAS, Fecha de análisis Laboratorio, Sólidos Disueltos Calculados, Conductividad Específica, pH, Alcalinidad Total, Dureza total, Dureza de No Carbonatos, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Oxidril, Carbonato, Bicarbonato, Sulfato, Cloruro, Sílice, Hierro total, Manganeso total, Flúor, Boro, Ortofosfato, Fósforo total, Nitrato, Arsénico, Cadmio, Cinc, Cobre, Observaciones Análisis de Laboratorio

Tabla	Campos
Datos Hidroquímicos de Campo y de Laboratorio_Agua Superficial (Anexo 1.7)	ID del Proyecto, Fecha Relevamiento, Nombre del Punto de Agua, Departamento, Localidad y/o Distrito y/o Paraje de referencia, Latitud (GPS modo autónomo), Longitud (GPS modo autónomo), Coordenada Gauss Krüger X, Coordenada Gauss Krüger Y, Observaciones de Ubicación, Fecha Toma de Muestra, Temperatura del agua en campo, pH de campo, Conductividad Eléctrica de campo, Aspecto del agua, Observaciones, Análisis Químico INA-CRAS, N° de análisis INA-CRAS, Fecha de análisis Laboratorio, Sólidos Disueltos Calculados, Conductividad Específica, pH, Alcalinidad Total, Dureza total, Dureza de No Carbonatos, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Oxidril, Carbonato, Bicarbonato, Sulfato, Cloruro, Sílice, Hierro total, Manganeso total, Flúor, Boro, Ortofosfato, Fósforo total, Nitrato, Arsénico, Cadmio, Cinc, Cobre, Observaciones Análisis de Laboratorio

Tabla 1: Tablas y campos de la Base de Datos Hidrogeológica.

## 6.2 Desarrollo de las tareas de campo

De acuerdo a lo establecido en el programa de trabajo y con la información antecedente obtenida de la Base de Datos Censo General – Santa Rosa - 2012 referida a perforaciones y pozos excavados existentes en el Departamento Santa Rosa, se efectuó el relevamiento hidrogeológico de puntos de agua subterránea, con el fin de obtener información actualizada referida a pozos existentes y demás datos asociados.

Esta actividad fue desarrollada en forma conjunta por profesionales y técnicos del Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS) del Instituto Nacional del Agua (INA) y de la Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos de la Provincia de Catamarca.

Las actividades de campo consistieron en medir niveles estáticos, obtener muestras de agua para análisis químico en el Laboratorio del INA - CRAS y actualizar la información disponible en los antecedentes referidas a las características constructivas, equipamiento, estado y uso de los pozos. Durante el relevamiento se incorporaron nuevos pozos perforados en el área y pozos no detectados en censos anteriores; asimismo, cuando fue posible, también se incorporó información obtenida de los Informes Técnicos de las perforaciones.

Cabe señalar que en los meses en los cuales se desarrollaron las tareas de campaña, prácticamente no se requería agua subterránea para riego de cultivos por lo cual los pozos destinados a tal fin se encontraban sin funcionar. Ello permitió realizar mediciones hidrológicas con la cuenca de agua subterránea sin alteración por la extracción o bombeo para riego.

La ubicación planimétrica de los puntos de agua se efectuó mediante la utilización de GPS en modo autónomo. En este sentido, personal del mencionado Departamento de Hidrología Subterránea de la Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos de la provincia de Catamarca efectuó un relevamiento parcial de los pozos ubicados en el área de estudio, determinando la planialtimetría de 73 perforaciones.

Se identificaron 192 puntos de agua subterránea, de los cuáles 181 son perforaciones y 11 son pozos excavados (Lámina 5). Se estima que esta cantidad de perforaciones representan aproximadamente el 90 % de la totalidad existente en la zona.

El Anexo 1 corresponde a las siete tablas y campos residentes, descritos en el apartado 6.1 Diseño de la Base de Datos Hidrogeológicas y en ellas se detalla para cada punto de agua subterránea identificado, la información disponible.

A partir de los datos recabados, resulta que la profundidad media de las perforaciones es de unos 180 m y la profundidad media de entubación de 170 m. La máxima profundidad detectada en pozos que exploten el relleno acuífero principal es de 334 m en el pozo identificado como 86. Los diámetros de entubación en boca de pozo más característicos son de 12" y 10" y corresponden a pozos utilizados para riego. Para los pozos destinados a consumo humano o abrevado del ganado, el diámetro más frecuente es de 6" y 4".

Dependiendo del lugar de ubicación en la cuenca, las perforaciones explotan horizontes permeables comprendidos entre aproximadamente los 10 m y los 323 m de profundidad.

Los filtros normalmente son de más de un tramo, con un máximo de 15 tramos de filtros por pozo y una longitud total promedio de filtros de 40 m por pozo, con un máximo de 66 m y un mínimo de 13 m.

Los pozos están equipados con electrobombas sumergibles o bombas de eje, predominando las primeras.

En cuanto al estado y uso de las perforaciones, 145 se encuentran en uso (consumo humano, ganadería o riego) ocupándose para riego 102 pozos.

La extracción de agua subterránea por bombeo de pozos, responde en su mayoría para satisfacer las necesidades de la explotación agrícola mediante riego complementario. El riego se realiza principalmente utilizando el sistema de aspersión mediante pivote central abastecido con agua subterránea. Frente a su magnitud, otros usos como el industrial, el abastecimiento a poblaciones (consumo humano), ganadero, etc. son insignificantes.

Cabe aclarar que en las colonias agrícolas Alijilán – Manantiales y Los Altos, el riego se realiza mediante sistema de canales que distribuyen el agua procedente de los diques La Cañada en el primer caso y Sumampa en el segundo, y existe además para un sector de la colonia de Los Altos, aporte de agua subterránea mediante perforaciones de refuerzo de riego

El caudal extraído por los pozos destinados a riego, de acuerdo a los datos informados verbalmente por personal de los establecimientos visitados y por los ensayos de bombeo que constan en los informes técnicos de las obras de captación, es de aproximadamente 200 m<sup>3</sup>/h promedio, llegando a un máximo de unos 370 m<sup>3</sup>/h. El rendimiento específico medio de los pozos es de 25 m<sup>3</sup>/h/m.

Finalmente y en lo que refiere al parámetro hidráulico Transmisibilidad, los datos disponibles de 6 ensayos de bombeo que constan en los informes técnicos de los pozos, indican que está comprendida entre un mínimo de 267 m<sup>2</sup>/día y un máximo de 1757 m<sup>2</sup>/día, con un promedio de 660 m<sup>2</sup>/día.

### **6.3 Profundidad del agua subterránea**

Entre los meses de marzo y agosto del año 2014 se pudo medir la profundidad del nivel de agua subterránea en 128 pozos (121 perforaciones y 7 pozos excavados). De la cantidad mencionada, en 103 pozos se midieron una única vez; en 23 manifestaciones se realizaron dos mediciones en diferentes fechas y en 2 pozos la medición del nivel piezométrico se efectuó en tres fechas diferentes.

En la Lámina 6 se muestran las curvas de igual profundidad del agua subterránea en el área de estudio para la época mayo – agosto de 2014. Las isóbatas trazadas consideran solamente las perforaciones que extraen agua de niveles acuíferos en terrenos del Cuaternario y/o Terciario (Plioceno) correspondientes a la Unidad Hidrogeológica 3; es decir, sin considerar aquellas con características de surgentes que extraen agua de acuíferos presurizados contenidos en materiales del Terciario (Mioceno) o Unidad Hidrogeológica 2 considerada como “acuífero secundario” de la cuenca de agua subterránea de interés.

Estas curvas, por su importancia práctica, son necesarias para el diseño de cualquier tipo de explotación del agua subterránea.

Los menores niveles de agua subterránea se observan en dos zonas; al sur de la ruta nacional N° 64 que pasa por Los Altos y Bañado de Ovanta y en el sector noroeste de la zona de trabajo (aproximadamente Monte Redondo – El Pensamiento – río San Francisco). Allí la profundidad del agua subterránea es inferior a unos 30 m y decrece en la primer zona hacia el sur en dirección a los relieves serranos y en la segunda hacia el norte en dirección a Las Zanjitas, Cuchi Noque y Casa Santa donde es inferior a los 10 m.

Aunque con escasa información, se puede mencionar otra zona con profundidad del agua subterránea inferior a los 30 m y es la ubicada desde la latitud de El Quebrachito hacia el sur, llegando a localizarse a 9 m en el pozo 153 entre Las Cañas y Lavalle.

Entre las zonas indicadas precedentemente, se puede señalar en general dos sectores hacia donde convergen y profundizan los niveles piezométricos. Uno corresponde a la zona de Los Altos, Monte Redondo, Los Troncos donde se ubica hasta unos 50 m de profundidad y el otro en la región centro y oriental del área de trabajo donde se profundiza convergiendo las curvas hasta superar los 70 m de profundidad. Las máximas profundidades del agua subterránea medida fueron de 86,02 m y 82,75 m en los pozos N° 538 El Retiro N° 2 y N°117 de Finca El Carmen localizados al oeste y al sureste de Dos Pocitos respectivamente.

En la Lámina 7 se indican los pozos en los cuales se midió la profundidad del nivel del agua subterránea en más de una oportunidad durante el año 2014 y además la mayoría posee alguna

medición de años anteriores. Para estos casos en dos pozos se dispone de mediciones del año 2010, en tres pozos mediciones del año 2011 y en 10 casos mediciones del año 2012. Como se observa en la lámina indicada, la distribución de los pozos cubre la mayor parte del área de trabajo.

En la mencionada Lámina 7 se graficó para cada uno de estos pozos la profundidad del nivel piezométrico en las diferentes fechas disponibles. El análisis de la evolución o variación de los niveles piezométricos en el tiempo considerado, no indica un descenso progresivo en la profundidad del nivel de agua subterránea. Es decir, según la información que se dispone, la extracción de agua subterránea en la región no está produciendo una sobreexplotación del recurso hídrico subterráneo (no se extrae más agua de la que se repone). Cabe señalar que el período de tiempo con información piezométrica analizado es corto por lo cual, a los efectos de una conclusión más precisa, es necesario contar con registros piezométricos que abarquen una mayor cantidad de años.

Otra situación que se observa y que merece destacarse, es la recuperación de los niveles de agua subterránea luego de las importantes lluvias ocurridas entre los meses de febrero y abril de 2014 y cuando la cuenca no estaba sometida al bombeo intensivo (mediciones del mes de marzo de 2014 y las posteriores realizadas entre mayo y agosto de 2014). Esta recuperación de los niveles de agua pone de manifiesto la efectividad de la recarga de la cuenca de agua subterránea. Parece ser además, que la recuperación es más significativa en los pozos cercanos a las sierras (desde aproximadamente la ruta 64 hacia el sur).

En un futuro, para evaluar el estado del almacenamiento de la cuenca de agua subterránea, es recomendable efectuar en la red de pozos de monitoreo que se diseñe, dos mediciones de niveles de agua subterránea en el año; una al finalizar la época de bombeo intensivo y otra antes del inicio del mismo.

#### **6.4 Morfología del nivel piezométrico**

A partir la cota absoluta de los pozos, obtenida del modelo digital de elevación SRTM y de las mediciones del nivel del agua subterránea realizadas entre los meses de mayo y agosto de 2014, se elaboró el mapa de curvas de igual cota del nivel de agua subterránea o mapa de isopiezas (Lámina 8).

Para la representación de las curvas isopiezas se eligió una equidistancia de 10 m y dicho mapa orienta sobre el sentido del flujo subterráneo y las áreas de recarga, tránsito y egreso de la cuenca.

Se puede observar que el flujo del agua subterránea tiene un sentido general suroeste – noreste y se pone en evidencia que el área de recarga de la cuenca de agua subterránea del Valle de Santa Rosa está relacionada con las precipitaciones que ocurren en las sierras que lo marginan, especialmente las del borde sur y suroccidental (sierras de El Alto – Ancasti y de Guayamba). Cuando egresan del área montañosa, parte del escurrimiento superficial de ríos y arroyos que provienen de las sierras (San Francisco o Huacra, de La Capellanía, Bañado de Ovanta, etc.), se infiltra en los sedimentos permeables del lecho, recargando el sistema acuífero a lo largo de sus cursos.

El agua en el subsuelo se mueve subterráneamente en general hacia noreste en dirección a las partes más bajas del valle de Santa Rosa y egresa de éste hacia las provincias de Tucumán y Santiago del Estero.

Se advierte en el mapa de curvas isopiezas que el gradiente hidráulico de la superficie piezométrica se incrementa desde el noreste hacia el sureste en dirección a los relieves serranos.

Asimismo se puede observar en general la existencia de dos zonas con diferentes valores de gradiente; una sur y suroccidental y otra nororiental siendo mayores los gradientes en la primera y menores en la segunda.

En la primer zona, en la región de Bañado de Ovanta, Dos Pocitos, Las Cañas el gradiente es del orden del 0,010 promedio y en la zona de Manantiales, El Abra, Los Troncos de 0,008.

En la zona nororiental, comprendida en la región de Monte Redondo, La Rinconada, Alta Gracia, Pozo de Abajo disminuye a 0,004.

Estas variaciones de gradiente están demostrando una variación en los valores de Transmisividad, producto de probables cambios en el coeficiente de permeabilidad y/o en los espesores permeables. En este sentido, los cortes geofísico – geológicos de subsuelo muestran en general una disminución de espesor de la zona saturada acuífera en dirección noreste – sureste.

## **7 PROSPECCION GEOFISICO – GEOLOGICA DE SUBSUELO**

Se realizaron tareas de prospección geofísica (geoeléctrica), con el objeto de disponer información eléctrica cuantitativa, para posteriormente ser correlacionada con la geología de la región y definir en forma preliminar, la geometría de la cuenca sedimentaria portadora de los acuíferos en la llanura bajo estudio.

### **7.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) realizados**

Se registraron un total de 94 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), cubriendo una superficie de unos 1000 km<sup>2</sup>. En la Lámina 9 puede consultarse la ubicación de los mismos.

Los SEV fueron referenciados planimétricamente mediante la utilización de un GPS marca Garmin, modelo Etrex Vista y la cota de cada SEV se obtuvo de Google Earth. En la Tabla 2 se consignan los datos planialtimétricos obtenidos, exponiéndose los resultados en coordenadas geodésicas y en coordenadas planas.



ID-SEV	COORDENADAS GEODÉSICAS (Datum WGS84)		COORDENADAS PLANAS GAUSS - KRÜGER (Datum WGS84)		COTA (*) (m.s.n.m.)
	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	COORDENADA Y	COORDENADA X	
1	28°00'50,6"S	65°35'01,2"O	3540946,21	6901896,48	518
2	28°00'25,52"S	65°34'25,61"O	3541921,21	6902665,17	507
3	28°00'50,44"S	65°32'45,15"O	3544663,07	6901888,14	505
4	28°01'28,13"S	65°31'28,89"O	3546741,95	6900719,96	525
5	28°02'11,34"S	65°30'40,48"O	3548059,04	6899384,56	516
6	28°03'04,4"S	65°29'06,8"O	3550610,92	6897740,62	483
7	28°03'27,00"S	65°27'41,30"O	3552942,89	6897034,81	470
8	28°04'24,1"S	65°26'24,2"O	3555040,33	6895267,53	461
9	28°05'14,5"S	65°25'19,9"O	3556788,67	6893707,79	482
10	28°06'17,8"S	65°23'28,0"O	3559833,96	6891744,23	519
11	28°06'22,9"S	65°21'04,2"O	3563758,45	6891566,93	485
12	28°06'22,3"S	65°20'26,8"O	3564779,45	6891579,91	480
13	28°07'08,5"S	65°17'47,3"O	3569125,09	6890133,25	496
14	28°07'36,0"S	65°16'20,4"O	3571491,86	6889272,70	517
15	28°08'08,3"S	65°14'37,8"O	3574285,83	6888261,24	525
16	28°10'08,36"S	65°13'26,01"O	3576221,34	6884552,79	520
17	28°11'17,5"S	65°13'09,2"O	3576666,25	6882421,33	536
18	28°12'06,6"S	65°11'12,7"O	3579833,83	6880888,87	551
19	28°11'54,8"S	65°09'22,5"O	3582841,87	6881231,60	519
20	28°11'47,1"S	65°08'08,1"O	3584872,76	6881454,36	505
21	27°57'25,9"S	65°33'57,4"O	3542711,61	6908191,81	482
22	27°57'43,1"S	65°31'48,2"O	3546241,12	6907649,27	469
23	27°57'50,3"S	65°29'12,0"O	3550509,59	6907410,45	441
24	27°58'03,2"S	65°27'52,6"O	3552678,05	6907004,02	431
25	27°58'42,1"S	65°26'37,1"O	3554736,13	6905797,31	421
26	27°59'20,4"S	65°25'24,1"O	3556725,58	6904609,03	421
27	27°59'23,8"S	65°22'38,2"O	3561258,49	6904482,10	418
28	28°00'21,0"S	65°21'30,4"O	3563101,95	6902711,64	437
29	28°00'17,5"S	65°19'30,2"O	3566386,68	6902801,67	431
31	28°00'19,7"S	65°18'29,0"O	3568058,44	6902724,58	433
33	28°00'38,6"S	65°16'29,3"O	3571325,49	6902123,76	432
34	28°00'19,9"S	65°15'21,4"O	3573184,12	6902688,26	424
35	28°00'07,5"S	65°13'03,9"O	3576943,44	6903046,49	415
36	27°59'00,8"S	65°12'10,7"O	3578410,46	6905090,43	405
37	27°58'06,2"S	65°11'12,8"O	3580003,97	6906760,85	394
38	28°00'05,3"S	65°09'25,9"O	3582900,49	6903074,56	403
39	27°52'21,33"S	65°20'13,47"O	3565283,90	6917466,60	364
40	27°53'29,0"S	65°21'21,8"O	3563403,73	6915393,43	373
41	27°54'25,2"S	65°22'37,8"O	3561316,25	6913674,13	372
42	27°56'17,4"S	65°24'49,71"O	3557692,36	6910238,01	404
43	27°57'40,2"S	65°25'09,3"O	3557144,67	6907691,67	410
44	27°59'58,1"S	65°24'30,4"O	3558187,38	6903441,45	425
45	28°01'00,1"S	65°27'34,0"O	3553162,30	6901556,11	452
46	28°01'44,0"S	65°28'58,6"O	3550845,37	6900214,71	480
47	28°02'51,8"S	65°30'39,5"O	3548080,81	6898138,93	514
48	28°03'14,3"S	65°31'57,0"O	3545961,53	6897454,60	520
49	28°03'12,4"S	65°32'37,6"O	3544852,98	6897517,29	534
50	28°05'26,57"S	65°27'44,96"O	3552826,69	6893354,37	479
51	28°06'12,13"S	65°28'54,92"O	3550910,78	6891960,12	489

ID-SEV	COORDENADAS GEODÉSICAS (Datum WGS84)		COORDENADAS PLANAS GAUSS - KRÜGER (Datum WGS84)		COTA (*) (m.s.n.m.)
	LATITUD (Sur)	LONGITUD (Oeste)	COORDENADA Y	COORDENADA X	
52	28°07'26,30"S	65°29'14,81"O	3550358,21	6889679,15	502
53	28°08'49,91"S	65°29'43,09"O	3549575,70	6887108,49	511
53'	28°03'56,9"S	65°29'48,9"O	3549454,48	6896129,26	496
54	28°10'10,19"S	65°29'29,49"O	3549936,44	6884635,55	546
55	28°08'21,6"S	65°21'06,3"O	3563681,64	6887913,08	500
56	28°07'38,2"S	65°20'36,0"O	3564515,70	6889244,70	492
57	28°05'27,4"S	65°18'04,5"O	3568673,52	6893248,32	464
58	28°04'48,2"S	65°17'19,8"O	3569900,92	6894448,01	458
59	28°04'33,2"S	65°15'44,3"O	3572511,23	6894894,27	459
59'	28°04'13,7"S	65°15'50,0"O	3572359,22	6895495,52	456
59"	28°04'02,1"S	65°15'39,6"O	3572645,37	6895850,90	453
60	28°02'57,1"S	65°15'01,8"O	3573689,89	6897845,61	439
61	28°01'29,8"S	65°14'31,0"O	3574547,81	6900527,93	425
62	27°56'57,7"S	65°13'20,0"O	3576540,74	6908892,24	389
63	27°56'50,6"S	65°15'27,2"O	3573064,82	6909132,43	396
64	27°56'51,4"S	65°17'47,5"O	3569229,26	6909130,48	398
64'	27°55'42,7"S	65°19'31,3"O	3566403,34	6911261,34	398
65'	27°57'32,9"S	65°11'25,4"O	3579666,38	6907788,27	391
66	27°55'22,4"S	65°27'26,3"O	3553418,84	6911950,87	410
67	27°55'45,2"S	65°28'44,4"O	3551280,38	6911258,29	427
68	28°01'00,5"S	65°23'22,2"O	3560041,24	6901511,34	436
69	28°02'48,,8"S	65°22'50,0"O	3560903,99	6898172,96	456
70	28°04'43,8"S	65°22'21,4"O	3561666,87	6894628,75	489
71	27°53'31,7"S	65°24'14,0"O	3558693,48	6915334,16	380
72	27°54'39,9"S	65°20'50,5"O	3564248,18	6913206,32	389
73'	27°55'22,1"S	65°15'48,8"O	3572490,74	6911860,41	383
74'	27°53'58,7"S	65°15'52,4"O	3572407,73	6914428,41	377
75	28°02'25,4"S	65°17'12,5"O	3570125,98	6898842,92	446
76	28°03'50,1"S	65°20'50,5"O	3564157,64	6896268,83	470
77	28°04'10,0"S	65°18'08,9"O	3568567,05	6895631,75	458
78	28°01'22,8"S	65°19'22,4"O	3566588,64	6900790,26	442
79	28°02'07,5"S	65°20'23,3"O	3564917,52	6899423,32	445
80	28°05'46,9"S	65°14'39,0"O	3574280,15	6892614,47	481
81	28°07'38,8"S	65°11'56,6"O	3578690,94	6889141,22	502
82	28°08'12,1"S	65°10'48,6"O	3580539,89	6888103,69	500
83	28°03'53,3"S	65°11'06,5"O	3580104,77	6896074,23	455
84	28°05'42,9"S	65°10'35,4"O	3580931,22	6892694,44	470
85	28°09'45,1"S	65°11'00,2"O	3580204,07	6885242,76	519
86	28°02'19,7"S	65°11'10,4"O	3580017,52	6898956,43	437
87	28°00'36,5"S	65°11'15,8"O	3579891,19	6902134,43	417
89'	27°58'28,8"S	65°18'21,3"O	3568288,23	6906137,37	414
95	28°07'28,3"S	65°13'55,4"O	3575450,70	6889485,39	508
96	28°07'41,5"S	65°07'33,7"O	3585865,45	6889008,65	462
Pm1	28°05'06,4"S	65°30'54,5"O	3547654,64	6893997,03	526
Pm2	28°12'11,5"S	65°12'02,3"O	3578480,09	6880747,01	560

(\*) Valor aproximado, obtenido de Google Earth.

Tabla 2 Coordenadas de ubicación y cotas de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) realizados. INA - CRAS; Año 2014.

## **7.2 Equipamiento geoelectrico y metodología**

El relevamiento geoelectrico se efectuó con un resistivímetro digital marca Prakla- Seismos, de origen alemán, de 800 Volts de tensión máxima, 2 Amp de corriente de pico y 1 megohm de impedancia de entrada. Los valores de resistividad son calculados en forma automática por el microprocesador incorporado lo que anula la posibilidad de errores de cálculo. El campo eléctrico en el subsuelo se establece mediante el hincado de electrodos de acero (4 o más electrodos en cada punto de medición), conectados en paralelo. Las lecturas de diferencia de potencial se hacen mediante electrodos de bronce, clavados a distancias variables. Los cables de emisión y recepción de corriente son multifilar de cobre y acero revestidos con vaina de PVC lo que le proporciona buenas propiedades conductoras y a su vez elevada resistencia a la tracción

Con el propósito de disminuir la resistencia de contacto generada entre los electrodos (tanto los de emisión de corriente como los de lectura) y el suelo y consecuentemente atenuar la fuerte caída de potencial que allí se genera, se humedece la zona de clavado con una solución saturada de cloruro de sodio.

Simultáneamente al registro de resistividades, se grafica el SEV en papel semi - logarítmico con el objeto de asegurar la exactitud de la medición y evitar la obtención de sondeos defectuosos.

La configuración eléctrica es la tetrapolar simétrica o configuración Schlumberger.

La profundidad de investigación del subsuelo depende de la extensión de las alas de emisión; en este sentido, la apertura de alas  $AB/2$  máxima utilizada fue de 1500 m.

En gabinete los SEV fueron procesados y graficados mediante el programa Resix - plus V 5.0 del año 2002 que cuantifica las diferentes capas eléctricas del subsuelo mediante la determinación de su espesor (en metros) y su resistividad (en ohm.m). Ello permite elaborar un Corte geofísico, el cual, posteriormente se convierte en un Corte Geofísico-Geológico o Hidrogeológico. Esta conversión consiste en encontrar el patrón que vincula los datos numéricos obtenidos por cálculo, con las capas del corte geológico. La diferencia entre la solución propuesta y la real disminuye en la medida que aumenta la pericia del intérprete, el apoyo geológico disponible y la densidad de puntos de verificación existentes.

## **7.3 Cortes geofísico – geológicos**

A partir de los SEV registrados en el área de trabajo, se confeccionaron 9 cortes geofísico – geológicos de subsuelo cuya ubicación se puede observar en la Lámina 9 y su representación gráfica en las Láminas 10, 11 y 12. Los cortes 1 – 1´ a 4 – 4´, de orientación general noroeste – sureste a oeste – este, tienen una traza aproximadamente transversal a la orientación de la red de drenaje de la zona estudiada. Los cortes 5 – 5´ a 9 – 9´ con rumbo aproximadamente noreste – suroeste a norte - sur, en general coinciden con la orientación de escurrimiento de los cursos superficiales.

### **7.3.1 Consideraciones generales**

El corte 1-1' está integrado por 19 SEV ejecutados en su mayoría a lo largo de la ruta nacional N° 64 que pasa por las localidades de Los Altos y Bañado de Ovanta. Su orientación general es noroeste – sureste y oeste – este y se extiende desde la ruta Nacional N° 38 al pie de la sierra Cumbre de Los Llanos al oeste hasta la ruta nacional N° 157 que pasa por las localidades de Lavalle y San Pedro al este. Su extensión es de unos 48 km.

El corte 2 – 2', de unos 44 km de longitud, tiene orientación oeste – este y está integrado por 16 SEV. Se desarrolla también desde la ruta Nacional N° 38 al pie de la sierra Cumbre de Los Llanos entre Rumi Punco y Suncho al occidente, hasta la ruta nacional N° 157 al sur de la localidad de San Pedro al naciente.

El corte 3 – 3' está conformado por 8 SEV y se extiende con orientación general oeste – este desde la zona de El Pensamiento a la latitud de Las Zanjitas al oeste, hasta la ruta nacional N° 157 en la localidad de San Pedro al este. Tiene una longitud de unos 29 km.

El corte 4 – 4', de aproximadamente 12 km de extensión, posee orientación oeste – este. Está conformado por 3 SEV registrados a lo largo de la ruta nacional N° 64 entre aproximadamente Las Cañas y Lavalle como extremos occidental y oriental respectivamente.

El corte 5 – 5' está integrado por 11 SEV y tiene orientación general noreste – suroeste. Se extiende desde la zona de Los Molles cercana al límite interprovincial Tucumán – Catamarca al noreste, hasta la sierra de Guayamba, en las cercanías del dique Sumampa al suroeste. Tiene una extensión de aproximadamente 33 km.

El corte 6 – 6' se desarrolla con dirección noreste – suroeste y norte – sur desde la zona de Los Ortiz, hasta Alijilán y la sierra de El Alto – Ancasti. Está integrado por 8 SEV y su extensión es de aproximadamente 31 km.

El corte 7 – 7' se compone de 10 SEV y con una orientación noreste – suroeste se localiza entre la zona de Pozo Hondo al noreste hasta la sierra de El Alto – Ancasti al suroeste. La extensión es de unos 34 km.

El corte 8 – 8' está integrado por 10 SEV y su orientación general es noreste – suroeste desde la localidad de San Pedro hasta la población de Las Tunas y la sierra El Alto - Ancasti. Su extensión es de unos 32 km.

Por último, el corte 9 – 9' tiene orientación norte – sur; está conformado por 10 SEV y se desarrolla por unos 28 km desde la zona de San Pedro al norte hasta la ruta nacional N° 64 entre las localidades de Las Cañas y Lavalle al sur.

Los antecedentes de las perforaciones existentes en la zona constituyeron un apoyo importante para la interpretación geofísico – geológica del subsuelo; los pozos (perforaciones o pozos excavados) proyectados a cada corte respetan su posición altimétrica y en caso de disponer la información, se identificó su profundidad, la ubicación de los filtros y el correspondiente nivel de agua subterránea.

Además, en cada corte se señaló el límite aproximado entre la zona saturada y la zona no saturada que resulta de la interpretación geoeléctrica y de los datos de profundidad del nivel de agua subterránea de las perforaciones o pozos excavados de la región.

Considerando el distanciamiento medio entre los SEV y la separación entre Cortes Geofísico – Geológicos, los resultados obtenidos a partir de este método indirecto de investigación del subsuelo, son orientativos y preliminares.

En la interpretación geofísico-geológica se diferenciaron en el subsuelo, desde abajo hacia arriba, las siguientes unidades: Basamento Resistivo; Relleno Conductivo y Relleno Resistivo que se corresponden con las ya definidas Unidades Hidrogeológicas 1, 2 y 3 respectivamente.

### **7.3.2 Basamento resistivo**

Corresponde a una capa eléctrica cuya resistividad es generalmente superior a los 100 ohm.m y se correlaciona con las rocas ígneas y metamórficas del Basamento Cristalino, conformando la Unidad Hidrogeológica 1 (basamento hidrogeológico).

Los cuerpos serranos que marginan el valle de Santa Rosa por el oeste y por el sur, hunden por debajo de los depósitos sedimentarios y fueron detectados en el subsuelo a profundidades crecientes, desde el pie de sierra hasta sobrepasar las rutas nacionales N° 38 y N° 64 y previo a la zona de Los Troncos, Monte Redondo, Puerta Grande, Los Ortiz, Alta Gracia. Hacia el sector noreste del valle estos terrenos ígneos - metamórficos no se detectaron en el subsuelo, excepto en las cercanías de la localidad de San Pedro.

A lo largo de los cortes 1 – 1' y 4 – 4' se interpretaron en casi la totalidad de los SEV, ubicándose a profundidades del orden de los 44 m a 666 m. Solamente en el SEV 82 (corte 1 – 1'), estos materiales no fueron detectados.

En el corte 2 – 2' se interpretaron a unos 195 m a 190 m de profundidad en su extremo occidental próximo a la sierra Cumbre de Los Llanos (SEV 21 y 22) y a unos 407 m de profundidad en el SEV 87 ubicado en el extremo oriental del corte, al oeste de la ruta nacional N° 157.

En el corte 3 – 3', el más alejado de la zona serrana, se localiza únicamente en el sector este del corte, al poniente de San Pedro a profundidades de unos 461 y 512 m en los SEV 65' y 62 respectivamente.

Los cortes 5 – 5', 6 – 6', 7- 7' y 8 – 8', muestran el Basamento Cristalino integrante de la Unidad Hidrogeológica 1 a profundidades variables que van desde los 11 m en el SEV 49 del corte 5 – 5' hasta superar los 500 m a 600 m en los SEV 46 y 45 del corte 5 – 5' y los SEV 8 y 68 del corte 6 – 6'. Las profundidades menores se registran en dirección a los cordones serranos ubicados en los extremos australes de los cortes. Cabe destacar que constituyó un importante apoyo para la interpretación geoeléctrica, la existencia de los perfiles geológicos de las perforaciones denominadas Dos Pocitos N° 1 (ID 71) y Bañado de Ovanta N° 1 efectuadas por la Dirección de Geología y Minería en los años 1940 –

1941. La primera tiene una profundidad de 458,2 m y la segunda 287,36 m. Estas perforaciones detectaron rocas del Basamento Cristalino (Unidad Hidrogeológica 1) a profundidades de 452,5 m y 287,07 m respectivamente. La perforación Dos Pocitos N° 1 entre los 435,10 m y 452,5 m de profundidad atravesó un conglomerado de base cristalina y posteriormente, hasta los 458,2 m rocas del Basamento Cristalino.

En el corte 9 – 9' los terrenos en cuestión se identificaron solamente en los extremos sur y norte a profundidades comprendidas entre 168 m y 300 m en el extremo sur y 407 m a 461 m en el extremo norte.

Desde el punto de vista estructural, se interpreta una estructura de bloques para esta Unidad Hidrogeológica y se infiere que el hundimiento que se produce a partir de sus afloramientos en los bordes oeste y sur del valle, es consecuencia de fracturas (fallas) que contribuyen a la profundización de la cuenca sedimentaria terciaria – cuaternaria en dirección este y noreste del área bajo estudio. Estas fracturas se interpretaron en el extremo noroeste del corte 1 – 1' entre Los Altos y la sierra Cumbre de Los Llanos; en el extremo occidental del corte 2 – 2' y en el extremo sur de los cortes 5 – 5' y 6 – 6' en la zona de Los Altos, Manantiales y Alijilán.

### **7.3.3 Relleno conductivo**

Es la capa eléctrica que, con valores de resistividad más característicos comprendidos entre 1 ohm.m y 10 ohm.m, se desarrolla sobre el Basamento Cristalino y se correlaciona geológicamente con terrenos del Terciario (Mioceno) integrantes de la Unidad Hidrogeológica 2.

Se detectó en todos los cortes geofísico – geológicos desde una posición aflorante – subaflorante hasta profundidades máximas de unos 404 m en el SEV 6 del corte 1 – 1'.

Las menores profundidades se localizan marginando las sierras Cumbre de Los Llanos, de Guayamba y del Alto – Ancasti donde el relieve de lomadas revela la presencia de estos terrenos ya sea aflorantes, subaflorante o hasta profundidades máximas interpretadas del orden de los 50 m como puede observarse en los cortes 1 – 1' (SEV 1 a 5), 2 – 2' (SEV 21), 4 – 4' (SEV 18, 19 y 20), 5 – 5' (SEV 47, 48 y 49), 6 – 6' (SEV 53 y 54), 8 – 8' (SEV 56 y 55) y 9 – 9' (SEV 85 y 18). Esta situación se mantendría en toda la zona ubicada, en términos generales, al oeste y al sur de las rutas nacionales N° 138 y N° 64 (Rumini Punco, Huacra, Los Altos, Alijilán, Manantiales, El Virquí, Las Tunas, Bañado de Ovanta, El Quebrachito, Las Cañas). En los SEV 11 y 12 del corte 1 – 1' se interpretó tentativamente esta unidad hidrogeológica a profundidades de 141 m y 129 m respectivamente en función de la capa eléctrica inmediatamente superior con resistividades de 79 ohm.m y 100 ohm.m. Es posible también que el techo de la unidad en cuestión en los SEV señalados se localice a profundidades significativamente menores (inferior a los 23 m) y apoyarían esta alternativa la elevada salinidad del pozo identificado como 45 (7030 microsiemens/cm) y el bajo caudal y rendimiento del pozo 46 (7 m<sup>3</sup>/h y 0,077 m<sup>3</sup>/h/m).

Hacia el este y noreste de la zona señalada, por razones tectónicas (fallas) y/o erosivas, se verifica una profundización del relleno conductivo definiéndose a profundidades de hasta unos 404 m en el corte 1 – 1', 271-276 m en el corte 2 – 2' (SEV 24 y 31); 295 m en el corte 3 – 3' (SEV 64), 350 m en el corte 5 – 5' (SEV 39), 300 m en el corte 6 – 6' (SEV 8), 327 m a 325 m en los cortes 7 – 7' y 8 – 8' (SEV 89 y 60) y 185 – 193 m en el corte 9 – 9' (SEV 83 y 86).

Perfiles litológicos de perforaciones de la zona que alcanzaron estos terrenos (perforación Dos Pocitos, Bañado de Ovanta, Lavalle, Manantiales) indican que en su constitución litológica participan arcillas verdosa, verdosa azulada, parda rojiza, gris verdosa, compactas, fragmentosa, yeso, anhidrita, areniscas finas gris verdosa, gris blanquecina, arcillosa, yesífera, arcilla arenosa, arena fina a gruesa, escasa gravilla arenisca arcillosa, etc.

En cuanto al comportamiento hidrogeológico de los terrenos de la Unidad Hidrogeológica 2 se puede señalar lo siguiente. La perforación con número de identificación 71 corresponde a Dos Pocitos N°1 y es aledaña al SEV 59" del corte 8 – 8'. Tiene 458,20 m de profundidad y atravesó terrenos del Terciario – Mioceno entre los 233,35 m y 435,10 m. Alumbró dos capas acuíferas; una entre los 331,80 m y 333,25 m y la otra entre 422 m y 430,5 m. Estos acuíferos son confinados, con nivel piezométrico ascendente en la capa superior y surgente en la inferior donde alcanzó los +21,1 m sobre el nivel del suelo. El agua resultó inapta para consumo humano y demás usos; el caudal extraído fue de 935 l/h y 75 l/h en la capa superior e inferior respectivamente. Esta perforación fue entubada hasta los 186,40 m de profundidad.

Una situación similar ocurrió en el pozo Bañado de Ovanta N° 1 ubicado entre los SEV 12 y 13 del corte 1 – 1'. Tiene 287,36 m de profundidad y exploró terrenos del Mioceno entre los 61,35 m y 287,07 m. Se ubicó solamente un nivel acuífero de tipo confinado entre los 192,2 m y 196,3 m; el agua resultó inapta y el pozo surgente con nivel piezométrico de +7,35 m sobre el nivel del terreno.

En la plaza de la Localidad de Manantiales y cercano al SEV 53 del corte 6 – 6' se ubica el pozo homónimo identificado como 136 con características de surgente. Posee 102 m de profundidad y desde los 10,2 m atravesó capas del Terciario – Mioceno, detectando un nivel acuífero superior entre los 24 m y los 26,10 m de profundidad y un acuífero inferior confinado entre los 54,7 m y 55,6 m. El nivel piezométrico alcanzó una surgencia de +3,6 m sobre el suelo y el caudal 6000 l/h. Actualmente este pozo tiene un nivel de surgencia de +0,63 m y el agua presenta una conductividad eléctrica de 2630 microsiemens/cm, superando algunos parámetros el límite para consumo humano y es regular a mala para riego como se detallará en el apartado correspondiente a hidroquímica.

En la localidad de Lavalle, al este del SEV 20 del corte 4 – 4' el pozo identificado como 532 correspondería a la perforación Lavalle N°3 de 235,35 m de profundidad. Este pozo es de características surgente, con un nivel piezométrico de +22 m correspondiente a una capa acuífera confinada ubicada entre los 232 m y 235,35 m de profundidad; el caudal determinado fue de 4200 l/h. La muestra de agua extraída durante el desarrollo del proyecto posee una conductividad eléctrica de 5740 microsiemens/cm y 36 °C de temperatura y resulta inapta/inapropiada para consumo humano, ganadería y riego. A escasa distancia de este pozo se encuentra el pozo Lavalle N° 2 de 214 m de profundidad, que exploró capas del Mioceno a partir de los 130,80 m. Detectó dos niveles acuíferos confinados en estos terrenos; el superior con nivel piezométrico ascendente y el inferior con nivel de surgencia de +25,33 m; ambas inaptas para consumo humano y demás usos.

Asimismo, algunos pozos de la firma Agrocar en Los Reynosos es posible que tengan parte de sus unidades filtrantes ubicadas en la Unidad Hidrogeológica 2 dada la elevada conductividad eléctrica del agua (por ejemplo el agua del pozo identificado como 509 tiene una conductividad eléctrica de 7030 microSiemens/cm y actualmente es surgente).

En definitiva, se considera que esta unidad geológica forma parte del sistema acuífero que se desarrolla en el relleno del valle de Santa Rosa por encima del Basamento Cristalino (Unidad Hidrogeológica 1) y por debajo de los acuíferos más importantes contenidos en los terrenos del Terciario – Plioceno y del Cuaternario (Unidad Hidrogeológica 3). Se puede considerar a la Unidad Hidrogeológica 2 como “acuífero secundario”.

#### **7.3.4 Relleno resistivo**

Este relleno comprende capas eléctricas de diversos espesores donde la resistividad más frecuente que corresponde a las capas más potentes varía entre unos 15 ohm.m y 35 ohm.m. Capas eléctricas más superficiales y de menor espesor responden con valores en general mayores pudiendo superar los 70 ohm.m. Geológicamente se interpreta que el relleno resistivo incluye terrenos sedimentarios del Terciario – Plioceno y del Cuaternario, correspondientes a la Unidad Hidrogeológica 3. Estos materiales, acumulados sobre las rocas sedimentarias del Terciario – Mioceno (Unidad Hidrogeológica 2) o en menor medida sobre las rocas ígneas y metamórficas del Precámbrico - Paleozoico (Unidad Hidrogeológica 1), constituyen el relleno sedimentario portador de los principales acuíferos de la cuenca hidrogeológica de Santa Rosa.

En el área de estudio estos acuíferos están siendo explotados actualmente por más de 145 pozos destinados principalmente al riego agrícola (riego complementario) y en menor medida al consumo ganadero y humano. Los caudales que extraen las perforaciones para riego agrícola superan los 150 m<sup>3</sup>/h, pudiendo llegar al orden de 370 m<sup>3</sup>/h con una salinidad del agua variable para diferentes zonas del área de trabajo, pero generalmente inferior a 1300 microSiemens/cm.

Los mayores espesores de relleno resistivo llegan a superar los 300 m y quedan evidenciados en los diversos cortes de subsuelo. En el corte 1 – 1', al este de Los Altos y entre los SEV 6 y 8, varía entre 404 m y 300 m; en el extremo noreste del corte 5 – 5' es de 350 m en el SEV 39; en el corte 7 – 7' es de 327 m en el SEV 89' y en el corte 8 – 8' la potencia máxima del relleno resistivo es de 325 m en el SEV 60.

En dirección a las sierras que marginan el área de estudio por el sur y el oeste, la Unidad Hidrogeológica 3 disminuye su espesor a valores inferiores a los 116 m como se puede observar en los extremos occidentales de los cortes 1 – 1' y 2 – 2' y austral de los cortes 5 – 5', 6 - 6' y 8 – 8'. También se reduce el espesor de relleno resistivo hacia el extremo sur del corte 9 – 9' entre los SEV 82 y 18 donde se interpretaron entre 90 m y 27 m de potencia.

En el resto del área, es decir hacia el este y noreste a norte de las rutas nacionales N° 38 y N° 64, donde se encuentra la mayoría de las perforaciones que explotan la cuenca de agua subterránea en la zona, los diversos cortes geofísico –geológicos que la atraviesan (cortes 2 – 2', 3 – 3' y 5 – 5' a 8 – 8') muestran espesores dominantes entre los 200 m y algo más de 300 m, con un máximo de 350 m en el SEV 39 del corte 5 – 5'.

De acuerdo a los perfiles litológicos de las perforaciones del área, los materiales que conforman el relleno Terciario (Plioceno) – Cuaternario de la cuenca son intercalaciones de arena fina a gruesa, arena limo arcillosa, arcilla parda, marrón claro, arcilla limosa, arcilla plástica y semiplástica, grava,



tosca, rodados, arenisca fina y arenisca arcillosa pardo rojiza, friable, calcárea, arena pardo rojiza, arcilla y arcilla arenosa rojiza y pardo rojiza, etc.

La mayor potencia o el mayor espesor de estos materiales corresponderían al Terciario – Plioceno de acuerdo a los por perfiles geológicos de perforaciones de la zona. Precisamente, éstos indican que el espesor de terrenos del Plioceno es mayor que el de sedimentos Cuaternarios como por ejemplo en los pozos Bañado de Ovanta N<sup>o</sup> 1 y Dos Pocitos N<sup>o</sup>1 que atravesaron respectivamente 11 m y 51 m de sedimentos del Cuaternario y 50 m y 182 m del Terciario – Plioceno.

En cuanto a las características de los acuíferos contenidos en estos materiales y de acuerdo a la información obtenida, podemos señalar la existencia de un acuífero libre evidenciado por los pozos excavados distribuidos en distintos sectores del área de trabajo. Es el caso de los pozos ubicados en la zona de Bañado de Ovanta y Agrocar Campos La Banda y El Yunque; en El Carmen al sur de San Pedro y aledaño a la ruta Nacional N<sup>o</sup> 157, en La Bajada, etc. En profundidad las perforaciones muestran la presencia de materiales finos intercalados en capas de mayor permeabilidad, favoreciendo al semiconfinamiento de los niveles acuíferos. Cabe señalar que a pesar de no haber efectuado mediciones de precisión, en perforaciones cercanas a los pozos excavados no se detectaron diferencias significativas en los niveles piezométricos. Tampoco se han detectado pozos con características de surgencia en terrenos de la Unidad Hidrogeológica 3.

A fin de integrar la interpretación resultante de los SEV realizados y visualizar con carácter orientativo en un plano las características geológicas del subsuelo, se realizaron los siguientes mapas de subsuelo: Mapa estructural del techo del Terciario - Mioceno o Unidad Hidrogeológica 2 (Lámina 13) y el Mapa isopáquico del relleno sedimentario Terciario – Plioceno más Cuaternario o Unidad Hidrogeológica 3 (Lámina 14).

Cabe señalar que el mapa estructural es un mapa que mediante el trazado de curvas de igual cota en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) del techo de una determinada unidad geológica (por del ejemplo Terciario – Mioceno o Unidad Hidrogeológica 2), muestra el relieve que en el subsuelo presenta dicha unidad.

El mapa isopáquico muestra mediante curvas de igual espesor (llamadas curvas isopáquicas), la distribución areal de espesores de una o más unidades geológicas (por ejemplo del Terciario – Plioceno más el Cuaternario o Unidad Hidrogeológica 3).

Del análisis conjunto de los mapas de subsuelo, surgen las siguientes consideraciones preliminares:

El mapa estructural del techo de la Unidad Hidrogeológica 2 (Terciario – Mioceno) muestra el hundimiento de estos terrenos en dirección norte - noreste a medida que aumenta la distancia a los elementos orográficos que marginan el valle.

Presenta un paleorelieve irregular con ex hondaciones y elevaciones, destacándose como zona más profunda la ubicada entre Los Altos y El Abra, donde estos terrenos se ubican aproximadamente a

cota 80 a 160 msnm. Esta zona es atravesada por río de La Capellanía, importante curso fluvial que se dirige hacia el norte hasta unirse al río San Francisco al oeste de Los Molles.

Se destaca también el fuerte gradiente de las curvas estructurales en dirección a las sierras marginales ubicándose a cotas máximas del orden de los 500 a 520 msnm. El relieve superficial ondulado e irregular en esta región, indica la presencia de estos terrenos aflorantes o a escasa profundidad.

Fuera de las zonas señaladas precedentemente, el techo de los terrenos del Terciario – Mioceno se interpreta a cotas del orden de 100 a 200 msnm y se verifica un hundimiento de estos materiales en dirección norte donde llegan a ubicarse a cotas inferiores a los 100 msnm.

Consecuente con el paleorelieve de la Unidad Hidrogeológica 2, el mapa isopáquico del relleno sedimentario Terciario – Plioceno más Cuaternario o Unidad Hidrogeológica 3 muestra los mayores espesores entre Los Altos y El Abra, variando entre unos 300 m y 400 m.

Fuera de esta zona los espesores se reducen hacia el sur, este y oeste, siendo inferior a los 150 m y llega a ser nulo o prácticamente nulo en algunos sectores (zonas Rumi Punco, Los Altos, Aljilán , Manantiales, El Virqui, Las Tunas, Bañado de Ovanta, Ampolla, El Quebrachio, Las Cañas). Los menores espesores del relleno sedimentario de la Unidad Hidrogeológica 3 favorecen a la presencia de acuíferos con agua de mayor salinidad (superior a los 1200 microSiemens/cm) probablemente como consecuencia de materiales redepositados del Terciario – Mioceno localizados a poca profundidad. En la zona precedentemente descrita, entre Los Altos y El Abra, donde los espesores de relleno son significativamente mayores, la salinidad del agua extraída por pozos es notablemente menor (inferior a los 700 microSiemens/cm). Esta menor salinidad también puede relacionarse a la presencia del río de La Capellanía (207 microSiemens/cm de conductividad eléctrica) cuyos derrames aportan a la recarga de los acuíferos.

En el resto del área, donde se encuentra la mayoría de los pozos que explotan agua subterránea preferentemente para riego complementario, el espesor del relleno resistivo de la Unidad Hidrogeológica 3 varía en general entre unos 200 m y 350 m.

## **8 HIDROQUIMICA**

### **8.1 Introducción**

Se presentan los resultados de los análisis químicos efectuados en el agua subterránea muestreada en la zona de estudio.

La interpretación de estos resultados permitirá determinar las características químicas principales de estas aguas y contribuirá a definir zonas con mejores posibilidades de explotación en base

a la calidad de las mismas para diversos usos (riego, consumo humano y ganadero). En este sentido, los resultados logrados son comparados con niveles guías establecidos por normas vigentes, definiéndose además la calidad de estas aguas para uso agrícola de acuerdo a un sistema de clasificación adoptado que considera la peligrosidad salina y sódica, y el contenido de boro presente en el agua.

También se presentan los resultados de los análisis efectuados en muestras de aguas superficiales del área.

## **8.2 Muestreo y análisis de fuentes de agua**

Siguiendo las técnicas de muestreo apropiadas, se extrajeron 80 muestras de agua para análisis de laboratorio, de las cuales 72 corresponden a pozos y 8 a fuentes superficiales. En la Lámina 15 puede consultarse la ubicación de los diferentes puntos muestreados.

La extracción de muestras se realizó en períodos diferentes, todas ellas durante el año 2014. La primer campaña de muestreo se efectuó entre el 10 y el 14 de marzo extrayéndose un total de 47 muestras de agua de pozos, en la segunda campaña realizada entre el 7 y el 11 de abril se obtuvieron 16 muestras de agua, también todas ellas provenientes de pozos. En forma complementaria, durante campañas efectuadas para la realización de trabajos de geofísica, entre el 24 y 29 de mayo se sacaron 2 muestras de pozos y 8 muestras de fuentes superficiales y finalmente se extrajeron 7 muestras de pozos, la primera el 10 de Julio y las 6 restantes entre el 05 y el 13 de Agosto.

En el momento de la extracción de las muestras, se determinó in situ la conductividad eléctrica, pH y temperatura del agua.

Además de la muestra principal, se extrajeron en todos los casos dos muestras complementarias: una para el análisis de nitrato y la otra para realizar las determinaciones de los iones metálicos por absorción atómica. Estas muestras se preservaron adecuadamente mediante el agregado de los reactivos químicos correspondientes y enfriadas a 4 °C. Las muestras fueron remitidas al Laboratorio Químico del Centro Regional de Agua Subterránea (CRAS) en la Provincia de San Juan para su análisis.

Los análisis realizados en el Laboratorio del CRAS incluyen las determinaciones que se mencionan a continuación:

Propiedades físicas y de agregación: Conductividad eléctrica (CE), pH potenciométrico, Alcalinidad total, Dureza total y de no carbonatos y Sólidos Disueltos Calculados (SDC).

Iones principales: Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Carbonato, Bicarbonato, Sulfato y Cloruro.

Constituyentes inorgánicos menores no metálicos: Sílice, Boro, Nitrato, Fósforo total y Fluoruro.

Metales trazas disueltos: Hierro, Manganeso, Arsénico, Cinc, Cadmio y Cobre.

En la Tabla 3 se indica para cada caso, el método de análisis, equipos de medición utilizados, límites de detección y cuantificación para los metales disueltos y la forma de expresión de los resultados:

Determinación	Método de determinación	Referencia	Equipos utilizados	Límite de Detección mg/l	Límite de Cuantif. mg/l	Expresión de resultados
Conductividad	Conductimétrico	Standard Methods 20 Ed. 2510 B	Conductómetro Beckman modelo RC-19			µS/cm microsiemens por centímetro
pH	Electrométrico	Standard Methods 20 Ed 4500-H <sup>+</sup> B	pHmetro Beckman modelo H5			Unidades de pH
Alcalinidad	Titulación potenciométrica	Standard Methods 20 Ed. 2320 B	pHmetro Beckman modelo H5			mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Dureza total	Titulométrico con EDTA	Standard Methods 20 Ed. 2340 C				mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Calcio	Titulométrico con EDTA	Standard Methods 20 Ed. 3500-Ca B				mg/l
Magnesio	Cálculo (por diferencia)	Standard Methods 20 Ed. 3500-Mg B				mg/l
Sodio	Absorción Atómica-Directo llama Aire-Acetileno	Standard Methods 20 Ed. 3111 B	Espectrofot. Abs. Atómica Perkin Elmer mod. AAnalyst 300	0,003	0,009	mg/l mg/l
Potasio	Idem Sodio	Idem Sodio	Idem Sodio	0,002	0,005	mg/l
Carbonatos Bicarbonatos	Titulación potenciométrica	Standard Methods 20 Ed. 2320 B	pHmetro Beckman modelo H5			mg/l
Sulfatos	Gravimétrico con combustión de residuos	Standard Methods 20 Ed. 4500-SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> C	Horno eléctrico y Balanza Analítica OHAUS- Explorer Pro			mg/l
Cloruros	Argentométrico	Standard Methods 20 Ed. 4500-Cl <sup>-</sup> B				mg/l
Sílice	Colorimétrico de azul de molibdeno	Methods for Collection and Analysis of Water Samples Ed. 1960	Espectrof. Ultravioleta-Visible Perkin Elmer modelo Lambda 25	0,1		mg/l
Boro	Colorimétrico de la Curcumina	Standard Methods 20 Ed. 4500-B B	Espectrof. Ultravioleta-Visible Perkin Elmer modelo Lambda 25	0,01		mg/l
Nitrato	Colorimétrico : Reducción de cadmio	Método 8039 HACH (Eq. Standard Methods 20 Ed. 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> E)	Espectrofotómetro HACH modelo DR/2010	0,1		mg/l
Fósforo total	Colorimétrico del ácido vanadomolibdofosfórico	Standard Methods 20 Ed. 4500 - P C	Espectrofotómetro HACH modelo DR 2010	0,1		mg/l
Fluoruro	Potenciométrico de electrodo selectivo de iones	Standard Methods 20 Ed. 4500 - F <sup>-</sup> C	Medidor digital de iones específicos ORION modelo SA 720	0,1		mg/l
Hierro Total	Idem Sodio	Idem Sodio	Idem Sodio	0,009	0,03	mg/l
Manganeso	Idem Sodio	Idem Sodio	Idem Sodio	0,0003	0,001	
Cinc	Idem Sodio	Idem Sodio	Idem Sodio	0,002	0,005	mg/l
Cobre	Idem Sodio	Idem Sodio	Idem Sodio	0,02	0,06	mg/l
Arsénico	Electrotérmico (Horno de grafito)	Standard Methods 20 Ed. 3113 B	Espectrofot. Abs. Atómica Perkin Elmer mod. AAnalyst 300-Horno de grafito mod. HGA 800	0.001	0.003	mg/l
Cadmio	Idem Arsénico	Idem Arsénico	Idem Arsénico	0.00004	0.0001	mg/l

**NOTA: Límite de Detección:** Concentración mínima del analito detectada, no necesariamente cuantificable  
**Límite de Cuantificación:** Concentración mínima del analito que puede ser cuantificable con precisión y exactitud aceptable

Tabla 3: Métodos de análisis y equipos utilizados en el Laboratorio del CRAS.

En la Tabla Datos Hidroquímicos de Campo y Laboratorio (Anexo 1.6 y 1.7) se incluyen los resultados de los análisis químicos efectuados a cada una de las muestras en campaña y en laboratorio.

### 8.3 Criterios para caracterizar el agua y sistema de clasificación para riego

Además de la salinidad total, pH, alcalinidad y dureza del agua, para la caracterización hidroquímica de las muestras analizadas se consideran principalmente los elementos que se encuentran disueltos en mayor concentración, los que son definidos como iones principales, siendo ellos el calcio, magnesio, sodio y potasio entre los cationes, y el carbonato, bicarbonato, sulfato y cloruro entre los aniones.

Los valores en mg/l obtenidos en laboratorio, se convierten en miliequivalente por litro (me/l) y porcentaje de miliequivalente (% me), definiéndose el tipo de agua en base a este contenido relativo, nombrando de mayor a menor a los que superan al 20% de la suma total. El porcentaje de cada uno de estos iones se calcula como sigue:

$$X^{+/-} \% \text{ me} = X^{+/-} \text{ me/l} \times 100 / (\sum X^+ + \sum X^-) \text{ me/l}$$

Donde:

$X^{+/-}$  Cation o anión X cuya concentración relativa vamos a determinar

$\sum X^+$  Sumatoria de los cationes principales en me/l (calcio + magnesio + sodio + potasio)

$\sum X^-$  Sumatoria de los aniones principales en me/l (carbonato + bicarbonato + sulfato + cloruro)

Los tipos de agua de las muestras analizadas se han representado mediante diagramas circulares en donde la concentración relativa de los diversos componentes, expresada en % me, se representa por medio de sectores circulares, mientras que la concentración total del agua se expresa numéricamente colocando el valor de la conductividad eléctrica en cada caso en la parte superior del círculo. En las Láminas 16, 17 y 18, se presentan los diagramas circulares que representan las características químicas de las diferentes muestras analizadas provenientes de fuentes superficiales, perforaciones y pozos excavados respectivamente.

Asimismo se incluye en el presente trabajo un análisis comparativo de los resultados obtenidos con los niveles guías establecidos para aguas de consumo humano por el Código Alimentario Argentino y la Organización Mundial de la Salud, y los recomendados para consumo ganadero y riego según el criterio Environmental Studies Board, Canadian Environmental Quality Guidelines y el Committee de Consultants de la Universidad de California (Ampliado por Ayers y Westcot) como se indica en la Tabla 4.

PARÁMETRO	Bebida humana (1)	Bebida de ganado (3)	Riego (5)
pH (unidades de pH)	6,5 – 8,5	-	-
Sólidos Disueltos Totales	1500	3000(4)	2000
Aluminio Total	0,200	5,0	5,0
Amonio	0,200	-	-
Antimonio Total	0.020	-	-
Arsénico Total	0,010	0,200	0,100
Bario Total	0,70(2)	-	-
Berilio Total	-	0,100(4)	0,100
Boro	0,50	5,00	3,00
Cadmio Total	0,005	0,05	0,01
Calcio	-	1.000(4)	-
Cianuros totales	0,10	-	-
Cinc Total	5,0	24,0	2,0
Cloruros	350	-	-
Cobalto	-	1,0	0,050
Cobre Total	1,00	0,5	0,2
Cromo Total	0.050	1,0	0,1
Cromo hexavalente	-	0,050(4)	-
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	400	-	-
Fluoruros	0,6 – 1,7	2,0	1,0
Hierro Total	0,300	-	5,0
Litio	-	-	2,5
Manganeso Total	0,100	-	0,200
Mercurio Total	0,001	0,010	-
Molibdeno	0,07 (2)	0,50(4)	0,01
Níquel	0,02	1,00(4)	0,200
Nitrato	45	100	-
Nitrito	0,10	10	-
Plata Total	0,050	-	-
Plomo Total	0,050	0,100	5,0
Selenio Total	0,010	0,050	0,02
Sulfato	400	1.000(4)	-
Uranio	0,015(2)	0,200(4)	-
Vanadio	-	0,100	0,100

(1) Código Alimentario Argentino.  
(2) Organización Mundial de la Salud (WHO), actualizado en 2004. Pautas para la calidad del agua potable, tercera edición.  
(3) Environmental Studies Board from Water Quality Criteria 1972.  
(4) Canadian Environmental Quality Guidelines – Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines – December 2003.  
(5) Committee de Consultants de la Universidad de California. Ampliado por Ayers y Westcot.

Tabla 4: Niveles guía de calidad de agua para distintos usos (mg/l).

Con respecto a la calidad del agua para riego, la misma debe ser evaluada por los efectos que producen las sales disueltas en el agua sobre los suelos y las plantas, aunque para determinar correctamente la aptitud es necesario considerar varios otros factores que no están directamente relacionados con la composición química del agua, siendo los más importantes la evaporación a través de los suelos, los niveles freáticos, las condiciones de drenaje, las técnicas de riego, la textura de los suelos, la transpiración de las plantas, el aprovechamiento y la tolerancia selectiva a las sales por diferentes especies y el clima.

No obstante, y a modo de guía, se clasifican estas aguas para riego adoptándose el criterio de cinco clases de Flannery – Lohn, el que considera simultáneamente a los siguientes parámetros para clasificar al agua:

- La salinidad total en función de la conductividad eléctrica específica del agua. El nivel alto de sales en el agua de riego reduce la disponibilidad del agua para el cultivo (debido a la presión osmótica), aunque el suelo puede parecer mojado, y causa la reducción del rendimiento.

- El contenido de sodio respecto al de otros iones, principalmente de calcio y magnesio, en base a la relación de adsorción de sodio (RAS), cuya expresión es:

$$\text{RAS} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) / 2]^{1/2} \quad \text{en me/l}$$

- Altos niveles de RAS podrían resultar en un daño de la estructura del suelo y en problemas de infiltración de agua. El suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas y reduce la infiltración de agua y aire.

- El carbonato de sodio residual (CSR), se expresa en me/l e indica el peligro de sodificación una vez que precipitan los carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio. Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) \quad \text{en me/l}$$

Un valor de CSR superior a 2,5 indica un severo peligro de sodificación de los suelos, debido a que al precipitar los carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio cuando la solución del suelo se concentra bajo condiciones secas, la concentración de calcio y magnesio decrece en relación al sodio y el índice RAS es mayor, provocando la alcalinización y aumento del pH.

- La concentración de boro. El boro es un nutriente esencial, pero puede ser tóxico en concentraciones ligeramente mayores a las necesarias para el crecimiento óptimo. La tolerancia al boro varía con el clima, suelo y variedad de cultivo. En forma orientativa, los cultivos pueden clasificarse, atendiendo a la concentración máxima permitida de boro en el agua de riego, en tres categorías por orden de tolerancia creciente:

a) Cultivos sensibles (0,30-1,00 mg/l): manzano, cerezo, soja, limonero, naranjo, peral, melocotonero, pomelo, aguacate, olmo, albaricoquero, higuera, vid, ciruelo y judías.

b) Cultivos semitolerantes (1,00-2,05 mg/l): cebada, alfalfa, repollo, zanahoria, lechuga, cebolla, patata, papa, poroto, calabaza, espinaca, tabaco, olivo, rosal, tomate, maíz y trigo.

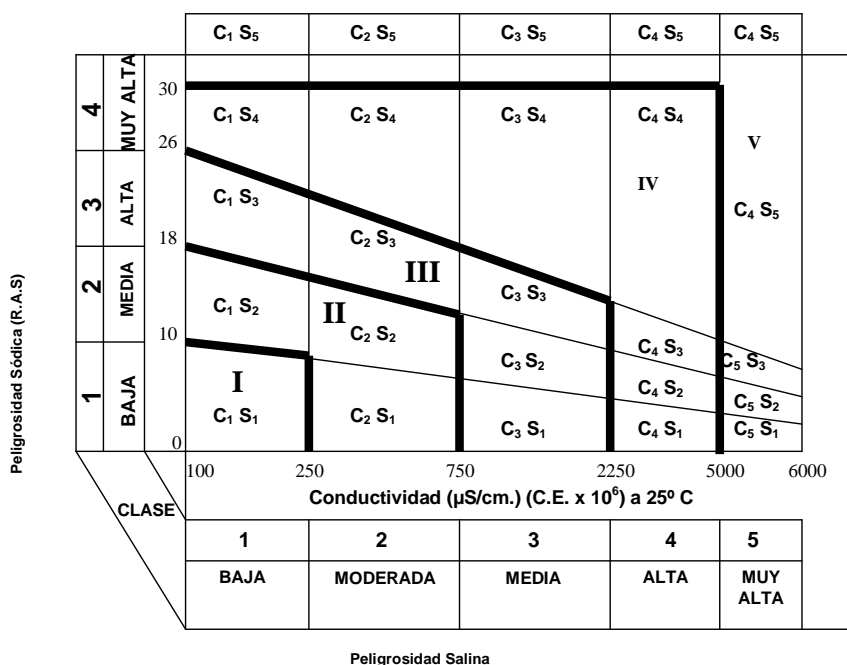
c) Cultivos tolerantes (2,05-4,00 mg/l): espárrago, arándano, algodón, pepino, gladiolo, sésamo, tulipán, remolacha, haba, pasto, menta y centeno.

La relación entre la salinidad y la peligrosidad sódica se deduce siguiendo el criterio del U.S. Regional Salinity Laboratory mediante el uso de un gráfico (Gráfico 1), y la clase CiSi que resulta es

combinada con los otros parámetros en la forma indicada en el resumen del mismo Gráfico 1. La clasificación establece que la peor característica, entre las mencionadas, define la clase final del agua, debiendo tenerse en cuenta cuando se considera al Boro, la tolerancia de los cultivos al mismo.

El sistema de clasificación ha sido establecido para condiciones medias en la textura de los suelos, velocidad de infiltración del agua, drenaje, clima y tipo de cultivos entre los principales. Debe quedar en claro que los límites establecidos, no significan más que una guía para opinar sobre las condiciones generales de un agua para riego. Para casos particulares o cuando se desea entrar en el detalle de la interpretación, debe contarse con estudios regionales de cultivos y suelos, bajo diferentes condiciones.

Gráfico 1: Diagrama de Laboratorio de Salinidad de Riverside (modificado por Thorne y Peterson).



Clase	Aptitud	Peligrosidad salina - Peligrosidad sódica C <sub>i</sub> - S <sub>i</sub>	C.S.R. (me/l)	Boro (mg/l)		
				Plantas		
				S	ST	T
I	Excelente	C <sub>1</sub> -S <sub>1</sub>	< 0.63	< 0.33	< 0.67	< 1.00
II	Buena	C <sub>1</sub> -S <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> -S <sub>2</sub>	0.63 - 1.25	0.33 - 0.67	0.67 - 1.33	1.00 - 2.00
III	Buena a regular	C <sub>1</sub> -S <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> -S <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub> , C <sub>3</sub> -S <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> -S <sub>3</sub>	1.25 - 1.88	0.67 - 1.00	1.33 - 2.00	2.00 - 3.00
IV	Regular a mala	C <sub>1</sub> -S <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> -S <sub>4</sub> , C <sub>3</sub> -S <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> -S <sub>1</sub> , C <sub>4</sub> -S <sub>2</sub> , C <sub>4</sub> -S <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> -S <sub>4</sub>	1.88 - 2.50	1.00 - 1.25	2.00 - 2.50	3.00 - 3.75
V	Inapropiada	C.E. > 5000 µS/cm R.A.S. > 30 S.D. > 3650 mg/l	> 2.50	> 1.25	> 2.50	> 3.75

La característica más desfavorable determina la clase. Para tener en cuenta los límites de concentración para el boro, hay que considerar la tolerancia de las plantas.

Límites sugeridos para clasificar un agua para riego

C<sub>i</sub> = Clase de Conductividad (C.E.), S<sub>i</sub> = Clase de adsorción de sodio (R.A.S.), C.E. = Conductividad específica, S.D. = Sólidos Disueltos, R.A.S. = Relación de Adsorción de Sodio, C.S.R. = Carbonato de Sodio residual. Sensibilidad de las plantas al Boro: S = Sensible, ST = Semitolerante, T = Tolerantes



## 8.4 Características químicas principales del agua superficial

Las ocho muestras de agua superficial extraídas corresponden a las siguientes fuentes: río De La Capellanía, arroyo Bañado de Ovanta en dos puntos de su recorrido, río Huacra también en dos puntos, río Sumampa, río La Aguada y arroyo Las Cañas.

En el Anexo 1.7 Tabla Datos Hidroquímicos de Campo y Laboratorio\_Agua Superficial se incluyen los resultados de los análisis químicos efectuados a cada una de las muestras en campaña y en laboratorio.

En la Lámina 16, se presentan los diagramas circulares que representan las características químicas de las muestras analizadas provenientes de fuentes superficiales.

En general la salinidad total del agua de estas fuentes es baja, con un máximo de conductividad eléctrica determinado en el agua del arroyo Las Cañas. Con excepción de este último arroyo, el agua tiene un pH inferior a 7,0 unidades y en todos los casos el agua es de características bicarbonatada sódica. Los elementos menores, metálicos y no metálicos, se encuentran en muy baja concentración. A continuación se describen las principales características químicas determinadas en cada una de las fuentes muestreadas.

### 8.4.1 Río de La Capellanía

Este río fue muestreado a la altura de la localidad de Manantiales (Punto identificado con la letra A en la Lámina 16). El agua presenta una muy baja salinidad con una conductividad eléctrica de 207  $\mu\text{S/cm}$  (Sólidos Disueltos Calculados 140 mg/l). Por su parte el pH (potencial de hidrógeno), que es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución, está por debajo del punto neutro e igual a 6,10 unidades.

La alcalinidad total determinada en esta muestra es de 83 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . La alcalinidad es la suma de las cantidades de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) presentes en el agua y se expresa en mg/l de  $\text{CaCO}_3$  y es una medida de la capacidad del agua a resistir a cambios en el pH. Si la alcalinidad es demasiada baja, cualquier adición de fertilizantes ácidos inmediatamente bajará el pH del agua.

La dureza total es también muy baja e igual a 39 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , Según el criterio de la Organización Mundial de la Salud (OMS) esta agua es clasificada como Blanda (Tabla 5).

Dureza total en mg/l de $\text{CaCO}_3$	Clasificación
0 – 60	Blanda
61 – 120	Moderadamente Dura
121 – 180	Dura
> 180	Muy Dura

Tabla 5: Clasificación del agua por su Dureza Total. (Según la Organización Mundial de la Salud).

La dureza total está determinada fundamentalmente por la presencia de sales de calcio y magnesio presentes en el agua y es calculada genéricamente, a partir de la suma de las concentraciones en miligramos por cada litro de agua de estos iones, según la siguiente ecuación:

$$\text{Dureza (mg/l de CaCO}_3\text{)} = 2,50 [\text{Ca}^{++}] + 4,16 [\text{Mg}^{++}].$$

Donde:

- $[\text{Ca}^{++}]$ : Concentración de ion  $\text{Ca}^{++}$  expresado en mg/l.
- $[\text{Mg}^{++}]$ : Concentración de ion  $\text{Mg}^{++}$  expresado en mg/l.
- Los coeficientes se obtienen de las proporciones entre el peso molecular del  $\text{CaCO}_3$  y los pesos moleculares respectivos: 100/40 (para el  $\text{Ca}^{++}$ ); y 100/24 (para el  $[\text{Mg}^{++}]$ ).

La dureza permanente (o de no-carbonatos), usualmente causada por la presencia del sulfato de calcio y magnesio y/o cloruros en el agua, es igual a cero, es decir que la dureza total del agua se debe únicamente a la presencia de sales carbonatadas.

El agua de este río es del tipo bicarbonatada sódica, con un contenido relativo de bicarbonato de 39,1 % me (101 mg/l) y de sodio de 28,8 % me (28 mg/l). En la Lámina 16, están representadas las características señaladas, mediante los diagramas circulares.

Entre los elementos menores analizados solamente se determinó presencia de boro (0,14 mg/l), fluoruro (0,3 mg/l), nitrato (5,3 mg/l) y arsénico (0,003 mg/l) en muy bajas concentraciones, valores éstos que no afectan la calidad del agua para los diversos usos considerados.

Clasificada para riego el agua es de clase II-C1S1 (Buena), siendo el Carbonato de Sodio Residual (0,87) el que define la clase final.

#### **8.4.2 Arroyo Bañado de Ovanta**

Tal como fuese expresado anteriormente este arroyo fue muestreado en dos puntos de su recorrido. En el primer punto, identificado con la letra F en la Lámina 16 a la altura de la localidad de Las Tunas, la conductividad eléctrica del agua es igual a 374  $\mu\text{S/cm}$  (232 mg/l), el pH es de 6,9 unidades, la alcalinidad total de 163 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  y la dureza total es igual a 62 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  (es decir ligeramente por encima del límite inferior del rango que clasifica al agua como Moderadamente Dura).

Al igual que el río De La Capellanía, el agua es del tipo bicarbonatada sódica, con un contenido relativo de bicarbonato de 43 % me (199 mg/l) y de sodio de 32,2 % me (56 mg/l), y la concentración de los elementos menores detectados es baja, con valores de 0,19 mg/l de boro, 0,9 mg/l de fluoruro, 2,2 mg/l de nitrato, 0,1 mg/l de fósforo y 0,004 mg/l de arsénico. No se detectó presencia de hierro, manganeso, cadmio, cobre y cinc.

Aguas abajo el arroyo fue muestreado en Bañado de Ovanta, en el cruce de la Ruta Nacional N° 64 (Punto B). En este punto se observa un pequeño crecimiento en la concentración de la totalidad de los iones principales, lo que determina un aumento de la salinidad total del agua, siendo la conductividad eléctrica igual 499  $\mu\text{S/cm}$  (315 mg/l). El pH se mantiene prácticamente en el mismo valor siendo igual a

6,8 unidades, mientras que lógicamente crece la alcalinidad a 196 mg/l de CaCO<sub>3</sub> (por el aumento del contenido de bicarbonatos) y la dureza total a 85 mg/l de CaCO<sub>3</sub> (por el aumento de los tenores de calcio y magnesio). El agua mantiene sus características bicarbonatadas sódicas, con un contenido relativo de 38,2 % de bicarbonato (240 mg/l) y 32,1 % me de sodio (76 mg/l).

Con excepción del fósforo, que no fue detectado en esta muestra, y del fluoruro, que disminuye a 0,7 mg/l, los restantes elementos menores que fueron encontrados en la primera muestra experimentan un pequeño aumento, siendo los valores obtenidos los siguientes: Boro 0,26 mg/l, nitrato 5,7 mg/l y arsénico 0,005 mg/l, sin alcanzar contenidos que afecten la calidad del agua para consumo humano, ganadero o riego

De acuerdo a su peligrosidad salina y sódica, el agua es clasificada para riego como de clase C2S1 (Buena) en ambos puntos de muestreo, desmejorando a clase IV (Regular a mala) al considerar el Carbonato de Sodio Residual (2,05 y 2,23).

#### **8.4.3 Río Sumampa**

El río Sumampa fue muestreado inmediatamente aguas abajo del dique homónimo y se encuentra identificado como punto E en la Lámina 16. La salinidad de sus aguas es también baja, con una conductividad eléctrica de 261  $\mu$ S/cm (150 mg/l), y características iónicas similares a las determinadas en las otras fuentes superficiales muestreadas en el área, es decir bicarbonatada sódica, con un contenido relativo de 40 % me de bicarbonato (113 mg/l) y de 28,3 % me de sodio (30 mg/l). El pH es igual a 6,8 unidades, con una alcalinidad de 93 mg/l de CaCO<sub>3</sub> y una dureza total de sólo 45 mg/l de CaCO<sub>3</sub> (Agua Blanda).

No se detectó presencia de hierro, manganeso, cadmio, cobre y cinc, estando el arsénico por debajo del límite de cuantificación del método (0,003 mg/l). El resto de los elementos menores se encuentra en muy bajas concentraciones, siendo los valores encontrados los siguientes: Fluoruro 0,3 mg/l; boro 0,09 mg/l; fósforo 0,10 mg/l y nitrato 5,3 mg/l.

Para riego, el agua es clasificada como de clase II-C2S1 (Buena), siendo la conductividad eléctrica y el CSR (0,95) los parámetros más desfavorables que definen la clase final.

#### **8.4.4 Río Huacra**

El río Huacra fue muestreado en dos puntos (Lámina 16): cuando cruza la ruta nacional N° 38 (Punto C) y aguas abajo, luego de su unión con el río Sumampa, al cruzar el puente San Francisco sobre la ruta nacional N° 64 (Punto D). Si bien la salinidad total del agua en ambos puntos es baja, se observa un aumento de la misma luego de la unión con el río Sumampa, lo que estaría relacionado con la mayor salinidad de este último. La conductividad del agua en el punto C es igual a 181  $\mu$ S/cm (126 mg/l), aumentando a 228  $\mu$ S/cm (153 mg/l) en el punto D.

Esta influencia del río Sumampa en la salinidad total del agua del río Huacra, se manifiesta también en la alcalinidad, dureza total y concentración de los iones disueltos que alcanzan en la muestra

extraída en el puente San Francisco valores muy similares a los determinados en la muestra del río Sumampa. La alcalinidad total crece desde un punto a otro de 75 a 93 mg/l de CaCO<sub>3</sub> y la dureza total de 32 a 41 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

El aumento en la concentración de los iones principales, que es pequeña, no modifica el tipo de agua que es, en ambos puntos, bicarbonatada sódica, con un contenido relativo de bicarbonato de 40,4 % me (91 mg/l) y de sodio de 30,7 % me (26 mg/l) en el punto C, y con 40,2 % me de bicarbonato (114 mg/l) y 29,9 % me (32 mg/l) en el punto D.

El pH del agua está en ambas muestras por debajo del punto neutro, con valores de 6,8 y 6,7 unidades, similares al pH del agua del río Sumampa.

No se detectó en ninguna de las dos muestras presencia de hierro, manganeso, cadmio, cobre y cinc, estando el arsénico en ambas por debajo del límite de cuantificación del método (0,003 mg/l). Los restantes elementos menores prácticamente no varían entre un punto y otro, alcanzando muy bajas concentraciones. El fluoruro es igual a 0,3 mg/l en ambas muestras, el boro crece de 0,08 a 0,11 mg/l, el fósforo de 0,07 a 0,10 mg/l y el nitrato de 2,3 a 3,7 mg/l.

Con muy baja peligrosidad salina y sódica, la calidad del agua para riego es la misma en los dos puntos de muestreo, siendo de clase II-C1S1 (Buena) y con el CSR (igual a 0,85 y 1,04) el responsable de la clase final.

#### **8.4.5 Río La Aguada**

Este río fue muestreado a la altura de la localidad de Aljilán, Punto G en la Lámina 16. La conductividad eléctrica del agua es igual a 229 µS/cm (147 mg/l) y el pH 6,9 unidades, con una alcalinidad total de 102 mg/l CaCO<sub>3</sub>. El agua es clasificada como Blanda, con una dureza total de sólo 37 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

Como sucede con las anteriores fuentes tratadas, el bicarbonato y el sodio son los iones predominantes, con una concentración relativa de 43,1 % me de bicarbonato (124 mg/l) y de 33,2 % me de sodio (36 mg/l).

Los elementos menores detectados se encuentran en muy baja concentración, siendo igual a 0,3 mg/l el fluoruro, 0,09 mg/l el boro, 3,2 mg/l el nitrato y 0,003 mg/l el arsénico. No se detectó presencia de hierro, manganeso, cadmio, cobre, cinc y fósforo.

También en este caso el agua presenta muy baja peligrosidad salina y sódica (C1S1), no obstante la consideración del CSR (1,28) desmejora su calidad para riego, siendo la clase final III.

#### **8.4.6 Arroyo Las Cañas**

El agua de este arroyo en la localidad de Las Cañas (Punto de muestreo identificado con la letra H en la Lámina 16) es el de mayor salinidad de todas las fuentes superficiales muestreadas, siendo la

conductividad eléctrica igual 825  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (517 mg/l). También es el único en donde el pH está por encima del punto neutro, con un valor de 7,4 unidades, indicando el carácter básico de la misma, siendo la alcalinidad total igual a 385 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . También la dureza total, con 120 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  (Moderadamente Dura), es la más alta de todas.

Con un contenido relativo de 43,1 % me (470 mg/l) de bicarbonato y de 35,3 % me (145 mg/l) de sodio, el agua es del tipo bicarbonatada sódica, similar a las restantes fuentes muestreadas.

Si bien los elementos menores detectados se encuentran en una concentración superior a los valores encontrados en las restantes fuentes, sólo el arsénico con 0,011 mg/l supera ligeramente el valor guía establecido en la Tabla 5 para aguas destinadas al consumo humano. La concentración de los restantes elementos es: fluoruro 1,0 mg/l, boro 0,41 mg/l, fósforo 0,13 mg/l y nitrato 5,7 mg/l, no habiéndose detectado presencia de hierro, manganeso, cadmio, cobre y cinc.

Para riego, el agua es clasificada como de clase V-C3S1, siendo el CSR (5,30) el parámetro más desfavorable que define la clase final.

### **8.5 Características químicas principales del agua subterránea**

Tal como se señaló anteriormente se extrajeron un total de 72 muestras de agua subterránea, provenientes de pozos distribuidos en toda el área de estudio, pero que se concentran en mayor densidad en la región de las localidades de Bañado de Ovanta y Los Altos - El Abra.

En las Láminas 17 y 18, se presentan los diagramas circulares que representan las características químicas de las muestras analizadas provenientes de fuentes subterráneas (perforaciones y pozos excavados respectivamente).

En general la salinidad total del agua es baja con una conductividad eléctrica que no supera los 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en un poco menos de la mitad (35 pozos) del total muestreado, con un mínimo de 355  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos disueltos 214 mg/l) en la muestra del pozo N° 108 de la Escuela Los Troncos, localizado al noroeste del área, en la zona de El Tala. En 24 muestras (33 % del total de pozos muestreados) la conductividad eléctrica del agua varía entre 1040 y 1640  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos disueltos entre 666 y 1150 mg/l), en 10 muestras (14 %) varía entre 1930 y 2950  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos disueltos entre 1310 y 2180 mg/l) y en las 3 muestras restantes alcanza un valor de 5740  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (3890 mg/l) en el pozo N° 532 (localizado al Sureste del área, en la localidad de Lavalle) y de 7030  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos de 5690 y 5860 mg/l) en los pozos N° 45 y 509 ubicados en Bañado de Ovanta.

La temperatura del agua no supera los 30 °C en la mayoría de los pozos muestreados, variando entre 22,2 y 29,8 °C, con un promedio de 25,2 °C. Solamente en dos casos (Pozos N° 509 y 516) la temperatura alcanza los 30 °C y en cuatro pozos (N° 23, 100, 153 y N° 532), ésta supera a dicho valor, con un máximo de 36 °C en el agua del pozo N° 532 de Lavalle.

Existe una diversidad de criterios para clasificar un agua según su temperatura, habiéndose adoptado en el presente trabajo la siguiente clasificación:

- Frías: de menos de 20°C
- Hipotermales: de 20° a 30° C
- Mesotermales: de 30° a 40° C
- Hipertermales: de más de 40° C.

En la Lámina 19 se trazaron las curvas de isoterma del agua subterránea donde puede apreciarse la distribución de las mismas en la zona de trabajo.

Asimismo el pH es en la mayoría de las muestras superior a 7 unidades (punto neutro), indicando el carácter básico o alcalino de las mismas. Solamente en 11 pozos el agua posee un pH inferior a 7 unidades, con un mínimo de 6,00 unidades en la muestra del pozo N° 509.

Con la sola excepción del valor de alcalinidad determinado en el agua del pozo N° 509 donde toma un valor de 18 mg/l de CaCO<sub>3</sub>, la alcalinidad varía entre 130 y 509 mg/l de CaCO<sub>3</sub>, con un promedio de 243 mg/l de CaCO<sub>3</sub> y la misma es debida con exclusividad a la presencia de los bicarbonatos, ya que no se detectó en ninguna muestra presencia de carbonatos e hidróxidos.

La dureza total del agua subterránea en el área varía en un amplio rango, con valores entre 924 y 1080 mg/l de CaCO<sub>3</sub> en las tres muestras extraídas de aquellos pozos en donde se determinó la mayor salinidad del agua (Pozos N° 45, 509 y 532), y con valores variables en el resto entre un mínimo de 39 mg/l de CaCO<sub>3</sub>, obtenido en la muestra del pozo N° 36, y un máximo de 683 mg/l de CaCO<sub>3</sub> en el agua del pozo N° 527, siendo el promedio igual 139 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

La dureza permanente (o de no-carbonatos) en la mayoría de las muestras es igual a cero, es decir que la dureza total del agua se debe únicamente a la presencia de sales carbonatadas. Solamente en ocho muestras se determinaron valores positivos de dureza de no carbonatos.

Con referencia al contenido iónico, se tiene que en todas las muestras, predomina entre los cationes el sodio, con una concentración relativa variable entre 26,4 y 46 % me, mientras que entre los aniones se observa que el predominio está repartido entre el bicarbonato y el sulfato. Así, se tiene que en 38 muestras, lo que representa un 53 % del total analizado, el bicarbonato es el anión dominante con concentraciones relativas variables entre 24,5 a 43,4 % me, en 26 muestras (36 % del total) el que predomina es el sulfato con un contenido entre 20,6 y 44,1 % me y las restantes 8 muestras se caracterizan porque ambos aniones se encuentran en concentraciones que superan los 20 % me, definiendo aguas del tipo bicarbonatadas-sulfatadas o sulfatadas-bicarbonatadas.

Con respecto a los constituyentes inorgánicos menores no metálicos, los valores determinados, indican lo siguiente:

- El nitrato está presente en la mayoría de las 56 muestras analizadas en concentraciones variables entre 0,3 y 33 mg/l, con un promedio de 10,3 mg/l. Solamente en tres casos (Pozos N° 100, 38 y 39) supera los 45 mg/l, con un máximo de 75 mg/l en el pozo N° 39.
- El boro está presente en todas las muestras analizadas, con una concentración variable entre 0,08 y 4,90 mg/l. En un 53 % de los casos (38 muestras) el contenido no supera los 0,5 mg/l, valor éste considerado límite en aguas destinadas al consumo humano, y solamente en dos casos (Pozos N° 45 y 48) supera los 3,0 mg/l fijados como límite en aguas para riego según las normas consideradas.
- El fósforo total solamente fue determinado en una concentración importante en la muestra del pozo N° 509, siendo en la misma igual a 36,5 mg/l. En el resto no supera los 0,39 mg/l, con un promedio de 0,02 mg/l.
- El tenor de fluoruro alcanza un contenido elevado solo en la muestra del pozo N° 100 de Ampolla, con 5,5 mg/l, mientras que en el resto varía entre 0,3 y 1,9 mg/l con un promedio de 0,7 mg/l.
- La sílice, con un contenido muy bajo en la muestra del pozo N° 509 e igual a 2,1 mg/l, varía en las restantes muestras analizadas entre 14 y 72 mg/l, con un promedio de 34,6 mg/l.

Por su parte entre los metales trazas, los contenidos determinados fueron los siguientes:

- El hierro, en un elevado porcentaje de muestras (61 %), no ha sido detectado o bien se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método (0,030 mg/l), mientras que en 28 muestras fue detectada su presencia, con una concentración máxima de 10 mg/l en el agua del pozo N° 136 (Plaza de Manantiales).
- Una situación similar sucede con el manganeso que no fue detectado en 50 muestras del total de 72 analizadas, estando presente en las restantes en concentraciones variables entre 0,003 mg/l y un máximo de 1,400 mg/l en el pozo N° 509.
- El arsénico, al contrario de lo que fuese determinado para el hierro y el manganeso, no fue detectado solamente en dos muestras (las extraídas de los pozos N° 136 y 509), estando presente en el resto en concentraciones variables entre 0,003 y 0,406 mg/l (valor este último detectado en la muestra del pozo N° 37), con un promedio de 0,024 mg/l.
- El cadmio sólo se encuentra en valores cuantificables en la muestra del pozo N° 529, con una concentración de 0,0020 mg/l, no habiendo sido detectado en el resto.
- El cinc no fue detectado o está por debajo del límite de cuantificación (0,005 mg/l) en 46 muestras, mientras que en las 26 restantes su concentración varía entre 0,010 mg/l y un máximo determinado de 2,600 mg/l en el agua del pozo N° 134 de Las Tunas.
- Finalmente el cobre no fue detectado en ninguna de las muestras analizadas.
- Nos referiremos a continuación, en forma más detallada, a las características químicas determinadas en el agua explotada en las diferentes localidades del área, comenzando por aquellas en donde señalamos se concentra la mayor densidad de pozos.

### 8.5.1 Bañado de Ovanta

En la zona de Bañado de Ovanta, se muestrearon en el sector próximo a la Ruta Nacional N° 64 un total de 5 pozos, entre los que se encuentra el pozo N° 45 (Agrocar Aljibe, pozo excavado de poca profundidad) que fue señalado anteriormente como uno de los dos pozos en donde se determinó la mayor salinidad del agua. Esta muestra con una conductividad de 7030  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos disueltos 5690 mg/l), una temperatura de sólo 24 °C, un pH de 7,2 unidades y una alcalinidad de 329 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , se caracteriza además por su elevada dureza total (1080 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , la más alta entre todas las muestras analizadas en el área) y de no carbonatos (750 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ). Según el criterio de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Tabla 5), esta agua es clasificada como Muy Dura.

De acuerdo a su contenido iónico el agua de este pozo es clasificada como sulfatada sódica, con una concentración relativa de sulfato de 40,6 % me (3290 mg/l) y de 36,9 % me de sodio (1430 mg/l), mientras que el bicarbonato solo alcanza un 3,9 % me (401 mg/l). También se destaca en esta muestra la elevada concentración de boro (4,10 mg/l) y de arsénico (0,088 mg/l).

Comparando los resultados del análisis de esta muestra con los niveles guías establecidos (Tabla 4), se observa que son varios entre los parámetros determinados los que superan los límites fijados por las normas consideradas. Así para consumo humano se tiene que superan el límite el contenido de sólidos disueltos totales, la dureza total y los tenores de arsénico, sulfato, boro y fluoruro; para consumo ganadero el tenor de sólidos disueltos y sulfatos, y para riego los sólidos disueltos, el boro y el fluoruro. De acuerdo con el criterio de clasificación para riego adoptado el agua es de clase V-C5S4, es decir Inapropiada, siendo la conductividad eléctrica y el tenor de boro los parámetros que definen esta clase final.

Con respecto a los cuatro pozos restantes muestreados en este sector próximo a la ruta, se pueden diferenciar, por las características químicas de sus aguas, dos grupos. El primero de ellos, definido por el pozo excavado N° 40 y la perforación N° 95 (Pozo Público de Bañado de Ovanta), se caracteriza por la menor salinidad de sus aguas, con una conductividad eléctrica igual a 1140  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos disueltos 667 mg/l) en el pozo N° 40 y de 915  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (578 mg/l) en el pozo N° 95.

Por su contenido iónico ambas muestras son clasificadas como sódica bicarbonatada, con tenores relativos de sodio y bicarbonato de 41,2 % me (200 mg/l) y de 24,5 % me (316 mg/l) en el pozo N° 40 y de 33,5 % me (140 mg/l) de sodio y 29,1 % me (323 mg/l) de bicarbonato en el pozo N° 95, alcanzando el sulfato un contenido relativo de 17,2 % me (175 mg/l) y 14,1 % me (123 mg/l) respectivamente. La dureza total del agua también es menor en estas muestras con valores de 91 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  en el pozo N° 40 (Moderadamente Dura) y de 139 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  en el pozo N° 95 (Dura). Entre los elementos menores se destaca en este grupo el contenido de hierro, boro y arsénico de la muestra del pozo N° 40 que, con valores de 0,380 mg/l, 0,80 mg/l y 0,027 mg/l respectivamente, superan los límites establecidos para aguas destinadas al consumo humano (Tabla 4). En el pozo N° 95, solamente el arsénico con un contenido de 0,012 mg/l, supera ligeramente a este límite.



En el otro grupo conformado por los pozos N° 38 y 39 (ambos pozos excavados de poca profundidad), la conductividad eléctrica del agua es mayor e igual a 2110  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (1330  $\text{mg}/\text{l}$ ) en el pozo N° 39 y 2160  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (1520  $\text{mg}/\text{l}$ ) en el pozo N° 38, superando el contenido de sólidos disueltos en este último pozo el límite fijado para aguas de consumo humano. La dureza total, igual a 163 y 241  $\text{mg}/\text{l}$  de  $\text{CaCO}_3$  para los pozos N° 39 y 38 respectivamente, permite clasificar a las mismas como Dura y Muy Dura.

Con un contenido iónico relativo de sodio de 38,8 % me (410  $\text{mg}/\text{l}$ ) y de sulfato de 26,9 % me (594  $\text{mg}/\text{l}$ ) en el pozo N° 38 y de 41,1 % me (370  $\text{mg}/\text{l}$ ) y 33,3 % me (625  $\text{mg}/\text{l}$ ) respectivamente en el pozo N° 39, el agua es clasificada como sódica sulfatada, superando la concentración de sulfatos el máximo admisible para aguas destinadas al consumo humano. En orden decreciente se encuentra posteriormente el bicarbonato con un 13,9 % me (389  $\text{mg}/\text{l}$ ) en el pozo N° 38 y 9,7 % me (232  $\text{mg}/\text{l}$ ) en el pozo N° 39.

Entre los constituyentes inorgánicos menores no metálicos también superan el límite para bebidas humanas fijado en la Tabla 4, el contenido de nitratos en ambos pozos, con valores de 68 y 75  $\text{mg}/\text{l}$  para los pozos N° 38 y 39 respectivamente, y el tenor de boro, en el pozo N° 39 con 1,70  $\text{mg}/\text{l}$ . Entre los metales trazas solamente el arsénico, con 0,035  $\text{mg}/\text{l}$  en el pozo N° 38 y 0,019  $\text{mg}/\text{l}$  en el pozo N° 39, supera también el límite establecido en bebidas humanas.

Con respecto a la clasificación para riego, en la Tabla 6 que se presenta a continuación se resumen los valores obtenidos en estas muestras de los parámetros que consideramos para la clasificación, la clase según cada uno de ellos y en la última columna la clase final, recordando que la peor característica define a la misma, debiendo tenerse en cuenta cuando se considera al boro, la tolerancia de los cultivos al mismo.

N° Pozo	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	RAS	CSR	Boro $\text{mg}/\text{l}$	Clase CE	Clase RAS	Clase CSR	Clase por Boro			Clase Final
								Sens.	Semit.	Toler	
40	1140	9,09	3,34	0,80	C3	S2	5	3	2	1	V
95	915	5,15	2,49	0,27	C3	S1	4	1	1	1	IV
38	2160	11,46	1,52	0,40	C3	S3	3	2	1	1	III
39	2110	12,57	0,52	1,70	C3	S3	1	5	3	2	V

Tabla 6: Parámetros de clasificación de agua para riego. Área Bañado de Ovanta.

Según puede observarse, si bien en los pozos N° 40 y 95 el agua presenta una peligrosidad salina y sódica media, el Carbonato de Sodio Residual (CSR) desmejora la clase final de estas aguas siendo la misma V y IV respectivamente. En el pozo N° 38 la conductividad, el RAS y el CSR son los parámetros responsables de la clase final y finalmente en el pozo N° 39, el tenor de boro, para el caso de los cultivos sensibles a este elemento, define la clase V para este agua.

Al norte del grupo descrito anteriormente, se localiza otro grupo de 8 pozos, de los cuales 6 pertenecen a Agrocar – Campo La Banda y los dos restantes, identificados con los N° 525 y 531, son nombrados como Estancia Miguel Martínez y Pozo del Campo. En este grupo se diferencia netamente del resto, el pozo N° 48 (Campo La Banda N° 9), cuya salinidad es la más alta del grupo, con un valor de

conductividad eléctrica de 2590  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos disueltos 1770 mg/l), lo mismo que la dureza total con 326 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  (Agua Muy Dura). Asimismo se determinó una dureza permanente (o de no carbonatos) de 85 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . También esta muestra se diferencia del resto por la elevada concentración de sulfato (903 mg/l), definiendo junto al sodio (460 mg/l) las características iónicas de la misma (Sódica sulfatada, con contenido relativos de 37,4 y 35,1 % me para el sodio y sulfato respectivamente). Entre los elementos menores se destaca también en esta muestra el contenido de boro, que con 4,90 mg/l es el valor más alto detectado en toda el área, y los tenores de hierro (1,610 mg/l) y arsénico (0,149 mg/l). Estos tres últimos parámetros, junto al contenido de sólidos disueltos y el tenor de sulfatos, superan ampliamente los límites establecidos en la Tabla 4 para bebidas humanas, mientras que para riego solamente el boro y el arsénico están por encima de los valores guía establecidos.

En los restantes 7 pozos de este grupo, la salinidad del agua es mucho menor con valores extremos que varían entre 1040  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (666 mg/l, en el pozo N° 51) y 1450  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (924 mg/l, en el pozo N° 53). Precisamente en este último pozo la temperatura del agua supera a la media determinada en el área, alcanzando un valor de 29,8 °C, variando en el resto entre 24,5 y 26,9 °C.

A su vez el pH varía entre 7,0 y 7,4 unidades indicando el carácter básico o alcalino de estas aguas, con una alcalinidad variable entre 258 y 298 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , siendo la misma debida con exclusividad a la actividad de los bicarbonatos. La dureza total del agua varía entre 124 y 206 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  (es decir variable entre Dura y Muy Dura), mientras que la dureza permanente es en todos los casos igual a cero.

Analizando el contenido iónico se tiene que en todos los casos el sodio predomina entre los cationes con una concentración relativa entre 33,4 y 38,4 % me (180 a 250 mg/l), mientras que entre los aniones predominan el sulfato, con un contenido variable entre 18,7 y 23,3 % me (190 a 326 mg/l), y el bicarbonato, con 17,7 a 24,4 % me (314 a 363 mg/l).

Entre los elementos menores determinados se observa que el tenor de hierro se encuentra en concentraciones algo elevadas, con excepción de las muestras de los pozos N° 50, 525 y 531, en donde dicho elemento alcanza una concentración de 0,210 mg/l en el primero y está ausente en los dos restantes. En el resto de los pozos este elemento se encuentra con un contenido variable entre 2,140 (Pozo N° 49) y 5,030 mg/l (Pozo N° 51), superando ampliamente al valor guía establecido en la Tabla 4 para aguas de consumo humano. También el arsénico (con contenidos entre 0,004 y 0,093 mg/l) y el boro (entre 0,31 y 0,83 mg/l) superan los límites fijados para bebida, en los pozos N° 49, 50, 51 y 52 el primero y el boro en los pozos N° 52, 525 y 531.

La clasificación para riego de estas muestras se resume en la Tabla N° 7:

N° Pozo	CE μS/cm	RAS	CSR	Boro mg/l	Clase CE	Clase RAS	Clase CSR	Clase por Boro			Clase Final
								Sens.	Semit.	Toler.	
48	2590	11,09	0,00	4,90	C4	S3	1	5	5	5	V
49	1310	6,81	1,29	0,38	C3	S2	3	2	1	1	III
50	1410	8,45	2,43	0,43	C3	S2	4	2	1	1	IV
51	1040	7,00	2,67	0,31	C3	S2	5	1	1	1	V
52	1410	6,30	1,08	0,61	C3	S2	2	2	1	1	III
53	1450	7,29	1,21	0,33	C3	S2	2	1	1	1	III
531	1390	7,93	2,17	0,83	C3	S2	4	3	2	1	IV
525	1410	8,51	2,67	0,53	C3	S2	5	2	1	1	V

Tabla 7: Parámetros de clasificación de agua para riego. Perforaciones. Área Bañado de Ovanta

Se observa que la clase final es definida en el caso de los pozos N° 52 y 53 por la conductividad eléctrica, en el pozo N° 49 por la conductividad junto al Carbonato de Sodio Residual (CSR), en los pozos N° 50, 51, 525 y 531 por el CSR y en el pozo N° 48 por el tenor de boro para todo tipo de cultivos.

También en la zona de Bañado de Ovanta, pero al sur de la Ruta Nacional N° 64, se localiza otro grupo de tres pozos identificados con los N° 43, 509 y 527 (pertenecientes a la firma Agrocara), caracterizándose los mismos por la gran disparidad determinada en la composición química de sus aguas.

Así en el caso del pozo N° 43, la temperatura del agua es igual a 24,5 °C, la conductividad eléctrica 628 μS/cm (Sólidos disueltos 389 mg/l), el pH es de 7,4 unidades y la alcalinidad total 208 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. Por su dureza total (143 mg/l de CaCO<sub>3</sub>) el agua es clasificada como Dura, y la misma es debida a las sales carbonatadas, ya que la dureza permanente es igual a cero. En base al contenido iónico el agua es del tipo bicarbonatada sódica, con un contenido relativo de 32,4 % me (254 mg/l) de bicarbonato y 26,4 % me de sodio (78 mg/l), alcanzando el sulfato un 12,6 % me (72 mg/l). Entre los elementos menores sólo el manganeso, con 0,300 mg/l, supera el límite establecido en la Tabla 5 para consumo humano y riego. De acuerdo al criterio adoptado el agua es clase III-C2S1 para riego, siendo el CSR (1,31) el que define la clase final.

En el pozo N° 527 (Finca Los Reynosos), la temperatura del agua es de sólo 23,7 °C, la conductividad del agua es mayor e igual a 2950 μS/cm (2180 mg/l), el pH (7,1 unidades) indica también el carácter ligeramente básico de la misma, siendo la alcalinidad de 259 mg/l de CaCO<sub>3</sub>, mientras que tanto la dureza total como la de no carbonatos alcanzan altos valores (683 y 424 mg/l de CaCO<sub>3</sub>) (Agua Muy Dura). Entre los iones principales, el sulfato con un contenido relativo de 35,4 % me (1140 mg/l) y el sodio con 29,2 % me (450 mg/l), son los predominantes. El hierro (2,8 mg/l) y el arsénico (0,011 mg/l) superan, junto al contenido de sólidos disueltos, la dureza total y el tenor de sulfatos, los límites establecidos para consumo humano. Clasificada para riego, el agua es de clase IV-C4S2, siendo la conductividad eléctrica el parámetro más desfavorable.

Finalmente en el pozo N° 509 la salinidad total del agua alcanza uno de los dos valores más altos de todo el área, tal como ya fuese señalado, siendo la conductividad eléctrica igual a 7030 μS/cm (5860 mg/l), mientras que la temperatura del agua llega a los 30 °C. También el agua de este pozo se caracteriza por su pH, ligeramente ácido e igual a 6,0 unidades, su baja alcalinidad (18 mg/l de CaCO<sub>3</sub>)

y su elevada dureza total y de no carbonatos (1050 y 1030 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , respectivamente). El contenido de sodio, con 1530 mg/l (el más elevado de todas las muestras analizadas), y de sulfato (3110 mg/l), determinan un contenido relativo de estos iones de 37,6 y 36,6 % me respectivamente, definiendo un tipo de agua sódica sulfatada. Caracteriza también a esta muestra la elevada concentración de fósforo total (36,51 mg/l), hierro (8,26 mg/l) y manganeso (1,400 mg/l).

Comparando los resultados del análisis de esta muestra con los datos de la Tabla 4, puede observarse que son varios los parámetros que descalifican a la misma para consumo humano y ganadero, y clasificándose para riego como de clase V-C5S4, con la conductividad y el contenido de boro (para cultivos sensibles) como responsables de la clase final.

### **8.5.2 Las Tunas y Ampolla**

Próximos al último grupo de pozos considerado anteriormente fueron muestreados dos pozos identificados con los N° 134 y 100, localizándose el primero en la localidad de Las Tunas y el segundo en Ampolla.

En el pozo N° 134 (utilizado para la provisión de agua potable) la salinidad del agua es baja, con una conductividad eléctrica de 752  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (405 mg/l), la temperatura 24,1 °C, el pH neutro (7,0 unidades), con una alcalinidad total de 226 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  y una dureza total de 117 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  (Moderadamente Dura), mientras que la dureza permanente es igual a cero. El bicarbonato, con un contenido relativo de 33,9 % (276 mg/l) y el sodio, con 29,7 % me (91 mg/l), determinan características bicarbonatadas sódicas en esta agua. El hierro y el manganeso, con concentraciones de 2,530 y 0,780 mg/l respectivamente, son los únicos elementos que superan los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino para aguas destinadas al consumo humano, no obstante es preciso señalar que los mismos no representan riesgo directo para la salud y que su presencia en cantidades superiores a las establecidas en las normas le confieren al agua un sabor amargo o metálico. Caracteriza también a esta muestra el tenor de cinc, igual a 2,600 mg/l, el más alto entre todas las muestras analizadas, valor que está por debajo de los límites admisibles. Clasificada para riego, el agua es de clase IV-C3S1, siendo el CSR (2,15) el parámetro más desfavorable.

En el pozo muestreado en la localidad de Ampolla (N° 100), el agua se caracteriza por su temperatura, que llega a 33,6 °C (Aguas Mesotermiales), y una conductividad también alta e igual a 2470  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un contenido de sólidos disueltos de 1610 mg/l, que supera el límite establecido para bebida humana de la Tabla 5. El pH está ligeramente por encima del punto neutro (7,2 unidades) y la alcalinidad alcanza el valor más elevado entre todas las muestras analizadas, siendo igual a 509 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . La alcalinidad debida a bicarbonatos no se puede considerar perjudicial para la salud, pero valores superiores a los 400 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  dan al agua un sabor desagradable. Entre los iones principales predominan el sodio entre los cationes con 41,3 % me (480 mg/l) y el sulfato (23,7 % me, 576 mg/l) y el bicarbonato (20,1 % me, 621 mg/l) entre los aniones, definiendo aguas del tipo sódica sulfatada bicarbonatada.

La elevada concentración de fluoruro, igual a 5,5 mg/l, limita el uso del agua para los tres usos considerados en la Tabla 4. Para consumo humano, además del fluoruro y del total de sólidos disueltos, superan los límites del Código Alimentario Argentino, el boro, con 1,10 mg/l, el nitrato, con 46 mg/l y el arsénico, con 0,051 mg/l; mientras que para riego el agua es clasificada como de clase V-C4S4, siendo también en este caso el CSR (6,02) el que define la clase final.

### 8.5.3 Los Altos – El Abra

En esta zona, localizada al suroeste del área de estudio, se muestrearon un total de 13 pozos. La conductividad eléctrica del agua varía entre un mínimo de 485  $\mu\text{S/cm}$  (Sólidos disueltos 319 mg/l) en el pozo N° 140, y un máximo de 1570  $\mu\text{S/cm}$  (1160 mg/l) en el pozo N° 142, con un promedio de 744  $\mu\text{S/cm}$  (492 mg/l), mientras que la temperatura del agua varía entre 22,2 y 25,9 °C.

El pH del agua toma valores entre 7,00 y 7,50 unidades e indica el carácter básico o alcalino de estas muestras. La alcalinidad total varía entre 168 y 262 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  y la misma es debida con exclusividad a los bicarbonatos, ya que en ninguna de las muestras se determinó presencia de hidróxidos y carbonatos.

Con respecto a la dureza de estas aguas se tiene que, con excepción de la muestra del pozo N° 142 en donde se determinó una dureza total de 268 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  (Agua Muy Dura) y una dureza de no carbonatos o permanente de 46 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , la dureza total varía entre un mínimo de 53 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  en el agua del pozo N° 157 (Agua Blanda) y un máximo de 146 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  en el pozo N° 133 (Agua Moderadamente Dura), mientras que la dureza de no carbonatos es en estos casos igual a cero.

El tipo de agua, definido por aquellos iones con mayor concentración relativa, es para las muestras de menor salinidad (conductividad eléctrica menor a 650  $\mu\text{S/cm}$ ) bicarbonatada sódica, con un contenido de bicarbonato entre 32,7 y 43,4 % me (205 a 315 mg/l) y de sodio entre 26,5 y 39,2 % me (63 a 98 mg/l), mientras que el sulfato no supera los 10 % me (entre 16 y 89 mg/l). En los pozos N° 139, 141 y 529 en donde la conductividad del agua toma valores entre 710 y 738  $\mu\text{S/cm}$ , el agua mantiene al sodio y al bicarbonato como iones predominantes pero invirtiéndose el predominio de los mismos, siendo el agua las características sódicas bicarbonatadas, con un 33 a 38,4 % me de sodio (110 a 133 mg/l) y 28,3 a 30 % me de bicarbonato (254 a 266 mg/l), y aumentando el contenido relativo de sulfatos que llega a un 16,1 a 18,4 % me (112 a 128 mg/l).

En la medida que aumenta la salinidad total del agua se observa un crecimiento en la concentración absoluta y relativa del sulfato que pasa a ser uno de los iones dominantes. Así el agua del pozo N° 133, cuya conductividad es igual a 834  $\mu\text{S/cm}$ , es del tipo sódica bicarbonatada sulfatada, con 32,1 % me (125 mg/l) de sodio, 25,3 % me (262 mg/l) de bicarbonato y 21,3 % me (173 mg/l) de sulfato, en el pozo N° 143, con una conductividad de 1330  $\mu\text{S/cm}$ , el agua es de características sódicas sulfatadas bicarbonatadas, con contenidos de 42 % me (270 mg/l) de sodio, 22,3 % me (299 mg/l) de sulfatos y 18,7 % me (319 mg/l) de bicarbonatos y finalmente en el pozo N° 142, en donde la

conductividad eléctrica es 1570  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el agua es sulfatada sódica, con un 35 % me (601 mg/l) de sulfato y 33,1 % me (270 mg/l) de sodio.

Es precisamente en este último pozo, el único caso en donde la concentración de sulfatos supera el límite establecido por Código Alimentario Argentino para aguas de consumo humano.

Entre los constituyentes inorgánicos menores no metálicos, se determinaron en este grupo los siguientes valores:

- El nitrato está presente en todas las muestras en concentraciones entre 4,3 mg/l y un máximo de 20 mg/l, determinado en el pozo N° 143, es decir que están por debajo de los límites fijados en la Tabla 4.
- El boro se encuentra en bajas concentraciones. Solamente en los pozos N° 133 y 142, con 0,62 y 0,61 mg/l respectivamente, se supera el límite establecido para aguas destinadas al consumo humano.
- El fósforo total también se encuentra en bajas concentraciones, no superando los 0,07 mg/l.
- También el contenido de fluoruro es bajo, variando el mismo entre 0,3 y 1,0 mg/l, con un promedio de 0,6 mg/l.
- El tenor de sílice varía entre 14 y 44 mg/l, con un promedio de 30 mg/l.

En lo que respecta a los metales trazas, los valores determinados fueron los siguientes:

- El hierro no fue detectado, o bien su concentración está por debajo del límite de cuantificación del método (0,030 mg/l), solamente en 4 muestras, variando en las restantes 9 muestras entre 0,050 y 9,900 mg/l, valor éste último determinado en la muestra de agua del pozo N° 142. En 6 pozos (N° 139, 141, 142, 143, 511 y 529) la concentración de hierro en el agua es superior a los 0,300 mg/l fijados para aguas de consumo humano.
- Sólo en una muestra (Pozo N° 142), el contenido de manganeso igual a 0,200 mg/l, supera el valor guía establecido por el Código Alimentario Argentino. En 7 muestras no fue detectado y varía en las 5 restantes entre 0,006 y 0,030 mg/l.
- El arsénico está presente en todas las muestras, con valores que varían entre 0,003 mg/l y un máximo determinado en la muestra del pozo N° 157 de 0,044 mg/l. En este último pozo y en otros 5 de este grupo (Pozos N° 140, 141, 142, 143 y 500), el contenido de arsénico en el agua supera los 0,01 mg/l establecido como límite en bebidas humanas.
- El cadmio sólo fue detectado en la muestra del pozo N° 529, con una concentración de 0,0020 mg/l, no habiendo sido detectado en el resto.
- El cinc no fue detectado o está por debajo del límite de cuantificación (0,005 mg/l) en 7 muestras, mientras que en las 6 restantes se encuentra en muy baja concentración, variando la misma entre 0,010 mg/l y un máximo, determinado en el agua del pozo N° 104, de 0,150 mg/l.
- El cobre no se detectó en ninguna de las muestras analizadas.

Evaluadas para riego, en la Tabla 8 se presentan los valores obtenidos en estas muestras de los parámetros que consideramos para la clasificación, la clase según cada uno de estos parámetros y en la última columna la clase final, definida por la peor característica.

N° Pozo	CE μS/cm	RAS	CSR	Boro mg/l	Clase	Clase	Clase	Clase por			Clase
					CE	RAS	CSR	Sens.	Semit.	Toler.	Final
3	508	4,56	2,58	0,17	C2	S1	5	1	1	1	V
104	535	4,30	3,38	0,16	C2	S1	5	1	1	1	V
133	834	4,51	1,38	0,62	C3	S1	3	2	1	1	III
139	710	5,54	2,38	0,33	C2	S1	4	1	1	1	IV
140	485	4,67	2,10	0,13	C2	S1	4	1	1	1	IV
141	738	7,04	2,91	0,44	C2	S2	5	2	1	1	V
142	1570	7,19	0,00	0,61	C3	S2	1	2	1	1	III
143	1330	11,83	3,25	0,48	C3	S3	5	2	1	1	V
156	645	3,65	1,86	0,11	C2	S1	3	1	1	1	III
157	531	5,81	3,15	0,15	C2	S1	5	1	1	1	V
500	510	2,55	1,76	0,19	C2	S1	3	1	1	1	III
511	546	5,42	2,79	0,27	C2	S1	5	1	1	1	V
529	736	4,42	2,01	0,15	C2	S1	4	1	1	1	IV

Tabla 8: Parámetros de clasificación de agua para riego. Perforaciones. Área Los Altos – El Abra.

Según puede observarse el agua presenta una peligrosidad salina entre moderada y media, baja peligrosidad sódica y bajo contenido de boro, no obstante, como sucede con muchos de los pozos considerados anteriormente, la calidad de estas aguas se ve desmejorada al considerar el Carbonato de Sodio Residual (CSR), que es el parámetro más desfavorable, con excepción del agua del pozo N° 142, en donde la conductividad eléctrica define la clase final.

Ante el peligro de sodificación de los suelos por el uso de estas aguas de irrigación con un CSR por encima de 2,50; se recomiendan algunas prácticas para solucionar los problemas asociados con el contenido de carbonatos y bicarbonatos en las aguas, y ellas son:

- Aplicación de ácido sulfúrico para separar los iones de bicarbonato (pH alrededor de 6.2) produciendo como resultado dióxido de carbono. Permite al calcio y magnesio permanecer en solución en relación al contenido de sodio.
- Aplicar yeso cuando el suelo tiene bajo contenido en calcio y suficiente drenaje.
- Aplicar sulfuro en los suelos con alto contenido limoso y drenaje suficiente.

#### 8.5.4 Manantiales

Al sur del grupo de pozos considerados precedentemente, en la localidad de Manantiales fueron muestreados dos pozos, los que son identificados con los N° 136 y 537, ubicado el primero en la plaza y el segundo en el vivero. Si bien estos pozos se ubican muy próximos uno del otro, las características químicas de sus aguas difieren.

En el pozo N° 136 (Plaza) es surgente y se determinó una salinidad del agua algo elevada, con una conductividad eléctrica de 2630 μS/cm (Sólidos disueltos 2420 mg/l) y un pH ligeramente por debajo del punto neutro e igual a 6,9 unidades, siendo la alcalinidad total de 165 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. Tanto la

dureza total como permanente alcanzan valores elevados, siendo las mismas igual a 606 y 441 mg/l de CaCO<sub>3</sub> respectivamente. Con un contenido relativo de 44,1 % me de sulfato (1490 mg/l) y de 31,6 % me de sodio (510 mg/l), el agua es clasificada como sulfatada sódica. Entre los elementos menores fue determinada en esta muestra la presencia de hierro (en una concentración de 10 mg/l, siendo éste el más alto contenido en toda el área), manganeso (0,220 mg/l), boro (0,65 mg/l), nitrato (11 mg/l), fluoruro (0,4 mg/l) y cinc (0,040 mg/l), no detectándose arsénico, fósforo, cadmio y cobre.

Comparando estos datos con los valores guía de calidad, establecidos en la Tabla 4, se tiene que superan el límite para consumo humano los siguientes parámetros: Sólidos disueltos, dureza total, sulfato, hierro, manganeso y boro. El tenor de sulfatos está por encima del límite sugerido para consumo ganadero y finalmente para riego se tiene que los sólidos disueltos y los contenidos de hierro y manganeso superan los niveles guías, clasificándose para este último uso y de acuerdo al criterio adoptado como de clase IV-C4S3 (Regular a mala), con la conductividad eléctrica como parámetro más desfavorable.

En el pozo del vivero (N° 537) la salinidad del agua es menor, siendo la conductividad eléctrica leída igual a 1640 µS/cm (1150 mg/l). El pH está en el punto neutro y la alcalinidad determinada duplica al valor obtenido en el caso anterior, siendo en este caso igual a 324 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. El agua es Moderadamente Dura, con una dureza total debida con exclusividad a la presencia de sales carbonatadas e igual a 117 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

Si bien también en este caso, el sodio y el sulfato definen el tipo de agua, con concentraciones de 340 mg/l (42,1 % me) el primero y de 499 mg/l (29,5 % me) el sulfato, es preciso señalar que el bicarbonato, con 395 mg/l, alcanza una concentración relativa importante e igual a 18,4 % me.

Entre los elementos menores, sólo el boro con un contenido de 0,66 mg/l supera (junto al sulfato) los niveles guía para bebida de la Tabla 5. La clasificación para riego (V-C3S3) nos muestra nuevamente al CSR (4,08) como responsable de esta clase.

### **8.5.5 Estancia San Francisco**

Al noroeste de la localidad de El Abra (Los Altos), siguiendo por la Ruta Nacional N° 64, ha sido muestreado un único pozo. El mismo es un pozo cavado de poca profundidad y ha sido identificado con el N° 107. El agua explotada por dicho pozo posee una salinidad moderada, con una conductividad eléctrica de 871 µS/cm (528 mg/l), un pH neutro (7,0 unidades) y una alcalinidad de 283 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

Por su dureza total (151 mg/l de CaCO<sub>3</sub>) el agua es clasificada como Dura, mientras que según los iones que predominan el agua es del tipo bicarbonatada sódica, con un contenido de bicarbonato de 32,9 % me (345 mg/l) y de 31,6 % me (125 mg/l) de sodio.

Entre los elementos menores solamente el arsénico, con una concentración de 0,011 mg/l, supera ligeramente el nivel guía establecido para aguas de bebida.



La característica bicarbonatada de esta muestra juega un papel fundamental cuando evaluamos a la misma para riego, siendo la clase V-C3S1 y con el CSR (2,61) como parámetro más desfavorable.

#### **8.5.6 El Tala – La Rinconada**

Esta zona se localiza al noroeste del área y los pozos muestreados que se consideran dentro de la misma son los identificados con los N° 37, 108, 109, 123, 127, 138 y 541.

La salinidad del agua explotada en este sector es baja, con un mínimo de 355  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos disueltos 214 mg/l) en la muestra del pozo N° 108 de la Escuela Los Troncos (y, que tal como ya fuese expuesto, representa el valor más bajo de toda el área) y un máximo de 906  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (580 mg/l) en el pozo N° 37 de La Rinconada. Precisamente en este pozo (N° 37) se determinó la temperatura más alta de las muestras que integran el grupo, con un valor de 27,2 °C, variando en las restantes entre 22,6 y 25,7 °C, clasificándose todas ellas como Hipotermales de acuerdo al sistema adoptado.

Con excepción de la muestra del pozo N° 108 en donde el pH es igual a 6,3 unidades y la alcalinidad igual a 130 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , en las restantes muestras el pH del agua varía entre 7,0 y 7,5 unidades, indicando el carácter ligeramente básico de las mismas, y la alcalinidad toma valores entre 140 y 289 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . La dureza total del agua es baja, con valores extremos de 43 y 71 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , y en ningún caso se determinaron valores positivos de dureza permanente.

El sodio, cuya concentración varía entre 48 y 180 mg/l y alcanza valores relativos entre 30,5 y 43,5 % me, y el bicarbonato, con un contenido entre 159 y 353 mg/l (26,4 a 41,9 % me), caracterizan a estas muestras como sódicas bicarbonatadas o bicarbonatadas sódicas, según el predominio de uno u otro. Solamente en la muestra del pozo N° 109, el sulfato con una concentración de 156 mg/l alcanza un contenido relativo de 20,8 % me, siendo el tipo de agua en este caso sódica bicarbonatada sulfatada.

Entre los elementos menores se destaca en estas muestras el contenido de arsénico determinado en el agua del pozo N° 37 (La Rinconada), que alcanza un valor de 0,406 mg/l (el más alto de toda el área) y supera los niveles guía de la Tabla 5 para consumo humano, ganadero y riego. También en el pozo N° 541 el tenor de arsénico (0,014 mg/l) supera ligeramente el límite para consumo humano, mientras que en las restantes muestras éste varía entre 0,005 y 0,008 mg/l.

El boro, también en el pozo N° 37, con un contenido de 0,70 mg/l supera el límite establecido para aguas de consumo humano, alcanzando en el resto concentraciones variables entre 0,17 y 0,47 mg/l.

No se detectó en estas muestras presencia de hierro, manganeso, cadmio y cobre, mientras que los restantes elementos analizados se encuentran en muy bajas concentraciones. Así el fluoruro varía entre 0,3 y 0,7 mg/l, el nitrato entre 3,5 y 7,2 mg/l, el fósforo entre 0,00 y 0,07 y el cinc entre 0,000 y 0,350 mg/l.

La clasificación para riego de muestras, se resume en la Tabla N° 9:

N° Pozo	CE μS/cm	RAS	CSR	Boro mg/l	Clase CE	Clase RAS	Clase CSR	Clase por			Clase Final
								Sens.	Semit.	Toler.	
37	906	10,83	4,73	0,70	C3	S2	5	3	2	1	V
108	355	2,75	1,45	0,32	C2	S1	3	1	1	1	III
109	764	7,79	2,81	0,45	C3	S2	5	2	1	1	V
123	508	4,41	1,76	0,24	C2	S1	3	1	1	1	III
127	415	2,82	1,41	0,17	C2	S1	3	1	1	1	III
138	396	3,57	1,77	0,17	C2	S1	3	1	1	1	III
541	390	4,73	2,57	0,47	C2	S1	5	2	1	1	V

Tabla 9: Parámetros de clasificación de agua para riego. Perforaciones. Área El Tala – La Rinconada.

También en estos pozos el agua presenta una peligrosidad salina entre moderada y media, baja peligrosidad sódica y bajo contenido de boro, desmejorando su calidad al considerar el Carbonato de Sodio Residual (CSR), que en todos los caso define la clase final.

Recordemos que en aquellos casos en donde el CSR supera los 2,50, existe el peligro de sodificación de los suelos.

### 8.5.7 Los Ortiz – Monte Redondo

Al sur- sureste de las localidades El Tala y La Rinconada, fueron muestreados cuatro pozos, tres de los cuales se ubican en Los Ortiz (Pozos N° 5, 524 y 545) y el restante en Monte Redondo (Pozo N° 154). Se destaca en estas muestras, la temperatura del agua del pozo N° 524 con 29,7 °C, mientras que en las otras tres muestras la misma toma valores de 26 °C en el pozo N° 154, 26,3 °C en el pozo N° 5 y 23,3 °C en el pozo N° 545.

En los pozos N° 545, 5 y 524 la salinidad total del agua es baja, con valores de conductividad eléctrica de 608 μS/cm (390 mg/l), 611 μS/cm (367 mg/l) y 755 μS/cm (463 mg/l) respectivamente. El pH del agua está por debajo del punto neutro en el pozo N° 545 (igual a 6,6 unidades), mientras que en los pozos N° 5 y 524 es igual a 7,3 y 7,2 unidades respectivamente. La alcalinidad total varía entre 220 y 241 mg/l de CaCO<sub>3</sub> y la dureza total entre 66 y 94 mg/l de CaCO<sub>3</sub> clasificándose como Moderadamente Duras, de acuerdo al sistema adoptado, mientras que en las tres muestras la dureza permanente es igual a cero.

Entre los iones principales, en los tres casos predomina el sodio entre los cationes y el bicarbonato entre los aniones, siendo el tipo de agua bicarbonatada sódica en los pozos N° 5 y 545, con un contenido relativo de 39,7 y 37,7 % me (294 y 280 mg/l) de bicarbonato y 33,4 y 37,5 % me de sodio (93 y 105 mg/l), y sódica bicarbonatada en el pozo N° 524, con 39,7 % me de sodio (135 mg/l) y 29,6 % me de bicarbonato (268 mg/l), caracterizándose también este último por alcanzar el sulfato un contenido relativo de 17,3 % me (123 mg/l), mientras que en los dos primeros es inferior a 8 % me (34 y 42 mg/l).

En ninguna de las tres muestras se detectó presencia de hierro, manganeso, cadmio, cinc y cobre, mientras que los restantes elementos menores se encuentran en muy baja concentración, no superando en ningún caso los límites de la Tabla 4.

En lo que se refiere a la clasificación para riego de estas aguas (de baja salinidad y bajo contenido sódico y de boro), se tiene que en el caso de los pozos N° 5 y 545 el agua es de clase V-C2S1 y en el pozo N° 524 de clase V-C3S2, es decir desmejoradas en los tres casos por el CSR que es el responsable de la clase final, con valores de 2,91; 3,24 y 3,06 respectivamente.

En el pozo de Monte Redondo (N° 154), la salinidad del agua es tres veces más alta que en los casos anteriores, con una conductividad leída de 1930  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (1310 mg/l). Lo mismo sucede con el pH (igual a 7,5 unidades), la alcalinidad total (335 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ) y la dureza total (126 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ), que son mayores a los valores determinados en los pozos considerados anteriormente.

También el tipo de agua difiere, siendo en este caso sódica sulfatada, con un contenido relativo de sodio de 42,9 % me (390 mg/l) y de sulfato de 27,6 % me (524 mg/l), superando este último el valor guía de calidad de agua para consumo humano.

Considerando la concentración de los elementos menores, se observa que se suman al sulfato como parámetros superiores a los límites adoptados en la Tabla 4, el tenor de arsénico, con 0,049 mg/l, y el boro, con 0,70 mg/l. Los restantes elementos analizados o bien no fueron detectados o se encuentran en bajas concentraciones que no afectan la calidad del agua.

Clasificada para riego el agua es de clase V-C3S4, con un valor de CSR igual a 4,16 que define la clase final.

### **8.5.8 Los Molles – Pozo Hondo**

Con este nombre se identifica la zona ubicada en la parte nor-central del área de estudio y los pozos considerados y muestreados en la misma son los siguientes: N° 23, 25, 36, 120, 121, 130, 135 y 516.

Dentro de este grupo se caracterizan por la temperatura de sus aguas los pozos N° 23 y 516. En el pozo N° 23 la temperatura del agua está muy próxima al máximo determinado en el área y es igual a 35,2 °C, siendo algo menor en el pozo N° 516 e igual a 30 °C, lo que permite clasificarlas como Mesotermiales. En el resto el agua tiene una temperatura entre 25,4 y 27,5 °C (Aguas Hipotermiales).

Analizando los resultados de los análisis efectuados se observa que, con excepción de los pozos N° 25 y 516 en donde se determinó una conductividad eléctrica del agua por encima de los 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (1220  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el pozo N° 25 y 1140  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el pozo N° 516), en los restantes seis pozos la misma varía entre 574  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (326 mg/l) en el pozo N° 121 y 659  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (422 mg/l) en el pozo N° 36.

El pH del agua varía entre 7,0 y 7,6 unidades e indica el carácter básico de estas muestras, con una alcalinidad variable entre 194 y 249 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . La dureza total del agua es baja, habiendo sido determinado solamente un valor de 106 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  en la muestra del pozo N° 25, variando en el resto entre 39 y 62 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . La dureza permanente en todos los casos es igual a cero.

De acuerdo con su contenido iónico, el agua de menor salinidad (conductividad inferior a 660  $\mu\text{S/cm}$ , determinada en las muestras de los pozos N° 23, 36, 120, 121, 130 y 135) es clasificada como sódica bicarbonatada, variando la concentración relativa de sodio entre 39,8 y 42,8 % me (96 a 150 mg/l) y la del bicarbonato entre 29,7 y 39,4 % me (236 a 304 mg/l). En orden decreciente se ubica, entre los iones dominantes, el sulfato que alcanza un 18 % me (135 mg/l) en el agua del pozo N° 135 y está por debajo del 15 % me en las cinco muestras restantes, con una concentración entre 33 y 96 mg/l.

Con referencia a los elementos menores determinados en estas muestras se tiene que:

- El contenido de arsénico, presente en todas las muestras, es igual a 0,009 mg/l en los pozos N° 36 y 121, y varía entre 0,012 y 0,034 mg/l en las restantes cuatro muestras (Pozos N° 23, 120, 130 y 135), superando el valor guía establecido para consumo humano.
- El boro supera también el límite fijado en aguas de bebida, en los pozos N° 130 y 135, con valores de 0,55 y 0,51 mg/l, estando por debajo de 0,42 mg/l en el resto.
- Entre los otros elementos menores analizados, se tiene que las concentraciones encontradas no perjudican la calidad del agua. Así el fluoruro varía entre 0,4 y 0,6 mg/l, el nitrato entre 6,9 y 12 mg/l, el hierro sólo fue detectado en la muestra del pozo N° 120 en una concentración de sólo 0,070 mg/l y el cinc en el agua del pozo N° 135 con 0,020 mg/l, no habiéndose detectado en las restantes muestras, al igual que el manganeso, cadmio y cobre ausentes en todos los casos.

En los pozos N° 25 y 516, en donde se determinó una conductividad superior a 1000  $\mu\text{S/cm}$ , se observa un contenido de sulfatos y sodio significativamente más altos que los determinados en las aguas menos salinas, modificándose el tipo de agua. En estos dos pozos el agua es de características sódicas sulfatadas bicarbonatadas, con un contenido relativo de sodio entre 40 y 46 % me (215 y 255 mg/l), de sulfato entre 21 y 23,5 % me (232 y 272 mg/l) y de bicarbonato entre 20 y 20,4 % me (280 y 300 mg/l).

Considerando la concentración de los elementos menores determinados en las muestras de estos dos pozos se observa que en el pozo N° 25 el contenido de hierro (0,630 mg/l) y boro (0,63 mg/l) superan los límites adoptados en la Tabla 5 para aguas de consumo humano, mientras que en el pozo N° 516, el tenor de arsénico, con 0,046 mg/l, y el boro, con 1,30 mg/l. están por encima de estos límites.

La clasificación de estas aguas para irrigación, se resume la Tabla 10:

N° Pozo	CE $\mu\text{S/cm}$	RAS	CSR	Boro mg/l	Clase CE	Clase RAS	Clase CSR	Clase por			Clase Final
								Sens.	Semit.	Toler.	
23	633	7,22	2,90	0,27	C2	S2	5	1	1	1	V
25	1220	9,06	2,45	0,63	C3	S2	4	2	1	1	IV
36	659	8,96	3,26	0,42	C2	S2	5	2	1	1	V
120	577	6,21	3,16	0,42	C2	S1	5	2	1	1	V
121	574	6,32	3,31	0,33	C2	S1	5	1	1	1	V
130	632	6,64	3,74	0,55	C2	S2	5	2	1	1	V
135	648	9,02	3,57	0,51	C2	S2	5	2	1	1	V
516	1140	16,82	4,04	1,30	C3	S4	5	5	2	2	V

Tabla 10: Parámetros de clasificación de agua para riego. Perforaciones. Área Los Molles – Pozo Hondo.

Si bien en la mayoría de los casos la conductividad eléctrica, el RAS y el contenido de boro, toman valores que definen aguas de buenas características para uso agrícola, el elevado valor del CSR (responsable de la clasificación final) determinado en todas las muestras desmejora la calidad de las mismas.

#### 8.5.9 Dos Pocitos – Pozo del Bajo

Con este nombre se identifica la zona localizada al noreste de Bañado de Ovanta y los pozos muestreados en la misma son los siguientes: N° 71, 85, 88, 93 y 146.

La conductividad eléctrica del agua explotada en este sector varía entre un mínimo de 694  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos disueltos 423 mg/l) en la muestra del pozo N° 71 (Obras Sanitarias) y un máximo de 2410  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (1420 mg/l) en el pozo N° 93 (Oliveira N° 4). Precisamente el agua de este último pozo se diferencia del resto por su temperatura (28 °C), su pH (igual a 6,7 unidades) y su elevada dureza total y permanente (495 y 294 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , respectivamente). En los otros cuatro pozos considerados en esta zona la temperatura del agua varía entre 25,8 y 27,4 °C, el pH entre 7,1 y 7,5 unidades, y la dureza total entre 99 y 207 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , mientras que la dureza permanente es igual a cero.

El análisis del contenido iónico permite diferenciar en este grupo de pozos tres tipos de agua:

- En los pozos N° 71 y 85, en donde fueron determinados los más bajos valores de conductividad (694 y 723  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente), el agua es de características bicarbonatada sódica, con un contenido relativo de bicarbonato de 35,1 y 35,4 % me (304 y 292 mg/l) y de sodio, de 32,2 y 35,3 % me (115 y 100 mg/l). El sulfato, con una concentración de 67 y 68 mg/l, sólo alcanza un 10 % me. Clasificadas para riego, el agua del pozo N° 71 es de clase V-C2S1 y la del pozo N° 85 de clase IV.-C2S1, siendo en ambos casos el CSR el que define la clase final con valores de 3,00 y 2,46 respectivamente.
- En los pozos N° 88 y 146, en donde la conductividad eléctrica del agua es de 1200 y 1080  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente, aumenta la concentración de sulfatos y sodio en el agua respecto a los valores determinados en los dos pozos señalados anteriormente, modificándose el tipo de agua que es, en estos casos, sódica sulfatada bicarbonatada, con contenidos relativos de 32,5 y 40 % me de sodio (183 y 195 mg/l), 21,7 y 24,8 % me de sulfato (255 y 253 mg/l) y de 20 y 20,6 % me de bicarbonato (308 y 256 mg/l). Para riego, el agua del pozo N° 88 es de clase III-C3S2, con la conductividad eléctrica como el parámetro más desfavorable, y en el pozo N° 146 el agua es de clase IV-C3S2, siendo el CSR (2,22) el que define la clase final.
- Finalmente en el pozo N° 93, el de aguas más salinas, el tipo es sódica sulfatada, con un tenor de sodio de 27,8 % me (290 mg/l) y 22,2 % me (484 mg/l) de sulfato, superando este último el nivel recomendado para consumo humano. Caracteriza además a esta muestra el contenido de cloruros determinado, que tanto en valores absolutos (291 mg/l) como relativos (18,1 % me), es muy superior al de los restantes pozos del grupo. Con respecto a la calidad para riego, el agua es de clase IV-C4S2, con la conductividad como responsable de la clase final.

Entre los elementos menores solamente superan ligeramente los límites establecidos para aguas de consumo humano, el contenido de arsénico en los pozos N° 71 (0,013 mg/l) y N° 146 (0,011), y el boro en este último pozo con un contenido de 0,65 mg/l.

#### **8.5.10 Finca El Carmen**

Al este de Dos Pocitos fueron muestreados cuatro pozos, identificados con los N° 113, 114, 115 y 546 pertenecientes los tres primeros a la Finca El Carmen y el último a la firma Don Federico. La salinidad total del agua explotada por estos pozos varía en términos de conductividad eléctrica entre 1090 y 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos disueltos entre 672 y 984 mg/l), mientras que la temperatura toma valores entre 26,7 y 29,3 °C.

El pH varía entre 6,8 y 7,0 unidades, indicando un carácter ligeramente ácido de estas aguas, en donde se determinó una alcalinidad muy similar en las cuatro muestras (entre 236 y 249 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ), siendo la misma debida con exclusividad a la actividad de los bicarbonatos presentes en una concentración entre 288 y 304 mg/l. Por su dureza total (entre 112 y 193 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ) el agua es clasificada como Moderadamente Dura a Muy Dura, mientras que la dureza permanente o de no carbonatos es igual a cero en las cuatro muestras.

Con un contenido relativo entre 36,5 y 40 % me (180 a 255 mg/l), el sodio es el que predomina entre los cationes, mientras que entre los aniones se observa que en la medida que aumenta la salinidad total del agua, el sulfato es el que experimenta un crecimiento más importante tanto en valores absolutos como relativos, modificándose el tipo de agua. Así se tiene que en las muestras de los pozos N° 113 y 115, en donde la salinidad es menor, predominan el bicarbonato y el sulfato, con concentraciones relativas de 21,8 y 23,1 % me el primero (304 y 298 mg/l) y de 22,6 y 22,0 % me el sulfato (248 y 223 mg/l), mientras que en los pozos N° 114 y 546 el que predomina es el sulfato que alcanza concentraciones de 26,9 y 27,0 % me (362 y 394 mg/l), siendo el contenido de bicarbonato de solamente 17,8 y 15,5 % me (304 y 288 mg/l).

Solamente el boro, con una concentración variable entre 0,52 y 0,79 mg/l, supera el límite admisible para aguas de consumo humano. El arsénico alcanza en las cuatro muestras una concentración entre 0,006 y 0,009 mg/l y el fluoruro entre 0,8 y 1,2 mg/l, mientras que el hierro, manganeso, cadmio cinc y cobre no fueron detectados en ninguna de las muestras. El nitrato solamente fue determinado en la muestra del pozo N° 546 y alcanza una concentración 23 mg/l.

Evaluada para riego y según puede observarse en la Tabla 11, el CSR es el responsable de la clase final en las muestras de los pozos N° 113, 114 y 115, mientras que en el pozo N° 546 la conductividad eléctrica resulta ser el parámetro más desfavorable.

N° Pozo	CE μS/cm	RAS	CSR	Boro mg/l	Clase CE	Clase RAS	Clase CSR	Clase			Clase Final
								Sens.	Semit.	Toler.	
113	1170	8,66	2,75	0,75	C3	S2	5	3	2	1	V
114	1420	9,08	2,10	0,78	C3	S2	4	3	2	1	IV
115	1090	6,86	2,28	0,79	C3	S2	4	3	2	1	IV
546	1500	8,02	0,89	0,52	C3	S2	2	2	2	1	III

Tabla 11: Parámetros de clasificación de agua para riego. Perforaciones. Área Finca El Carmen.

### 8.5.11 San Pedro

En esta localidad, ubicada en el sector noreste del área, ya en el límite con la provincia de Santiago del Estero, fueron muestreados dos pozos (N° 119 y 150) y al sur de éstos, los pozos N° 111bis y 111 de la Finca El Carmen, siendo este último un pozo excavado. La conductividad eléctrica determinada en el agua de estos pozos fue: 937 μS/cm (621 mg/l) en el N° 119, 1150 μS/cm (763 mg/l) en el N° 150 y aumenta a 1390 μS/cm (912 mg/l) en el pozo N° 111bis y 1890 μS/cm (1140 mg/l) en el N° 111, mientras que la temperatura del agua se encuentra ligeramente por encima de la media del área en los tres primeros, variando entre 27 y 27,8 °C, y es igual a 23,9 °C en el pozo N° 111.

Además de la mayor salinidad y menor temperatura del agua del pozo N° 111, ésta se caracteriza por tener un pH ligeramente superior al resto e igual a 7,3 unidades, mientras que la alcalinidad es significativamente mayor (279 mg/l de CaCO<sub>3</sub>). En las otras tres muestras, el pH del agua varía entre 7,0 y 7,1 unidades, con una alcalinidad entre 170 y 193 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.

Por su dureza total, el agua es clasificada como Moderadamente Dura en los pozos N° 111, 119 y 150, con valores entre 78 y 92 mg/l de CaCO<sub>3</sub>, mientras que en el pozo N° 111bis se incrementa 155 mg/l de CaCO<sub>3</sub> (Agua Dura). En todos los casos la dureza de no carbonatos es igual a cero.

De acuerdo con su contenido iónico el agua es, en las cuatro muestras, del tipo sódica sulfatada, con un concentración relativa de sodio entre 37,9 y 44,3 % me (160 a 340 mg/l) y de sulfato entre 24,7 y 28,3 % me (212 a 454 mg/l), mientras que el bicarbonato (con un contenido entre 207 y 341 mg/l) alcanza valores entre 14,3 y 19 % me.

Entre los elementos menores analizados, el arsénico alcanza una concentración bastante elevada en el agua del pozo N° 111 e igual a 0,135 mg/l, variando en el resto entre 0,011 y 0,017 mg/l, superando en todos los casos el límite de la Tabla 4 establecido para aguas de consumo humano, y en el caso del pozo N° 111 el valor guía para aguas de riego. También el boro (con una concentración variable entre 0,62 y 1,90 mg/l) supera el límite fijado para aguas destinadas a bebidas. El tenor de fluoruro es bajo (variable entre 0,4 y 1,3 mg/l), no habiéndose detectado presencia de hierro, manganeso, cadmio cinc y cobre en ninguna de las muestras. El nitrato, solo determinado en la muestra del pozo N° 111, alcanza una concentración 23 mg/l.

En la Tabla 12 se resume la clasificación del agua para riego, indicándose para cada uno de los pozos los valores de conductividad, RAS, CSR y concentración de boro. En el pozo N° 111 el agua es de clase V (Inapropiada) para riego, siendo el CSR y el tenor de boro, en el caso de cultivos sensibles a este elemento, los que definen la clase final. En el caso del pozo N° 111bis el agua es de aptitud Regular

a Mala (Clase IV-C3S2) para el riego de cultivos sensibles al boro, siendo precisamente el contenido de este elemento el parámetro que define la clase final. En los otros dos pozos considerados en esta zona el agua es de clase III-C3S2 (Buena a regular) siendo en todos los casos la conductividad eléctrica y el CSR los parámetros más desfavorables.

N° Pozo	CE μS/cm	RAS	CSR	Boro mg/l	Clase CE	Clase RAS	Clase CSR	Clase por Boro			Clase Final
								Sens.	Semit.	Toler.	
119	937	7,27	1,56	0,62	C3	S2	3	2	1	1	III
150	1150	9,69	1,81	0,66	C3	S2	3	2	1	1	III
111bis	1390	8,21	0,76	1,10	C3	S2	2	4	2	2	IV
111	1890	16,85	4,04	1,90	C3	S4	5	5	3	2	V

Tabla 12: Parámetros de clasificación de agua para riego. Área San Pedro.

### 8.5.12 Las Cañas – Cortaderas - Lavalle

Finalmente al sureste del área de estudio se muestrearon seis pozos, tres de los cuales se ubican en Las Cañas (Pozos N° 81, 152 y 534), uno en Cortaderas (Pozo N° 533), uno entre las localidades de Las Cañas y Lavalle (Pozo N° 153) y el restante en Lavalle (Pozo N° 532).

Las características químicas del agua explotada por los tres pozos de la localidad de Las Cañas, son bastante similares con una conductividad eléctrica de 1130, 1180 y 1320 μS/cm (Sólidos disueltos 675, 705 y 795 mg/l) en las muestras de los pozos N° 81, 152 y 534 respectivamente, un pH entre 6,9 y 7,0 unidades y una alcalinidad total algo elevada variable entre 370 y de 447 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. Estos valores de alcalinidad si bien no son perjudiciales para la salud, según fuese señalado anteriormente, cuando superan los 400 mg/l de CaCO<sub>3</sub>, le confieren un sabor desagradable al agua.

Por su dureza total (entre 94 y 108 mg/l de CaCO<sub>3</sub>) el agua es clasificada como Moderadamente Dura, mientras que según el contenido iónico el agua es del tipo sódica bicarbonatada, con una concentración relativa de sodio de 40,4 y 41,2 % me (entre 215 y 250 mg/l) y de bicarbonato de 38,7 y 31,8 % me (entre 451 y 546 mg/l). El sulfato sigue en orden decreciente de importancia con una concentración entre 70 y 152 mg/l y que en términos relativos varía entre 6,3 y 11,9 % me.

Solamente el tenor de boro, igual a 0,99 mg/l en el pozo N° 81, 0,53 mg/l en el pozo N° 152 y 1,30 mg/l en el pozo N° 534, supera el valor guía establecido para aguas de bebida humana.

Clasificadas para riego, estas muestras son de clase V-C3S2, es decir de aptitud Inapropiada. En el caso de los pozos N° 81 y 152 el CSR (igual a 6,90 y 5,53 respectivamente) es el parámetro que define la clase final, y en el pozo N° 534, se suma al CSR (6,27) el tenor de boro (1,30 mg/l), en el caso de cultivos sensibles a este elemento.

En Cortaderas, la salinidad total del único pozo muestreado (N° 533) es menor que la de los pozos anteriormente considerados, con una conductividad eléctrica de 961 μS/cm (554 mg/l), mientras que el pH, la alcalinidad y la dureza total toman valores muy similares, siendo los mismos iguales a 6,8 unidades, 382 y 96 mg/l de CaCO<sub>3</sub>, respectivamente.



También en este caso, predominan entre los iones principales el sodio y el bicarbonato pero invertido el orden respecto a lo determinado en los pozos de Las Cañas. Así el bicarbonato, con un contenido de 466 mg/l, alcanza una concentración relativa de 39,8 % me, mientras que el sodio con 170 mg/l, es igual a 38,6 % me, definiendo un tipo de agua bicarbonatada sódica. El sulfato con 40 mg/l, apenas alcanza un 4,3 % me.

El boro, con un contenido de 1,00 mg/l, también en este caso es el único que supera el límite establecido para aguas destinadas al consumo humano, mientras que para riego el agua es de clase V-C3S2, con un CSR igual a 5,68 responsable de esta calificación.

Al Este de la localidad de Las Cañas siguiendo por la Ruta Nacional N° 64 y antes de Lavalle, se muestreó el pozo N° 153 (SANCAT – La Tusca), y en la localidad de Lavalle, el pozo surgente N° 532. El agua explotada por estos pozos, que si bien poseen un grado de salinidad diferente pero similares características iónicas, se caracteriza fundamentalmente por su temperatura, que llega a 34,3 °C en el caso del pozo N° 153 y alcanza los 36 °C en el pozo N° 532, siendo esta última la mayor temperatura medida en todo el área. De acuerdo al criterio adoptado ambas son clasificadas por su temperatura, como Aguas Mesotermales.

La salinidad total del agua en estos pozos es mayor que la determinada en los pozos considerados anteriormente dentro de este grupo, con una conductividad eléctrica de 2490  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos disueltos 1830 mg/l) en el pozo N° 153 y de 5740  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Sólidos disueltos 3890 mg/l) en el pozo N° 532, señalado anteriormente este último entre las mayores valores determinados en toda el área.

El pH en ambas muestras está por debajo del punto neutro, con valores de 6,6 y 6,5 unidades en los pozos N° 153 y 532, y una alcalinidad de 223 y 134 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , respectivamente. Con respecto a la dureza total y de no carbonatos se determinaron valores elevados en las dos muestras, pero existe una diferencia notable entre ambos. Así en el pozo N° 153 la dureza total es igual a 387 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  y la permanente 164 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , incrementándose en el agua del pozo N° 532 a valores de 924 y 791 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  respectivamente

Por su contenido iónico estas aguas son clasificadas como sódicas sulfatadas, en el caso del pozo N° 153 con una concentración relativa de sodio de 35,5 % me (450 mg/l) y de sulfato de 34,7 % me (919 mg/l), y sulfatadas sódicas, en el pozo N° 532 con un contenido relativo de sulfatos de 39 % me (2180 mg/l) y de sodio de 33,6 % me (900 mg/l).

Entre los elementos menores sólo el boro en la muestra del pozo N° 153, con un contenido de 1,30 mg/l, se suma al tenor de sólidos disueltos y sulfatos superando los valores guía establecidos para aguas de bebida humana, mientras que en la muestra del pozo N° 532 la presencia de hierro (1,210 mg/l), manganeso (0,130 mg/l) y boro (2,80 mg/l), sumados a la elevada salinidad total, dureza total y contenido de sulfato, inhabilitan a la misma para consumo humano. Asimismo los sólidos disueltos y el tenor de sulfatos en esta última muestra superan los límites establecidos para consumo ganadero.

Calificada para riego el agua del pozo N° 153 es de clase V-C4S3, siendo el tenor de boro el que define esta clase final para cultivos sensibles al mismo, y en el pozo N° 532 el agua también es de aptitud Inapropiada, siendo de clase V- C5S4 y con la conductividad eléctrica como el parámetro que define la clase final, al que se suma el tenor de boro en el caso de los cultivos sensibles y semitolerantes a este elemento.

## 9 ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO

### 9.1 Magnitud de las precipitaciones medias anuales

Con el fin de precisar las particularidades hidrometeorológicas y sobre la base de éstas las características y magnitudes de los eventos lluvia-escorrentía, se realizó un análisis de las precipitaciones en particular de las lluvias, para lo cual se recabó toda la información disponible de las estaciones pluviométricas ubicadas en la zona de estudio, que comprende los departamentos de Santa Rosa, Paclín y El Alto, de la Provincia de Catamarca.

La información recopilada abarcó registros obtenidos por la Secretaría del Agua y del Ambiente y Recursos Hídricos de la Provincia de Catamarca, INTA Catamarca, estaciones del Establecimiento Yaquicho, estaciones de la firma Milkaut del NOA S.A. y las compiladas en el informe denominado “Relevamiento de la Disponibilidad de Recursos Hídricos de Cuenca Salar Pipanaco, Cuenca Abaucán – Colorado – Salado y cuencas Faldeo Oriental del Ancasti”. (Vargas Aranibar; INA – CRA, 2010).

A todas las estaciones se las individualiza por el nombre de la localidad o paraje en el cual están emplazadas, resumiéndose en la Tabla 13 datos referentes a sus coordenadas Gauss Kruger y alturas (s.n.m.) y periodo de observaciones. La Lámina 20 muestra el plano de las subcuencas hidrográficas y la ubicación de las diversas estaciones pluviométricas.

Departamento	Estación	N°	Coordenadas Gauss Kruger		Altitud m (snm)	Período de Observación
			Y	X		
SANTA ROSA	Alijilan (vivero)	129	6883742	3549722	574	1980-1989
	Dique La Cañada	130	6884906	3546415	604	1970-1989
	Lavalle	131	6882045	3587304	492	1975-1991
	S.P. de Guasayán	133	6907983	3581458	385	1979-2007
	Bañado de Ovanta	134	6898697	3548924	506	1934-1954
EL ALTO	Dique de Collagasta	67	6866334	3568584	763	1989-1990
	El Alto	68	6868698	3562505	986	1976-1987
	Guayco Hondo	72	6860479	3543660	1964	1971-1975
	Tapso	84	6858402	3588200	441	1942-1984
PACLIN	Amadores	110	6876425	3535696	792	1971-1991
	Balcozna	111	6916366	3526852	1207	1970-2007
	Dique Sumampa	112	6895977	3542144	568	1972-1973
	La Bajada	113	6862345	3537266	708	1969-2003
	La Higuera	114	6909933	3529721	1229	1969-1995
	La Merced	115	6886877	3533433	887	1969-1995
	La Viña	116	6899408	3539752	584	1972-1978
	Las Lajas	117	6920771	3526826	1124	1970-1997
Palo Labrado	118	6868767	3537235	757	1969-1995	
	San Antonio	119	6903499	3528053	1059	1968-1978
SANTA ROSA	Campo Yaquicho*		6910782	3562144	392	2001-2013
	Milkaut del Noa - San Luis*		6893845	3550098	506	2002-2014
	Milkaut del Noa - San Luis Sur*		6892122	3550090	497	2002-2008
	Milkaut del Noa - La Comarca*		6896975	3552596	471	2002-2008
	Milkaut del Noa - El Tala*		6913926	3555145	398	2002-2014

Tabla 13: Ubicación y períodos de registro de estaciones pluviométricas.

## 9.2 Correlación de registros pluviométricos

Teniendo en cuenta que el régimen pluviométrico en toda la región en estudio es el mismo (Continental Subtropical Atlántico, con lluvias fundamentalmente estivales), se consideró oportuno analizar la posible correlación de las precipitaciones medias anuales de diversas estaciones.

A fin de verificar la correlación de las series de datos disponibles de las estaciones seleccionadas, se aplicó el denominado "Método de Dobles Acumulaciones" o "Curvas de Doble Masa". La teoría del mismo se basa en que, representados en ejes coordenados cartesianos, los puntos definidos por las acumulaciones sucesivas de los valores de dos series, los mismos se encuentran alineados según una recta siempre y cuando los valores de las mismas mantengan cierta proporcionalidad; la pendiente de la recta de regresión es la constante de proporcionalidad entre las series comparadas.

En el Gráfico 2 se muestra a modo de ejemplo, la correlación de la precipitaciones acumuladas de las estaciones Dique La Cañada (estación base) y San Pedro de Guasayán (estación a correlacionar o complementar o extender datos). En el mismo pueden observarse los distintos puntos definidos por las coordenadas correspondientes a las precipitaciones acumuladas hasta un año "i" de la estación base (en el eje "x" o eje de las abscisas) y las alturas de agua precipitadas también acumuladas hasta el mismo año en la estación a correlacionar (eje "y" o de las ordenadas); también el gráfico muestra la recta de tendencia o de regresión, la ecuación de ésta y el error cuadrático medio. En el ejemplo en cuestión (Gráfico 2), el ajuste de los pares de valores comparados puede considerarse por demás aceptable, en consecuencia las series presentan buena proporcionalidad y homogeneidad pluviométrica, pudiendo en consecuencia obtenerse las precipitaciones medias anuales faltantes en San Pedro de Guasayán, debido a la carencia de registros mensuales en algunos años o a la suspensión de las observaciones en determinados períodos. Los datos faltantes se reemplazan por valores calculados mediante la ecuación de la recta de regresión.

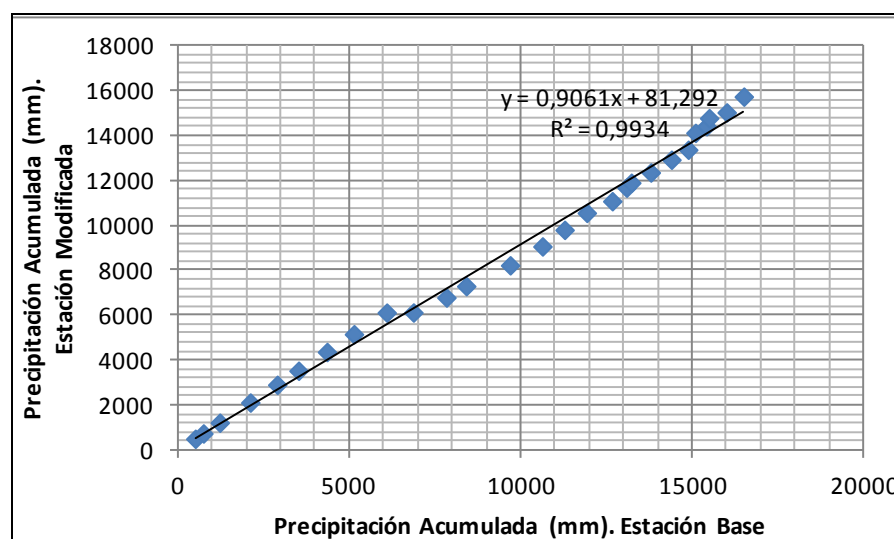


Gráfico 2: Gráfico de correlación. Estaciones: La Cañada (estación base) y San Pedro de Guasayán (estación modificada).

Si bien se consiguió recopilar un importante número de estaciones pluviométricas (24 en total), como las mismas operaron en diferentes períodos de tiempo, se decidió considerar del total de años registrados sólo aquellos en los que la mayoría de las estaciones estuvieran operando simultáneamente, a fin de que los récords fueran homogéneos.

Finalmente, de las 24 estaciones se trabajó con datos de 17 debido: a) El Alto presenta registros muy heterogéneos con los datos de los pluviómetros ubicados en su entorno; b) Bañado de Ovanta a la fecha no se ha logrado precisar su ubicación; c) otras cinco estaciones poseen registros posteriores al período seleccionado.

Los valores de las precipitaciones medias anuales en las 17 estaciones resultantes consideradas, se resumen en la Tabla 14.

Depto.	SANTA ROSA				El Alto			Paclín									
Estación	Alijian (vivero)	Dique La Cañada	Lavalle	S.P. de Guasayán	Dique de Collagasta	Guayco Hondo	Tapso	Amadores	Balcozna	Dique Sumampa	La Bajada	La Higuera	La Merced	La Viña	Las Lajas	Palo Labrado	San Antonio
Nº de estación	129	130	131	133	67	72	84	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
Altitud m (s.n.m.)	574	604	492	385	763	1964	441	792	1207	568	708	1229	887	584	1124	757	1059
Año	Precipitaciones anuales en mm																
1970		500		503		102	431	146	240		76	491	143		614	141	130
1971		236		237		309	731	336	349		61	376	399		436	254	317
1972		478		481		755	400	631	783	32	323	773	46	922	924	463	183
1973		892		897		834	730	655	835	1064	572	934	657	1252	1091	530	844
1974		786		791		860	561	551	962	480	522	923	876	857	860	612	890
1975		622	475	625		389	476	462	733	376	389	716	422	456	840	476	330
1976		830	801	835		960	648	546	913	525	563	888	188	723	933	610	1104
1977		787	778	792		984	674	635	796	1145	577	938	707	1330	1005	778	1402
1978		956	792	961		356	227	809	985	1228	454	866	1007	1141	1107	646	835
1979		779	750	6		890	235	697	837	923	510	933	741		500	639	846
1980		826	964	792	666	1093	615	521	1235	1360	404	200	670		1088	442	671
1981		628	578	606	509	789	654	447	622	732	399	714	448		821	308	521
1982		1106	1282	945	927	1117	952	653	1018	947	543	893	528		1130	618	389
1983		1050	942	861	841	1252	856	425	956	379	608	1132	450	1042	1300	577	1225
1984		805	647	589	738	867	855	558	860	753	405	763	398	828	890	597	644
1985		785	649	698	757	780		274	871	672	492	1020	722	652	1007	725	1232
1986		848	743	175	522	763		521	684	936	510	824	393	126	738	566	876
1987		755	416	623	601	694		485	1068	220	378	1107	455	354	1188	485	118
1988		419	139	192	220	351		360	608	319	243	475	240	512	518	298	251
1989		875	569	696	456	626	84	499	1061	827	390	772	439	1761	1234	408	722
1990			603	550	569	900	709	436	1033	655	375	956	383		939	394	811
1991			490	622	445		921	424	1220		298	92	515		765	633	954
1992			210		751		836	457	967		492	485	447		1179	362	597
1993			324		299	416	591	248	600	410	351	438	252		610	264	385
1994		459	77		358		494	414	979	482	281	555	42		921	211	462
1995			513		255		552	416	695		367	638	329		696	189	490
1996			500		703		400	453	787		437	685	439		244	505	697

Tabla 14: Resumen de precipitaciones en las estaciones pluviométricas complementadas. Período 1970 - 1996.

Para las estaciones seleccionadas se calculó la precipitación media utilizando el método de la media aritmética, valores que muestra la Tabla 15.

Depto.	SANTA ROSA				El Alto			Paclín									
Estación	Alijilan (vivero)	Dique La Cañada	Lavalle	S. P. de Guasayán	Dique de Collagasta	Guayco Hondo	Tapso	Amadores	Balcozna	Dique Sumampa	La Bajada	La Higuera	La Merced	La Viña	Las Lajas	Palo Labrado	San Antonio
Nº de estación	129	130	131	133	67	72	84	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119
Altitud m (s.n.m.)	574	604	492	385	763	1964	441	792	1207	568	708	1229	887	584	1124	757	1059
Máx. Periodo	1106	1282	945	961,2	900	1252	952	809	1235	1360	608	1132	1007	1761	1300	778	1402
<b>Prom. periodo</b>	<b>777,6</b>	<b>611,4</b>	<b>643,8</b>	<b>583,1</b>	<b>647,3</b>	<b>693,6</b>	<b>603</b>	<b>483,6</b>	<b>840,6</b>	<b>688,7</b>	<b>408,1</b>	<b>725,4</b>	<b>456,8</b>	<b>854</b>	<b>873,2</b>	<b>471,3</b>	<b>663,9</b>
Mín. Periodo	418,8	76,5	175	6	416	84	227	145,7	239,7	32	61	92	41,5	126	244,4	141	118

Tabla 15: Precipitaciones medias (mm) en las estaciones pluviométricas seleccionadas. Período 1970 - 1996.

De acuerdo a los valores precedentes las precipitaciones medias anuales en la zona en estudio, presentan una gran irregularidad interanual y espacial; sobre la base de las curvas isoyetas medias anuales trazadas con los registros de la Tabla 15, se infiere que en la cuenca en estudio las medias anuales deben ser del orden de 717 mm (al sur), 654 mm (en el centro) y unos 647 mm (en el sector oeste).

### 9.3 Distribución temporal de las precipitaciones. Régimen pluviométrico

Se entiende como tal a la distribución a lo largo del año, de las precipitaciones medias mensuales. A continuación, en la Tabla 16 se resumen los valores medios mensuales correspondientes a los promedios de los registros de las 24 estaciones originalmente recopiladas; cabe aclarar que los récords son heterogéneos.

Estación	Nº	Altitud	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual (mm)
Alijilan (vivero)	129	574	140	107	136	83	25	14	8	6	17	48	78	137	799
Dique La Cañada	130	604	148	106	133	72	28	13	7	7	18	39	59	124	755
Lavalle	131	492	141	115	143	62	9	5	2	2	13	41	73	121	728
S.P. de Guasayán	133	385	122	98	124	56	9	4	3	2	13	41	65	86	623
Bañado de Ovanta	134	506	98	94	93	36	13	6	2	2	11	26	45	69	494
Dique de Collagasta	67	763	98	170	116	79	50	26	31	0	12	81	80	123	865
El Alto	68	986	154	148	190	98	26	15	12	12	33	59	97	137	980
Guayco Hondo	72	1964	160	119	121	69	25	9	8	10	20	45	70	118	773
Tapso	84	441	115	102	110	37	15	6	2	4	11	38	64	74	577
Amadores	110	792	106	89	91	37	12	5	5	3	13	26	43	81	509
Balcozna	111	1207	182	147	150	80	29	13	7	6	20	42	77	117	870
Dique Sumampa	112	568	184	115	162	88	34	16	3	11	13	51	106	115	901
La Bajada	113	708	90	78	71	25	16	6	6	5	9	29	43	64	442
La Higuera	114	1229	167	146	142	65	25	9	6	6	17	31	66	93	774
La Merced	115	887	127	84	83	60	8	5	2	2	12	18	44	79	526
La Viña	116	584	186	149	238	119	32	32	10	10	12	43	79	146	1057
Las Lajas	117	1124	182	154	166	73	32	14	11	9	27	43	82	127	920
Palo Labrado	118	757	115	94	66	41	11	3	6	4	12	23	49	78	502
San Antonio	119	1059	136	128	144	57	19	6	2	5	11	38	59	116	719
San Luis - Milkaut S.A.		506	123,1	125,6	119,0	73,9	9,5	2,0	2,5	1,9	6,9	23,2	42,5	91,3	622
San Luis Sur - Milkaut S.A.		497	135,0	83,1	145,1	68,7	10,1	3,0	2,3	1,4	2,7	17,1	50,4	117,3	636
La Comarca - Milkaut S.A.		471	131,6	78,4	134,3	58,6	10,0	1,0	2,6	2,7	7,1	23,9	47,6	117,4	615
El Tala - Milkaut S.A.		398	158,5	151,8	131,3	60,5	6,9	1,5	2,5	2,2	4,3	29,4	67,2	140,8	757
Campo Yaquicho		392	161,1	145,8	126,6	76,9	30,7	3,1	0,7	0,8	11,8	42,7	75,1	129,6	805

Tabla 16: Precipitaciones medias mensuales (mm) en las estaciones pluviométricas.

Sobre la base de los valores precedentes, se tiene para los diferentes trimestres y semestres del año los siguientes porcentajes respecto de la respectiva precipitación media anual:

Trimestre enero – marzo: 55%

Trimestre abril – junio: 13%

Trimestre julio – septiembre:	3%
Trimestre octubre – diciembre:	29%
Semestre estival octubre – marzo:	83%
Semestre invernal abril – septiembre:	17%

Los porcentajes precedentes indican un notable predominio de las precipitaciones estivales sobre las invernales, característica principal del régimen continental, Subtropical Atlántico.

Como se anticipara, aproximadamente el 83% de las precipitaciones anuales caen en forma de lluvia entre los meses de octubre-marzo, asociados a la estación estival. El resto, el 17% de las medias anuales, cae en el semestre invernal abril-septiembre.

En general, tanto en magnitud como en frecuencia, los meses más lluviosos son enero, febrero y marzo. Por el contrario, las menores frecuencias mensuales se presentan en general en agosto, con valores inferiores a 2 mm. Normalmente en las estaciones pluviométricas de la comarca, los menores valores de las precipitaciones medias mensuales son los registrados en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

#### 9.4 Distribución espacial de las precipitaciones

En la distribución areal de las precipitaciones en la provincia de Catamarca, tienen una influencia fundamental las diversas sierras o cordones montañosos (Aconquija, Nevado de Aconquija, Sierra de Vonquis, Sierra de Las Cuevas, etc.), que con ejes longitudinales aproximadamente norte-sur delimitan las depresiones y valles intermontanos. Las sierras y montañas por efecto orográfico, determinan pluviosidades muy diferentes según se trate de sus vertientes orientales (barlovento) u occidentales (sotavento).

Teniendo en cuenta lo antes dicho, y los datos medios de las estaciones seleccionadas, se trazó para la zona de estudio las curvas isoyetas medias anuales que se muestran en la Lámina 21; en principio, sobre la base de las cuales posteriormente se han calculado los volúmenes precipitados sobre las 12 subcuencas superficiales, resultando un volumen total precipitado de 681,03 hm<sup>3</sup> (Tabla 17).

Nº	Subcuencas Hidrográficas	Área Km <sup>2</sup>	Volumen Precipitado Hm <sup>3</sup>
1	Puesto del Cura	10,8	7,10
2	Las Cañas	54,9	36,98
3	Las Tunas	284,4	202,66
4	La Aguada	69,6	49,76
5	La Cañada	130,1	83,54
6	De La Capellania	48,5	29,01
7	La Viña	151,0	97,20
8	Sauce Mayo	18,4	11,93
9	Rumi Punco	1,2	0,96
10	Potrерillo	110,4	89,53
11	Los Llanos Sur	35,6	29,07
12	Los Llanos Norte	50,9	43,28
<b>Total</b>		<b>965,9</b>	<b>681,03</b>

Tabla 17: Volumen precipitado en las Subcuencas Hidrográficas.

## **10 RECARGA DE LA CUENCA DE AGUA SUBTERRÁNEA**

### **10.1 Caso de las lluvias sobre los sedimentos cuaternarios**

Las precipitaciones medias anuales son en toda el área estudiada superiores a 500 mm, alcanzando en algunos sitios valores mayores a los 900 mm. Las precipitaciones diarias indican que en algunos casos las mismas superan a la evapotranspiración real, por lo que se estima la existencia de infiltración profunda.

Por lo expuesto, en la zona investigada existe una mayoría de casos donde los aportes de los eventos pluviales que caen sobre la superficie de la propia cuenca subterránea, prácticamente retornan a la atmósfera (que normalmente posee un acentuado déficit hídrico), tanto por evapotranspiración de la cobertura vegetal (natural y de los cultivos implantados), como por evapotranspiración de los terrenos (suelos no consolidados, porosos y también con carencias de humedad). Lluvia, una porción de la precipitación es interceptada por la vegetación, otra parte es detenida en las irregularidades de la superficie de los terrenos y otra fracción se infiltra. Como los suelos son porosos, existe en el perfil de los mismos un horizonte superior o “zona de evapotranspiración”, usualmente denominada “rizósfera” y definida como la parte del suelo inmediata a las raíces vivas y que está bajo la directa influencia de éstas, luego un horizonte o “zona de agua vadosa” (retenida por acción capilar) y por debajo de ésta se ubicaría en el caso de existir la superficie freática con su correspondiente subzona de ascenso capilar. En la comarca las aguas infiltradas en las condiciones antes descritas, en algunos casos alimentan los acuíferos libres por infiltración profunda.

Si bien suelen suceder eventos pluviométricos en los cuales las lluvias sobre la superficie de la propia cuenca sedimentaria, contribuyen a la recarga de los acuíferos contenidos en la misma, se estima que en magnitudes las infiltraciones profundas generadas por las lluvias sobre el propio reservorio de agua subterránea, son reducidas en relación a los aportes hídricos provenientes de los derrames permanentes y eventuales procedentes de los sectores serranos y/o montañosos, que al alcanzar los contactos geológicos se infiltran rápidamente en los terrenos permeables de los cauces y del pie de monte en general.

A los fines del presente estudio y en beneficio del criterio conservador que debe prevalecer en situaciones límites, donde se desea asegurar la sustentabilidad de las explotaciones hídricas en general y en particular de las aguas subterráneas, se ha considerado oportuno descartar la recarga al reservorio subterráneo explotado, proveniente de la infiltración profunda generada por las lluvias que caen directamente sobre la superficie de los sedimentos cuaternarios que alojan el acuífero investigado; ello a pesar que por las magnitudes de muchos eventos pluviales, éstos ocasionan infiltración profunda y consecuentemente recargan la cuenca subterránea de interés.

### **10.2 Recarga proveniente de las precipitaciones sobre sectores montañosos y serranos**

Determinado con aceptable precisión el volumen medio anual precipitado sobre las principales cuencas de recepción que se extienden en el sector montañoso, delimitadas éstas por las divisorias de

aguas superficiales y por los contactos geológicos con las rocas precuaternarias, para conocer la magnitudes de las recargas medias al reservorio subterráneo, será necesario estimar un cierto coeficiente medio anual de derrame global. Para lo cual se considera oportuno expresar las siguientes reflexiones.

### **10.2.1 Análisis del coeficiente medio anual global de las cuencas**

El coeficiente de escurrimiento global de una cuenca en un año determinado, es la relación existente entre el volumen total aportado (sumatoria de los caudales de base y eventuales) y el volumen total precipitado en la cuenca (sumatoria de las precipitaciones mensuales).

Los coeficientes de escurrimientos globales de una cuenca dependen de numerosas variables: geomorfología, geología superficial, cobertura vegetal, superficie de recepción y aporte, altura media de agua precipitada en la cuenca, distribución espacial y temporal de las lluvias, factores meteorológicos (temperatura, humedad, etc.), curva hipsométrica del área, características de la red de drenaje, etc. Debido a los numerosos factores que afectan a las precipitaciones y los derrames, los coeficientes suelen ser variables de una cuenca a otra y, más aún, en una misma tienen valores diversos según las magnitudes de las precipitaciones y su distribución en el espacio y en el tiempo.

En el análisis de los coeficientes globales a aplicar en las cuencas del área que se ha denominado Santa Rosa, se tienen en cuenta similares consideraciones y criterios a los expuestos sobre el particular en los respectivos capítulos del informe hidrogeológico correspondiente a la cuenca del Aconquija-Pucará.

Respecto a los valores de los coeficientes de escorrentía obtenidos en diversas cuencas de similares características hidrometeorológicas a las que prevalecen en la región, ubicadas todas en ambientes hidrológicos y geológicos denominados "de Sierras Pampeanas", en algunos casos situadas próximas al área en estudio, cabe consignar los siguientes casos:

- Río Andalgalá (Catamarca), tributario del Sistema Salar de Pipanaco, en la estación hidrométrica del mismo nombre (latitud 27° 31' Sur; longitud 68° 18' Oeste; altitud 959 m s.n.m.; área 240 Km<sup>2</sup>). Según aforos realizados diariamente en los períodos 1920/53 y 1956/61, los valores característicos de la serie de observaciones para los años hidrológicos setiembre - agosto según datos de Agua y Energía Eléctrica fueron: a) caudales: medio anual 0,861 m<sup>3</sup>/seg., máximo medio anual 2,53 m<sup>3</sup>/seg. (1922/23) y mínimo medio anual 0,495 m<sup>3</sup>/seg. (1940/41); b) derrames: anual medio 27,2 hm<sup>3</sup>, anual máximo 79,7 m<sup>3</sup>/seg. (1922/23) y anual mínimo 15,6 hm<sup>3</sup> (1940/41); c) caudales específicos: medio anual 3,59 litros/seg./Km<sup>2</sup>, máximo anual 10,5 litros/seg./Km<sup>2</sup> y mínimo anual 2,06 litros/seg./Km<sup>2</sup>; d) escurrimientos sobre la cuenca: promedio 113 mm, máximo 332 mm y mínimo 65 mm. Con respecto a las precipitaciones debe tenerse en cuenta que: a) el módulo pluviométrico registrado en la estación meteorológica "Andalgalá" (promedio de 70 años) fue de 310 mm; b) en las estaciones ubicadas en la comarca, las máximas precipitaciones se observaron los años 1923 y 1977 y las mínimas se registraron en 1941 y 1950; c) para la cuenca del río Andalgalá se han calculado precipitaciones medias areales de 560 mm (media anual), 920



mm (máxima anual) y 405 mm (mínima anual). Sobre la base de los valores precitados, se calculan los coeficientes de escorrentía siguientes: 0,20 (medio anual), 0,36 (máximo anual) y 0,16 (mínimo anual). Estos altos valores se deben a que en la cuenca del río Andalgala predominan las rocas consolidadas (granito, granodioritas, etc.), siendo extremadamente reducidos los sectores cubiertos por sedimentos permeables (bloques, gravas, arenas, etc.), limitados prácticamente al cauce principal.

- El río Santa María fue aforado por la ex Agua y Energía Eléctrica de la Nación en el período 1970/71 – 1984/85 (a excepción del año hidrológico 1983/84), en la estación hidrométrica “Pie del Médano-Las Abritas” (latitud 26° 59' Sur; longitud 66° 15'; altitud 2.210 m (s.n.m.); en el lugar los derrames anuales medio, máximo y mínimo registrados fueron de 77,73 hm<sup>3</sup>, 150,0 hm<sup>3</sup> (1978/79) y 18,92 hm<sup>3</sup> (1982/83) respectivamente. Por otro lado el volumen medio anual precipitado en su cuenca (que definida en imágenes satelitales poseería una superficie de alrededor de 2.172 Km<sup>2</sup>), determinado sobre la base de las isoyetas medias anuales, es de unos 514 hm<sup>3</sup>, valores que estarían indicando un coeficiente de derrame medio anual del 15%; al respecto cabe señalar que en “Pie del Médano-Las Abritas” prácticamente se aforaba el total de los aportes, ya que en el lugar el espesor subálveo es despreciable.
- Por su parte el río Belén (Catamarca), tributario del Sistema Salar de Pipanaco, en la estación hidrométrica "Playa Larga" (latitud 27° 35' Sur; longitud 67° 00' Oeste; altitud 1.250 m s.n.m.; área 4.300 Km<sup>2</sup>). Según aforos realizados diariamente en el período 1946/84, los valores característicos de la serie de observaciones para los años hidrológicos setiembre - agosto según datos de Agua y Energía Eléctrica fueron: a) caudales: medio anual 2,28 m<sup>3</sup>/seg., máximo medio anual 9,24 m<sup>3</sup>/seg. (1983/84) y mínimo medio anual 0,649 m<sup>3</sup>/seg.(1946/47); b) derrames: anual medio 71,9 hm<sup>3</sup>, anual máximo 292,0 m<sup>3</sup>/seg. (1983/84) y anual mínimo 20,5 hm<sup>3</sup> (1946/47); c) caudales específicos: medio anual 0,53 litros/seg./Km<sup>2</sup>, máximo anual 2,15 litros/seg./Km<sup>2</sup> y mínimo anual 0,15 litros/seg./Km<sup>2</sup>; d) escurrimientos sobre la cuenca: promedio 16,7 mm máximo 67,9 mm y mínimo 4,8 mm. Sobre la base de los valores antes señalados y las precipitaciones anuales medias estimadas para la cuenca en cuestión, se infiere los coeficientes de escorrentía siguientes: 0,11 (medio anual), 0,19 (máximo anual) y 0,08 (mínimo anual).
- Los arroyos que drenan la vertiente oriental del sector Norte del Cordón Occidental de la Sierra de Velasco (La Rioja), denominado "Zona de la Costa", (arroyos Santa Cruz, Anjullón, Anillaco, Aminga, etc.), según cálculos efectuados por Riera y Mamaní (“Evaluación del Recurso Hídrico en la Zona de La Costa, La Rioja”, 1974), tendrían coeficientes de escorrentía promedios del orden del 15%.
- En el río Huaco (afluente del río Sanagasta-La Rioja), en la sección de Paso de Los Sauces el coeficiente de escorrentía global sería del orden del 15%; mientras que, según la información hidrológica disponible del total de la cuenca del río de La Rioja, sólo el 6% del volumen precipitado alcanza el embalse de Los Sauces. La apreciable diferencia entre los valores precitados, se debe en parte a que las precipitaciones son mayores en la alta cuenca

(río Huaco) que en los sectores medio e inferior de la misma; además, en aquella predominan las rocas graníticas de bajas capacidades de infiltración y en las partes media y baja de la cuenca prevalecen los terrenos cuaternarios no consolidados (constituidos principalmente por bloques, gravas y arenas) caracterizados por sus altas permeabilidades, principalmente el Bolsón de Huaco y el Valle de Sanagasta. En estos últimos se infiltran parte de los escurrimientos superficiales y se generan derrames subálveos y subterráneos; en algunos casos agua en tránsito y en otros acuíferos explotables.

- En varios informes del CRAS correspondientes a estudios hidrogeológicos realizados en cuencas intermontanas de Sierras Pampeanas, se calculan las recargas con un coeficiente global del 10%.
- Para el río de La Rioja, un informe del Consejo Federal de Inversiones que data del año 1974, menciona lluvias medias anuales y coeficientes de escorrentía globales válidos para las diversas subcuencas definidas por las secciones:

	Lluvia media (mm)	Coeficiente de escorrentía anual		
		Superficial	Subálvea	Subterránea
Paso de Los Sauces:	305	0,32	0,02	0,01
Dique de Los Indios	287	0,17	0,08	0,15
Toma de Sanagasta	287	0,12	0,08	0,08
Los Nacimientos	248	0,06	0,03	0,11
Dique de La Rioja	243	0,06	0,03	0,06

En realidad, si se dispusiera de una precisa información hidrogeológica e hidrológica de los cauces y sectores pedemontanos, podrían establecerse diferencias entre los escurrimientos "superficial", "subálveo" y "subterráneo"; estos términos se emplean para distinguir tres formas en que el agua puede atravesar una determinada sección de un cauce.

El escurrimiento superficial, como su nombre lo indica, se encuentra compuesto por el agua circula por sobre la superficie del lecho, la escorrentía es visible, el movimiento se realiza a superficie libre y la velocidad y/o el caudal pueden calcularse por la ley de Chèzy o medirse mediante la realización de aforos directos. El escurrimiento subálveo es una escorrentía "no visible", el agua circula a través de los horizontes superiores del terreno de los cauces, en general se encuentra estrechamente vinculado al escurrimiento superficial; es de muy difícil y compleja determinación. El escurrimiento subterráneo es también "no visible", el agua circula a través de los terrenos saturados del subsuelo, moviéndose por los poros, fisuras, fracturas, etc. de las formaciones geológicas; en general el movimiento de la misma se encuentra definido por la ley de Darcy. El escurrimiento o derrame total en cualquier sección transversal de un cauce, es la suma de las tres componentes antes definidas; de las cuales una o dos de ellas pueden ser nulas.

De acuerdo a lo expuesto en la presente memoria técnica y en particular en este apartado, la información hidrometeorológica disponible no resulta suficiente para adoptar determinados coeficientes

para cada cuenca de aporte; además el cálculo de la recarga a escala del área en estudio, no requiere de determinaciones de detalle. Es por ello que, sobre la base de lo expuesto en los párrafos precedentes, puede considerarse que para las cuencas que aportan a los terrenos sedimentarios que alojan al reservorio subterráneo de interés, el coeficiente de derrame global medio y uniforme podría igualar o superar el 15%, llegando inclusive en años de abundantes pluviosidades al 20%.

### **10.2.2 Análisis de los coeficientes de escorrentías eventuales**

Al igual que se sostuviera en el informe correspondientes al área de Aconquija-Pucará, los estudios realizados indican que en la región árida y semiárida del Noroeste Argentino, las lluvias más proclives a originar crecidas importantes son las de reducida duración, en general inferiores a los noventa minutos y excepcionalmente de hasta ciento veinte minutos, en consecuencia precipitaciones de elevadas intensidades. En particular, cuando las mismas ocurren en oportunidad en que los índices de infiltración son reducidos, principalmente debido a lluvias anteriores que disminuyen los déficits de humedad de los terrenos y del ambiente. En casos muy excepcionales los registros pluviométricos indican que suelen ocurrir temporales que duran varios días, durante los cuales precipitan dos o más lluvias de alturas de agua e intensidades importantes, con intervalos entre las mismas de algunas horas; esta situación particular debe tenerse presente en la determinación de los caudales de crecida máximos probables, a través de un adecuado coeficiente de escurrimiento eventual que contemple el caso más desfavorable de ocurrencia de los eventos lluvia - escorrentía.

Con respecto al coeficiente de escurrimiento eventual ( $C_e$ ) a emplear en los cálculos hidrológicos cabe reiterar que, la condición de máximo caudal a igualdad de intensidad de lluvia y área de la cuenca, ocurre cuando el índice de infiltración es mínimo; éste tiene en cuenta todas las porciones de lluvia que por diferentes causas no escurren por la sección de aporte o salida (para la cual se ha determinado el área). Para el caso de la región árida y semiárida del Noroeste del país en general y de la comarca en cuestión en particular (con escasa cobertura vegetal, elevadas pendientes, rápida concentración de las aguas en el cauce principal, reducidos tiempos de concentración y respuesta, etc.), los coeficientes de escorrentías eventuales son elevados. Más aún, los coeficientes de escurrimiento se maximizan en aquellas situaciones en que las lluvias que originan las avenidas, son precedidas por otras que satisfacen al menos en parte los déficit de humedad de campaña e higrométrico de la atmósfera.

Por lo expuesto, respecto a los coeficientes de escurrimientos eventuales de las crecidas (ordinarias, extraordinarias o catastróficas), se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- Un método muy utilizado y con el cual se obtiene resultados aceptables, es el propuesto por el Soil Conservation Service (USA). El método determina el escurrimiento sobre la base de tres variables: la precipitación, la humedad anterior al inicio de la lluvia y el complejo hidrológico suelo-vegetación. Mediante el mismo puede determinarse el escurrimiento directo y la comparación de éste con la precipitación, permite obtener el coeficiente de escurrimiento. Lo más adecuado en el caso en cuestión, sería aplicar la llamada "Condición III", que contempla la situación desfavorable de una cuenca en la que durante los cinco días anteriores a la precipitación máxima probable (PMP), han ocurrido lluvias y bajas

temperaturas, consecuentemente los terrenos se encuentran casi saturados, con reducidos déficit de humedad de campo e higrométrico de la atmósfera.

- Sobre la base de experiencias que indican que el Ce depende no sólo de los terrenos, de su humedad de campo y de la cobertura vegetal, sino también del tiempo de concentración (Tc) de la cuenca y que, además, es variable en el tiempo, diversos autores han publicado trabajos que en función de éstas variables sugieren distintos valores de Ce. Por ejemplo la Dirección Nacional de Vialidad suele emplear un cuadro donde en función del tipo de terreno, cubierta vegetal y del valor del tiempo de concentración (Tc), se obtiene el Ce; en ésta para Tc menores de 60 minutos, el coeficiente Ce es prácticamente constante. De acuerdo a lo anticipado, se infiere para las cuencas de recepción y aporte de la región, un coeficiente de derrame eventual medio, constante y uniforme del 30% (0,30) al 40% (0,40); este último valor correspondería a cuencas con predominio de rocas del basamento cristalino.
- También se ha consultado distintas publicaciones que recomiendan adoptar valores de Ce según las características geomorfológicas de los terrenos que prevalecen en la cuenca, por ejemplo la Dirección Nacional de Vialidad de Chile.
- Cabe destacar que el coeficiente de derrame global medio anual incluye a los coeficientes de los escurrimientos eventuales de los diversos episodios lluvia-escorrentía.

### **10.3 Volumen de recarga media anual a la cuenca subterránea**

Con la información disponible de precipitaciones medias anuales en las cuencas serranas y/o montañosas, superficies de las mismas y coeficientes global medio anual de escurrimientos, se calculó con la mejor aproximación posible, la magnitud del volumen de agua proveniente de las precipitaciones, que recarga la cuenca subterránea alojada en los sedimentos cuaternarios del área investigada.

En las láminas correspondientes pueden observarse los contactos geológicos que definen la cuenca sedimentaria cuaternaria y las curvas isoyetas medias anuales trazadas para la región; además, en la precedente Tabla N° 17 se consignan los volúmenes precipitados en las diversas cuencas de recepción de lluvias. Si a estos valores se les aplica coeficientes de escurrimiento globales anuales medios y uniformes del 15% y del 20%, se obtienen los derrames medios anuales aportados al reservorio subterráneo por todo concepto (superficial, subálveo y subterráneo), correspondientes a años medios y a años de abundantes precipitaciones anuales.

Cabe aclarar que si bien los derrames subterráneos y subálveos recargarían directamente el acuífero en estudio, no sucede lo mismo con los derrames superficiales; estos últimos son en gran parte eventuales (crecientes ocasionadas por episodios lluvia-escorrentía). Cuando las crecidas circulan por los cauces, las aguas se infiltran en los terrenos permeables de los álveos, humedeciendo y saturando al menos transitoriamente los lechos, ello genera infiltración, movimiento de las aguas en los medios porosos normalmente no saturados y por último infiltración profunda o recarga. La evapotranspiración elimina hacia la atmósfera la humedad de los terrenos existentes en el estrato u horizonte superior sujeto

a procesos de evaporación de suelos desnudos y transpiración de la cobertura vegetal. Todos se han tenido en cuenta en los cálculos a través de los coeficientes globales precipitados.

En resumen, para una superficie total de aporte de unos 965,9 Km<sup>2</sup> y coeficientes globales de derrames del 15% y 20%, se obtiene:

- a) En los años de pluviosidades medias, con una precipitación media anual espacial de 705 mm (módulo pluviométrico de la zona) y un coeficiente del 15%, la recarga media anual sería de unos 102 hm<sup>3</sup>/año.
- b) En años de pluviosidades escasas, con una media anual espacial de 352 mm (un 50% inferior al módulo pluviométrico) y un coeficiente del 15%, la recarga media resulta de unos 51 hm<sup>3</sup>/año.
- c) En años de pluviosidades abundantes, con una media anual espacial de 1.057 mm (un 50% mayor que el módulo pluviométrico), la recarga media anual sería de unos 204 hm<sup>3</sup>/año.

En la Tabla 18 se sintetizan las predeterminaciones efectuadas:

Recarga al reservorio de agua subterránea	Superficie aporte área montañosa (Km <sup>2</sup> )	Precipitación media anual (mm)		Volumen precipitado medio anual (hm <sup>3</sup> )	Coefficiente de derrame medio anual global	Volumen de recarga (hm <sup>3</sup> /año)
	965,9	Años pluviosidad media	705	681	0,15	102
		Años pluviosidad abundante	1.057	1.020	0,20	204
		Años pluviosidad escasa	352	340	0,15	51

Tabla 18: Volumen de recarga a la cuenca de agua subterránea.

## 11 EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA RIEGO

En la cuenca de Santa Rosa se efectúa riego complementario de los cultivos; es decir que el requerimiento hídrico de los mismos se satisface por una parte aprovechando las lluvias y por otra mediante la extracción de agua subterránea y empleo de sistemas de riego por aspersión mediante pivote central.

El presente capítulo comprende estimaciones preliminares de la superficie cultivada irrigada y del volumen extraído de agua subterránea destinado al riego en la cuenca de Santa Rosa.

### 11.1 Metodología para la identificación de las áreas cultivadas irrigadas con agua subterránea

A fin de delimitar la superficie cultivada bajo riego con agua subterránea en el año 2014, se emplearon dos imágenes satelitales Landsat 8 considerando bandas de 30 m de resolución y fechas de

captura 9 de marzo y 16 de agosto de 2014. Las fechas seleccionadas están comprendidas en los períodos de vigorosidad especialmente para los cultivos estivales (tales como soja y maíz), lo que facilita su identificación en las imágenes satelitales. Asimismo la identificación estuvo orientada hacia cultivos con contenido de humedad, en asociación con las prácticas de riego que se realizan sobre los mismos. También la elección de las fechas de adquisición de las imágenes responde a su proximidad con los períodos 11 al 14 de marzo de 2014 y 5 al 13 de agosto de 2014, en que tuvieron lugar relevamientos de perforaciones en el área de trabajo; con lo cual se verificó el riego de las áreas seleccionadas por su cercanía con pozos relevados en funcionamiento destinados a tal fin.

Las imágenes Landsat 8 están compuestas por 11 bandas espectrales en un rango total que cubre desde los 0.43 hasta los 12.51 micrómetros. Se empleó el programa ENVI 4.2 para la transformación del sistema de coordenadas y el procesamiento de las imágenes satelitales a fin de obtener distintas combinaciones de bandas que permitieran la identificación de áreas cultivadas regadas.

Tal identificación se basa en la consideración del comportamiento radiométrico de la vegetación. En el caso de vegetación regada, sana; las paredes de las células de las hojas, llenas de agua, reflejan la mayor cantidad de energía en el Infrarrojo Cercano (IRC). Asimismo, absorbe el rojo visible debido a los pigmentos fotosintéticos (tal como la clorofila), y tienen una mayor reflexión relativa de la banda verde. En el caso de vegetación que sufre stress, ya sea por presencia de plagas o por sequía, la cantidad de agua disminuye el IRC y aumenta paralelamente en el rojo al tener menor proporción de clorofila (Sistema Integrado de Información Agropecuaria, SIIA; 2014).

En este sentido se seleccionaron desde las imágenes satelitales, las bandas 2 a 6 y sus combinaciones para la identificación de los cultivos regados.

Se emplearon además dos índices; el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, denominado por su sigla en inglés, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index); y el Índice Diferencial de Agua Normalizado, denominado NDWI (Normalized Difference Water Index).

El NDVI (Tucker, 1979) se fundamenta en el particular comportamiento radiométrico de la vegetación. Como se mencionara anteriormente, una cubierta vegetal en buen estado de salud, tiene una firma espectral que se caracteriza por el contraste entre la banda del rojo (entre 0,6 y 0,7  $\mu\text{m}.$ ), la cual es absorbida en gran parte por las hojas, y el infrarrojo cercano (entre 0,7 y 1,1  $\mu\text{m}.$ ), que es reflectada en su mayoría. Este índice se calcula como una relación entre las reflectividades del infrarrojo cercano y el rojo; y su aplicación en imágenes Landsat 8 corresponde a la siguiente expresión:

$$NDVI = (Banda\ 5 - Banda\ 4) / (Banda\ 5 + Banda\ 4)$$

En cuanto al índice NDWI es una medida del nivel de saturación de humedad que posee el suelo y de las moléculas de agua presentes en las cubiertas de vegetación, que interactúan con la radiación solar entrante. El NDWI no elimina completamente la reflectancia del suelo, similar al NDVI. Esto resulta inconveniente sobre áreas parcialmente cubiertas de vegetación, porque la contribución del suelo al

NDWI es mayoritariamente negativa, mientras que la contribución de la vegetación verde es positiva, (Gao, 1996). En particular, se aplicó el  $NDWI_{GAO}$  correspondiente a una modificación de GAO (1996) que minimiza los errores de monitoreo sobre suelos húmedos, (Sahu, 2014).

Este índice se calcula como una relación entre las reflectividades del infrarrojo cercano y el infrarrojo medio; y su aplicación en imágenes Landsat 8 corresponde a la siguiente expresión:

$$NDWI_{GAO} = (Banda\ 5 - Banda\ 6) / (Banda\ 5 + Banda\ 6)$$

Ambos índices, NDVI y NDWI, presentan un rango de valores entre -1 y 1.

Por otra parte se empleó el programa AutoCad para el cálculo de superficie de las áreas identificadas; y el programa QGIS 2.0 Dufour para la integración, análisis y representación de los niveles de información tratados (imágenes satelitales, áreas cultivadas identificadas y cartografía base).

#### **11.1.1 Estimación preliminar de la superficie cultivada irrigada con agua subterránea**

Las Láminas 22 a 27 presentan la zona de trabajo donde se delimitaron áreas circulares con vegetación regada mediante pivotes centrales que son abastecidos por agua subterránea, y áreas rectangulares mínimas que se asociaron por proximidad a pozos relevados en funcionamiento, los cuales no estaban asociados a áreas circulares correspondientes a pivotes.

Estas áreas se identificaron sobre combinaciones de bandas e índices obtenidos desde las imágenes satelitales de fechas 09 de marzo de 2014 y 16 de agosto de 2014, en correspondencia con el desarrollo de cultivos de verano (Láminas 22 a 24) y de invierno (Láminas 25 a 27), respectivamente.

A continuación se indica la interpretación efectuada sobre las combinaciones de bandas empleadas:

Combinación 432 (color natural): utiliza las bandas de la porción visible del espectro electromagnético, es la que más se aproxima los colores reales, (Pérez, 2012). Las áreas identificadas como cultivadas irrigadas corresponden al color verde, (Láminas 22 y 25).

Combinación 543: identifica en color rojo y magenta la vegetación vigorosa y cultivos regados, (Pérez, 2012); (Láminas 22 y 25).

Combinación 654: identifica a la vegetación en diversas tonalidades de verde y rosa según su tipo y condición, (Pérez, 2012); (Láminas 23 y 26).

Combinación 564: permite una diferenciación de la vegetación en tonos marrones, verdes y amarillos, (Pérez, 2012); (Láminas 23 y 26).

En correspondencia con las áreas irrigadas anteriormente señaladas, las Láminas 24 y 27 presentan las áreas cultivadas irrigadas identificadas sobre las imágenes correspondientes a los índices NDVI y NDWI.

Para el índice NDVI se señalan los siguientes valores (Departamento Provincial de Aguas, DPA; provincia de Río Negro):

El agua tiene reflectancia Rojo > Infrarrojo Cercano, por lo tanto valores negativos de NDVI.

Las nubes presentan valores similares de Rojo e Infrarrojo Cercano, por lo que su NDVI es cercano a 0.

El suelo descubierto y con vegetación rala presenta valores positivos aunque no muy elevados.

La vegetación densa, húmeda y bien desarrollada presenta los mayores valores de NDVI.

Teniendo en cuenta la interpretación del NDVI antes referida y la escala de colores adoptada para este índice, se interpretan como áreas cultivadas irrigadas aquellas cuyo valor de NDVI es igual o superior a 0,3, correspondiéndoles una tonalidad verde, (Láminas 24 y 27).

En cuanto al índice NDWI los valores negativos entre -1 y 0 indican stress hídrico y los valores positivos entre el intervalo 0 a 1 representan buenas condiciones hídricas, (Bayala, 2011). De acuerdo a ello y según la escala de colores adoptada para este índice, se interpretan como áreas cultivadas irrigadas aquellas cuyo valor de NDWI es igual o superior a 0,3, correspondiéndoles tonalidades de celeste y azul, (Láminas 24 y 27).

Para los cultivos de verano (Láminas 22 a 24) se identificaron un total 146 áreas cultivadas bajo pivot, que totalizan una superficie de 10427 ha. El área promedio de los pivotes es de 71 ha. Asimismo se identificaron 10 áreas rectangulares asociadas a pozos relevados en funcionamiento que suman 395 ha, cuya área promedio es de 38 ha. La superficie cultivada resultante es de 10823 ha. En las Tablas 19 y 20 se enumera y se indica la superficie de las áreas cultivadas circulares y rectangulares, respectivamente:

ID_Pivots	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)	ID_Pivots	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
1	303809,60	30,38	74	355368,50	35,54
2	269710,76	26,97	75	895103,68	89,51
3	285110,24	28,51	76	645968,77	64,60
4	328448,75	32,84	77	289250,94	28,93
5	356427,97	35,64	78	1089922,38	108,99
6	757463,20	75,75	79	253506,53	25,35
7	751216,08	75,12	80	317501,36	31,75
8	241112,76	24,11	81	886994,50	88,70
9	956970,62	95,70	82	884018,85	88,40
10	715295,14	71,53	83	792945,16	79,29



ID_Pivots	Área (m²)	Área (ha)	ID_Pivots	Área (m²)	Área (ha)
11	769957,43	77,00	84	787369,22	78,74
12	550995,91	55,10	85	780171,95	78,02
13	730912,94	73,09	86	454712,44	45,47
14	913641,17	91,36	87	392286,75	39,23
15	433957,87	43,40	88	376926,85	37,69
16	295577,93	29,56	89	391147,24	39,11
17	2347979,73	234,80	90	480361,82	48,04
18	802754,81	80,28	91	383611,93	38,36
19	326957,45	32,70	92	510430,86	51,04
20	978611,21	97,86	93	502688,11	50,27
21	913641,17	91,36	94	391732,53	39,17
22	825869,15	82,59	95	443123,53	44,31
23	739658,91	73,97	96	562733,34	56,27
24	912079,39	91,21	97	438563,74	43,86
25	320164,86	32,02	98	451782,48	45,18
26	507578,43	50,76	99	441659,67	44,17
27	1017655,71	101,77	100	758933,56	75,89
28	427976,02	42,80	101	367471,94	36,75
29	767028,88	76,70	102	258478,38	25,85
30	757463,20	75,75	103	244750,18	24,48
31	322004,62	32,20	104	347226,32	34,72
32	956687,73	95,67	105	939202,81	93,92
33	264271,81	26,43	106	845878,81	84,59
34	276448,16	27,64	107	743669,11	74,37
35	825869,15	82,59	108	923671,92	92,37
36	414763,62	41,48	109	470364,08	47,04
37	990627,05	99,06	110	351247,71	35,12
38	1122656,53	112,27	111	256488,87	25,65
39	1072102,55	107,21	112	549821,23	54,98
40	2032145,79	203,21	113	702356,75	70,24
41	728051,53	72,81	114	613729,80	61,37
42	536822,32	53,68	115	559393,21	55,94
43	2179844,75	217,98	116	409349,88	40,93
44	1296221,16	129,62	117	402139,11	40,21
45	1575855,38	157,59	118	1256909,85	125,69
46	454062,93	45,41	119	1328235,42	132,82
47	1242590,33	124,26	120	428650,40	42,87
48	1140469,00	114,05	121	397108,91	39,71
49	1167533,16	116,75	122	911898,55	91,19
50	1575855,38	157,59	123	116620,34	11,66
51	799550,06	79,96	124	1039598,92	103,96
52	699770,94	69,98	125	1168283,44	116,83
53	612899,28	61,29	126	1209468,03	120,95
54	574768,64	57,48	127	1272700,93	127,27
55	679380,95	67,94	128	511687,34	51,17
56	727186,07	72,72	129	500593,85	50,06

ID_Pivots	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)	ID_Pivots	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
57	831020,83	83,10	130	576199,66	57,62
58	771906,98	77,19	131	448731,77	44,87
59	814400,42	81,44	132	328083,06	32,81
60	770707,57	77,07	133	482844,26	48,28
61	741064,97	74,11	134	450673,14	45,07
62	770707,57	77,07	135	517234,09	51,72
63	826737,22	82,67	136	481734,91	48,17
64	1596245,38	159,62	137	684806,73	68,48
65	609748,55	60,97	138	2515402,52	251,54
66	224526,24	22,45	139	501024,04	50,10
67	226559,45	22,66	140	1305149,40	130,51
68	921386,40	92,14	141	722688,70	72,27
69	907611,83	90,76	142	751325,66	75,13
70	829650,08	82,97	143	695745,76	69,57
71	815771,17	81,58	144	651032,55	65,10
72	400488,25	40,05	145	841037,64	84,10
73	937768,46	93,78	146	663159,90	66,32
<b>Superficie Total: 104273454,09 m<sup>2</sup> = 10427,35 ha</b>					

Tabla 19: Cultivos de verano. Superficie de áreas circulares regadas con agua subterránea (pivotes).

ID_Área Rectangular	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
1	400570,24	40,06
2	202610,25	20,26
3	303651,89	30,37
4	220823,72	22,08
5	220823,72	22,08
6	608417,22	60,84
7	215647,96	21,56
8	137051,41	13,71
9	829895,03	82,99
10	813175,02	81,32
<b>Superficie Total: 3952666,46 m<sup>2</sup> = 395,27 ha</b>		

Tabla 20: Cultivos de verano. Superficie de áreas rectangulares regadas con agua subterránea.

Para los cultivos de invierno (Láminas 25 a 27) se identificaron en total 60 áreas cultivadas bajo pivot, que totalizan una superficie de 3320 ha. El área promedio de los pivotes es de 55 ha. Asimismo se identificaron 4 áreas rectangulares que suman 584 ha, asociadas a pozos relevados en funcionamiento, y cuya superficie promedio es de 146 ha. La superficie cultivada resultante es de 3904 ha. En las Tablas 21 y 22 se indica la superficie de las áreas cultivadas circulares y rectangulares, respectivamente:

ID_Pivot	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)	ID_Pivot	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
1	956970,62	95,70	31	1328235,42	132,82
2	356427,97	35,64	32	1256909,85	125,69
3	427976,02	42,80	33	384496,99	38,45
4	264271,81	26,43	34	333845,16	33,38
5	276448,16	27,64	35	876816,08	87,68
6	326957,45	32,70	36	841037,64	84,10
7	759443,23	75,94	37	884018,85	88,40
8	1172537,05	117,25	38	792945,16	79,29
9	41997,12	4,20	39	787369,22	78,74
10	36641,78	3,66	40	831976,74	83,20
11	574768,64	57,48	41	817107,57	81,71
12	402136,16	40,21	42	510430,86	51,04
13	663159,90	66,32	43	450721,83	45,07
14	704649,67	70,46	44	324101,06	32,41
15	715247,60	71,52	45	509614,93	50,96
16	349568,77	34,96	46	343792,19	34,38
17	869481,32	86,95	47	169659,40	16,97
18	842648,26	84,26	48	202592,49	20,26
19	665865,75	66,59	49	302030,09	30,20
20	751325,66	75,13	50	270665,43	27,07
21	722688,70	72,27	51	517764,11	51,78
22	684806,73	68,48	52	695745,76	69,57
23	442838,27	44,28	53	651032,55	65,10
24	738789,83	73,88	54	350821,83	35,08
25	488051,48	48,81	55	406376,46	40,64
26	254562,50	25,46	56	66245,17	6,62
27	489056,42	48,91	57	354429,42	35,44
28	514845,14	51,48	58	613451,83	61,35
29	911898,55	91,19	59	302854,44	30,29
30	428650,40	42,87	60	187042,49	18,70
<b>Superficie Total: 33198841,98 m<sup>2</sup> = 3319,88 ha</b>					

Tabla 21: Cultivos de invierno. Superficie de áreas circulares regadas con agua subterránea (pivotes).

ID_Área Rectangular	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
1	710640,73	71,06
2	2072091,06	207,21
3	854836,12	85,48
4	2206848,39	220,68
<b>Superficie Total: 5844416,31 m<sup>2</sup> = 584,44 ha</b>		

Tabla 22: Cultivos de invierno. Superficie de áreas rectangulares regadas con agua subterránea.

Según lo expuesto, para el año 2014 se estima una superficie total cultivada irrigada con agua subterránea de 14727 ha.

## **11.2 Estimación preliminar del volumen de agua subterránea extraído para riego**

La estimación preliminar del volumen de agua subterránea extraído en la Cuenca de Santa Rosa en el año 2014, se efectuó a partir de la información obtenida del relevamiento hidrogeológico de la zona de trabajo, de datos requeridos a profesionales de referencia que desarrollan su actividad en el área y de información de documentos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). A partir de ello, la estimación del volumen extraído se aborda desde dos aspectos:

- Régimen de funcionamiento de los pozos (perforaciones): se refiere al promedio estimado anual de caudal de extracción y tiempo de bombeo, aplicados a las perforaciones en funcionamiento en el área de trabajo.
- Requerimiento de riego de los cultivos, superficie cultivada y precipitaciones.

### **11.2.1 Cálculo de la extracción de agua subterránea según estimación del régimen de funcionamiento de las perforaciones**

Los datos empleados para este cálculo, corresponden a las fuentes de información antes referidas, que concurren en el siguiente régimen de extracción para las perforaciones en funcionamiento:

Promedio anual de extracción de agua subterránea por pozo: 200 m<sup>3</sup>/h.

Promedio de tiempo de bombeo por pozo: 15 horas diarias durante un período de 4.5 meses.

El tiempo de bombeo señalado es una estimación general y el mismo varía anualmente dependiendo del aporte producido por las precipitaciones.

En referencia a la cantidad de perforaciones en funcionamiento; de acuerdo al relevamiento efectuado del 11 al 14 de marzo de 2014 y asociado a los cultivos de verano, se detectaron 85 pozos bombeando agua subterránea para su uso en riego. Por su parte según el relevamiento de perforaciones efectuado del 5 al 13 de agosto de 2014 y asociado a los cultivos de invierno, se relevaron 17 pozos funcionando para este uso. En ambos casos puede considerarse como el número mínimo de perforaciones para abastecer la superficie cultivada identificada. De acuerdo a lo expuesto, se tiene:

Cantidad de perforaciones: 102

Tiempo de bombeo por pozo: 4,5 meses \* 30 días/mes = 135 días \* 15 horas/día = 2025 horas/pozo

Volumen anual extraído por pozo: 200 m<sup>3</sup>/h x 2025 hs = 0,405 hm<sup>3</sup>/año/pozo

En consecuencia:

Volumen anual total extraído = 0,405 hm<sup>3</sup>/año/pozo \* 102 pozos = 41 hm<sup>3</sup>/año

Según lo expuesto, considerando el régimen de funcionamiento de las perforaciones del área de trabajo, el volumen de agua subterránea extraído para riego complementario en el año 2014 se estima en 41 hm<sup>3</sup>.

### **11.2.2 Cálculo de la extracción de agua subterránea según requerimiento de los cultivos y las precipitaciones**

Este aspecto fue abordado considerando los cultivos que ocupan mayor superficie en el área de trabajo. A partir de información presente en informes de monitoreo de cultivos del NOA para el período 2001 a 2014 correspondientes al INTA, se calculó que aproximadamente el 65 % de la superficie cultivada corresponde a soja, el 7 % a maíz y el 28 % a trigo.

Considerando estos cultivos se adoptaron valores de requerimiento promedio anual de riego, según fuentes de información consultadas en la sede de INTA Alijilán así como documentos de ese Organismo. Los requerimientos de riego estimados para el área de trabajo son:

Soja: 700 mm/ha/año

Maíz: 580 mm/ha/año

Trigo: 450 mm/ha/año

A este volumen debe restarse el promedio anual surtido por las precipitaciones. El volumen resultante debe multiplicarse por la superficie cultivada irrigada identificada, a fin de obtener el volumen total de agua subterránea extraído por bombeo.

Los datos de precipitaciones considerados corresponden a las estaciones pluviométricas San Luis y El Tala ubicadas al noroeste y suroeste del departamento Santa Rosa, pertenecientes a la firma Milkaut del NOA. Se consideraron los períodos diciembre de 2013 a marzo de 2014 y julio de 2014 a noviembre de 2014; en correspondencia con los ciclos de cultivos de verano e invierno.

En cuanto a de las precipitaciones de estas estaciones pluviométricas para el período de diciembre de 2013 a marzo de 2014, se observa que resultan menores para enero y marzo, en un 60 %, respecto de los promedios mensuales del período 2002 – 2013.

Promedio total de precipitaciones para el período diciembre de 2013 a marzo de 2014: 443 mm

Promedio total de precipitaciones para el período julio de 2014 a noviembre de 2014: 147,5 mm

Extracción por bombeo para riego de soja:

Requerimiento riego soja – precipitaciones = 700 mm – 443 mm = 257 mm = 0,00257 hm<sup>3</sup>/ha/año

Extracción por bombeo para riego de maíz:

Requerimiento riego maíz – precipitaciones = 580 mm – 443 mm = 137 mm = 0,00137 hm<sup>3</sup>/ha/año

Extracción por bombeo para riego de trigo:

Requerimiento riego trigo – precipitaciones = 450 mm – 147.5 mm = 302.5 mm = 0,003025 hm<sup>3</sup>/ha/año

En consecuencia, el volumen total de extracción por bombeo resulta:

#### CULTIVOS ESTIVALES

Superficie total de áreas cultivadas circulares (pivotes): 10427,35 ha

90 % Soja: 9384.62 ha

10 % Maíz: 1042.74 ha

Superficie total de áreas cultivadas rectangulares: 39, 27 ha (se consideran con cultivo de soja).

**Volumen de extracción por bombeo para cultivos estivales** = (extracción por bombeo para riego de soja \* superficie cultivada de soja) + (extracción por bombeo para riego de maíz \* superficie cultivada de maíz)

**Volumen de extracción por bombeo para cultivos estivales** = (0,00257 hm<sup>3</sup>/ha/año \* (9384,62 ha + 395.27 ha)) + (0,00137 hm<sup>3</sup>/ha/año \* 1042,74 ha) = 25,13 hm<sup>3</sup>/año + 1,43 hm<sup>3</sup>/año = 26,56 hm<sup>3</sup>/año

#### CULTIVOS INVERNALES

Superficie total de áreas cultivadas circulares (pivotes): 3319,88 ha

Superficie total de áreas cultivadas rectangulares: 584,44 ha

**Volumen de extracción por bombeo para cultivos invernales** = Extracción por bombeo para riego de trigo \* superficie cultivada de trigo = 0,003025 hm<sup>3</sup>/ha/año \* (3319,88 ha + 584,44 ha) = 11,81 hm<sup>3</sup>/año

**Volumen total anual de extracción por bombeo para riego de cultivos** = Volumen de extracción por bombeo para cultivos estivales + Volumen de extracción por bombeo para cultivos invernales = 26,56 hm<sup>3</sup>/año + 11,81 hm<sup>3</sup>/año = 38,37 hm<sup>3</sup>/año

En conclusión, el volumen de agua subterránea extraído para riego complementario de cultivos en el año 2014 se estima en forma global en 40 hm<sup>3</sup>.

## 12 SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)

En concordancia con las actividades a desarrollar establecidas en el marco del presente proyecto, se implementó un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la integración y análisis de toda la información recopilada y elaborada durante el desarrollo del mismo. Se trata del "SIG Cuenca

Santa Rosa” de temática hidrogeológica referido al marco geográfico delimitado por el área de trabajo definida para este estudio.

Existe una gran diversidad de definiciones sobre SIG, de las cuales se adopta en referencia al SIG implementado la correspondiente a “una tecnología informática para gestionar y analizar la información espacial” (Bosque Sendra, 1992). Bajo una expresión de más detalle, puede decirse que estos sistemas son un conjunto de recursos informáticos integrados que permite capturar, almacenar, actualizar, analizar y visualizar información georreferenciada. En este sentido este SIG ha permitido la integración, procesamiento y análisis de datos geológicos, geofísicos, hidrológicos e hidroquímicos aportados por los relevamientos y análisis efectuados por el equipo de trabajo del Instituto Nacional del Agua (INA) – Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS) e información antecedente disponible.

La construcción del Sistema se ha llevado a cabo a través de la ejecución de las etapas de diseño, implementación y análisis.

Asimismo, la casi totalidad de las representaciones gráficas (mapas) que despliegan la información de interés, corresponden a salidas gráficas obtenidas desde este SIG.

### **12.1. Etapa de diseño**

Constituye la organización del proceso de transferencia e integración de los datos de la realidad observada al nivel de abstracción requerido por los sistemas informáticos. Comprende:

- Determinación de las fuentes de datos

Las fuentes de datos empleadas son: Base de Datos Geográfica Institucional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) - SIG250, Dirección Provincial de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos de la provincia de Catamarca, NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) y la NASA (National Aeronautics and Space Administration), U.S. Geological Survey (Servicio Geológico de Estados Unidos), Subsecretaría de Recursos Hídricos, Dirección Nacional de Minería e Instituto Nacional del Agua (INA) – Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS). Los formatos de los datos utilizados son digital y analógico.

- Definición de los temas

Se identificaron los niveles de información (capas) que representan las entidades geográficas adoptadas para el modelo hidrogeológico del área de trabajo.

- Establecimiento de la estructura para la representación de los datos

Las estructuras de datos adoptada para el SIG corresponden al modelo vectorial y al modelo raster.

El modelo vectorial se basa en la representación de tres entidades geográficas básicas: puntos, líneas y polígonos, a las cuales se asocia información alfanumérica almacenada en tablas vinculadas. El modelo raster constituye una matriz cuadrículada de celdas continuas cada una de las cuales contiene un número digital (DN) como dato que indica la categoría temática incluida en su interior. Cada celda se denomina píxel y es la unidad mínima de representación espacial, (Buzai et al., 2010).

En la Tabla 23 se indica las capas identificadas, su geometría y tipo de representación establecidas.

Nombre de la Capa	Geometría	Representación
área de trabajo	Polígono	Vectorial
argentina país	Polígono	Vectorial
límite provincial_catamarca	Línea	Vectorial
límite provincial_sgo del estero	Línea	Vectorial
límite departamental	Polígono	Vectorial
localidades	Punto	Vectorial
toponimia_provincias	Punto	Vectorial
toponimia_sierras	Punto	Vectorial
caserío_sr	Punto	Vectorial
colonia_sr	Punto	Vectorial
localidad_sr	Punto	Vectorial
lugares	Punto	Vectorial
paraje_sr	Punto	Vectorial
pueblo-sr	Punto	Vectorial
otros pueblos	Punto	Vectorial
rutas nacionales	Línea	Vectorial
rutas provinciales	Línea	Vectorial
caminos	Línea	Vectorial
relevamiento puntos de agua_2014	Punto	Vectorial
tabla_construcción y equipamiento_perforaciones	tabla: información alfanumérica	
tabla_estadoy uso_perforaciones y excavados	tabla: información alfanumérica	
tabla_mediciones hidrológicas_agua subterránea	tabla: información alfanumérica	
tabla_construcción_pozo excavado	tabla: información alfanumérica	
tabla_hidroquímica_agua subterránea	tabla: información alfanumérica	
tabla_hidroquímica_agua superficial	tabla: información alfanumérica	
perforaciones_Transmisividad (m <sup>2</sup> /día)	Punto	Vectorial
perforaciones_Rendimiento Específico (m <sup>3</sup> /h/m)	Punto	Vectorial
perforaciones_Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Punto	Vectorial
perforaciones_Cantidad filtros	Punto	Vectorial
perforaciones_Longitud de filtros	Punto	Vectorial
perforaciones_Profundidad último filtro (m)	Punto	Vectorial
perforaciones_Profundidad 1 Filtro (m)	Punto	Vectorial
perforaciones_Profundidad de entubación (m)	Punto	Vectorial
perforaciones_Profundidad total (m)	Punto	Vectorial
embalse collogasta	Polígono	Vectorial
embalse la cañada	Polígono	Vectorial
embalse piquitas	Polígono	Vectorial



Nombre de la Capa	Geometría	Representación
embalse sumampa	Polígono	Vectorial
ríos	Línea	Vectorial
subcuencas hidrográficas_cca sta rosa	Polígono	Vectorial
cca 18_rio sali dulce	Polígono	Vectorial
estaciones pluviométricas_cca sta rosa	Punto	Vectorial
estaciones pluviométricas_cca sta rosa_(isoyetas)	Punto	Vectorial
isoyetas (período 1970 – 1996)_cca sta rosa	Línea	Vectorial
curvas de nivel_modelo digital de elevación	Línea	Vectorial
modelo digital de elevación	Pixel	Raster
unidades geológicas	Polígono	Vectorial
unidad geológica_bc	Polígono	Vectorial
limite afloramientos bc	Línea	Vectorial
sev_cca sta rosa_2014	Punto	Vectorial
trazas cortes_sev_cca sta rosa_2014	Línea	Vectorial
estructural_pre UH3	Línea	Vectorial
Isopáquico_UH3	Línea	Vectorial
isopiezas (my jul ago 2014)	Línea	Vectorial
relevamiento puntos de agua subterránea_2014	Punto	Vectorial
profundidad nivel de agua subterránea(my jul ago 2014)	Línea	Vectorial
pozos_nivel de agua_my jul ago_2014	Punto	Vectorial
variación nivel de agua subterránea (2010 - 2014)	Punto	Vectorial
dirección de flujo subterráneo	Línea	Vectorial
hidroquímica 1_diagramas circulares_perforaciones	Punto	Vectorial
hidroquímica 1_diagramas circulares_excavados	Punto	Vectorial
hidroquímica 1_diagramas circulares_superficial	Punto	Vectorial
curvas_temperatura agua subterránea_sta rosa	Línea	Vectorial
ptos de agua subterránea_temperatura	Punto	Vectorial
temperatura agua subterránea_sta rosa	Polígono	Vectorial
puntos de agua subt_Conductividad eléctrica (microS/cm)	Punto	Vectorial
emc_resolución_fuzzy	Pixel	Raster
emc_resolucion booleana	Pixel	Raster
cultivos_pivotes_(03-2014)	Polígono	Vectorial
cultivos_polig_(03-2014)	Polígono	Vectorial
cultivos_pivotes_(08-2014)	Polígono	Vectorial
cultivos_polig_(08-2014)	Polígono	Vectorial
Mosaico_LC8230-231_079-80_11-2013 y 01-2014	Pixel	Raster
L8_230-79_09-03-2014_B543	Pixel	Raster
L8_230-79_09-03-2014_B564	Pixel	Raster
L8_230-79_09-03-2014_B654	Pixel	Raster
L8_230-79_09-03-2014_B432	Pixel	Raster
L8_230-79_09-03-2014_NDVI	Pixel	Raster
L8_230-79_09-03-2014_NDWI	Pixel	Raster
L8_230-79_16-08-2014_B543	Pixel	Raster
L8_230-79_16-08-2014_B564	Pixel	Raster
L8_230-79_16-08-2014_B654	Pixel	Raster
L8_230-79_16-08-2014_B432	Pixel	Raster

L8_230-79_16-08-2014_NDVI	Pixel	Raster
L8_230-79_16-08-2014_NDWI	Pixel	Raster
Red monitoreo	Punto	Vectorial

Tabla 23: Nombre, geometría y tipo de representación de las capas. (SIG Cuenca Santa Rosa).

- Diseño de estructura de directorios

Corresponde a la definición de una estructura para el almacenamiento de los archivos del SIG, basada en el siguiente agrupamiento temático de los datos: base de datos, cultivos, emc (evaluación multicriterio), geofísica, geología, hidrología, hidroquímica, imágenes, logos, mapa base y topografía.

- Definición del marco de referencia y sistema de proyección.

Se adopta para el Sistema el Marco de Referencia POSGAR 07 (Posiciones Geodésicas Argentinas, Año 2007) de carácter oficial para Argentina; y el Sistema de Proyección Gauss Krüger, Faja 3. El Código EPSG (European Petroleum Survey Group) correspondiente es 5345.

- Selección del software SIG a emplear.

Para la implementación del Sistema se adoptó el software de código abierto QGIS en su versión 2.6 Brighton de fecha de lanzamiento octubre de 2014. Actualmente, QGIS constituye un software SIG de referencia, y es reconocido por su amplia y completa variedad de herramientas para la gestión de bases de datos, e información vectorial y ráster, así como el análisis espacial y la generación de mapas.

- Definición de la escala de representación.

Se adoptaron como escala de representación 1:300.000, 1:200.000 y 1:175.000, de acuerdo a la disponibilidad de información a desplegar.

- Diseño de bases de datos

El diseño de la base de datos está referido a la base de datos hidrogeológica antes mencionada (Anexos 1.1 a 1.7), incluida en el SIG a partir de la incorporación de las tablas que la integran, es decir adoptando un carácter de base de datos interna.

La misma corresponde al tipo relacional, posibilitando el acceso simultáneo a la totalidad de los campos residentes en las tablas. El campo común utilizado para el establecimiento de las relaciones entre tablas corresponde al identificador del Punto de Agua (creado para el presente proyecto).

- Diseño de consultas.

Las consultas a la base de datos del Sistema consisten en la extracción selectiva de datos de la misma. Los criterios de búsqueda estuvieron referidos a:

Datos constructivos de las perforaciones del área de trabajo: profundidad total, profundidad de entubación, profundidad del primer y último filtro, longitud y cantidad de filtros.

Mediciones hidrológicas: nivel estático, caudal, rendimiento específico, transmisividad.

Mediciones hidroquímicas: conductividad eléctrica de laboratorio, contenido de iones principales.

A partir de la disponibilidad de estas consultas a la base de datos, el SIG brinda un ágil acceso al contenido y ubicación de datos de requerimiento frecuente.

- Diseño de metadatos.

La acepción actualmente más extendida de metadato es que corresponde al dato sobre el dato, ya que proporciona la información mínima necesaria para identificar un recurso. El metadato puede incluir información descriptiva sobre el contexto, calidad y condición o características del dato. (Senso, et al., 2013).

Asimismo, se señalan a los metadatos como las descripciones de los datos, que permiten a un productor de información geográfica describir las características del conjunto de datos que produce, y a un usuario utilizarlos adecuadamente. Los metadatos incluyen: fechas de creación, actualización y validez de los datos; obtención, procesamiento y acceso a los mismos; la extensión geográfica que cubren e información que ayude a su explotación. (IGN España).

Los metadatos de los niveles de información del SIG Cuenca Santa Rosa incluyen los siguientes aspectos: título (nombre característico del recurso), resumen (breve resumen del contenido del recurso), tipo de almacenamiento de la capa, origen de la capa, tipo de geometría de los objetos espaciales, número de objetos espaciales en la capa, capacidades de edición de la capa, extensión (geográfica de la capa), sistema de referencia espacial, estadística y dimensiones de capas ráster, tamaño de píxel.

## **12.2. Etapa de implementación**

Corresponde a la puesta en marcha o construcción de las estructuras definidas en la etapa de diseño. Comprende:

- Implementación de temas

Refiere a la incorporación, edición y construcción de las capas del SIG en el software seleccionado. En la Figura 1 se muestran los niveles de información, capas o temas presentes en el SIG Cuenca Santa Rosa, bajo el programa QGSI 2.6 Brighton.

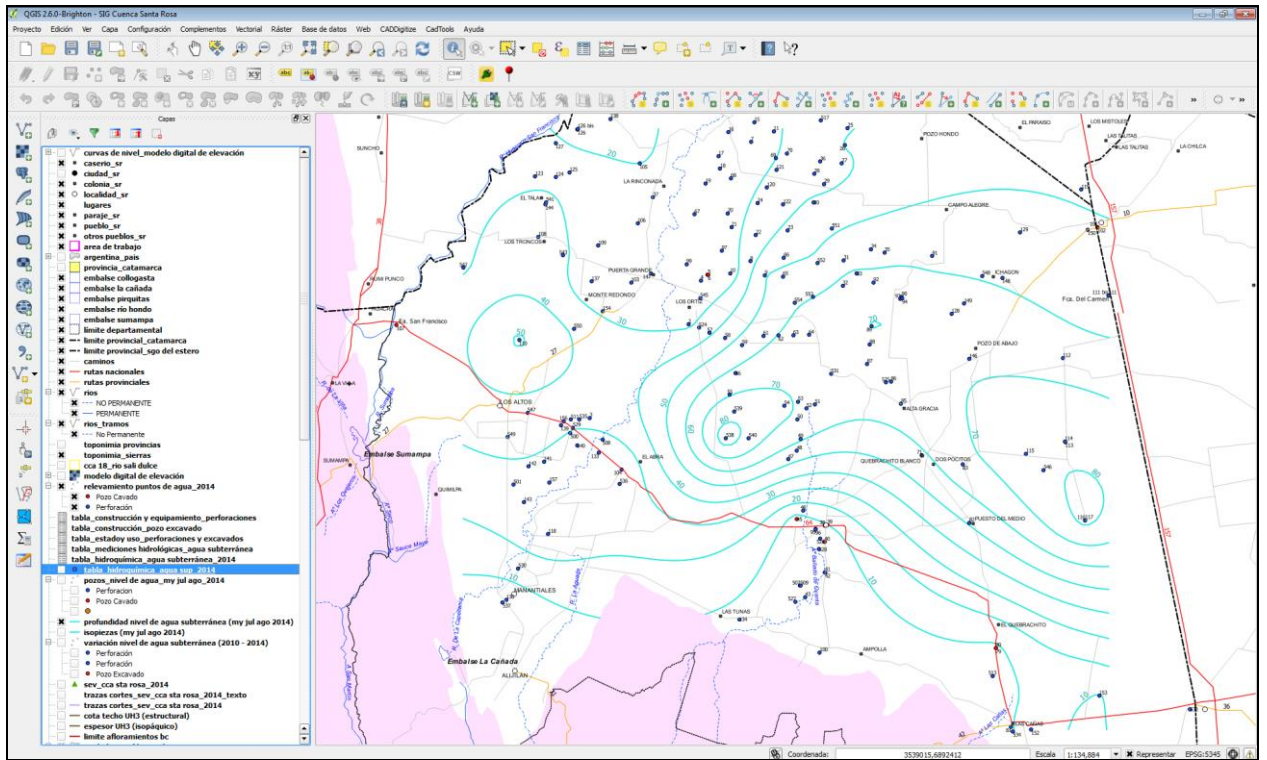


Figura 1: Capas del SIG Cuenca Santa Rosa.

- Implementación de la estructura de directorios

Corresponde a la creación de carpetas para el almacenamiento de los archivos del SIG. En la Figura 2 se observa la estructura de directorios implementada para el SIG Cuenca Santa Rosa.

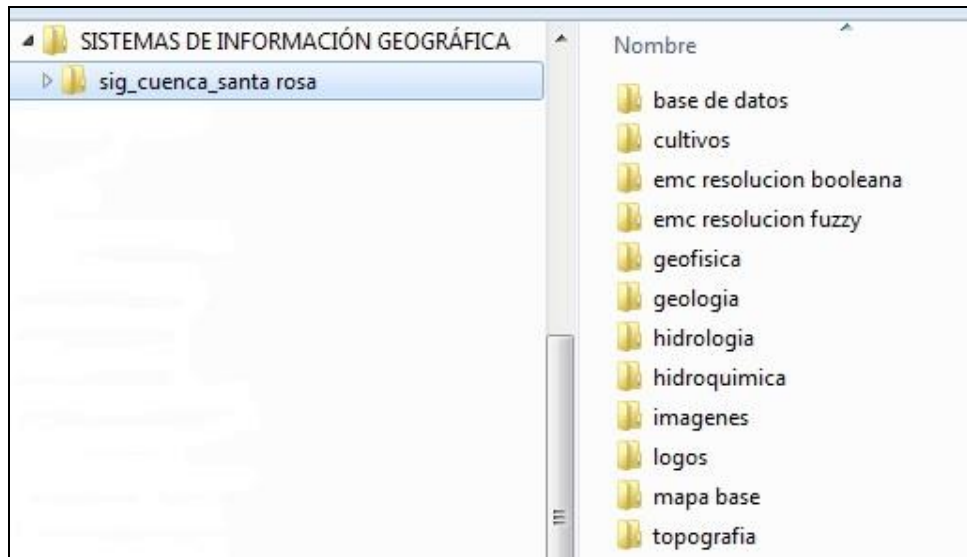


Figura 2: Estructura de directorios del SIG Cuenca Santa Rosa.

- Implementación de procesos

Involucra la captura y conversión de datos, digitalización, procesamiento de imágenes y geoprosesos. Los citados procesos han sido realizados bajo los software: QGIS 2.6 Brighton, SAGA GIS v. 2.0.8, ENVI v. 4.2, IDRISI Selva v. 17.0, Global Mapper, Surfer 8, AutoCad, Excel.

- Implementación de la base de datos

Corresponde al almacenamiento y estructuración de los datos de acuerdo al diseño de base de datos establecido. En las Figuras 3 y 4 se muestran las tablas que integran la base de datos interna presentes en el SIG y sus relaciones:

	Nombre	Capa de referencia	Campo de referencia	Capa de referencia	Campo referenciado	ID
1	ptos de agua_construcción excavado	tabla_construcción_pozo excavado	Nro ID Proyecto	relevamiento puntos de agua_2014	Nro ID Pro	Tabla_Construcción_del_Pozo_Cavado20151123111508506_Nro ID Proyecto_ID_Ubic_PA_Relevamiento_20142015111213152196_...
2	ptos de agua_construcción perforaciones	tabla_construcción y equipamiento_perforaciones	Nro ID Proyecto	relevamiento puntos de agua_2014	Nro ID Pro	Tabla_Coord_Construcción_y_equipamiento_de_la_Perforación20...
3	ptos de agua_hidrología_agua subt	tabla_mediciones hidrologicas_agua subterránea	Nro ID Proyecto	relevamiento puntos de agua_2014	Nro ID Pro	Tabla_Coord_Mediciones_Hidrologicas_Agua_Subterránea201511...
4	ptos de agua_estado y uso	tabla_estadoy uso_perforaciones y excavados	Nro ID Proy	relevamiento puntos de agua_2014	Nro ID Pro	Tabla_Estado_y_Uso_de_Perforaciones_y_Pozos_Cavados201511...
5	ptos de agua_hidroquímica_agua subt_2014	tabla_hidroquímica_agua subterránea_2014	NUMERO DE POZO	relevamiento puntos de agua_2014	Nro ID Pro	Tabla_Datos_2014_meq_Coord_Hidroquímicos_de_Campo_y_de_L...

Figura 3: Estructura de las relaciones entre las tablas de la Base de Datos Hidrogeológica del SIG Cuenca Santa Rosa.

**ID\_Ubic PA\_Relevamiento 2014 - Feature Attributes**

**id pozos 2014\_construcion perforacion**

Expresión

- 141, 1/14/96, LUIS ... 11, <NULL>, <NULL>
- 141, 3/29/12, LUIS A..., 11, De Eje, <NULL>
- 141, 3/12/14, LUIS A..., 11, De Eje, <NULL>

Prof Tot: 186  
Prof Ent: 183  
Diam Boca Pozo: 12

**id pozos 2014\_hq**

Expresión

- 141, 1/14/96, <NULL>...rme Tecnico del Pozo
- 141, 3/12/14, 3/12/...D, 0.01, ND, <NULL>

Temperatura: 23  
pH: 7.7  
CE (microS/cm): 720

**id pozos 2014\_uso**

Expresión

- 141, 14/01/1996, <NULL>, <NULL>, <NULL>
- 141, 29/03/2012, E...umo humano, <NULL>
- 141, 12/03/2014, En uso, Riego, <NULL>

FECHA Relevamiento: 12/03/2014  
ESTADO: En uso  
Uso: Riego

Figura 4: Despliegue de la Base de Datos relacional.

- Implementación de consultas

Las consultas referidas a la base de datos hidrogeológica; se despliegan como capas del SIG, adoptando leyendas graduadas y diagramas. En la Figura 5 se observa su implementación bajo el software QGIS 2.6 Brighton.

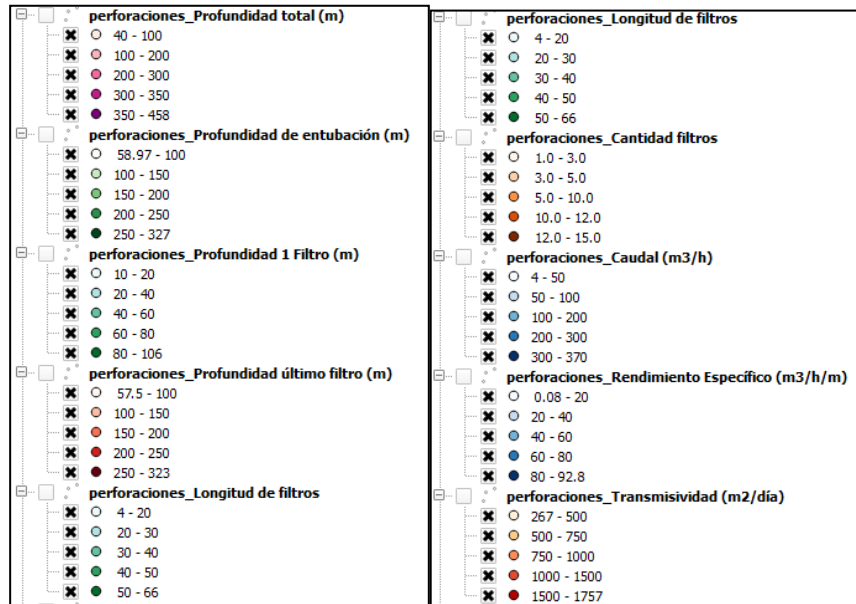


Figura 5: Capas con consultas de la Base de Datos Hidrogeológica en el SIG Cuenca Santa Rosa.

- Implementación de metadatos

Los metadatos descriptores de las capas del SIG, se han implementado bajo la herramienta metadatos que provee QGIS 2.6 Brighton. El software genera y además permite incorporar numerosos datos que aportan a una descripción completa del nivel de información. En la Figura 6 se observan los aspectos considerados.

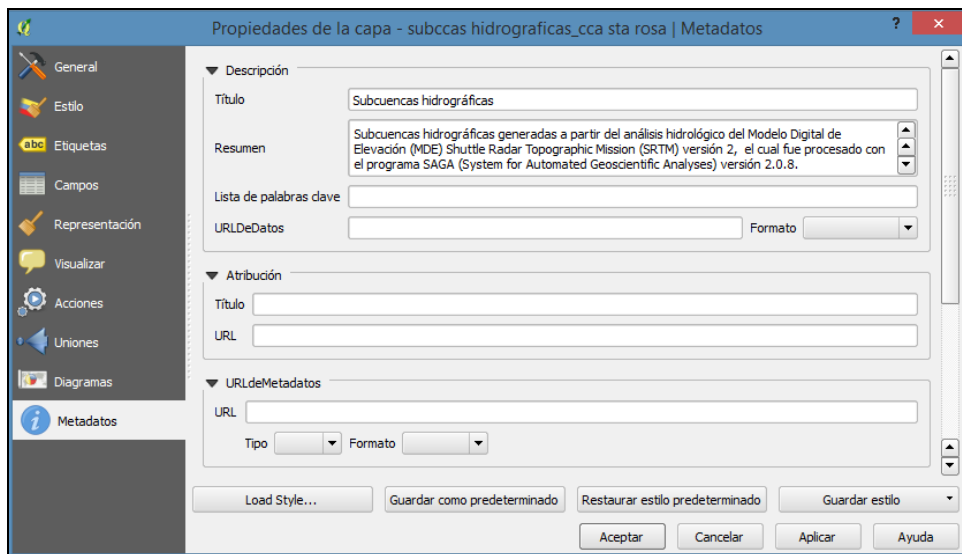


Figura 6: Metadato de una Capa del SIG Cuenca Santa Rosa

### **12.3. Etapa de Análisis**

Se refiere al análisis de tipo espacial. Su definición puede abordarse desde un punto de vista temático como una serie de técnicas matemáticas y estadísticas aplicadas a los datos distribuidos sobre el espacio geográfico. Cuando se lo enfoca desde la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica se refiere a su posibilidad de trabajar con las relaciones espaciales de las entidades contenidas en cada capa temática de la base de datos geográfica. (Buzai, et al., 2010).

El análisis espacial se ha aplicado a estructuras de datos de modelo raster. En particular se han realizado: procedimientos de reclasificación y técnicas de Evaluación Multicriterio.

El análisis por reclasificación puede ser considerado el procedimiento metodológico inicial y más simple de análisis espacial. Corresponde a procedimientos de simplificación que tienden a la generación de nuevas capas temáticas más simples, que contengan números digitales de valores menores o que hayan experimentado una disminución en sus categorías originales. Constituye un tratamiento inicial de la información como base para el análisis de las distribuciones de las variables involucradas en la Evaluación Multicriterio. (Buzai et al., 2010).

La evaluación multicriterio (y multiobjetivo) es un conjunto de técnicas utilizadas en la toma de decisiones multidimensional para evaluar una serie de alternativas, que satisfacen uno o varios objetivos, a la luz de múltiples criterios; (Gómez Delgado, 2010). Su aplicación tuvo como objetivo la zonificación del área de trabajo según su aptitud para la explotación de agua subterránea destinada a riego.

## **13. ZONAS CON APTITUD PARA LA EXPLOTACION DE AGUA SUBTERRANEA APLICADA A RIEGO**

La identificación de zonas del área de trabajo con mayor aptitud para la explotación del agua subterránea aplicada a riego, se llevó a cabo a partir de la aplicación de técnicas de evaluación multicriterio (EMC), orientadas a la selección de ubicaciones favorables.

La EMC, puede ser considerada como el conjunto de técnicas que apoyan el proceso de toma de decisión dentro de una amplia variedad de posibilidades, (Buzai et al.; 2011).

La técnica de EMC fue desarrollada a partir del cumplimiento de las siguientes etapas:

- a) Selección de variables
- b) Generación de factores
- c) Establecimiento de reglas de decisión
- d) Resolución de la evaluación multicriterio (EMC)
- e) Integración SIG - EMC

a) Selección de variables: corresponden a las capas temáticas consideradas para la valoración de la aptitud hidrogeológica para la explotación de agua subterránea para riego. En este sentido se tuvieron en cuenta los aspectos de cantidad y calidad del agua subterránea, representados por el espesor sedimentario saturado, la conductividad eléctrica del agua subterránea y la relación de adsorción de sodio del agua subterránea:

**Espesor sedimentario saturado (m):** esta variable fue considerada por posibilitar su relación con la transmisividad y caudales de explotación, a fin de evaluar la cantidad de agua subterránea disponible para extracción. Fue determinante en su incorporación la disponibilidad de información sobre este aspecto; resultante de los relevamientos geoelectrónico y de niveles de agua subterránea efectuados en el año 2014; en contraste con los escasos datos disponibles referidos a la transmisividad y caudales de extracción de las perforaciones del área de trabajo. Específicamente corresponde al espesor saturado de la denominada Unidad Hidrogeológica 3 (UH3).

**Conductividad eléctrica del agua subterránea ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ):** esta variable fue seleccionada por su incidencia en la disponibilidad de agua para los cultivos. Como se mencionara en el capítulo 8 de Hidroquímica, un alto nivel de sales en el agua de riego reduce la disponibilidad de agua para los cultivos, causando reducción de los rendimientos.

**RAS (Relación de Adsorción de Sodio) del agua subterránea:** esta variable también fue considerada por su influencia en la disponibilidad de agua para los cultivos. Como se señalara en el capítulo 8 de Hidroquímica, altos niveles de RAS pueden dañar la estructura del suelo, volviéndose duro y compacto en condiciones secas y reduciendo la infiltración de agua y aire.

b) Generación de factores: corresponde al tratamiento de cada una de las variables seleccionadas, a fin de disponer de datos expresados en forma continua, por lo cual reciben la denominación de factores. Los mismos se generaron a partir el programa Surfer 8; bajo el método de interpolación kriging aplicado a la información puntual correspondiente a: espesor sedimentario de la UH3 interpretada a partir de SEV, datos de perforaciones referidos a profundidad del nivel de agua subterránea y su conductividad eléctrica, así como el cálculo de RAS.

c) Establecimiento de reglas de decisión: corresponde al establecimiento de las formas de vinculación entre factores a partir de herramientas matemáticas, permitiendo comparar y evaluar distintas alternativas. Para cada factor se adoptó una clasificación de 6 clases, en relación a su aptitud para la explotación del agua subterránea aplicada a riego.

**Espesor sedimentario saturado:** en primer término se tuvo en cuenta una clasificación propuesta por Villanueva, M. e Iglesias, A. (1984); referida a la relación entre transmisividad y posibilidad de extracción de caudales bajo una depresión supuesta de 10 m (Tabla 24):



Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)	Calificación estimativa	Posibilidades del acuífero
T < 10	Muy baja	Pozos de menos de 1 l/s de depresión teórica
10 < T < 100	Baja	Pozos entre 1 y 10 l/s de depresión teórica
100 < T < 500	Media a alta	Pozos entre 10 y 50 l/s de depresión teórica
500 < T < 1000	Alta	Pozos entre 50 y 100 l/s de depresión teórica
T > 1000	Muy Alta	Pozos superiores a 100 l/s de depresión teórica

Tabla 24: Valores de Transmisividad. (Villanueva e Iglesias, 1984).

Asimismo se asignó un valor de Permeabilidad al espesor sedimentario del área de trabajo. Para ello se consideraron las granulometrías descritas en perfiles geológicos de perforaciones ubicadas en el área, adoptándose un valor global para el espesor sedimentario de 3 m/d, es decir cercano al límite de grava y arena o arena gruesa - arena fina o mezcla de limos, correspondiente a la clasificación hidrogeológica de buen acuífero – acuífero pobre (según clasificación de Custodio y Llamas, 1983).

Posteriormente a partir de la definición de transmisividad, de la clasificación antes referida y del valor de permeabilidad asignado, se calcularon rangos de espesor sedimentario saturado.

$$T = k * b$$

$$b = T / k$$

donde:

T: Transmisividad (m<sup>2</sup>/d)

k: Permeabilidad (m/d)

b: Espesor saturado (m)

Se sumó además la aplicación de la fórmula experimental de Galofré A., 1966, que relaciona transmisividad, caudal y depresión; a fin de adaptar los intervalos de espesor sedimentario saturado a caudales mínimos de interés referidos a la extracción de agua subterránea (150 m<sup>3</sup>/h).

Finalmente, en la Tabla 25 se detallan los intervalos adoptados, indicando además los caudales de extracción asociados expresados en m<sup>3</sup>/h.

Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /d)		Permeabilidad (m/d)	Espesor Sedimentario Saturado (m)		Calificación estimativa
< 3.6	< 10		3		< 3	Nula
3.6 - 36	10	100	3	3	33	Muy Baja
36 - 150	100	417	3	33	140	Baja
150 - 270	417	750	3	140	250	Media
270 - 360	750	1000	3	250	333	Alta
> 360	1000	> 1000	3	333	> 333	Muy Alta

Tabla 25: Intervalos de espesor sedimentario saturado (m).

**Conductividad eléctrica del agua subterránea (µS/cm):** se tomó como referencia la clasificación de Peligro de Salinización correspondiente al Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos (Riverside, California), según las categorías de bajo a excesivo peligro de salinización, a partir de las cuales se obtuvieron 6 categorías que se indican en la Tabla 26:

Conductividad Eléctrica del Agua Subterránea (microS/cm)	Peligro de Salinización
< 250	Bajo
250 - 750	Moderado
750 - 2250	Medio
2250 - 5000	Alto
5000 - 6000	Muy Alto
> 6000	Excesivo

Tabla 26: Peligro de Salinización según Conductividad Eléctrica del Agua Subterránea (microS/cm).

**RAS (Relación de Adsorción de Sodio) del agua subterránea:** se tomó como referencia la clasificación de Peligro de Sodificación o Alcalinización correspondiente al Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos (Riverside, California), el cual fue ampliado en los intervalos de mayor peligro, a fin de obtener 6 categorías que se indican en la Tabla 27:

RAS	Peligro de Sodificación
0 -10	Bajo
10 - 18	Moderado
18 -26	Medio
26 - 30	Alto
30 - 40	Muy Alto
> 40	Excesivo

Tabla 27: Peligro de Sodificación según RAS.

d) Resolución de la Evaluación Multicriterio (EMC): se realizó a partir de procedimientos técnicos Booleanos y de Lógica Difusa. Las clasificaciones de tipo booleana son nítidas, correspondientes a conjuntos de pertenencia binaria, es decir el fenómeno de interés puede estar dentro o fuera de la clase. Por su parte, la Lógica Difusa se considera una generalización del álgebra booleana, útil para procesar información con zonas de transición gradual, ya que permite expresar esta transición progresiva desde la pertenencia o no a un conjunto (clase); (Bonis Martín, V.; 2011).

**Resolución Booleana de Riesgo Escalonado:** se procedió a la reclasificación de cada uno de los factores, transformando sus valores en Números Digitales (ND) de 2 categorías, ND = 0 (áreas sin aptitud) y ND = 1 (áreas con aptitud), (Tabla 28).

Respecto al espesor saturado, se consideró como favorable hasta un espesor saturado mínimo de 140 m, correspondiente a un caudal de explotación asociado de 150 m<sup>3</sup>/h.

En cuanto a la conductividad eléctrica del agua subterránea, se admitió como favorable hasta 2250 microS/cm correspondiente a un peligro de salinización medio; en consideración de la conductividad admitida por los cultivos de mayor extensión en el área de trabajo, correspondientes a soja y trigo, los cuales se identifican como tolerantes al riego con aguas salinas (Dorronsoro, 2001).

Por último para el RAS, se consideró como favorable hasta un valor de 18 correspondiente a un peligro de sodificación medio.

Posteriormente se sumaron los tres factores reclasificados y como resultado se identificaron áreas con aptitud locacional escalonada y progresiva. El conjunto de procedimientos de evaluación se llevó a cabo bajo el software IDRISI Selva v. 17.0.

A continuación en la Tabla 28 se indica la estandarización asignada a cada factor; mientras que en la Tabla 29 se señala la aptitud locacional resultante.

Espesor Sedimentario Saturado (m)		Estandarización	Conductividad Eléctrica del Agua Subterránea (microS/cm)	Estandarización	RAS	Estandarización
> 333	333	1	< 250	1	0 -10	1
333	250	1	250 - 750	1	10 - 18	1
250	140	1	750 - 2250	1	18 -26	0
140	33	0	2250 - 5000	0	26 - 30	0
33	3	0	5000 - 6000	0	30 - 40	0
3	< 3	0	> 6000	0	> 40	0

Tabla 28: Estandarización discreta de Factores. Resolución Booleana.

Sumatoria de Factores Reclasificados	Aptitud para la explotación del agua subterránea aplicada a riego
3	Alta
2	Media
1	Baja
0	Nula

Tabla 29: Clasificación de aptitud locacional por resolución Booleana.

En la Figura 7 se observa las áreas resultantes; obtenidas bajo el software IDRISI Selva v. 17.0.

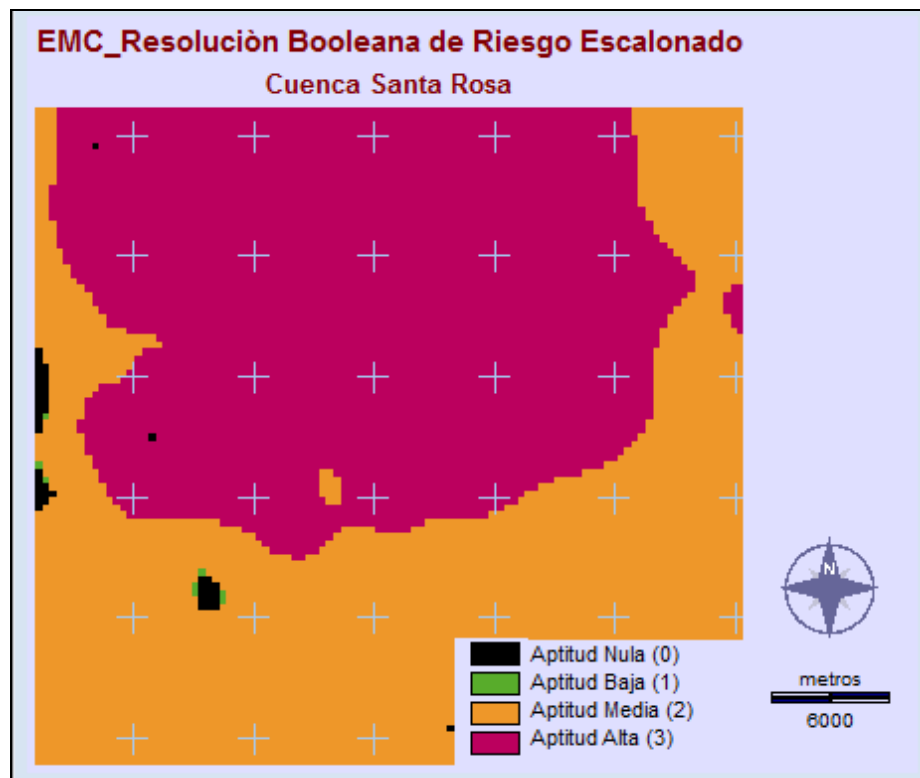


Figura 7: Clasificación de aptitud locacional según resolución Booleana de Riesgo Escalonado.

**Resolución de Lógica Difusa (Fuzzy) sin Factor de Ponderación:** se inició con la reclasificación en 6 categorías de cada uno de los factores, (Tabla 30). Posteriormente se aplicó la resolución Fuzzy, para la cual debe disponerse de un buen conocimiento acerca del comportamiento de cada variable en cuanto a su alcance espacial; situación presente para las variables aquí consideradas para el área de estudio. En la resolución Fuzzy se procedió a la estandarización continua de las 6 categorías de cada uno de los factores, aplicando una función de tipo lineal y forma creciente, con un formato de datos de 0 a 255. Tal estandarización corresponde a variaciones en la aptitud locacional, entre los extremos apto – no apto. Posteriormente se promediaron los tres factores estandarizados, sin aplicar un factor de ponderación, es decir se asignó igual importancia relativa a cada uno de ellos. El conjunto de procedimientos de evaluación se llevó a cabo bajo el software IDRISI Selva v. 17.0.

Debe señalarse que la resolución Fuzzy da como resultado una zonificación más detallada que la resolución Booleana y refleja variaciones locacionales más graduales.

A continuación en la Tabla 30 se indica la reclasificación aplicada en primer término a cada factor, resultando 6 categorías en cada caso; mientras que en la Tabla 31 se señala la aptitud locacional resultante de la resolución Fuzzy.

Espesor Sedimentario Saturado (m)		Estandarización	Conductividad Eléctrica del Agua Subterránea (microS/cm)	Estandarización	RAS	Estandarización
> 333	333	1	< 250	1	0 -10	1
333	250	2	250 - 750	2	10 - 18	2
250	140	3	750 - 2250	3	18 -26	3
140	33	4	2250 - 5000	4	26 - 30	4
33	3	5	5000 - 6000	5	30 - 40	5
3	< 3	6	> 6000	6	> 40	6

Tabla 30: Estandarización inicial de Factores. Resolución de Lógica Difusa (Fuzzy).

Valores de la Resolución Fuzzy	Aptitud para la explotación del agua subterránea aplicada a riego
0	Muy Alta
51	Alta
102	Media
153	Baja
204	Muy Baja
255	Nula

Tabla 31: Clasificación de aptitud locacional por resolución de Lógica Difusa (Fuzzy)

En la Figura 8 se observa las áreas resultantes; obtenidas bajo el software IDRISI Selva v. 17.0.

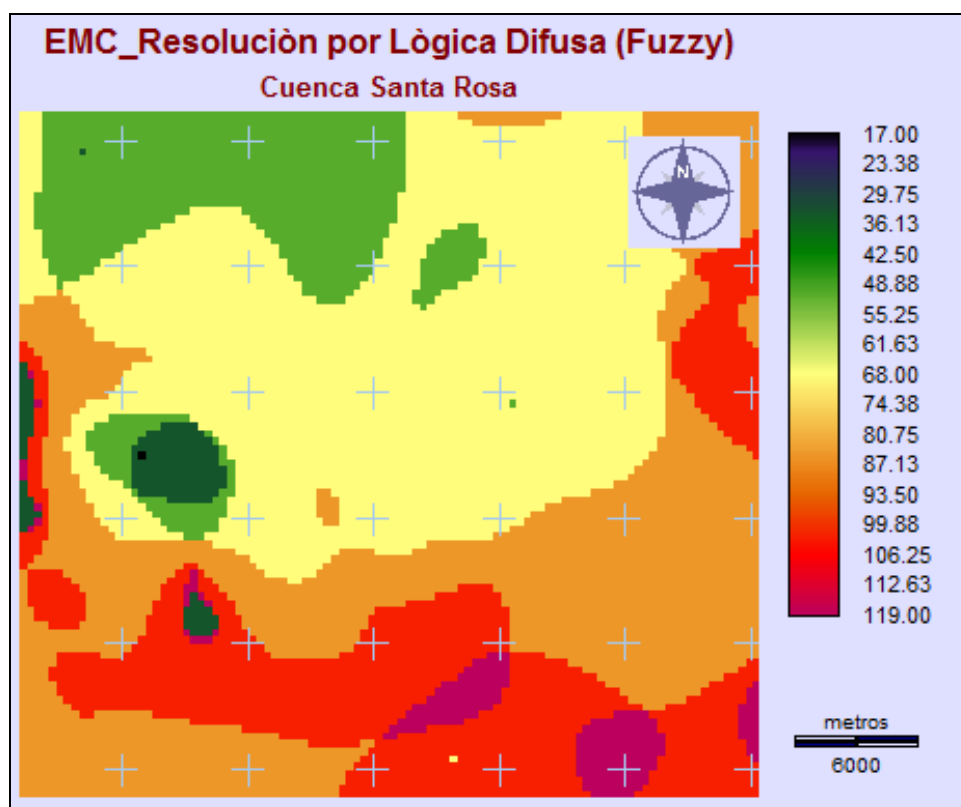


Figura 8: Clasificación de aptitud locacional según resolución por Lógica Difusa (Fuzzy).

e) integración SIG – EMC: realizada a partir de la incorporación de los resultados de la EMC en el SIG Cuenca Santa Rosa implementado bajo el programa QGIS 2.6 Brighton. Se dispone así de una zonificación de la aptitud para la explotación de agua subterránea aplicada a riego; con referencias geográficas del área de trabajo e integrada al conjunto de capas de temática hidrogeológica del sistema. En la Lámina 28 se observa la zonificación resultante de la resolución de la EMC de tipo Booleana de Riesgo Escalonado; mientras que en la Lámina 29 se observa la zonificación proveniente de la resolución de la EMC de tipo Lógica Difusa (Fuzzy) sin factor de ponderación.

La resolución Booleana (Lámina 28), identifica para el área considerada dos zonas de aptitud para la explotación del agua subterránea aplicada a riego, correspondientes a una aptitud alta y una aptitud media. La zona de aptitud alta se ubica mayoritariamente al norte y nor-centro de la Ruta Nacional N° 64 (regiones de El Abra, Los Troncos, Puerta Grande, Los Ortiz, La Rinconada, Pozo Hondo, Alta Gracia, Pozo de Abajo, Ichagón, etc.). La zona de aptitud media se sitúa al sur y al noreste de la mencionada ruta (áreas de Manantiales, Alijilán, Bañado de Ovanta, Las Tunas, Ampolla y Las Cañas; San Pedro y Puesto del Medio).

Asimismo, la resolución de Lógica Difusa (Fuzzy) (Lámina 29) también identifica dos zonas de aptitud, correspondientes a una aptitud alta y una aptitud media. Esta resolución reconoce además variaciones de aptitud más graduales, que permiten reconocer el cambio progresivo de una zona de aptitudes altas ubicada mayoritariamente al norte de la Ruta Nacional N° 64, hacia una zona de aptitudes

medias situada al sur y este de la mencionada ruta. El grado más alto de aptitud se ubica al este de El Abra; mientras el menor grado de aptitud se sitúa en el área de la localidad de Ampolla y noroeste de Las Cañas.

Debe destacarse que los factores correspondientes a la Conductividad Eléctrica y el RAS presentan un carácter apto, con grados de medio a muy alto. Por su parte el factor espesor saturado resulta el limitante de la aptitud, puesto que presenta grado muy alto a nulo.

#### **14.- SINTESIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

La cuenca de Santa Rosa se ubica en el sector centro – este de la provincia de Catamarca, en el ambiente de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas.

La columna estratigráfica aflorante en la región estudiada está integrada por rocas ígneas y metamórficas del Precámbrico – Paleozoico y una cubierta sedimentaria que comprende sedimentitas y sedimentos del Terciario y del Cuaternario. Estos terrenos fueron agrupados en tres Unidades Hidrogeológicas.

La interpretación geofísico – geológica realizada permitió definir en forma preliminar la geometría de la cuenca sedimentaria y de los terrenos acuíferos, diferenciándose en el subsuelo, desde abajo hacia arriba, tres unidades: Basamento Resistivo, Relleno Conductivo y Relleno Resistivo.

El Basamento Resistivo corresponde a la Unidad Hidrogeológica 1 y se correlaciona con las rocas ígneas y metamórficas del Precámbrico - Paleozoico conocidas como Basamento Cristalino. Se interpretaron en el subsuelo a profundidades crecientes desde el pie de sierra hasta sobrepasar las rutas nacionales N° 38 y N° 64. Hacia el sector noreste del valle estos terrenos ígneos – metamórficos no se detectaron en el subsuelo, excepto en las cercanías de la localidad de San Pedro. Las profundidades a las que se interpretaron varían entre un mínimo de 11 m y un máximo de 650 m. Estas rocas se consideran no acuíferas y constituyen el basamento hidrogeológico de la cuenca de agua subterránea.

El Relleno Conductivo constituye la Unidad Hidrogeológica 2 que geológicamente se correlaciona con los terrenos del Terciario (Mioceno). Fue detectado en todos los cortes geofísico – geológicos de subsuelo desde una posición aflorante – subaflorante hasta profundidades máximas de unos 404 m. El hundimiento de estos terrenos ocurre en dirección norte – noreste a medida que aumenta la distancia a los elementos orográficos que marginan al valle de Santa Rosa. Se considera que esta Unidad Hidrogeológica forma parte del sistema acuífero que se desarrolla en el relleno del valle por encima del Basamento Cristalino y contiene acuíferos confinados, en algunos casos surgentes. El agua contenida puede llegar a ser inapta para consumo humano y demás usos y los caudales reducidos. A los fines prácticos y también atento a los requerimientos de la zona se considera a esta Unidad como acuífero secundario.

El Relleno Resistivo corresponde a la Unidad Hidrogeológica 3 que abarca sedimentitas y sedimentos del Terciario (Plioceno) y sedimentos porosos y permeables del Cuaternario. Contiene los acuíferos más importantes de la región, explotados actualmente para riego, consumo humano y ganadería. Estos acuíferos son de tipo libre y en profundidad del subsuelo las intercalaciones de materiales finos entre capas de mayor permeabilidad, favorecen las condiciones de semiconfinamiento. Esta Unidad Hidrogeológica 3 posee espesores máximos de unos 404 m y en la región donde se encuentra la mayoría de los pozos del área, varía en general entre unos 200 m y 350 m.

Se identificaron 192 puntos de agua subterránea, de los cuáles 181 son perforaciones y 11 son pozos excavados. Las perforaciones se encuentran equipadas con electrobombas sumergibles o bombas de eje, predominando las primeras.

De las 181 perforaciones, 145 están en uso (consumo humano, ganadería o riego) ocupándose para riego como mínimo 102 pozos.

La profundidad media de las perforaciones es de unos 180 m y la profundidad media de entubación de unos 170 m. Los diámetros de entubación en boca de pozo más característicos son de 12" y 10" y corresponden a pozos utilizados para riego. En los pozos destinados a consumo humano o abrevado del ganado, el diámetro de entubación más frecuente es de 6" y 4".

Los filtros de los pozos normalmente son de más de un tramo, con un máximo de 15 tramos de filtros por pozo. La longitud total promedio de filtros de 40 m por pozo, con un máximo de 66 m y un mínimo de 13 m.

El caudal extraído por los pozos destinados a riego es de aproximadamente 200 m<sup>3</sup>/h promedio, con caudales máximos informados de hasta unos 370 m<sup>3</sup>/h. El rendimiento específico medio es de 25 m<sup>3</sup>/h/m.

Las menores profundidades del nivel estático del agua subterránea se verifican al sur de la ruta nacional N° 64 que pasa por Los Altos y Bañado de Ovanta y en el sector noroeste de la zona de trabajo (aproximadamente Monte Redondo – Los Molles – río San Francisco). Allí es inferior a los 30 m, llegando a ser menor de 10 m en dirección a Cuchi Noque. Aunque con escasa información, se puede mencionar que la zona ubicada desde la latitud de El Quebrachito hacia el sur también la profundidad del agua subterránea inferior a los 30 m, llegando a localizarse a menos de 10 m entre las localidades de Las Cañas y Lavalle.

Entre las zonas indicadas precedentemente, existen en general dos sectores hacia donde convergen y profundizan los niveles piezométricos. Uno es la zona de Los Altos, Monte Redondo, Los Troncos donde se ubica hasta unos 50 m de profundidad y el otro en la región centro - oriental del área de trabajo donde se profundiza convergiendo las curvas hasta superar los 70 m de profundidad. Las máximas profundidades del agua subterránea medidas fueron de 86,02 m y 82,75 m al oeste y al sureste de Dos Pocitos respectivamente.

A partir del análisis de la evolución o variación en el tiempo de la profundidad del nivel piezométrico en pozos de la zona (años 2010 a 2014), no se detecta un descenso progresivo en la profundidad del nivel de agua subterránea.

El flujo del agua subterránea tiene un sentido general suroeste – noreste y pone en evidencia que el área de recarga de la cuenca de agua subterránea del Valle de Santa Rosa está relacionada a las sierras que lo marginan, especialmente las del borde sur y suroccidental (sierras de El Alto – Ancasti y Guayamba) a partir de las precipitaciones pluviales que allí ocurren.

El agua en el subsuelo se mueve subterráneamente en general hacia noreste en dirección a las partes más bajas del valle de Santa Rosa y egresa de éste hacia las provincias de Tucumán y Santiago del Estero.

El agua superficial muestreada en esta zona es en general de baja salinidad total, con un máximo de conductividad eléctrica de 825  $\mu\text{S}/\text{cm}$  determinado en el agua del arroyo Las Cañas. Con excepción de este último arroyo, el agua tiene un pH inferior a 7,0 unidades y en todos los casos el agua es de características bicarbonatada sódica. Los elementos menores, metálicos y no metálicos se encuentran en muy baja concentración. Solamente en el caso del arroyo Las Cañas la concentración de arsénico (0,011 mg/l) supera ligeramente el límite establecido para aguas destinadas al consumo humano.

Evaluadas para riego, estas fuentes superficiales presentan, en general, una peligrosidad salina entre baja y moderada y una baja peligrosidad sódica, lo que las califica como de aptitud excelente a buena para este uso (Clase I y II). No obstante, en ciertos casos y fundamentalmente en los arroyos Bañado de Ovanta y Las Cañas, el Carbonato de Sodio Residual (CSR) desmejora la clase definida por la salinidad y el RAS, a clases IV (Regular a Mala) y V (Inapropiada) respectivamente.

La salinidad total del agua subterránea no supera los 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en poco menos de la mitad (35 pozos) del total de pozos muestreados, localizándose la zona de menor salinidad en el sector noroeste del área de estudio. En 34 muestras analizadas la conductividad eléctrica del agua varía entre 1040 y 2950  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en solamente 3 casos el agua alcanza una conductividad superior a 5700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Pozo N° 532, ubicado en la localidad de Lavalle, y pozos N° 45 y 509 de la zona de en Bañado de Ovanta).

La temperatura del agua no supera los 30 °C en la mayoría de los pozos muestreados. Solamente en cuatro pozos, ésta supera a dicho valor, con un máximo de 36 °C en el agua del pozo N° 532 de Lavalle (aguas mesotermiales).

El pH (potencial de hidrógeno), es en la mayoría de las muestras superior a 7 unidades, indicando el carácter básico o alcalino de las mismas.

La dureza total del agua subterránea en el área varía en un amplio rango (entre 39 y 683 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ ). Sólo en las tres muestras en donde se determinó la mayor salinidad del agua, ésta supera



los 900 mg/l de CaCO<sub>3</sub>. La dureza causada por la presencia del sulfato de calcio y magnesio y/o cloruros en el agua (Dureza permanente o de no-carbonatos), en la mayoría de las muestras, es igual a cero, es decir que la dureza total del agua se debe únicamente a la presencia de sales carbonatadas.

Todas las muestras analizadas son de características sódicas, mientras que entre los aniones se observa que el predominio está repartido entre el bicarbonato y el sulfato, siendo las de menor salinidad del tipo bicarbonatadas y las de mayor contenido salino, sulfatadas.

El nitrato, presente en la mayoría de las muestras analizadas, sólo supera los 45 mg/l, establecido como límite aceptable en aguas para consumo humano, en tres casos, con un máximo de 75 mg/l en el pozo N° 39.

El boro fue detectado en la totalidad de las muestras analizadas, no superando los 0,5 mg/l (valor límite en aguas potables) en poco más de la mitad de las muestras analizadas. Solamente en dos muestras supera los 3,0 mg/l fijados como límite en aguas para riego según las normas consideradas.

El tenor de fluoruro, alcanza un contenido elevado solo en la muestra del pozo N° 100 de Ampolla, con 5,5 mg/l, mientras que en un gran porcentaje de estas muestras no alcanza el mínimo recomendado para aguas de consumo humano.

Por su parte entre los metales trazas, el hierro y el manganeso no ha sido detectado en un elevado porcentaje de muestras.

Lo contrario sucede con el arsénico, que solamente en dos muestras no fue detectado (Pozos N° 136 y 509), estando presente en el resto de las muestras analizadas y superando en casi un 50 % de las mismas los 0,010 mg/l establecidos como máximo permisible para agua potable.

El cadmio, el cinc y el cobre no fueron detectados en la mayoría de las muestras y en los casos en que están presentes su concentración es muy baja, no afectando la calidad de estas aguas para consumo humano.

Respecto a la calidad de estas aguas para riego, en general de acuerdo a su conductividad eléctrica el agua es de clase C2 y C3 es decir que poseen una peligrosidad salina entre media y moderada según el criterio del laboratorio del Riverside, mientras que los valores de RAS clasifican a la mayoría de estas muestras entre S2 y S3 (peligrosidad sódica entre media y alta). En un 16,7 % de las muestras analizadas el contenido de boro es superior a 1 mg/l, lo que limita el uso de estas aguas para cultivos sensibles a este elemento. Asimismo en muchos casos, al igual que sucede con las aguas superficiales, la calidad de estas aguas se ve desmejorada al considerar el Carbonato de Sodio Residual (CSR). El uso de aguas de irrigación con un CSR por encima de 2,50 (asociados con el contenido de carbonatos y bicarbonatos en las aguas) puede provocar la sodificación de los suelos.

El régimen pluviométrico en la región en estudio es Continental Subtropical Atlántico, con lluvias fundamentalmente estivales.

La precipitación media anual en la zona en estudio presenta una gran irregularidad interanual y espacial. Sobre la base de las curvas isoyetas medias anuales, se infiere que en la cuenca en estudio la precipitación media anual es del orden de 717 mm al sur; 654 mm en el centro y unos 647 mm en el sector oeste.

Aproximadamente el 83% de las precipitaciones anuales ocurren en forma de lluvia entre los meses de octubre y marzo, asociados a la estación estival. El resto, 17% de las medias anuales, se producen en el semestre invernal abril-septiembre.

En general, tanto en magnitud como en frecuencia, los meses más lluviosos son enero, febrero y marzo. Por el contrario, las menores frecuencias mensuales se presentan en general en agosto, con valores inferiores a 2 mm. Normalmente en las estaciones pluviométricas de la comarca, los menores valores de las precipitaciones medias mensuales son los registrados en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

El volumen precipitado medio anual en la cuenca se estima en 681.03 hm<sup>3</sup>/año.

En la cuenca estudiada, la recarga media anual al reservorio subterráneo, calculada con criterio conservador, en los años de pluviosidad media, es de aproximadamente 102 hm<sup>3</sup>/año, mientras que en los años de pluviosidad abundante es de 204 hm<sup>3</sup>/año y en los de pluviosidad escasa es de 51 hm<sup>3</sup>/año.

La superficie implantada irrigada con agua subterránea en el año 2014 se estima en unas 14727 ha, correspondiendo 10823 ha al ciclo de verano y 3904 ha al ciclo de invierno.

La superficie irrigada antes mencionada e identificada a partir de las imágenes satelitales Landsat 8, se interpreta como el área mínima a considerar para los ciclos de verano e invierno de 2014.

El volumen anual de extracción de agua subterránea destinada a riego en el año 2014, estimado según el régimen de funcionamiento de perforaciones y según el requerimiento de los cultivos y las precipitaciones, converge en un valor del orden de los 40 hm<sup>3</sup>, valor éste inferior a la recarga estimada al reservorio subterráneo.

Como conclusión relevante del estudio hidrogeológico preliminar de la cuenca de Santa Rosa, se puede señalar que la variación de los niveles de agua subterránea en el período 2010 – 2014, como así también las estimaciones de la recarga al acuífero subterráneo y de la extracción por bombeo de pozos, no evidencian que se esté produciendo para la superficie actual cultivada estimada, sobreexplotación del recurso hídrico subterráneo; es decir, no se extrae del reservorio acuífero más agua de la que se repone.

En el área de trabajo se identificaron zonas con aptitud alta a media para la explotación de agua subterránea aplicada al riego de los cultivos presentes. Tales zonas resultaron de la evaluación conjunta de las variables conductividad eléctrica del agua subterránea, RAS y espesor sedimentario saturado. En forma discriminada, el área de estudio puede considerarse apta desde el punto de vista de su calidad (representada por las variables conductividad eléctrica y RAS); mientras que considerando su cantidad

(representada por el espesor saturado) varía entre las condiciones apta y no apta. Por lo expuesto el espesor saturado resulta el factor limitante de la aptitud en las zonas identificadas.

## **15. RECOMENDACIONES**

El progreso obtenido en la investigación hidrogeológica realizada se considera importante pero no definitivo ya que el conocimiento alcanzado es susceptible de mejoramiento.

Por ello y a fin de proteger los recursos hídricos de la región, se sugiere preparar y poner en práctica un programa tendiente a continuar con la toma de información interdisciplinaria efectuando estudios de detalle de tipo hidrogeológicos, geofísicos, hidrológicos e hidroquímicos según se indican seguidamente.

Realizar prospección geofísica – geológica de subsuelo a fin de precisar la geometría de la cuenca sedimentaria portadora de acuíferos y sus características geológicas e hidrogeológicas. Esta prospección se deberá realizar intercalando SEV entre los ya realizados a fin de disminuir el distanciamiento medio entre los mismos, especialmente en la zona de Los Altos y Bañado de Ovanta.

Controlar periódicamente los niveles piezométricos realizando mediciones de niveles de agua subterránea dos veces al año; una antes de iniciar la época de bombeo intensivo y otra al finalizar la misma. Asimismo, efectuar control de conductividad eléctrica (CE), pH y temperatura del agua. A tal efecto se adjunta una propuesta, perfectible por cierto, de una red de monitoreo (Lámina 30).

Efectuar un control del volumen anual extraído por los pozos destinados a riego, aprovechando el equipamiento con caudalímetros que poseen algunos e instalándolos en aquellos pozos que no lo poseen. Ello a fin de establecer el balance hidrológico e hidrogeológico de la cuenca.

Realizar ensayos de bombeo con una duración tal que permitan determinar las características hidráulicas del acuífero explotado.

Controlar, al menos cada dos años, la calidad del agua extraída por las perforaciones. Para ello deberán efectuarse análisis físico – químicos completos, a los efectos de conocer se evolución con la explotación.

Instalar, donde no lo hubiere, y atender una red pluviométrica integrada por instrumental distribuido racionalmente en el área de la cuenca, a los efectos de obtener información que permita la correlación de los datos que en el futuro se observen con los registros antes observados.

Recopilar periódicamente la información de los pluviómetros, caudalímetros y demás datos registrados, en los distintos establecimientos para poder ampliar la base de datos y así llevar un mejor control de los registros.

Ajustar al máximo posible las magnitudes de los diversos términos integrantes de la ecuación del balance hidrológico de la cuenca, fundamentalmente el volumen precipitado, la extracción de agua subterránea y los volúmenes de recargas, éstos discriminados según la principales cuencas de recepción y aporte.

Se aconseja que, sobre la base de los estudios hidrogeológicos efectuados y de la sistematización de los datos hidrológicos y geológicos de subsuelo disponibles, se establezca y aplique un modelo matemático de cálculo numérico del sistema acuífero. La simulación del comportamiento hidrológico del reservorio subterráneo, permitirá asegurar la sustentabilidad actual de la extracción de agua subterránea y las disponibilidades del recurso para satisfacer requerimientos de futuros emprendimientos agrícolas.

En referencia al SIG Santa Rosa, se recomienda su permanente actualización y ajuste, a fin de servirse de su potencial como sistema de gestión y producción de información hidrogeológica.

Para dar respuesta a posibles inquietudes futuras respecto al desarrollo de cultivos diversos a los actuales; se sugiere la aplicación de las técnicas de Evaluación Multicriterio, con el objeto de orientar la identificación de zonas aptas a tal fin.

## **16.- BIBLIOGRAFIA**

Almaraz, María I, 1994. "Delimitación de acuíferos y calidad del agua subterránea en el Sector W del Departamento Santa Rosa. Provincia de Catamarca". Trabajo Final de Licenciatura en Ciencias Geológicas. Universidad Nacional de Catamarca Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas

Battaglia, Atilio A. C., 1982. Descripción Geológica de las Hojas 13f, Río Hondo; 13g, Santiago del Estero; 14g, El Alto; 14h, Villa San Martín; 15g, Frías. Provincias de Santiago del Estero, Catamarca y Tucumán. Servicio Geológico Nacional. Boletín N° 186. Buenos Aires.

Blasco Graciela, et al, 1994. Hoja Geológica 2966 – II. San Fernando del Valle de Catamarca. Provincias de Catamarca, Santiago del Estero y Tucumán. Secretaría de Minería de la Nación. Dirección Nacional del Servicio Geológico. Boletín N° 212. Buenos Aires.

Bonis Martín, Verónica, 2011. Decisión Multicriterio booleana, probabilística y posibilística borrosa de la distribución de Abies Pinsapo Boiss. Universidad Complutense de Madrid.

Bosque Sendra, Joaquín, 1992. Sistemas de Información Geográfica. España.

Bucich, N.; Gianni, R.; Guimaraes, R.; Sánchez, V.; Urnicia, J.; Luna, P. Estudio hidrogeológico de Llanura Norte. Provincia de San Luis. Informe Técnico IT – 277. Instituto Nacional del Agua. Centro Regional de Aguas Subterráneas (INA – CRAS). Junio de 2009.

Buzai, Gustavo D., Baxendale, Claudia A., 2011 Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Perspectiva científica. Temáticas de base raster2. Buenos Aires..

Buzai, Gustavo D., 2010. Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones. Universidad Nacional de Luján – GESIG. .

Dal Molin, Carlos N, et al, 2003. Hoja Geológica 2766 – IV. Concepción. Provincias de Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín N° 342. Buenos Aires.

Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (DPA). Informe: Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI). <http://www.dpa.gov.ar/clima/informes/NDVI.pdf>.

Dirección de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos de la Provincia de Catamarca, 2014. Base de Datos (Access) General – Santa Rosa – 2012 de puntos de agua (perforaciones y pozos excavados) y Base de Datos (Access) Perfiles Geológicos. Asimismo se suministraron Informes Técnicos de perforaciones realizadas por empresas privadas.

Dorrosoro. Carlos, 2001. Contaminación de suelos por sales solubles. Universidad de Granada. España.

Gao, Bo – Cai. NDWI. A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. Abril de 1996.

Gómez Delgado, Montserrat, 2010. Integración de técnicas de Evaluación Multicriterio y SIG. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. Madrid.

González Bonorino, F. 1978. Descripción Geológica de la Hoja 14f, San Fernando del Valle de Catamarca. Provincia de Catamarca y Tucumán. Servicio Geológico Nacional. Boletín N° 160. Buenos Aires.

Hatch, Prepared by Water Management Consultants, 2005. “Agua Rica Bankable Feasibility Study, Task 3, Site Water Balance Study. Report on Hydrologic Characterization”. Vancouver, BC, Canadá.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). Gobierno de España. Geoportail de Metadatos de Información Geográfica. (<http://metadatos.ign.es/web/guest/introduccion>).

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Guía práctica para el cultivo de trigo. Abril de 1997.

Jarsun, Rafael O.; Bustos, Verónica; Carnero, Mariana, 2008. Manual de uso e interpretación de aguas. Gobierno de Córdoba..

Morales, Aurelio, 2014. Metadatos. (<http://mappinggis.com/2014/05/trabajar-con-metadatos/>). 2014.

Organización Meteorológica Mundial, 1994 - Documento OMM, N° 168.

Paoli, H.; Volante, J; Noé, Y.; Mosciaro, M.; Vale, L.; Elena, H.. Monitoreo de cultivos del Noroeste Argentino a partir de sensores remotos. Cultivos de invierno y verano. Campañas agrícolas 2001 a 2014. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Pérez, D. Curso Introducción a los sensores remotos. Aplicación a Ciencias Naturales. Universidad Nacional de San Juan. Octubre de 2012.

Salvioli, Gerardo, 2010 - "Hidrología superficial del Campo del Arenal, Provincia de Catamarca". Capítulo II. CRAS IT-294. San Juan, diciembre de 2010.

Salvioli, Gerardo y Sánchez, Víctor, 2010 - "Estudio hidrológico y geomorfológico del cauce medio del río Santa María – Selección de sitios aptos para el emplazamiento de estaciones de aforo", Departamento Santa María, Catamarca. Realizado para Minera Agua Rica. CRAS IT-287. San Juan, mayo 2010.

Sánchez, Víctor, Salvioli, Gerardo y Damiani, Oscar, 1997 -- "Caracterización climática de las áreas Iglesia (San Juan), Campo del Arenal (Catamarca), La Puna (Salta), Famatina (La Rioja), Uspallata (Mendoza) y Sierra de San Luis (San Luis)", Tomos I (texto), II (datos) y III (datos), Programa de Apoyo al Sector Minero Argentino (PASMA). Convenio Fundación de la UNSJ - AIMSA - CÓNDOR. Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNSJ.

Senso, José A. , de la Rosa Piñero, Antonio, 2013. El concepto de metadato. Algo más que descripción de recursos electrónicos. España.

Servicio Meteorológico Nacional, 1958 – "Estadísticas Climatológicas 1941 – 1950". Publicación B1 N° 3. Buenos Aires. República Argentina.

Sistema Integrado de Información Agropecuaria, (SIIA). Imágenes Landsat 8 LDCM. <http://www.sii.gov.ar>.

Vaca, Alejandro, Victoria, Juan, Salvioli, Gerardo y otros, 2010 - "Estudio hidrogeológico en Campo del Arenal, Provincia de Catamarca". Informe Final. CRAS IT-295, San Juan, diciembre de 2010.

Villanueva Martínez, Manuel, Iglesias López, Alfredo, 1984. Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Madrid.

## **ANEXO 13.a**

# **SISTEMATIZACION DE LA CUENCA DE LOS ARROYOS LA POSTA Y EL SUEÑO TÉRMINOS DE REFERENCIA**

Aportado por:

**ING. ANÍBAL COMBA**

*Comité de Cuenca del Río Salí Dulce*

*Organismo Interjurisdiccional*

*Prov. de Córdoba, Santiago del Estero, Tucumán, Catamarca y Salta  
y Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.*

**COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO**

**MAYO 2017**

**TERMINOS DE REFERENCIA**

**SISTEMATIZACION DE LA CUENCA DE LOS ARROYOS LA POSTA Y EL SUEÑO**

**PROVINCIA DE TUCUMAN**



## **TÉRMINOS DE REFERENCIA GENERALES**

### **SISTEMATIZACION DE LA CUENCA DE LOS ARROYOS LA POSTA Y EL SUEÑO**

#### **I. ANTECEDENTES**

La hidrografía de la provincia de Tucumán está integrada por una densa red de cursos fluviales que evacúan las aguas de los faldeos orientales del Sistema del Aconquija y de las Cumbres Calchaquías hacia un curso principal de agua, constituido por el río Salí.

La principal característica de esta cuenca es el paso abrupto de un ambiente de montaña que alcanza los 5.500 msnm hasta los 400 msnm, con un corto cono de deyección que sirve de transición entre un tipo de pendiente abrupto, y la llanura Chaco-pampeana. En total, el área montañosa involucrada ocupa una superficie de aproximadamente 1.000.000 de hectáreas, los valles intermontanos unas 400.000 ha y el pedemonte puede estimarse en unas 200.000 ha. A esto hay que agregar unas 400.000 ha de llanura y llanura deprimida. La cobertura vegetal de esta superficie conforma un mosaico complejo de pastizales, arbustales, al menos 5 distintos tipos de bosque nativo, campos de pasturas y cultivos. Solamente se conoce en detalle la superficie cubierta por cultivos, que representa alrededor de un 20% de la superficie total.

Este notable gradiente altitudinal determina una variedad de climas: condiciones subtropicales, y precipitaciones muy elevadas en el pedemonte oriental; templadas con un extenso período de lloviznas y niebla a latitud media; típico clima del alta montaña subtropical con marcados extremos térmicos en las zonas cumbreales y, desiertos de altura (< 200 mm anuales) en las laderas occidentales, afectadas por el efecto topográfico de “sombra de lluvia”.

Las lluvias en todo el gradiente siguen un régimen monzónico, caracterizado por veranos húmedos con grandes volúmenes de precipitaciones de carácter torrencial, que determinan pulsos de crecientes de gran poder erosivo y de alto riesgo por su peligrosidad, seguido de un período invierno-primaveral con valores mínimos de precipitaciones. Las mayores precipitaciones ocurren en la región Pedemontana (500 a 1.500 m.s.n.m.), donde caen alrededor de 2.000 mm anuales. Desde allí decrece hacia el Oeste, con registros de 200 a 500 mm en la zona de valles de altura. Hacia el Este, a medida que se ingresa a la llanura Chaco-pampeana, la precipitación disminuye hasta los 500 mm en las cercanías de la provincia de Santiago del Estero.

La torrencialidad de las precipitaciones estivales asociada a la inestabilidad de laderas y a una distribución no planificada de los asentamientos humanos en el llano, determina frecuentes problemas de aluviones e inundaciones que afectan viviendas, campos agrícolas, obras de infraestructura y colmatación de embalses. La zona montañosa y la zona pedemontana inmediata, constituyen un área donde se producen las mayores precipitaciones y consecuentemente, los procesos erosivos son más activos.

Por otro lado, en los últimos 20 años se ha producido una importante transformación cultural en la provincia, con la expansión que ha tenido el cultivo del citrus, en detrimento del cultivo de caña de azúcar. En la región del Pedemonte, donde se realiza una agricultura intensiva (caña, citrus y frutihorticultura) y se encuentran suelos de origen aluvial y relieves colinados y ondulados, las fincas citrícolas han avanzado sobre remanentes de selva pedemontana y presentan en su mayoría, procesos de erosión en cárcava, destrucción de márgenes de cursos naturales, crecimiento acelerado de arroyos etc., que producen toneladas de sólidos que se vuelcan sobre los ríos que las transportan agua abajo.

Tal es el caso de un sector de la cuenca comprendida entre las coordenadas 27°.45´ a 28°00´ de Latitud Sur, y los 65°30´ a 65°45´ de Longitud Oeste, la cual se encuentra atravesada por una serie de arroyos tales como A° El Sueño; A° La Posta; A° El Suncho; A° Manitala y A° Pueblo Viejo, muy próximos entre sí, con un área de influencia de 25.000 ha. Estos cursos de agua que alcanzan en promedio

módulos superiores a 40 m<sup>3</sup>/seg durante la época de avenidas, se desarrollan desde el oeste hacia el noreste, buscando su nivel de base constituido por el Río Marapa, el cual desemboca en el Embalse de Río Hondo, produciendo inundaciones, con arrastre de grandes cantidades de sedimentos, anegamientos de campos de cultivo, como así también la destrucción de caminos y otras obras. Este proceso dinámico de cambio de estos arroyos que se manifiesta en un proceso de erosión retrograda longitudinal de sus perfiles y en el avance de cárcavas desde aguas abajo hacia aguas arriba, tiene como principal origen la acción antrópica sobre la selva del pedemonte<sup>1</sup>. Dentro de éstos, el que anualmente ocasiona cuantiosas pérdidas en las zonas de cultivo es el Arroyo El Sueño, ubicado en las cercanías del poblado La Cocha al sur de la provincia, por no disponer de un cauce definido para desembocar en el Río San Francisco (afluente del Marapa), haciendo uso de canales vecinales, cunetas y la propia ruta provincial No 334 como cauce.

En este contexto se hace necesario formular un proyecto ejecutivo de manejo de la escorrentía, cuyo objetivo sea controlar los escurrimientos de este curso de agua mediante medidas estructurales y no estructurales que permitan corregir gradualmente en el tiempo, los estados de inestabilidad geomorfológica de los Arroyos La Posta y El Sueño, hasta alcanzar niveles adecuados de estabilización.

## **II. OBJETIVO DEL PROYECTO O PROGRAMA PARA EL CUAL SE HACE EL ESTUDIO.**

El objetivo principal del proyecto es el control de los escurrimientos y la corrección gradual en el tiempo de los estados de inestabilidad geomorfológica de los Arroyos La Posta y El Sueño, hasta alcanzar niveles adecuados de estabilización. El objetivo secundario del proyecto es servir de experiencia piloto para evaluar la eficiencia y eficacia de las medidas de control de la erosión que se implementen.

## **III. PROPÓSITO DEL ESTUDIO PROPUESTO**

El propósito del estudio es definir a nivel de proyecto ejecutivo, las intervenciones estructurales y no estructurales, necesarias para detener el avance de los procesos erosivos (cárcavas) y la recuperación de la infraestructura pública destruida o afectada. Las soluciones considerarán, al menos, cuatro tipos de intervenciones posibles: (1) la estabilización de las cárcavas en los cauces en su actual posición a fin de detener su migración hacia aguas arriba, (2) la protección de taludes y la realización de estructuras transversales (saltos) para disminuir la pendiente longitudinal del río y llevarla a un perfil de equilibrio por tramos, (3) la canalización de los cauces y (4) medidas de conservación estructurales y no estructurales en la cuenca alta y media.

## **IV. COMPONENTES DEL ESTUDIO.**

El estudio que se llevará adelante incluye como componentes los que a continuación se detallan:

### **1. Análisis de los procesos hidrológicos y geomorfológicos de la cuenca**

Este componente incluye la realización de los estudios de base y el análisis del comportamiento fluvial y geomorfológico de los cursos de agua, a fin de establecer las soluciones de ingeniería y manejo adecuadas para: (i) detener el avance de la cárcava por erosión retrograda, y (ii) establecer condiciones de equilibrio geomorfológico en el perfil longitudinal de los arroyos. Los estudios involucrados en este componente son los siguientes:

---

<sup>1</sup> Sobre la base de la fotointerpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas tomadas en 1988, el área de cultivo en ese año era de 7.130 ha (28.8 % de una superficie total de 24.780 ha); sin embargo nuevas mediciones efectuadas en el año 2000 mostraron que la superficie cultivada era de 21.426 ha, es decir un 84,4 % del área de influencia de estos arroyos, lo que significa que para el período 1968-2000 fueron desmontadas 17.650 ha.

- a) *Recopilación de información de base. Se deberá recopilar toda la información existente para poder desarrollar los análisis hidrológicos y geomorfológicos que permitan definir las soluciones de ingeniería y manejo. Se complementará la información recopilada con mediciones específicas in situ, y con consultas a productores de la zona y a funcionarios de organizaciones locales,*
- b) *Análisis hidrológico. Se realizará un análisis del régimen histórico y actual de los Arroyos para definir sus condiciones hidrológicas de funcionamiento,*
- c) *Análisis geomorfológico. Se realizarán mediciones para poder estimar las condiciones de equilibrio geomórfico de los cauces (pendiente por tramos),*
- d) *Resumen de los resultados.*

## **2. Definición de las soluciones de ingeniería y manejo**

Este componente incluye la definición de las medidas específicas para alcanzar los tres objetivos propuestos: (1) detener el avance de las cárcavas por erosión retrograda, (2) diseñar una o varias medidas (saltos) para estabilizar el perfil longitudinal de los Arroyos y (3) canalización de los Arroyos en su cuenca baja. Este componente incluye:

- a) *Diseño hidráulico del proyecto estructural para detener la migración de la cárcava por tramos, mediante diques de contención, de retención, de consolidación y saltos, para llevar la pendiente del cauce a una pendiente de equilibrio dinámico,,*
- b) *Diseño de obras de control lateral para estabilizar barrancas débiles en lugares críticos, confiriéndoles a las mismas la resistencia suficiente para que la erosión hídrica no las socave.*

Diseño de un subproyecto de canalización y estabilización del Arroyo La Posta y del A° El Sueño hasta su descarga.

El criterio de diseño será la búsqueda de soluciones óptimas que se puedan justificar en términos de los daños que eviten y que sean, además, sostenibles en el sentido de requerir costos de operación y mantenimiento que puedan ser afrontados por los beneficiarios directos e indirectos. Se deberá presentar más de una alternativa, si su comparación dependiera de factores que fueran inciertos al momento de hacer las estimaciones.

## **3. Medidas de conservación para la cuenca alta y media**

Este componente tiene por objetivo la definición y propuestas de medidas correctivas, tanto estructurales como no estructurales, que deben ser aplicadas en la cuenca alta y media y particularmente aquellas tendientes a resolver situaciones de conflicto que se presentan por uso inadecuado de los suelos.

## **4. Generación de documentación a nivel de proyecto ejecutivo**

Este componente se orienta generar los documentos (pliegos licitatorios) para poder contratar e implementar las soluciones -tanto de ingeniería como no estructurales- definidas, así como las acciones futuras de monitoreo que serán necesarias para determinar la eficiencia y la eficacia de las soluciones propuestas.

## **V. ACTIVIDADES PARA CADA COMPONENTE**

Las actividades para cada componente serán las siguientes:

## **1. Para el componente 1:**

- 1 Recopilación de antecedentes regionales sobre la cuenca y entrevistas a productores y funcionarios de organismos públicos de la zona.
- 2 Estudios sobre información base y análisis de información:
  - a) Consolidación de las series históricas de datos hidrológicos y geomorfológicos (características geológicas y sedimentológicas del cauce principal y su planicie de inundación) disponibles,
  - b) Aforos líquidos y sólidos para estimar balances de masa y posible afluencia de agua subterránea.
3. Relevamiento topográfico a partir de un perfil longitudinal y perfiles transversales cada 100 metros, con relevamiento de detalle para aquellas zonas que requieran de obras puntuales.
4. Estudio hidrológico, que incluya:
  - a) identificación y caracterización de los principales parámetros hidrológicos en la cuenca y su influencia en el flujo de los cauces principales,
  - b) desarrollo de un modelo de paso de crecidas en los cauces que requieran el diseño de obras de ingeniería.
  - c) establecimiento de velocidades y tensiones de corte (velocidades críticas) por tramos de los cauces que requieran obras de ingeniería.
5. Estudio geomorfológico que incluya:
  - a) descripción sedimentológica de los cauces principales y su planicie de inundación,
  - b) análisis conceptual causa-efecto de la influencia de los principales cambios históricos (estructurales y no estructurales) en el sistema,
  - c) estimación de transporte sólido promedio asociado a crecidas de alta y baja recurrencia mediante la aplicación de ecuaciones de transporte total de sedimentos,
  - d) determinación de zonas de erosión y sedimentación activa en la cuenca,
  - e) estimación de un balance anual de sólidos total y por tramos del sistema,
  - f) estimación de perfiles de equilibrio a lo largo del cauce principal.
6. Resumen de conclusiones de los estudios hidrológico y geomorfológico, enumeración de aspectos clave y recomendaciones para la definición de las soluciones de ingeniería buscadas.

## **2. Para el componente 2:**

7. Diseño de obras para detener el avance de las cárcavas por erosión retrograda. El diseño de las mismas se realizará procurando la solución óptima –un objetivo del proyecto es encontrar soluciones que puedan ser aplicadas en otras subcuencas de la cuenca del río Salí- y que sean también sostenibles, por implicar costos de operación y mantenimiento reducidos, respondiendo a criterios ambientales, sociales, económicos y técnicos.

Incluye:

- a) Definición de: formas estructurales resistentes (diques de retención, diques de consolidación, obras laterales de control, represamientos, etc.), dimensionamiento, y materiales de construcción a utilizar,
- b) Estimación de las condiciones hidráulicas de funcionamiento de la estructura para caudales de alta y baja recurrencia,
- c) Verificación de estabilidad frente a procesos de erosión local para caudales de alta y baja recurrencia.

- d) Recomendaciones específicas para su construcción.
  - e) Evaluación de Impacto Ambiental.
8. Diseño de saltos para controlar el perfil longitudinal de los cauces por tramos en su cuenca baja y media. Incluye:
- a) Definición de: formas estructurales resistentes, dimensionamientos, y materiales de construcción a utilizar para cada obra,
  - b) Estimación de las condiciones hidráulicas de funcionamiento por tramo para caudales de alta y baja (crecidas) recurrencia,
  - c) Verificación de la estabilidad de las estructuras y del perfil de equilibrio, para caudales de alta y bajo recurrencia. Idealmente este punto y el anterior podrían implementarse mediante un modelo de simulación hidráulica.
  - d) Recomendaciones específicas para la construcción de las obras.
  - e) Evaluación de Impacto Ambiental.
9. Elaboración de un subproyecto de canalización de los Arroyos en la cuenca hasta el sitio de descarga, compatible con las medidas de control de la erosión definidas en la actividad 8.
- a) Evaluación de Impacto Ambiental.

### **3. Para el componente 3**

- 10. Clasificación de los distintos tipos de uso de suelo, superficies con sistemas de conservación de suelos, planialtimetría, geomorfología, red hidrográfica con nomenclatura, conformando un Sistema de Información Geográfica en Formato Digital para software libre.
- 11. Antecedentes de la evolución y tendencias de cambio en el uso del suelo (incendios, expansión de frontera agrícola, cambios en los tipos de cultivo, etc.).
- 12. Propuestas de medidas de carácter estructural y no estructural para la reducción de la erosión hídrica de tipo laminar, control de cárcavas y conservación de suelos, compatibles con las capacidades y con la disposición a colaborar con el proyecto de los productores y de las organizaciones locales de los lugares elegidos. Esto debe confluir en una Propuesta de manejo integrado de la cuenca, desde la perspectiva productiva, legal, social y ambiental. Diseño de un Plan de Monitoreo del impacto de las medidas correctivas propuestas. Evaluación de Impacto Ambiental.

### **4. Para el componente 4**

- 13. Generación de memorias descriptivas y planos necesarios para la construcción de las obras diseñadas, para la implementación de las medidas no estructurales y para la organización e implementación del monitoreo del impacto de esas acciones. Elaboración de una Evaluación Multicriterio de las alternativas propuestas.
- 14. Elaboración del Informe Final.

El estudio será llevado a cabo por los siguientes consultores:

Consultor 1, Coordinador del Estudio. Ingeniero Civil o Ingeniero hidráulico, especializado en proyectos de infraestructura y desarrollo de recursos hídricos, con experiencia en estudio y desarrollo de proyectos de inversión en infraestructura hídrica y/o riego, con amplio conocimiento en los temas de gestión de recursos hídricos, manejo de cuencas y ordenamiento territorial.

Consultor 2. Ingeniero Civil o Ingeniero Hidráulico con experiencia en el análisis de cuencas y sistemas fluviales, modelación de procesos hidráulicos y de transporte de sedimentos, y calculo de obras de infraestructura hídrica.

Consultor 3. Geólogo, Geomorfólogo o Ing. Hidráulico, con experiencia en procesos fluviales y transporte de sedimentos.

Consultor 4. Geodesta o Agrimensor, con experiencia en levantamientos topográficos de obras hidráulicas.

Consultor 5. Ingeniero Agrónomo, con experiencia en conservación de suelos y en medidas de control de erosión y manejo integrado de cuencas.

**VII.VI. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.**

Con formato: Numeración y viñetas

ACTIVIDAD	MESES					
	1	2	3	4	5	6
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						

### Presentación de Informes integrados

	Meses			
	1	2	3	4
Informes integrados	Avance		Estudios Básicos y Proyectos de Ingeniería	Informe Final

### **IX.VII. PRODUCTOS ESPERADOS DEL ESTUDIO**

Con formato: Numeración y viñetas

#### **1. Documentación a entregar**

La documentación a entregar consta de los siguientes informes:

- P1. Informe Estudios Básicos.
- P2. Informe Estudio hidrológico.
- P3. Informe Estudio Geomorfológico.
- P4. Informe Estudio sobre medidas estructurales para control de perfil longitudinal y taludes.
- P5. Informe Estudio sobre medidas estructurales para la Canalización de los Arroyos hasta su descarga.
- P6. Informe Propuestas de medidas de manejo para la protección de la cuenca alta y media
- P4. Documentación a nivel de pliegos licitatorios para la ejecución de las obras y la implementación de las medidas no estructurales y del monitoreo del impacto de esas acciones
- P5. Informe Final.

**MONTO ESTIMADO TOTAL DEL ESTUDIO:** pesos.

## **ANEXO 13.b**

### **PLAN MAESTRO DE MANEJO DE CUENCA HÍDRICA BAÑADO DE OVANTA, LOS ALTOS, LA COCHA TÉRMINOS DE REFERENCIA**

Autor: Ing. Marcelo Arzelán & Asociados, Salta, Noviembre de 2015

Aportado por:

**ING. ANÍBAL COMBA**

*Comité de Cuenca del Río Salí Dulce*

*Organismo Interjurisdiccional*

*Prov. de Córdoba, Santiago del Estero, Tucumán, Catamarca y Salta  
y Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.*

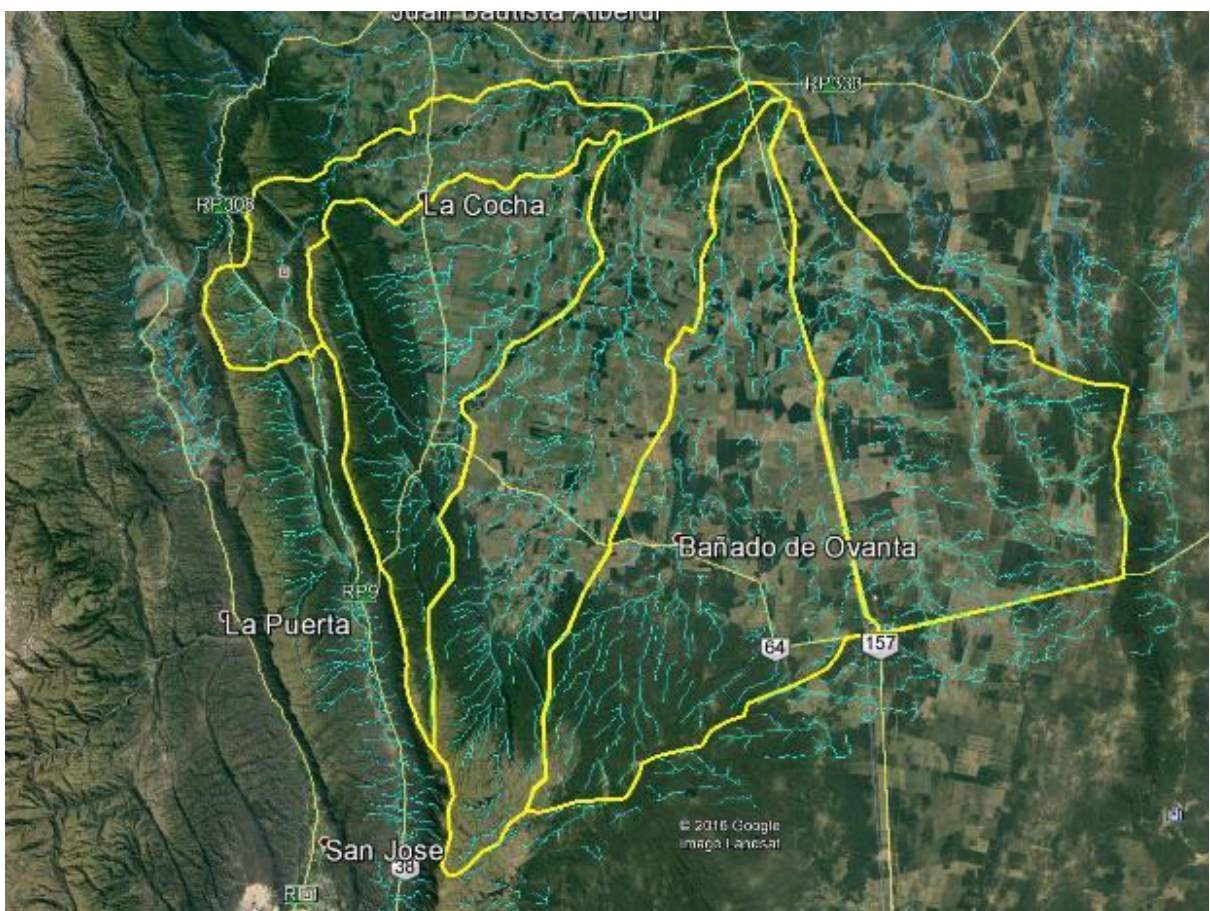
**COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO**

**MAYO 2017**



# PLAN MAESTRO DE MANEJO DE CUENCA HÍDRICA

## BAÑADO DE OVANTA, LOS ALTOS, LA COCHA PROVINCIA DE TUCUMÁN



Ing. Marcelo Arzelán & Asociados



NOVIEMBRE DE 2015



---

## INTRODUCCIÓN

En las subcuencas de influencia de Bañado de Ovanta, Los Altos y La Cochase produjeron durante los últimos años severos daños por erosión hídrica, como consecuencia de un marcado desbalance de cuencas. Esto se viene manifestando con signos de deterioro de suelo, cárcavas y pérdida de infraestructura que, en muchos casos, es alarmante.

La manera idónea de abordar esta problemática es realizando manejo de cuencas, es decir teniendo una visión holística integral. Así, se propone comenzar con un estudio de escenario, que permita conocer el funcionamiento de toda el área en el contexto de cuencas, para la elaboración de un plan maestro director. Luego, de este Plan Maestro Director se irán desprendiendo los Proyectos Ejecutivos puntuales para la ejecución de obras.

### **Objetivos:**

- Ordenamiento de la Cuenca Hídrica
- Manejo de los Recursos Hídricos y Forestales
- Manejo y Conservación de Suelos, Control de Erosión
- Protección de la Infraestructura Pública (rutas, puentes, redes eléctricas, pueblos, etc.)
- Conservación del Medio Ambiente y del Paisaje

Cumplir con los objetivos, permitirá controlar la erosión hídrica, favorecer la infiltración del agua de lluvia y por lo tanto aumentar los caudales de las vertientes, controlará el desborde de los arroyos protegiendo aguas abajo la infraestructura existente, como ser: pueblos, áreas cultivadas, rutas y caminos, acueductos, represas, redes de energía eléctrica, etc.



También favorecerá el mantenimiento de la **biodiversidad** y permitirá que las actividades a desarrollar en la cuenca **tengan un enfoque ecológico y productivosustentable.**

## UBICACIÓN

Las subcuencas se encuentran ubicadas en el Sur de la Provincia de Tucumán y Norte de la provincia de Catamarca.

## PROBLEMÁTICA

Las **subcuencas**, comprenden tres sectores: Alta Cuenca, zonas de serranías, pendientes 15%-más de 30%, precipitaciones 900-2000 mm/año, Cuenca Media (piedemontes), pendientes 1-15%, precipitaciones 800-1500 mm/año, con agricultura y ganadería y Cuenca Baja, pendientes 0,2-1%, precipitaciones menores a 600-900 mm/año, dedicados a agricultura y ganadería.

Este “dibujo” variado de las cuencas, funciona como una **UNIDAD**, obligando al manejo integral desde la alta a la baja cuenca, porque el agua de lluvia en su recorrido, **no piensa, no sabe, ni entiende**, las acciones de la **actividad antrópica**, que provoca cambios significativos en los caudales de escurrimiento.

Así, el cambio en el uso de la tierra, es decir el paso de cobertura de monte natural a situaciones productiva en algunos casos y urbanas en otros, provoca sistemáticamente incremento en los caudales de escurrimiento. Entonces, los distintos usos de la tierra, tales como urbanización, ganadería, agricultura, recreación, turismo, etc., comprometen la sustentabilidad, aumentando el escurrimiento superficial.

Esta situación puede provocar daños en los campos, contribuyendo a la degradación, con erosión en las partes altas y sedimentación y anegamiento en las



partes bajas. No obstante, generalmente las mayores consecuencias de destrucción se producen en la infraestructura pública.

La solución para estos daños se logrará de manera sustentable tomando como **Unidad Operativa la Cuenca Hídrica.**

## TÉCNICAS DISPONIBLES EN EL MARCO DE MANEJO DE CUENCAS

✓ **Agronómicas:** para alta y media cuenca, manejo silvo pastoril, enriquecimiento del bosque nativo, desbajado e implantación de pasturas y para cuenca media y baja, siembra directa, rotación, coberturas, cultivos en curvas de nivel.

✓ **Estructurales:** terrazas, canales de guardia y colectores, saltos, control de cárcavas, rastrillos, represas para amortiguación y cosecha de agua, biorrollos.

## BENEFICIOS

✓ **Nivel de predio (interno):** evitar daños por erosión, conservar y aumentar la disponibilidad de agua de lluvia para consumo humano, lograr la sustentabilidad productiva.

✓ **Nivel extrapredial (externo):** reducción de daños en infraestructura pública, menor sedimentación, disminución del anegamiento. Menores costos de mantenimiento o reparación de daños. Mejoramiento de condiciones para mantener/recuperar la biodiversidad. Menores costos de sistematización, principalmente en técnicas estructurales.

## OBJETIVO



Lograr la sustentabilidad de las cuencas, aplicando técnicas agronómicas y estructurales, para controlar los excedentes superficiales de agua de lluvia y cosechar esos excedentes para aumentar la disponibilidad de agua, en un contexto de gestión de Cuenca Hídrica.



---

## ESTRATEGIA

Para encarar el Manejo Integral de Cuencas en el área planteada, es necesario **elaborar un proyecto**, donde la **Unidad Operativa** sean cuencas de distintos grados.

Para abordar el trabajo técnico se propone 2 instancias de avance hasta llegar a la ejecución efectiva de los trabajos:

- I) Anteproyecto de manejo integral de las subcuencas.  
Desarrollo del plan maestro.
- II) Proyecto ejecutivo de manejo de microcuencas integrantes del plan maestro.

A nivel de anteproyecto se conocerá las obras necesarias y los costos a nivel de escenario.

En una segunda instancia, se puede ajustar los estudios a nivel de detalle de manera tal de lograr avanzar en la realización del Proyecto Ejecutivo de una o más microcuencas, en el cual se conocerá el detalle de obras a diseño final y los costos ajustados de ellas.

Una vez logrado el Proyecto, se podrá avanzar concretamente a la Ejecución del mismo.

En esta propuesta se presupuesta el punto (I), es decir el Anteproyecto con el Plan Maestro de Manejo de Cuencas, ya que el costo del Proyecto Ejecutivo dependerá de las obras específicas que se deban realizar y surgirán del Anteproyecto.



---

## PROPUESTA DE TRABAJO PARA REALIZAR EL ANTEPROYECTO Y PLAN MAESTRO DE MANEJO DE CUENCAS

Para el Manejo Integral Sustentable de las Cuencas en estudio, se desarrollarán los estudios básicos (suelo, agua, vegetación, uso de la tierra), topográficos e hidrológicos.

De este estudio surgirán las técnicas agronómicas y estructurales, óptimas para la conservación de los recursos naturales, control de erosión, la recarga de acuíferos y para la cosecha de agua de lluvia para distintos fines.

### **METODOLOGÍA**

#### **Análisis de antecedentes. Características del área de estudio:**

-Ubicación.

-Caracterización Climática: se utilizarán datos disponibles de por lo menos 20-30 años de estaciones meteorológicas de la zona de estudio. Se incluirá información de lluvias, temperatura, balance hídrico y clasificación climática.

-Caracterización de los suelos y vegetación, se incluirá información en base a antecedentes y chequeos a campo.

#### **Estudio de Vegetación y Ambiente**

El Estudio de Vegetación y Ambiente permite considerar la inserción de las Microcuenca en la cuenca y en función de ello realizar una planificación integral sostenible, es decir conocer el contexto para lograr un proyecto integral. Este estudio se realiza sobre la base de distintas combinaciones de bandas de Imágenes



Satelitales que aportan información sobre suelos, cursos de agua, vegetación, pendientes, etc.

### **Relevamiento con Dron, (VANT, Vehículos aéreos no tripulados)**

Con esta tecnología se puede obtener la información cartográfica básica, con sencillez y exactitud, sobre todo facilita el relevamiento en áreas inaccesibles, como serranías y áreas con monte. Es una técnica eficaz, porque brinda información clara y precisa y eficiente debido a su simplicidad, bajo costo y también permite delimitar claramente el relieve y topografía. Consiste en capturar imágenes aéreas precisas (ortomosaicos) y transformarla en modelos 2D y 3D) (mapas) de alta precisión. En términos de resolución se pueden lograr ortomosaicos con una exactitud del modelo / 3D de aproximadamente por debajo de 4,5 cm) por píxel - significativamente más altos que los actuales satélites. Sumada a esta información se obtienen además el relevamiento topográfico del área sobre la que se vuela con una densidad de puntos importante.

En este proyecto se realizará, el relevamiento de detalle con dron en los sectores que se necesite en particular porque las obras específicas lo requieran. De esta manera se generará un modelo digital con toda la información integrada en archivos SIG.

### **Relevamiento Planialtimétrico de apoyo.**

Se realizará el relevamiento planialtimétrico de áreas puntuales que sirvan de apoyo topográfico para el desarrollo del estudio. A realizar con un G.P.S. Geodésico de doble frecuencia RTK 220 canales, con capacidad de captación de señales GPS y GLONNAS y GALILEO en tiempo real, para la obtención del plano de curvas de nivel, que es el trabajo clave y básico para la realización del estudio de la cuenca. Se complementara con el uso puntual de un dron de última generación para la generación de imágenes ortorectificadas y modelos tridimensionales de algunas áreas.





## **Estudio Geomorfológico de la Cuenca.**

Generación de información con software específico GIS en donde se deberá plasmar datos como:

- Modelos de elevación Digital de la subcuenca donde se inserta la microcuenca de estudio, con curvas de nivel cada 1 m, 2 m, 5 m y 10 m. (según corresponda).
- Delimitación las distintas cuencas y subcuencas y áreas de aporte menores.
- Dirección de Flujo del Agua.
- Acumulación de Flujo de Agua.
- Cursos de agua.
- Altitudes de las subcuencas y microcuencas, con la correspondiente clasificación altitudinal de la misma.
- Tipos de cobertura vegetal detectadas.
- Delimitación de las distintas unidades fisiográficas y/o geomorfológicas y la red de drenaje natural.

El análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia. Para cada subcuenca se determinará, superficie, modelo digital de elevación, pendiente, parámetros de forma, curva hipsométrica.

## **Cálculos Hidrológicos**



Tormenta de diseño: que es un valor primordial para el diseño hidrológico, permite visualizar la distribución temporal de la tormenta y los caudales de salida. Para su determinación se utilizará las lluvias de 24 hs, ya que no se cuenta con datos de pluviógrafo que permitan realizar curvas de IDR. Se utilizará el método de bloques alternos.

Caudal pico, para su determinación se utilizará el método de la Curva Número del Servicio de Conservación de Suelos de USA. Se determinará las abstracciones hidrológicas, los grupos hidrológicos de suelo, uso y cobertura de la tierra, condición de humedad antecedente, escurrimiento y caudal pico.

Simulación Hidrológica, se utilizará el programa HEC-HMS, que simula crecientes para una determinada tormenta de diseño y periodo de retorno. Esta simulación requiere datos de la subcuenca, tramos de ríos y la confluencia de los mismos.

Volumen medio escurrido anual, para estimar el volumen de agua a almacenar o retener, resulta el volumen de agua que produce una cierta cuenca durante un año, en términos medios. Se calcula mediante datos del área de la cuenca, un coeficiente de escurrimiento (C) y la precipitación media anual.

### **Elaboración del Diagnóstico General de la Cuenca.**

En base a la información disponible y a la generada se deberá hacer un “Diagnóstico” general, que incluya los siguientes aspectos:

- Caracterización del área de estudio y topografías relevantes
- Inserción de las Subcuencas en la Cuenca.
- Ubicación de las vías naturales de evacuación de agua.
- Limitantes de suelos en base a la información existente



- Sectorización de áreas por caracterización climatológica (precipitación, temperatura, evapotranspiración). Dependiendo de la existencia de registro de datos.
- Sectorización general de áreas de cobertura vegetal. Dependiendo de la existencia de registro de datos.
- Sectorización general por caracterización hidrológica de suelos en función de los datos disponibles. Dependiendo de la existencia de registro de datos.
- Establecimientos de las limitantes generales que tienen las subcuencas menores.
- Determinación de los factores generales que afectan la erosión hídrica y otros procesos de degradación a nivel de subcuencas menores.
- Sectorización general de áreas de riesgo por erosión hídrica.
- Evaluación del potencial de aprovechamiento del escurrimiento del agua de lluvia en base a la cosecha de agua.

### **Elaboración del Anteproyecto de Manejo de Cuencas y Cosecha de Agua para la Cuenca Las Costas.**

En base a la información disponible y a la generada se elaborará el Anteproyecto de manejo de cuencas (control de erosión y cosecha de agua), que incluirá los siguientes aspectos:

- Plano con delimitación de las subcuencas que componen Cuenca.
- Técnicas estructurales y no estructurales que componen del Anteproyecto. Obras a realizar, anteproyecto de las mismas.
- Escenario económico de inversión para implementar el Manejo de Cuencas y Cosecha de Agua en toda la Cuenca.

Ing. Marcelo Arzelán & Asociados





## PRODUCTOS A ENTREGAR

### 1. Informe Técnico:

**A.- Memoria Descriptiva:** En el que se explicitan y se desarrollan todos los análisis realizados para la obtención de los datos. En este informe quedan expuestas las metodologías y los fundamentos técnicos con los que se llegaron a los resultados. Descripción de las subcuencas, suelos, limitantes de suelos, modelos digitales de elevación, cobertura vegetal, uso de la tierra, precipitaciones. Parámetros morfométricos (longitud, área, perímetro, pendiente promedio, pendiente del cauce principal, altitudes, coeficiente de compacidad), coeficiente de escurrimiento, volumen medio escurrido anual, escurrimiento específico. Anteproyecto, represas para la cosecha de agua, dimensiones, capacidad de almacenamiento, volumen de suelo para la construcción del muro, terrazas, canales.

### B.- Planos temáticos:

- ✓ Hidrografía.
- ✓ Vías de escurrimiento.
- ✓ Suelos.
- ✓ Limitantes de suelos.
- ✓ Modelos digitales de elevación.
- ✓ Cobertura Vegetal.
- ✓ Uso de la Tierra.
- ✓ Precipitaciones.
- ✓ División en Subcuencas mayores y subcuencas menores.

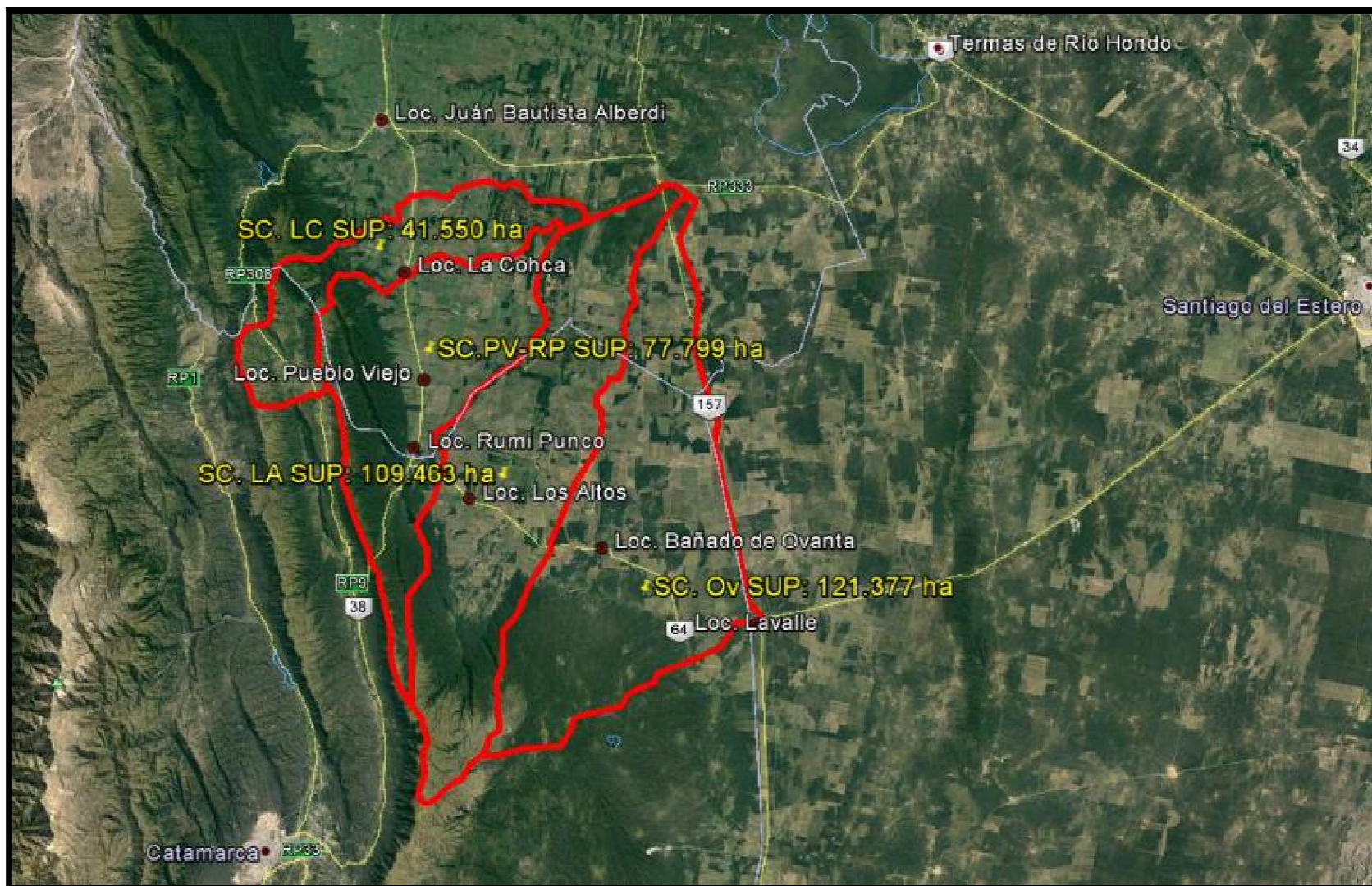


- ✓ Modelo digital de elevación
- ✓ Pendientes
- ✓ Coeficiente de escurrimiento.
- ✓ Riesgo de erosión hídrica.
- ✓ Volumen medio escurrido anual.
- ✓ Escurrimiento específico.
- ✓ Parámetros geomorfológicas de las subcuencas menores (longitud, área, perímetro, pendiente promedio, pendiente del cauce principal, altitudes, coeficiente de compacidad).
- ✓ Represas para cosecha de agua: dimensiones, proyecto preliminar

**2. Archivo en formato kmz/kml:** donde se encuentran todas las cuencas, subcuencas intermedias y subcuencas menores que se obtuvieron, como así también la información obtenida para cada una de ellas, esto posibilita el fácil acceso de la información generada a través de un programa como el Google Earth.

**3. Archivos en formato digital en ArcGIS:** Paquete de archivos donde se detallan todos los planos temáticos generados. Este formato posibilita que estos planos puedan seguir enriqueciéndose con nueva información actualizándose.

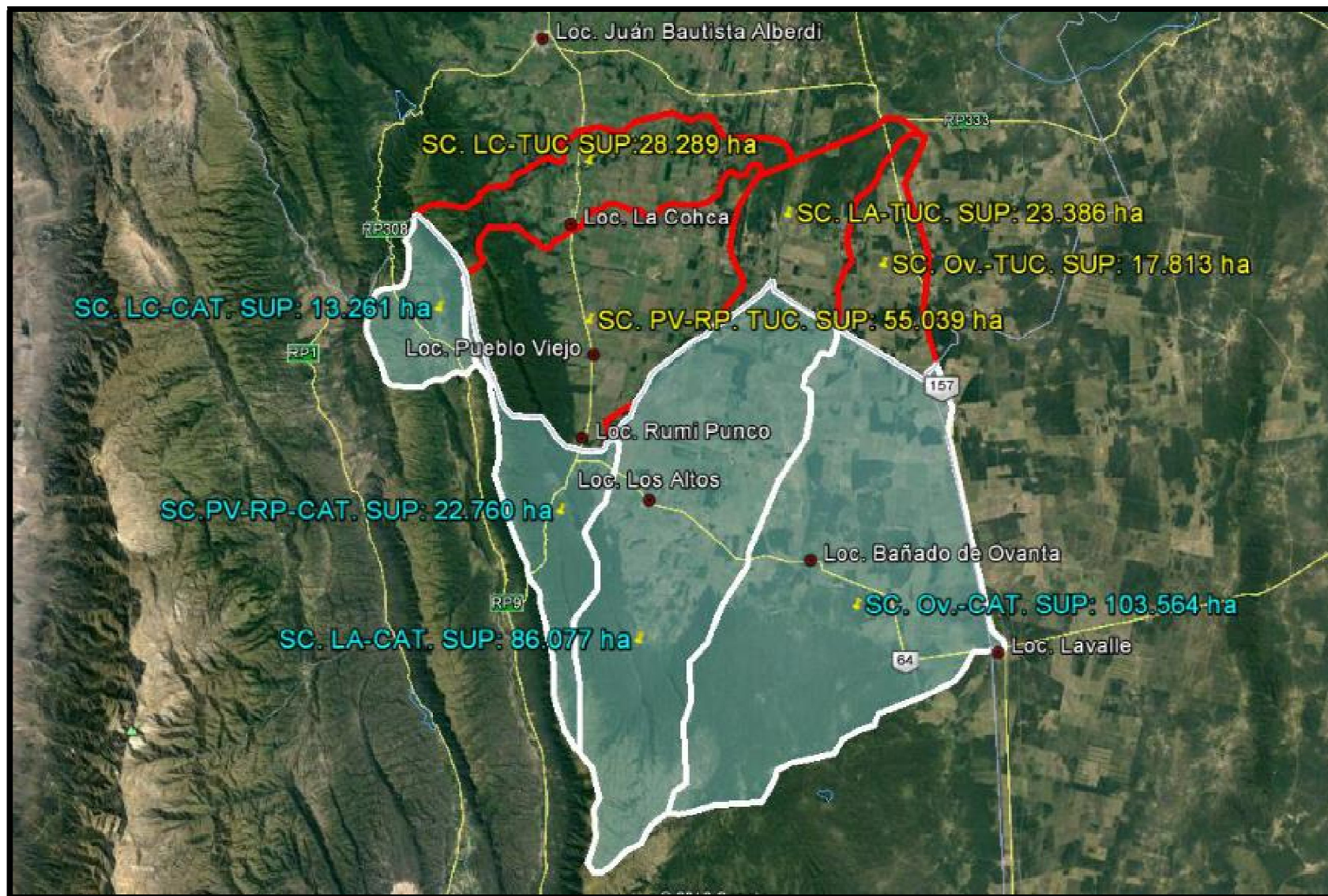
## ÁREA DE TRABAJO. SUBCUENCAS INVOLUCRADAS

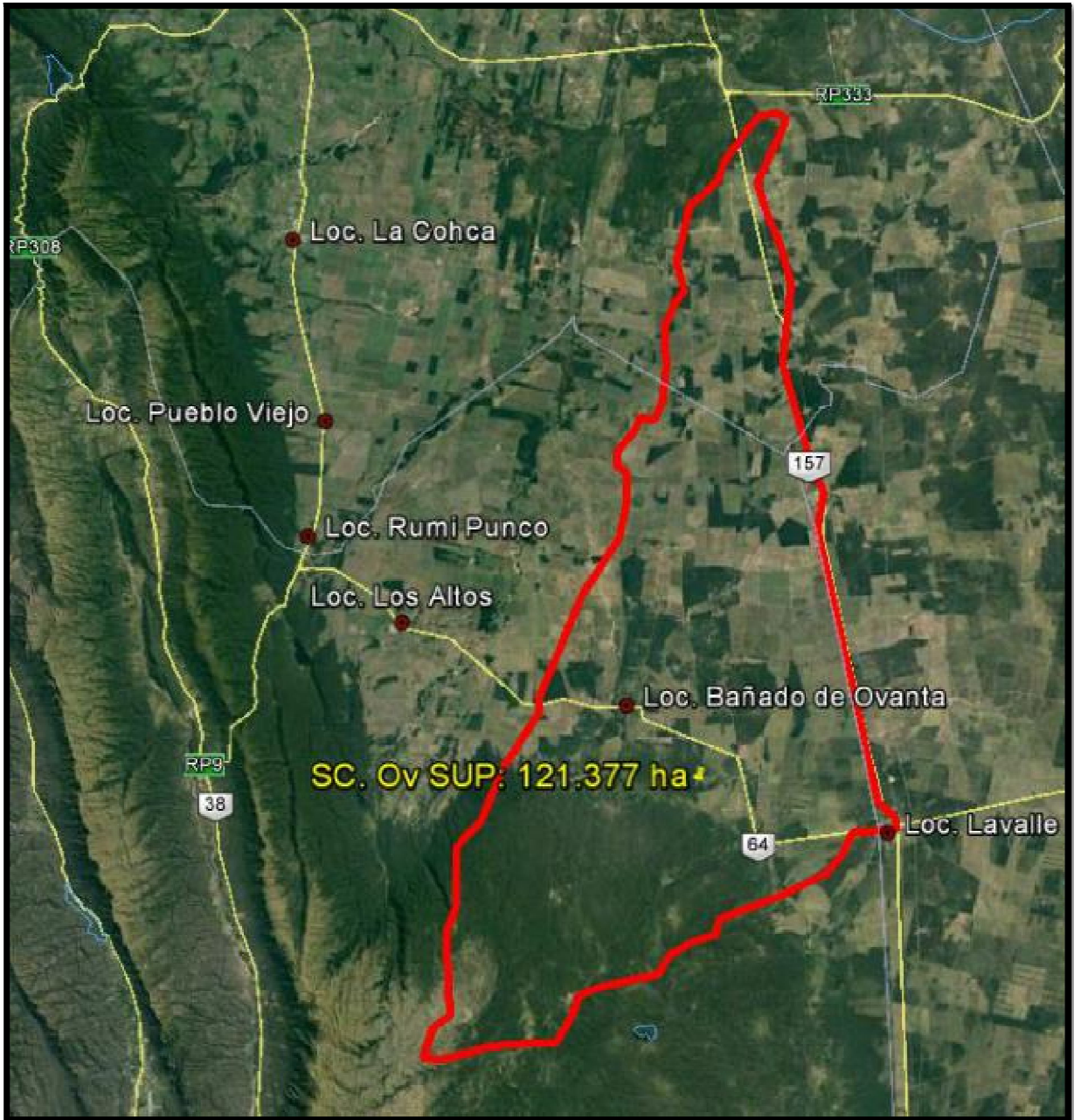


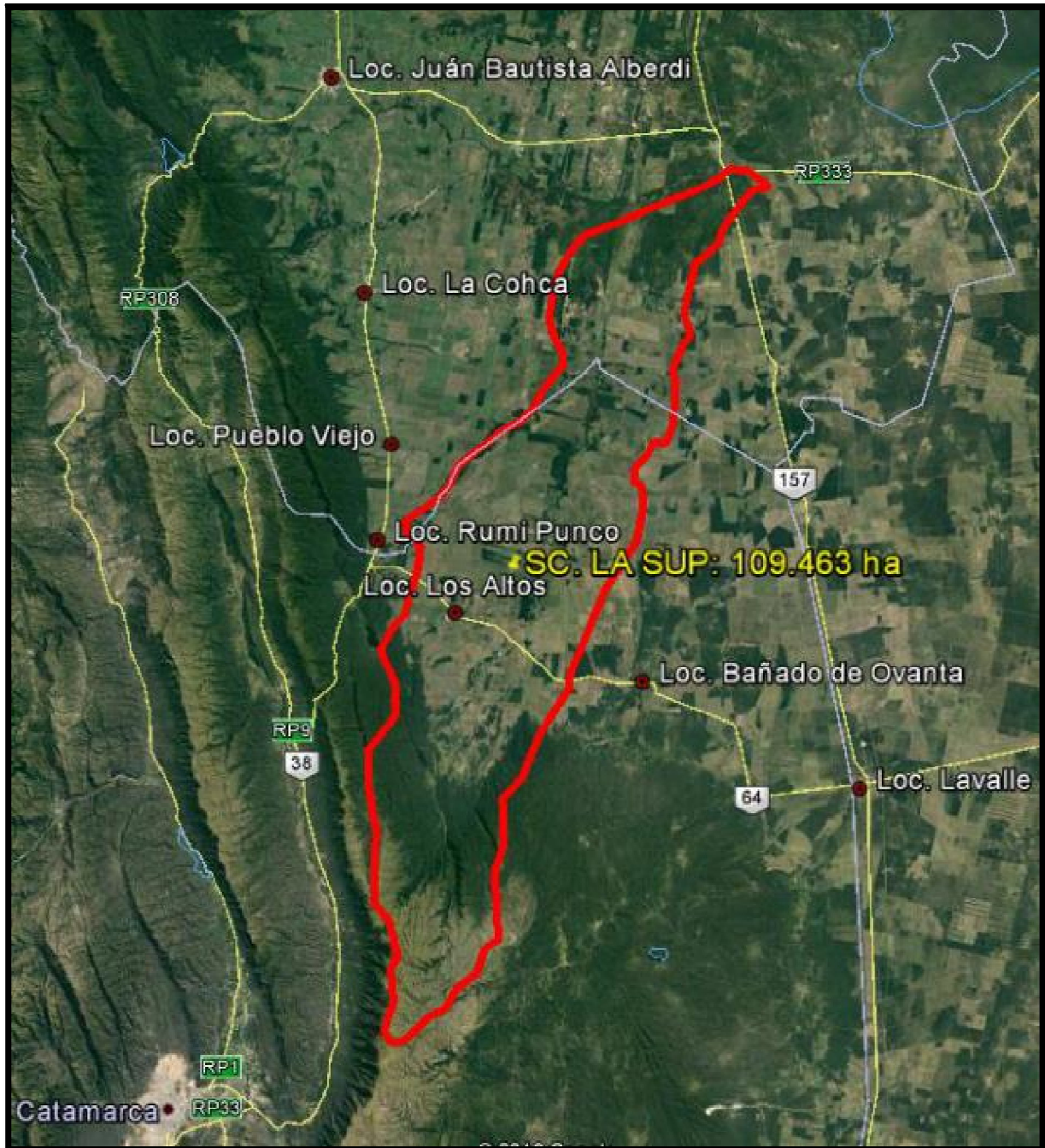
SC. LC: Subcuenca La Cocha; SC. PV-RP: Subcuenca Pueblo Viejo-Rumi Punco; SC. LA: Subcuenca Los Altos; SC. Ov: Subcuenca Bañado de Ovanta.

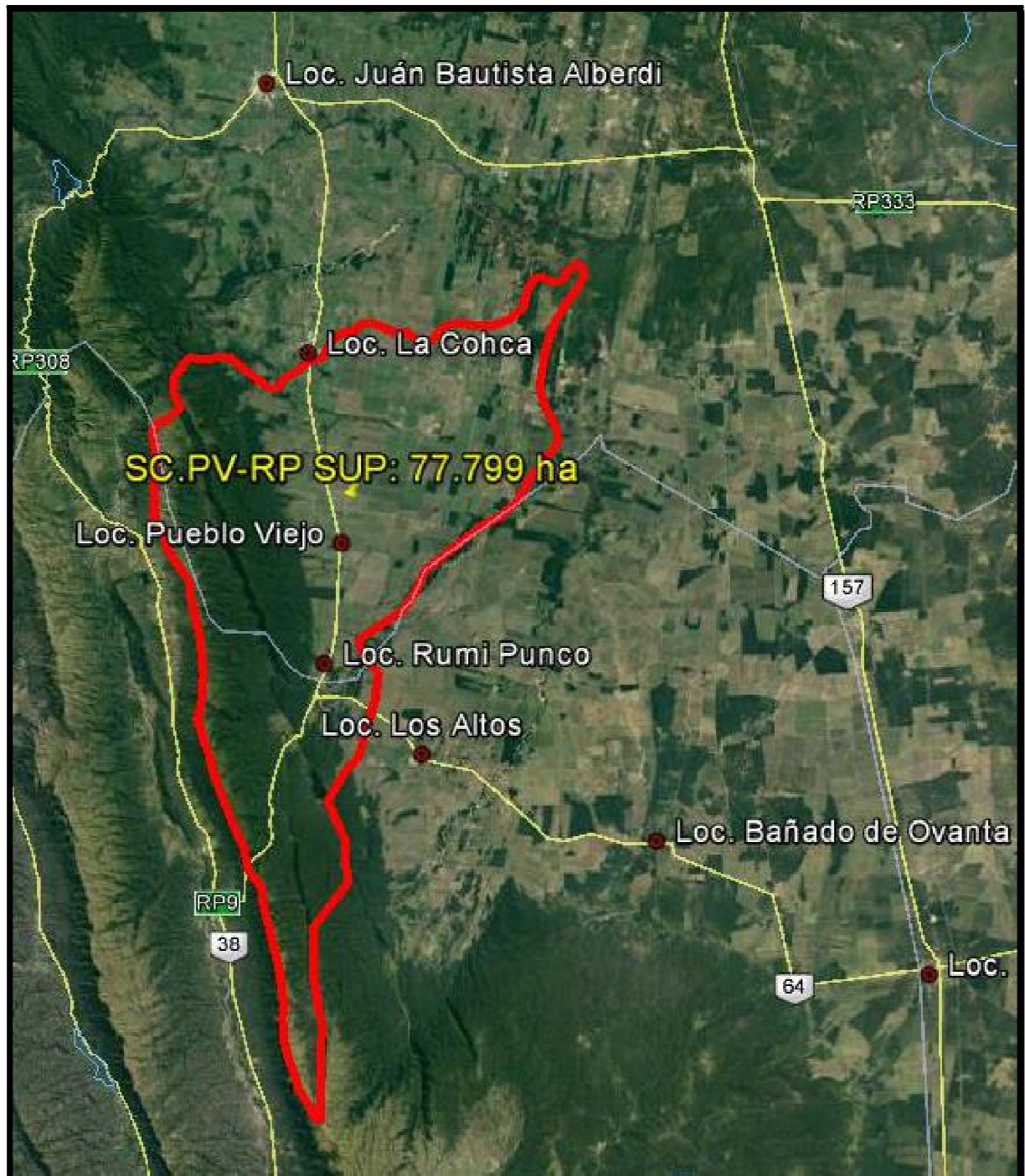


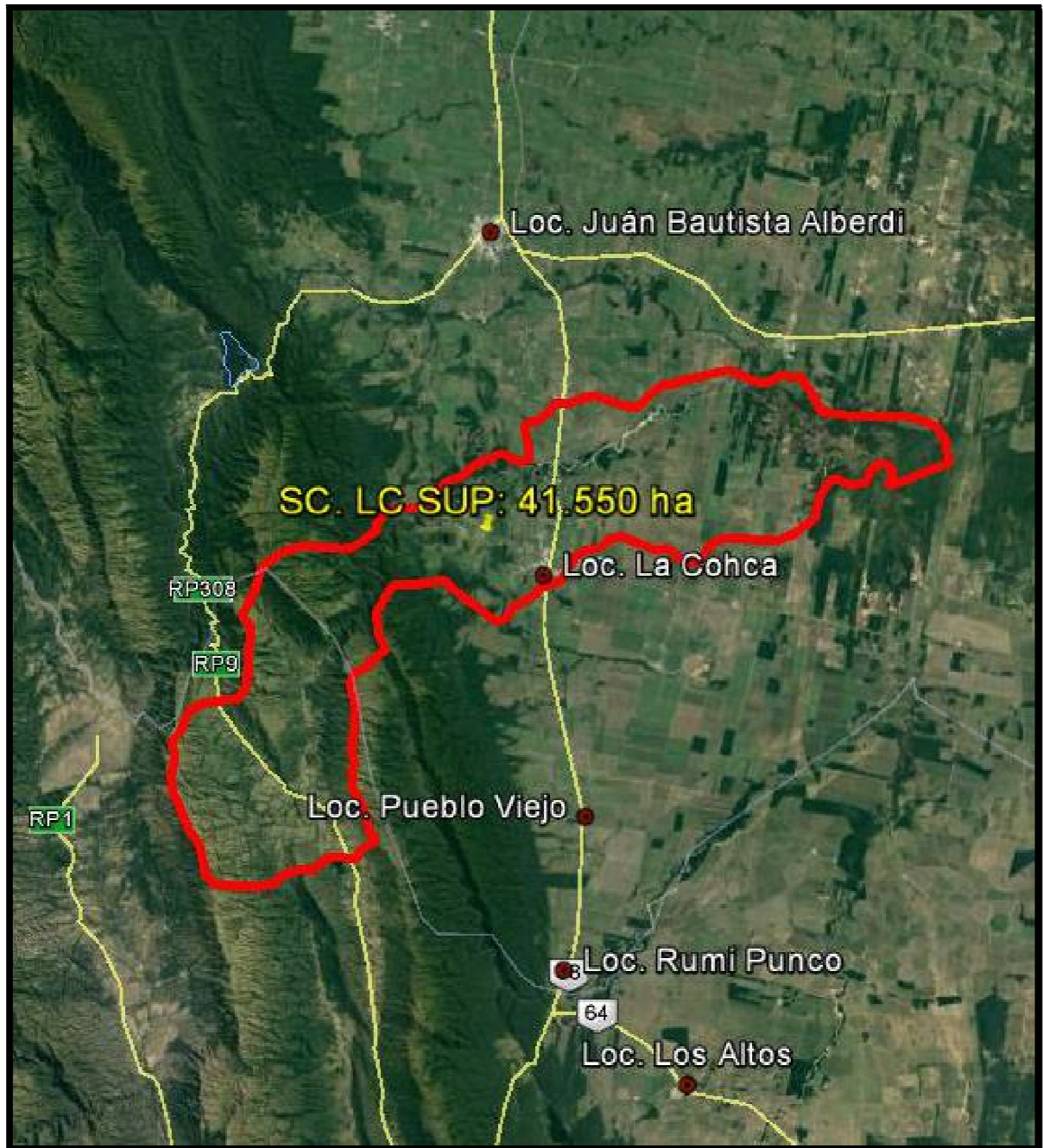














Subcuenca (SC) / Sup	Superficie Subcuenca en Catamarca		Superficie Subcuenca en Tucumán		Superficie Subcuenca total (ha)	
	Hectáreas	% de la Subcuenca	Hectáreas	% de la Subcuenca	Hectáreas	% del Total
Bañado de Ovanta	103.564	85%	17.813	15%	121.377	35%
Los Altos	86.077	79%	23.386	21%	109.463	31%
Pueblo Viejo-Rumi Punco	22.760	29%	55.039	71%	77.799	22%
La Cocha	13.261	32%	28.289	68%	41.550	12%
<b>Total</b>	<b>225.662</b>	<b>64%</b>	<b>124.527</b>	<b>36%</b>	<b>350.189</b>	<b>100%</b>

## EQUIPO DE TRABAJO, PRESUPUESTO Y TIEMPO DE EJECUCIÓN.

Para la realización de los trabajos detallados se afectará un equipo interdisciplinario de 16 técnicos:

### **Equipo de trabajo:**

- ✓ Cinco Ingenieros Agrónomos especializados en Manejo de Cuencas.
- ✓ Dos Ingenieros en Rec. Naturales y Medio Ambiente especializados en Sistemas de Información Geográfico y Manejo de Cuencas.
- ✓ Dos Ingenieros Civiles.
- ✓ Un Socioeconomista.



- ✓ Un Geólogo.
- ✓ Un Biólogo.
- ✓ Dos Técnicos especializados en manejo de G.P.S y equipos de topografía.
- ✓ Dos Técnicos especializados en Manejo de Drones de alta precisión.

**Equipamiento:**

- ✓ Dos Drones eBee de última generación para fotografía aérea de alta precisión.
- ✓ Equipos G.P.S GNSS RTK de 220 canales de alta precisión.
- ✓ Equipos G.P.S. Trimble de Doble Frecuencia alta precisión.
- ✓ Estaciones totales, Niveles Ópticos.
- ✓ Computadoras, Impresoras, Cámaras Fotográficas, Banco de imágenes satelitales, CAD y SIG.
- ✓ Camionetas 4x4.

**PRESUPUESTO:** Para la realización de los trabajos descriptos hasta llegar a Anteproyecto y Plan Maestro de Manejo de Cuencas en las subcuencas referidas, se propone un costo de U\$S0,68 / hectárea + IVA

El tiempo necesario para la ejecución de los trabajos es de 6 meses.

**Forma de pago:** un anticipo y cuotas mensuales a convenir.



Nota 1: si se considera necesario, se pueden ir desarrollando en paralelo al Anteproyecto y Plan Maestro de Manejo de Cuencas uno o más proyectos ejecutivos de Microcuencas que se consideren prioritarias, de manera tal de llegar a Mayo del 2017 con obras ejecutables.

Nota 2: con la obtención del Anteproyecto se tendrán los costos de las obras con una aproximación de +- un 15 %. El ajuste fino de costos se obtiene con el avance de los proyectos ejecutivos que se desprenderán del Anteproyecto. Por lo tanto, con los resultados del Anteproyecto y Plan Maestro se tendrá una aproximación muy cercana a la realidad y se conocerá qué le corresponde hacer al Estado y qué le corresponde hacer a los particulares.

Ing. Marcelo Daniel Arzelán  
Especialista en Manejo de Cuencas



## **ANEXO 14**

### **MINUTAS REUNIONES COMISIÓN PARA TRATAMIENTO PROBLEMÁTICA INUNDACIONES EN SUR DE TUCUMÁN (CIST)**

ING. EDUARDO MARTEL  
*Coordinador Equipo Técnico*  
*Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología*  
*Universidad Nacional de Tucumán*

COMISIÓN DE EMERGENCIA PARA EL TRATAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
INUNDACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN,  
ESTE DE CATAMARCA Y RÍO HONDO

MAYO 2017



Universidad Nacional de Tucumán



## MINUTA DE REUNION N° 001

### PROBLEMÁTICA INUNDACIONES SUR PROVINCIA DE TUCUMAN



<b>CONVOCADA POR :</b>	Plan Belgrano				
<b>Fecha de Reunión</b>	13/04/2017	<b>Hora de Inicio</b>	10:00	<b>Hora de Término</b>	12:30
<b>Lugar</b>	Sala de reuniones de DNV, San Miguel de Tucumán				
<b>Objeto de la Reunión</b>	Análisis de Situación, Diagnóstico Preliminar, Medidas Paliativas y de Largo Alcance para Tratamiento de Problemática Inundaciones zona Sur Provincia Tucumán				
PERSONAL PARTICIPANTE					Copia:
Nombre	Iniciales	Asiste	Cargo		
Sergio Lens	SL	✓	Coronel, coordinador por Ejército Argentino		✓
Pedro Madrid	PM	✓	Secretario de Obras DPVT		✓
Carlos Giobellina	CG	✓	Subsecretario de RH, Secretaría Medio Ambiente Prov. Tucumán		✓
Daniel Spagnolo	DS	✓	Plan Belgrano		✓
José Ricardo Ascárate	JRA	✓	Coordinador Infraestructura Plan Belgrano		✓
José Cano	JC	✓	Titular Unidad Plan Belgrano		✓
Jorge Chrestia	JCh	✓	Vocal Consejo Técnico Permanente DPVT		✓
Marcelo Nazur	MN	✓	Jefe de Área Pavimentos Flexibles DPVT		✓
Evaristo Lombana	EL	✓	Jefe 3er. Distrito DNV		✓
Claudio Bravo	CB	✓	Asesor Hidráulico Equipo Técnico FACET-UNT		✓
Raúl Natella	RN	✓	Unidad Ejecutora de la Provincia de Tucumán (UEP)		✓
Gustavo Ferrari	GF	✓	Teniente Coronel, Jefe Compañía de Ing. de Construcciones		✓
Eduardo Martel	EM	✓	Coordinador Equipo Técnico FACET-UNT		✓

Punto N°	ACCION/ ACUERDO	Fecha	Interviene	% Cum pl.	Carácter
<b>Diagnóstico preliminar, análisis de medidas paliativas inmediatas y mediatas, locales y extendidas a cuencas involucradas.</b>					
1	La problemática no es local, provincias con cuencas involucradas: Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, Córdoba.		SL		Informativo
2	Últimas temporadas, caudales de agua exceden globalmente la capacidad de transporte (mayores volúmenes, problemas en cauces ...). Unido a deforestación, colmataciones ... requiere recuperar capacidad de absorción, obras de retardo lagunas de delaminación ...		CG		Informativo
3	Innegable la responsabilidad del estado por la incidencia de falta de ordenamiento territorial. Debe tener un ordenamiento y ejercer su poder de policía. El desmonte aguas arriba Alberdi no debería haberse dado, por ejemplo.		CG		Informativo
4	De cara a los estudios necesarios se requiere coleccionar información básica: datos existentes y adquisición de datos no registrados hasta ahora. Por ejemplo, para topografía con curvas de nivel detalladas, imágenes de alta resolución se puede adquirir o se dispone del IGN?		CB		Consulta
5	Para avanzar, esta comisión debe distinguir entre temas a corto plazo y temas a mediano-largo plazo		SL		Propuesta

 Universidad Nacional de Tucumán	<b>MINUTA DE REUNION N° 001</b>	
	<b>PROBLEMÁTICA INUNDACIONES SUR PROVINCIA DE TUCUMAN</b>	

6	Itemizado preliminar abordaje problemática corto plazo: -Requerir imágenes de 5 m pixel a IGM -Pedir vuelos IGM zona Marapa y para apoyo zona Gastona-Medina -Solución vial rutas nacionales, provinciales y secundarias -Transitabilidad Zona Sacrificio, ruta nac. 127 y ruta prov. 334 -Relevamiento zona influencia -Apoyo Sistema Federal de Emergencias (SIFEM) para imágenes, maneja satélites		<b>SL y otros</b>		<i>Definición</i>
7	Ruta nacional 65 necesaria, está lo fundamental del proyecto desarrollado por DNV		<b>JRA y EL</b>		<i>Informativo</i>
8	Recuperar capacidad de retención dique Villa Lola (actualmente, totalmente colmatado), integrarlo a obras urgentes		<b>JRA</b>		<i>Informativo</i>
9	Hasta el 27 de marzo se estaba administrando una sequía, entre el 28 y el 31 se pasó al otro extremo. Cambio climático.		<b>CG</b>		<i>Informativo</i>
10	Será positivo rehabilitar el ferrocarril en zona Lamadrid. Básicamente tiene todo lo necesario para ponerlo en funcionamiento.		<b>CG</b>		<i>Informativo</i>
11	Cuenca baja e intermedia fue lo grave que generó el actual desborde. No tanto la cuenca alta (Se entregó impresos copias de análisis del evento del año 2000 presentado en Conagua 2007 y gráficos con las trazas de canalizaciones observadas en imagen google)		<b>CB</b>		<i>Informativo</i>
12	Prever la conformación de equipos de relevamiento de detalle para zonas puntuales de obras: caminos, puentes, protecciones, derivaciones ...		<b>JRA, RN y CB</b>		<i>Propuesta</i>
13	Itemizado preliminar y parcial abordaje problemática a mediano-largo plazo Relevamiento topográfico combinado: campaña tradicional, drones, vuelos, geoposicionamiento, fotogrametría ... Formulación plan limpieza y acondicionamiento cauces Formulación proyecto canalización zona Lamadrid		<b>SL</b>		<i>Definición</i>

Punto N°	TAREAS	Fecha	Responsable	% Compl.	Carácter
<b>Diagnóstico preliminar, análisis de medidas paliativas inmediatas y mediatas, locales y extendidas a cuencas involucradas.</b>					
1	Definir mediante coordenadas zonas de afectación a SIFEM para que provea imágenes existentes y consiga nuevas que la cubran.		<b>CB y CG</b>		<i>Acción</i>
2	Solicitar SIFEM imágenes existentes zonas de afectación y conseguir nuevas que la cubran		<b>SL</b>		<i>Acción</i>
3	Solicitar IGM vuelos para fotogrametría, aprox. 10 Km aguas arriba Marapa, hasta el dique frontal (Termas de Río Hondo)		<b>SL</b>		<i>Acción</i>
4	Relevamiento con drones para puente Bailey sobre RP 334 (Gabriel Palou, DPVT)		<b>PM</b>		<i>Acción</i>
5	Relevamiento en detalle con dron y apoyo terrestre de Lamadrid (Gabriel Palou, DPVT)		<b>PM</b>		<i>Acción</i>
6	Procesamiento de imágenes relevamiento dron y modelo digital por FACET-UNT		<b>EM</b>		<i>Acción</i>
7	Solicitar información Catamarca, estudios aguas subterráneas y estudios hidrogeomorfológicos, datos lluvias (estaciones Balcozna, Los Altos, Rodeo ...)		<b>RN, CG y CB</b>		<i>Acción</i>

**PRÓXIMOS EVENTOS:**

- 1) REUNIÓN Comisión: JUEVES 20/04, 8 hs, Sala de Reuniones DPVT (Mendoza 1565, S. M. de Tuc.)
- 2) REUNIÓN Comisión con Pablo Bereciartúa, titular de Subsecretaría de Recursos Hídricos Nación: JUEVES 20/04, por la tarde



Universidad Nacional de Tucumán

## MINUTA DE REUNION N° 002

### PROBLEMÁTICA INUNDACIONES SUR PROVINCIA DE TUCUMAN



<b>CONVOCADA POR :</b>	Plan Belgrano					
<b>Fecha de Reunión</b>	20/04/2017	<b>Hora de Inicio</b>	8:00	<b>Hora de Término</b>	10:30	
<b>Lugar</b>	Sala de reuniones de DPVT, San Miguel de Tucumán					
<b>Objeto de la Reunión</b>	Análisis de Situación, Diagnóstico Preliminar, Medidas Paliativas y de Largo Alcance para Tratamiento de Problemática Inundaciones zona Sur Provincia Tucumán					
PERSONAL PARTICIPANTE						Copia:
Nombre	Iniciales	Asiste	Cargo			
Sergio Lens	SL	✓	Coronel, coordinador por Ejército Argentino (EA)			✓
Gustavo Guridi	GG	✓	Coronel, Dirección de Ingenieros e Infraestructura, EA			✓
Gustavo Ferrari	GF		Teniente Coronel, Jefe Compañía de Ing. de Construcciones, EA			✓
Fernando Baratelli	FB	✓	Subsecretario de Obras Públicas Tucumán			✓
Ricardo Abad	RA	✓	Administrador DPVT			✓
Pedro Madrid	PM	✓	Secretario de Obras DPVT			✓
Jorge Chrestia	JCh	✓	Vocal Consejo Técnico Permanente DPVT			✓
Gabriel Palou	GP	✓	DPVT			✓
Mario Parrado	MP	✓	Jefe de Estudios y Proyectos DPA - Tucumán			✓
Carlos Giobellina	CG	✓	Subsecretario de RH, Secretaría Medio Ambiente Prov. Tucumán			✓
Daniel Spagnolo	DS	✓	Plan Belgrano			✓
José Ricardo Ascárate	JRA	✓	Coordinador Infraestructura Plan Belgrano			✓
José Cano	JC		Titular Unidad Plan Belgrano			✓
Francisco Bloser	FB	✓	Gerente Regional NOA - DNV			✓
Evaristo Lombana	EL	✓	Jefe 3er. Distrito - DNV			✓
Marcelo Nazur	MN		Jefe de Área Pavimentos Flexibles DPVT			✓
Raúl Natella	RN	✓	Unidad Ejecutora de la Provincia de Tucumán (UEP)			✓
Claudio Cattaneo	CC	✓	Unidad Ejecutora de la Provincia de Tucumán (UEP)			✓
Jorge Delgado	JD	✓	Experto uso de suelos Fac. de Agronomía y Zootecnia (FAZ) – UNT			✓
Claudio Bravo	CB	✓	Asesor Hidráulico Equipo Técnico FACET-UNT			✓
Leandro Díaz	LD	✓	Experto Hidráulico Equipo Técnico FACET-UNT			✓
Domingo Sfer	DSf	✓	Jefe Depto. Construcciones y Obras Civiles FACET-UNT			✓
Eduardo Martel	EM	✓	Coordinador Equipo Técnico FACET-UNT			✓

Punto N°	ACCION/ ACUERDO	Fecha	Interviene	% Cum pl.	Carácter
<b>Diagnóstico preliminar, análisis de medidas paliativas inmediatas y mediatas, locales y extendidas a cuencas involucradas.</b>					
1	El Coronel Garcés (Director de Ingenieros e Infraestructura, EA) proveerá imágenes LANSAT alta resolución del tablero del sur tucumano de hace 10 días y de 1-2 meses atrás, para evaluar transformaciones por lluvias de fines de Abril.		JRA		Informativo



Universidad Nacional de Tucumán

## MINUTA DE REUNION N° 002

### PROBLEMÁTICA INUNDACIONES SUR PROVINCIA DE TUCUMAN



2	<p>Asumiendo que la problemática excede el sistema Marapa-Escaba, necesidad de organizarse y definir plazos.</p> <p>Por cumbre Macri-Manzur, en 90 días:</p> <p>a-Corto plazo: obras de recuperación zonas más afectadas (La Madrid, pero también localidades menores), con proyectos mínimos: terraplenes, protecciones, caños de paso, alcantarillas, rehabilitación red caminos terciaria y secundaria para extracción producción.</p> <p>b-Mediano plazo: TdR proyectos. Obras a desarrollar en período de seca 2017</p> <p>c-Largo plazo: proyectos bajo convenios y lo que salga de TdR</p>		<b>RN, DS, JRA, RA</b>		<i>Informativo</i>
3	CB trajo valiosa información de Catamarca sobre cuenca alta. Reunión con Ministro de OP y con Secretario de Recursos Hídricos de Catamarca.		<b>RN</b>		<i>Informativo</i>
4	Se financiarán exclusivamente obras con proyectos. En 2017 se distinguió: en Gastona-Medina, desbordes; en Marapa, desastre.		<b>JRA</b>		<i>Informativo</i>
5	Está a disposición un inventario realizado por productores de La Cocha, Los Altos ... de lo necesario para sacar cosecha por caminos terciarios. Útil para orientar obras urgentes.		<b>CG</b>		<i>Informativo</i>
6	El problema que se manifestó en el Marapa es un síntoma que no se debe a un sólo factor como el manejo del Escaba. Hay que hablar de una nueva cuenca, por transformaciones de cauces y alteraciones de capacidad de insumir por desmontes. Las lagunas de delaminación planteadas hace tiempo ahora requerirían tener otro orden de magnitud. Canales amansadores, anchos y de baja altura.		<b>Varios</b>		<i>Informativo</i>
8	Necesidad de revisar legislación, certificados de no-inundabilidad, validez de cota 800 como límite absoluto? Terminar con el uso de rutas como canales de desagüe, mal manejo de suelos por productores (arado, nivelado según curvas de nivel inconvenientes). Concientización a Sociedad Rural		<b>Varios</b>		<i>Propuesta</i>
9	La problemática es de una cuenca compartida con Catamarca, necesario integrarlos		<b>CG</b>		<i>Propuesta</i>
10	Problemática altamente interdisciplinaria, compleja, requiere tiempo para propuesta de soluciones. Sistematización, ordenamiento de campos que excede a la DPA. En los 90 días se puede desarrollar los términos de referencia (TdR)		<b>MP y RA</b>		<i>Informativo</i>
11	Subcomisiones técnicas reducidas. Para su definición tomar como guía la Metodología Roldan '94 Cuenca Salí-Dulce, y los antecedentes de Agua y Energía. Actualizar estos trabajos y tomarlo como base. UNT puede dar continuidad a un estudio conducente a logros a largo plazo y apoyo a estudios puntuales a corto y mediano plazo		<b>PM, RA, JRA, EM</b>		<i>Propuesta</i>
12	Asociación de productores y disociación de reparticiones del estado es mala combinación. Tener en cuenta el manejo "tranqueras adentro". Secretaría de medio ambiente está involucrándose en el ordenamiento de terreno de grandes productores, coordinar y expandir los buenos ejemplos que hay en emprendimientos privados. Necesidad de articulación entre las reparticiones del estado provincial, desde una base de necesarios estudios básicos.		<b>CG y JD</b>		<i>Informativo</i>
14	Aporte UNT: coordinar un Plan Integral de Gestión de Recursos Hídricos sobre la base de antecedentes de estudios de, por ejemplo, Estudio Roldán, Cuenca de la sierra de San Javier, Gastona+Medina, planes de municipios puntuales.		<b>LD</b>		<i>Definición</i>
15	Cuestión La Madrid, es solucionable con obras paliativas (rectificación de cauces, canales de guarda, protecciones, polderización)? O relocalización total/parcial El análisis requiere modelación/simulación.		<b>JRA-LD</b>		<i>Consulta- Respuesta</i>



Universidad Nacional de Tucumán

## MINUTA DE REUNION N° 002



### PROBLEMÁTICA INUNDACIONES SUR PROVINCIA DE TUCUMAN

16	<p>Cifras: Se han desmontado 96.000 has en 33 años, de las cuales entre 60 y 70000 en los últimos 15 años. En Escaba han entrado 30 hm<sup>3</sup> de sedimento. Cóctel explosivo: Pozo+pivote+soja+diferimiento impositivo. Sobre suelos colapsibles se forman cárcavas irreversibles. Consecuencias: la cuenca se ha desequilibrado, nuevo escenario hidrogeomorfológico. Imperativo un ordenamiento que surja de estudio interdisciplinario Es viable La Madrid en su ubicación actual? Es el nuevo bañado (antes era Ovanta). Solamente con recuperación lenta y progresiva se puede controlar, nuevas e importantes áreas de delaminación. Mejorar manejo de presas (Escaba y Frontal), manejo unificado por ORSEP</p>					<p><b>CB y Varios</b></p> <p><i>Definiciones y Consulta</i></p>
17	<p>En Catamarca y en Comité de Cuencas existen TdR para sectores (Posta del Sueño, Noreste Catamarca...) que deben aprovecharse.</p>					<p><b>AC</b></p> <p><i>Propuesta</i></p>
Punto N°	CONCLUSIONES	Fecha	Respon sable	% Cumpl.	Carácter	
<b>Diagnóstico preliminar, análisis de medidas paliativas inmediatas y mediatas, locales y extendidas a cuencas involucradas.</b>						
1	<p>Los últimos desbordes e inundaciones y las evaluaciones preliminares efectuadas por esta comisión evidencian alteraciones de fondo que definen una nueva cuenca, nuevo escenario hidro-geomorfológico</p>				<i>Conclusión</i>	
2	<p>Las alteraciones detectadas son debidas a cambios de recurrencia de eventos naturales, deficiente uso de suelo y a evolución de problemas estructurales de la cuenca.</p>				<i>Conclusión</i>	
3	<p>Se requiere un plan integral de gestión y sistematización de la cuenca, comenzando por estudios básicos involucrando a Catamarca y Santiago y a las reparticiones provinciales tanto en recolección de datos, en estudios y análisis y en implementación de las políticas resultantes. Se cuenta con antecedentes como estudio de Roldán (Metodología) y descripción de la cuenca de Agua y Energía-CFI</p>				<i>Conclusión</i>	
4	<p>Se requiere la evaluación de la situación de las zonas críticas de los últimos eventos, para dar soluciones a corto plazo para población y productores más afectados.</p>				<i>Conclusión</i>	
5	<p>Para emitir un dictamen sobre La Madrid se avanzará con la determinación de las causas que provocaron su inundación, eventualmente con un modelado y la evaluación de la viabilidad de posibles soluciones de cara a próximos eventos</p>				<i>Conclusión</i>	
6	<p>Para lograr operatividad en el futuro de trabajará en subcomisiones, preliminarmente: 1-Información Básica Ej. Arg. (IGM) DPVT Catastro Tuc 2-Hidráulica DPA-SEOP SSRH UNT 3-Vial DNU-DPVT 4-Medio Ambiente, Conservación Suelo 5-Legales 6-Crisis Lamadrid y Zonas aledañas</p>				<i>Conclusión</i>	

#### PRÓXIMOS EVENTOS:

- 1) REUNIÓN Comisión con Pablo Bereciartúa : MIERCOLES 26/04, 9:30 hs. Sala de Reuniones Unidad Ejecutora de la Provincia de Tucumán (UEP) – Casa de Gobierno Tucumán.



Universidad Nacional de Tucumán

## MINUTA DE REUNION N° 003

### PROBLEMÁTICA INUNDACIONES SUR PROVINCIA DE TUCUMAN



<b>CONVOCADA POR :</b>	Plan Belgrano				
<b>Fecha de Reunión</b>	26/04/2017	<b>Hora de Inicio</b>	9:30	<b>Hora de Término</b>	12:45
<b>Lugar</b>	Sala de reuniones de UEP, Casa de Gobierno, San Miguel de Tucumán				
<b>Objeto de la Reunión</b>	Evaluación situación en base a resultados de primeros análisis. Inundaciones Sur Prov. Tucumán				
PERSONAL PARTICIPANTE					Copia:
Nombre	Iniciales	Asiste	Cargo		
Sergio Lens	SL		Coronel, coordinador por Ejército Argentino (EA)	✓	
Gustavo Guridi	GG		Coronel, Dirección de Ingenieros e Infraestructura, EA	✓	
Gustavo Ferrari	GF		Teniente Coronel, Jefe Compañía de Ing. de Construcciones, EA	✓	
Fernando Baratelli	FB	✓	Subsecretario de Obras Públicas Tucumán	✓	
Ricardo Abad	RA	✓	Administrador DPVT	✓	
Pedro Madrid	PM		Secretario de Obras DPVT	✓	
Jorge Chrestia	JCh		Vocal Consejo Técnico Permanente DPVT	✓	
Alberto Benavidez	AB	✓	Jefe Departamento de Estudios y Proyectos DPVT	✓	
Gabriel Palou	GP	✓	DPVT	✓	
Emilio Javier Palou	EP			✓	
Mario Parrado	MP	✓	Jefe de Estudios y Proyectos DPA - Tucumán	✓	
Carlos Giobellina	CG	✓	Subsecretario de RH, Secretaría Medio Ambiente Prov. Tucumán	✓	
Aníbal Comba	AC		Subdirector de la Dirección de Recursos Hídricos Tucumán	✓	
Marcelo Lizárraga	ML	✓	Subsecretario de Protección Ambiental – SEMA Tucumán	✓	
Daniel Spagnolo	DS	✓	Plan Belgrano	✓	
José Ricardo Ascárate	JRA	✓	Coordinador Infraestructura Plan Belgrano	✓	
José Cano	JC		Titular Unidad Plan Belgrano	✓	
Francisco Bloser	FBI		Gerente Regional NOA – DNV	✓	
Evaristo Lombana	EL	✓	Jefe 3er. Distrito – DNV	✓	
Nicolás Borsellino	NB	✓	DNV	✓	
Marisa Giménez	MG	✓	Jefa División Conservación, 3er. Distrito - DNV	✓	
Marcelo Nazur	MN		Jefe de Área Pavimentos Flexibles DNV	✓	
Raúl Natella	RN	✓	Unidad Ejecutora de la Provincia de Tucumán (UEP)	✓	
Claudio Cattaneo	CC	✓	Unidad Ejecutora de la Provincia de Tucumán (UEP)	✓	
Alejandro Martínez	AM	✓	Subsecretario UEP		
Sisto Terán Nougués	STN		Titular UEP	✓	
Mateo Bauzá	MB	✓	Director Regional Norte ORSEP	✓	
Jorge Delgado	JD	✓	Experto uso de suelos Fac. de Agronomía y Zootecnia (FAZ) – UNT	✓	
Claudio Bravo	CB	✓	Asesor Hidráulico Equipo Técnico FACET-UNT	✓	
Sergio Georgieff	SG	✓	Experto Geología, Fac. Cs. Naturales (FCN) – UNT	✓	
José Sosa Gómez	JSG	✓	Experto Geología, Fac. Cs. Naturales (FCN) – UNT	✓	
Leandro Díaz	LD	✓	Experto Hidráulico Equipo Técnico FACET-UNT	✓	
Domingo Sfer	DSf		Jefe Depto. Construcciones y Obras Civiles FACET-UNT	✓	
Eduardo Martel	EM	✓	Coordinador Equipo Técnico FACET-UNT	✓	



Universidad Nacional de Tucumán



## MINUTA DE REUNION N° 003

### PROBLEMÁTICA INUNDACIONES SUR PROVINCIA DE TUCUMAN



Punto N°	ACCION/ ACUERDO	Fecha	Interviene	% Cum pl.	Carácter
<b>Presentación PowerPoint – CUENCA MARAPA INUNDACIONES – Discusión y Debate</b>					
1	La nueva cuenca Marapa identificada en reunión anterior (minuta MR 002-rev0 archivo 20170420-minutas CIST DPVT.pdf) se ha generado principalmente por: duplicación superficie aporte, modificaciones en dinámica por acciones antrópicas (productores) y variación régimen precipitaciones (alteración climática).		<b>CB</b>		<i>Informativo</i>
2	Un canal construido por productores constituye un nuevo afluente del Marapa 4 Km aguas arriba de Lamadrid; Palancho+San Francisco significan 2300 Km <sup>2</sup> de cuenca adicionales. Ejemplos de que se ha generado un nuevo escenario hídrico.		<b>CB, JRA</b>		<i>Informativo</i>
3	Hay consenso en que Escaba significó una contribución importante para atenuar los efectos negativos del nuevo escenario, ante el evento de dos crecidas sucesivas que se montaron una sobre otra.		<b>FB, CB</b>		<i>Informativo</i>
4	El Bañado de Ovanta es un bosque natural, nativo, caracterizado por escurrimiento lento, tirantes bajos y por tanto con alto grado de infiltración y poder de retención; ahora se extiende hasta La Madrid como zona inundable.		<b>JRA, CB</b>		<i>Informativo</i>
5	Acciones antrópicas perjudiciales: deforestación; combo extracción de aguas subterráneas – enrasamiento - pivote riego - saturación suelos superficiales; canalizaciones “domésticas”. Son prácticas de productores incorrectas sin medidas punitivas. En un contexto de falta de planificación.		<b>CB</b>		<i>Informativo</i>
6	Además de detener los procesos degradativos, hay que pensar cómo se revierte las alteraciones antrópicas. Ejemplo crítico: canal de 10 Km construido por productor		<b>SG</b>		<i>Propuesta</i>
7	Se ha cuantificado estimativamente el volumen de colmatación de Río Hondo en base a las modificaciones de secciones transversales de cauces: 30 Hm <sup>3</sup>		<b>CB</b>		<i>Informativo</i>
8	De análisis de gráficos de El Cadillal y Escaba, se evidencia corrimiento de curvas de los últimos años respecto a las históricas. Las condiciones actuales son distintas a las de diseño, requieren una revisión para adecuar las obras a las nuevas condiciones. Tarea necesaria: recolectar/desarrollar TdR de obras en Escaba para recuperar su capacidad operativa.		<b>CG, CB, FB</b>		<i>Propuesta</i>
9	Aumentar frecuencia de Batimetrías		<b>SG</b>		<i>Propuesta</i>
10	El estado no ha venido acompañando los procesos debidos a cambios en la naturaleza y antrópicos. El desmantelamiento de AyE ha generado un vacío de planificación resultando en desinversión de obras de infraestructura. Nuevas superficies cultivadas sin ordenamiento territorial, surgimiento de rutas-canales (en algunos casos producen trasvase de cuencas), ninguna repartición asume el poder de policía para devolver el control al estado.		<b>CG y JD</b>		<i>Informativo</i>
11	El concepto $\Delta Q = 0$ , aplicado a los emprendimientos inmobiliarios, debe ser exigible a los productores agropecuarios.		<b>JAR</b>		<i>Propuesta</i>
12	Debe plantearse un cambio de matriz productiva y un ordenamiento que destine un porcentaje de superficie para delaminación-absorción.		<b>LD, JRA</b>		<i>Propuesta</i>
13	Las variables de control se han alterado. Hay que definir las nuevamente y asignarles un peso para evaluar su influencia en los desastres ocurridos.		<b>JD</b>		<i>Propuesta</i>
14	Para ser viable, el Plan Maestro que surja debe sustentarse en convenio con Prov. de Catamarca y acuerdo con productores; y estar coordinado con ORSEP para un adecuado manejo de las presas como sistema.		<b>JD, MB</b>		<i>Propuesta</i>
15	Para la elaboración del Plan Maestro sería conveniente sectorizar la provincia según las cuencas. La primer tarea correspondiente al Plan sería distinguir los sectores y fijar orden de prioridades racionalmente.		<b>EM</b>		<i>Propuesta</i>



 Universidad Nacional de Tucumán	<b>MINUTA DE REUNION N° 003</b>	
	<b>PROBLEMÁTICA INUNDACIONES SUR PROVINCIA DE TUCUMAN</b>	

Punto N°	CONCLUSIONES	Fecha	Respon sable	% Cumpl.	Carácter
<b>Diagnóstico preliminar, análisis de medidas paliativas inmediatas y mediatas, locales y extendidas a cuencas involucradas.</b>					
1	Escaba cumplió con su rol de atenuador de crecientes, pero requiere obras de readecuación a la nueva realidad hídrica constatada.				<i>Conclusión</i>
2	En un contexto de falta de planificación y ordenamiento, se hace un inadecuado uso de recursos naturales sin que las reparticiones asuman un poder de policía para preservarlos.				<i>Conclusión</i>
3	El estado debe asumir su indelegable rol de generar las condiciones para una producción sustentable.				<i>Conclusión</i>
4	Adoptar medidas de urgentes para evitar situaciones irreversibles (por ej. Cierre de Canal de 10 Km, procesos erosivos progresivos) y detener erosiones progresivas.				<i>Conclusión</i>
5	Las obras involucradas para soluciones de fondo son multimillonarias. Debe preverse generar proyectos aptos para financiación por organismos multilaterales de crédito.				<i>Conclusión</i>
6	Los TdR a generar para el reacondicionamiento de las obras existentes y las nuevas que surjan de un plan integral de sistematización de cuentas deben fundamentarse en parámetros de diseño hidrológico nuevos y en datos cuantitativos basados en series de registros y muestreos actualizados, además de los históricos.				<i>Conclusión</i>

Punto N°	TAREAS PARA PRÓXIMA REUNIÓN	Fecha	Respon sable	% Cumpl.	Carácter
<b>Diagnóstico preliminar, análisis de medidas paliativas inmediatas y mediatas, locales y extendidas a cuencas involucradas.</b>					
1	Efectuar comentarios sobre trabajo expuesto por CB y CG.				<i>Inmediato</i>
2	Relevamiento y recolección de TdR disponibles, para las zonas afectadas por los eventos ocurridos en los últimos años relacionados con la problemática tratada.				<i>Inmediato</i>
3	Trabajar las TdR de punto previo (2) para su elevación a SSRH Nación				<i>Dependiente</i>
4	Integración de las TdR de punto previo (3) en Plan Maestro				<i>Dependiente</i>
5	Elevar a SSRH Nación para gestionar financiación internacional				<i>Dependiente</i>

**PRÓXIMOS EVENTOS:**

- 1) REUNIÓN Comisión: JUEVES 04/05, 9 hs, Sala de Reuniones DNV



Universidad Nacional de Tucumán

## MINUTA DE REUNION N° 004

### PROBLEMÁTICA INUNDACIONES SUR PROVINCIA DE TUCUMAN



<b>CONVOCADA POR :</b>	Plan Belgrano				
<b>Fecha de Reunión</b>	04/05/2017	<b>Hora de Inicio</b>	9:30	<b>Hora de Término</b>	12:00
<b>Lugar</b>	Sala de reuniones de DNV, San Miguel de Tucumán				
<b>Objeto de la Reunión</b>	Avances en recolección de TdR, evaluación de diagnóstico, acciones próximas				
PERSONAL PARTICIPANTE					Copia:
Nombre	Iniciales	Asiste	Cargo		
Sergio Lens	SL		Coronel, coordinador por Ejército Argentino (EA)	✓	
Gustavo Guridi	GG		Coronel, Dirección de Ingenieros e Infraestructura, EA	✓	
Gustavo Ferrari	GF		Teniente Coronel, Jefe Compañía de Ing. de Construcciones, EA	✓	
Fernando Baratelli	FB	✓	Subsecretario de Obras Públicas Tucumán	✓	
Ricardo Abad	RA		Administrador DPVT	✓	
Pedro Madrid	PM		Secretario de Obras DPVT	✓	
Jorge Chrestia	JCh		Vocal Consejo Técnico Permanente DPVT	✓	
Alberto Benavidez	AB		Jefe Departamento de Estudios y Proyectos DPVT	✓	
Gabriel Palou	GP		DPVT	✓	
Agustín Divizia	AD	✓	DPVT	✓	
Emilio Javier Palou	EP			✓	
Mario Parrado	MP	✓	Jefe de Estudios y Proyectos DPA – Tucumán	✓	
Carlos Giobellina	CG	✓	Subsecretario de RH, Secretaría Medio Ambiente Prov. Tucumán	✓	
Aníbal Comba	AC	✓	Subdirector de la Dirección de Recursos Hídricos Tucumán	✓	
Marcelo Lizárraga	ML	✓	Subsecretario de Protección Ambiental – SEMA Tucumán	✓	
Daniel Spagnolo	DS	✓	Plan Belgrano	✓	
José Ricardo Ascárate	JRA		Coordinador Infraestructura Plan Belgrano	✓	
José Cano	JC		Titular Unidad Plan Belgrano	✓	
Francisco Bloser	FBI		Gerente Regional NOA – DNV	✓	
Evaristo Lombana	EL		Jefe 3er. Distrito – DNV	✓	
Nicolás Borsellino	NB		DNV	✓	
Marisa Giménez	MG	✓	Jefa División Conservación, 3er. Distrito - DNV	✓	
Marcelo Nazur	MN		Jefe de Área Pavimentos Flexibles DNV	✓	
Raúl Natella	RN	✓	Unidad Ejecutora de la Provincia de Tucumán (UEP)	✓	
Claudio Cattaneo	CC	✓	Unidad Ejecutora de la Provincia de Tucumán (UEP)	✓	
Alejandro Martínez	AM		Subsecretario UEP		
Sisto Terán Nougués	STN		Titular UEP	✓	
Mateo Bauzá	MB		Director Regional Norte ORSEP	✓	
Jorge Delgado	JD		Experto uso de suelos Fac. de Agronomía y Zootecnia (FAZ) – UNT	✓	
Claudio Bravo	CB	✓	Asesor Hidráulico Equipo Técnico FACET-UNT	✓	
Sergio Georgieff	SG		Experto Geología, Fac. Cs. Naturales (FCN) – UNT	✓	
José Sosa Gómez	JSG		Experto Geología, Fac. Cs. Naturales (FCN) – UNT	✓	
Leandro Díaz	LD		Experto Hidráulico Equipo Técnico FACET-UNT	✓	
Domingo Sfer	DSf		Jefe Depto. Construcciones y Obras Civiles FACET-UNT	✓	
Eduardo Martel	EM	✓	Coordinador Equipo Técnico FACET-UNT	✓	



Universidad Nacional de Tucumán

## MINUTA DE REUNION N° 004

### PROBLEMÁTICA INUNDACIONES SUR PROVINCIA DE TUCUMAN



Punto N°	ACCION/ ACUERDO	Fecha	Interviene	% Cum pl.	Carácter
Avances en recolección de TdR, evaluación de diagnóstico, acciones próximas					
1	El presupuesto de Arzelan para Plan Maestro de zona norte de Catamarca-zona sur de Tucumán plantea manejo sustentable, concepto que engloba toda la problemática. En Catamarca ya está en ejecución. El TdR de Arroyos La Posta y El Sueño se está gestionado vía DINAPREM, por los montos y envergadura es improbable que prospere		<b>CB</b>		<i>Informativo</i>
2	En DPVT ya hay proyectos de puentes para la Posta y El Sueño, deberían ser integrados a TdR y al Plan. Hay que habilitar soluciones urgentes mientras se recupera la cuenca		<b>AD</b>		<i>Informativo</i>
3	Hay que compatibilizar obras hidráulicas con viales, los proyectos de puentes deben adaptarse a la realidad de los cauces actuales		<b>FB</b>		<i>Definición</i>
4	Las obras deben esperar que se hagan estudios más completos e integrales		<b>AC</b>		<i>Definición</i>
5	Córdoba está realizando acciones para mitigar crecidas y aumento de nivel en Mar Chiquita, además de consecuencias a largo plazo. Hay que superar las barreras jurisdiccionales. De hecho, el comité de cuencas surgió en parte para dar respuesta al problema de contaminación del conjunto Salí-Dulce		<b>ML</b>		<i>Informativo</i>
6	Es posible recuperar los bañados? En algunos casos los cauces abiertos son muy grandes, irreversibles en algún grado. El uso de agroquímicos y el tránsito de equipos generan una consolidación profunda junto con una impermeabilización superficial Hay tratamientos como subsolado con púas		<b>DS, AC, ML</b>		<i>Discusión</i>
7	Para avanzar sobre los estudios, DPA colocó mojones en zona La Madrid, pero todavía muy barroso		<b>MP</b>		<i>Informativo</i>
8	Plan Habitat buscando relocalizar algunos barrios de La Madrid, los más castigados. El 15/05 hay reunión en Buenos Aires, hay que llevar propuesta		<b>FB</b>		<i>Informativo</i>
9	La Cuenca Marapa está desestabilizada sobre todo por lo ocurrido con el Río San Francisco y por el cauce-canal construido por productores. Las decisiones que se tomen en este contexto pueden ser inconvenientes. Además, hay que informarse respecto a soluciones técnicas inviables por el rechazo expreso de los organismos multilaterales de crédito: terraplenes por los efectos Katrina en New Orleans y las inundaciones en Santa Fé. Para reconstituir la cuenca acciones directas propuestas: 1) reencauzar el Marapa usando el concepto "lo que trajo el agua que lo lleve el agua", manejar los aportes de sedimentos naturales en lugar de mover ingentes cantidades de m <sup>3</sup> ; 2) cerrar el cauce abierto por productores, poner obstáculos, enlagunar En Catamarca los productores tomaron conciencia de lo que hicieron, están dispuestos a colaborar para revertir la situación; en Tucumán? Los terrenos ganados al Bañado (unas 10.000 has) mediante canalizaciones, deberían ser devueltos.		<b>CB</b>		<i>Definición- Informativo</i>
10	Hay que revisar la categorización de las zonas (rojas, amarillas, verdes...), hay que hacer efectiva la recategorización prevista reglamentariamente c/4 años.		<b>ML, CB</b>		<i>Informativo</i>
11	Vino Secretaría Medio Ambiente de Córdoba, por las consecuencias de lo ocurrido en la cuenca Salí-Dulce y por compartir la problemática y búsqueda de soluciones: recuperación de suelos y de capacidad de absorción por delaminación y tratamientos suelos. Se puede recuperar poniendo pasturas y no necesariamente reponiendo bosque nativo.		<b>CG</b>		<i>Informativo</i>



Universidad Nacional de Tucumán

## MINUTA DE REUNION N° 004

### PROBLEMÁTICA INUNDACIONES SUR PROVINCIA DE TUCUMAN



12	Cotización IGM para vuelos: 100.000 u\$s por 32 hs. Precisión altimétrica del orden de 1 m. Hay que sumar costo procesamiento.		<b>CG</b>		<i>Informativo</i>
13	Medidas a aplicarse a los productores: $\Delta Q = 0$ ; penalizaciones por haber construido el cauce-canal sin habilitación. Se necesita el aporte de Jorge Carrero Valenzuela, de la Sub-Dirección de Suelos		<b>CB</b>		<i>Propuesta</i>
14	Arq. Cattaneo aportará estudios y documentos sobre traslado familias La Madrid		<b>CC</b>		<i>Informativo</i>
15	Se sabe que las lluvias han sido extraordinarias por los registros, por ejemplo, de La Invernada. Pero se carece de registros en la cuenca alta.		<b>ML</b>		<i>Informativo</i>
16	ORSEP dentro de su plan de alertas tempranas puede generar la red de metrología para la toma de datos necesarios				
17	Se ha creado la Comisión Especial de Emergencia Hídrica de la Legislatura (CEEHL), para abordar la misma problemática que esta Comisión (CIST). Los objetivos también son similares y los recursos humanos serán necesariamente los mismos. Por tanto, se propone que las acciones de CIST sean convergentes con las de CEEHL. Se propone preparar documentos que contengan los principales resultados de esta Comisión cumpliendo con sus objetivos más inmediatos y que a su vez constituyan documentos de partida para CEEHL.		<b>EM</b>		<i>Propuesta</i>

Punto N°	TAREAS PARA PRÓXIMA REUNIÓN	Fecha	Responsable	% Compl.	Carácter
<b>Generación de Documentos</b>					
1	Comentar/completar el documento diagnóstico para Marapa de CB, AC, CG				<i>Inmediato</i>
2	Complementar el documento diagnóstico con evaluación, conclusiones, recomendaciones y lineamientos de soluciones posibles sobre Cuenca Marapa, fruto de lo expuesto y analizado por esta Comisión en las 4 reuniones mantenidas hasta el momento. En ellas se contó con el importante aporte de los principales referentes de las disciplinas y de las reparticiones involucradas en la problemática. Entre otros ítems, las recomendaciones se referirán a metodologías y operaciones directas de recuperación de cuenca, a obras paliativas de los daños críticos detectados en el diagnóstico y a gestiones de convenio con Catamarca y acuerdos/medidas sobre productores.				<i>Inmediato</i>

#### PRÓXIMOS EVENTOS:

- 1) REUNIÓN Comisión: JUEVES 11/05, 9 hs, Sala de Reuniones DNV