

# Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina

## Carta de Peligrosidad Geológica 2363-I **TARTAGAL** Provincia de Salta

**Autores:**  
Valerie Baumann  
Daniela Villegas  
Raul Seggiaro  
Diego Azcurra

**Cartografía y S.I.G**  
Maria Ines Tobio  
Javier Benitez



INSTITUTO  
DE GEOLOGÍA  
Y RECURSOS  
MINERALES

Boletín N° 408

Buenos Aires, 2015

**SEGEMAR**  
SERVICIO GEOLOGICO  
MINERO ARGENTINO

## INDICE

1	Introducción.....	3
2	Metodología de trabajo.....	4
2.1	Recopilación de antecedentes.....	4
2.2	Análisis de imágenes satelitales y fotos aéreas .....	4
2.3	Salidas de campo .....	5
2.4	Análisis de muestras.....	5
2.5	Realización de los mapas.....	5
3	Población y usos de la tierra.....	5
4	Descripción del medio natural.....	7
4.1	Clima.....	7
4.2	Vegetación.....	11
4.3	Hidrología superficial.....	14
4.4	Litología.....	17
4.5	Geomorfología.....	36
4.6	Suelos.....	53
5	Peligrosidad Natural.....	72
5.1	Introducción.....	72
5.2	Inundaciones.....	72
5.3	Erosión hídrica.....	83
5.4	Movimientos en masa.....	91
5.6	Sismicidad.....	112
6	Conclusiones y Recomendaciones .....	116

## Bibliografía

## 1 INTRODUCCIÓN



Las representaciones limítrofes deben considerarse como figurativas y no comprometen al Estado Argentino y sus jurisdicciones dependientes

En la presente contribución se muestran los resultados obtenidos durante la realización de la Carta de Peligrosidad Geológica correspondiente a la Hoja Tartagal (2363 I, escala 1:250000), elaborada como parte del Programa Nacional de Cartas Geológicas y Temáticas de la Dirección de Geología Ambiental y Aplicada, SEGEMAR. La zona estudiada se localiza entre los paralelos de 22 y 23°S y los meridianos de 64°30' y 63°O y se ubica en el norte de la provincia de Salta en el límite entre Argentina y Bolivia. (Figura 1). La cartografía de peligrosidad geológica tiene como objetivo realizar una división del espacio físico para un sector determinado, con el objeto de identificar los procesos naturales que puedan constituir potenciales peligros para la ocupación humana y sus actividades y realizar una zonificación de la peligrosidad en función del accionar de los diferentes procesos identificados.

Para ello se utilizan las normativas existentes, en donde se parte de la definición de (peligrosidad geológica) como una estimación cualitativa o cuantitativa de la posibilidad o probabilidad de ocurrencia de un determinado proceso (Ferrer, 1997). La metodología utilizada para dicha zonificación es esencial-

mente cualitativa y se ha realizado sobre la base de una serie de cartas temáticas elaboradas a tal efecto. La cartografía temática incluye los siguientes mapas de base: geomorfológico, litológico, de suelos combinados con información climática y sísmica.

El presente documento reúne toda la información de campo, gabinete y recopilación, integrada en dos mapas finales de fácil lectura, la primera una carta de Peligrosidad Geológica con respecto a inundaciones, sedimentación y erosión hídrica y la segunda una carta de Peligrosidad Geológica con respecto a la remoción en masa los que pueden ser utilizados como documentos base en la toma de decisiones y elaboración de políticas de planificación territorial.

A tal efecto, los objetivos generales de este documento son:

- Presentación de carta de peligrosidad de fácil lectura que permita identificar los potenciales fenómenos de peligrosidad geológica y las áreas que podrían ser afectadas.
- Identificar y delimitar las zonas en las cuales la peligrosidad se encuentre directamente relacionada con las actividades humanas.

- Contribuir a la realización de un inventario nacional de peligros y riesgos geológicos de Argentina, que se incorporan a la Base de Datos de Peligrosidad Geológica del SEGEMAR.
- Caracterizar y tipificar los procesos peligrosos naturales, estudiando sus causas y dinámica.

## 2 METODOLOGÍA DE TRABAJO

### 2.1 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

En una primera etapa se hizo la recopilación de toda la información existente sobre la zona.

Esto incluye mapas topográficos, mapas y publicaciones geológicas, artículos en periódicos o revistas que cuentan la historia de la zona, publicaciones sobre geomorfología, base de datos de eventos de peligrosidad geológica y datos de clima.

### 2.2 ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES Y FOTOS AÉREAS

Para el trabajo se dispuso una imagen Landsat del año 2000 y de 6 imágenes Aster para cubrir toda la carta.

Además se utilizaron las Imágenes CBERS de los años 2008 y 2007 disponibles gratuitamente en el INPE de Brasil.

Se contó también con fotos aéreas de las zonas serranas, a escala aproximada 1: 50.000, del plan NOA del año 1969.

### 2.3 SALIDAS DE CAMPO

Se realizaron 3 salidas de campo una en invierno en el año 2010 y en dos en primavera (2009-2010). En el campo se tomaron datos de la litología, de la geomorfología, los suelos y los procesos activos para la realización de los distintos mapas presentados en este trabajo.

Además se tomó el testimonio de la gente sobre los eventos (inundaciones, erosión, movimientos en masa etc.) ocurridos en la zona.

### 2.4 ANÁLISIS DE MUESTRAS

En el campo se tomaron 19 muestras de depósitos terciarios y cuaternarios inconsolidados.

El análisis granulométrico y los límites Atterberg de las mismas se realizaron en los laboratorios del INTEMIN de Córdoba y de Buenos Aires.

### 2.5 REALIZACIÓN DE LOS MAPAS

Se actualizó la red de drenaje tomando como base las imágenes Aster y la imagen Landsat del año 2000. Las curvas de nivel se realizaron a partir del DEM SRTM. El mapa litológico se digitalizó tomando como base la imagen Landsat y tomando en cuenta los datos recopilados en las salidas de campo y el mapa geológico a escala 1: 250.000 (Bonorino et al. 2001). El mapa geomorfológico se realizó también sobre la base de la imagen Landsat. Por último para el mapa de suelos se utilizó como base cartográfica el mapa geomorfológico realizado para este estudio y el mapa de suelos de Nadir y Chafatinos (1994).

La zonificación de la peligrosidad se hizo en base a los mapas geomorfológicos, litológicos y de pendientes. Luego para definir la intensidad y la frecuencia de los eventos se tomó en cuenta el inventario y la descripción de la actividad con una evaluación geomorfológica en forma cuantitativa.

## 3 POBLACIÓN Y USOS DE LA TIERRA

Los centros urbanos más importantes en la región son Tartagal y Orán. Si bien esta última localidad se halla fuera del área de estudio, aspectos económicos y sociales la vinculan con el territorio involucrado en la Hoja. La población de ambas ciudades es de 72807 habitantes en Orán y 60557 habitantes en Tartagal (INDEC, 2001).

Las principales actividades de la zona son: la explotación petrolera, la extracción de maderas y el cultivo de secano.

El aprovechamiento de los bosques nativos fue la primera actividad económica que se desarrolló en el norte de Salta y uno de los centros es Tartagal. La riqueza de las selvas y bosques con sus distintos tipos de maderas, generaron la base de una actividad extractiva que forjó la creación de pueblos en el interior de la provincia, abriendo paso tiempo después, a la expansión de la frontera agrícola. A principios de siglo la actividad forestal era desarrollada intensamente en esta zona, debido a la diversidad de las especies de elevado valor económico, llegando a coexistir más de 20 aserraderos rentables en la ciudad de Tartagal (Sánchez, 2008). Actualmente esta actividad se encuentra en recesión, observándose aserraderos abandonados, otros con bajos niveles de producción y un número menor de establecimientos con producciones considerables pero sin llegar a cubrir la totalidad de su capacidad (Minetti, 2005).

Según el mapa de regiones agroeconómicas del Noroeste argentino (Bravo et al., 2007), la región de estudio comprende las siguientes zonas: i) Cultivos subtropicales y de primicia; ii) Sierras subandinas con ganadería y forestales; iii) Umbral del chaco con producción extensiva a secano y Chaco silvo-ganadero. El Umbral del Chaco es una zona de transición entre las sierras subandinas y la llanura Chaqueña, que se inicia en el Norte en la frontera con Bolivia y se extiende hacia el sur. Presenta suelos aptos para la agricultura (73% tienen aptitud para agricultura a secano, 9 % con aptitud agrícola - ganadera, 11 % ganadero - agrícola y 7 % ganadera). Los principales cultivos de verano son soja, maíz y poroto, de otoño trigo y cártamo. Se destacan simultáneamente pequeñas superficies de hortalizas bajo riego. La ganadería vacuna es una actividad complementaria orientada a la cría y engorde (Volante et al., 2002).

Existen numerosas áreas concesionadas para la explotación petrolera ubicadas en la Sierra de Tartagal. Desde sus inicios, la explotación de petróleo y gas, se centró en Tartagal, Aguas Blancas y Campamento Vespucio. En la actualidad se registra una intensa actividad hidrocarburífera en la región, destacándose el yacimiento de Campo Durán, explotado desde 1952, con extensas reservas de gas que justificaron la construcción de la destilería y un gasoducto hasta Buenos Aires.

Los principales yacimientos son los de Ramos y Chango Norte, ubicados en el centro sur del área de trabajo y Acambuco, Piquirenda y Aguaray en el sector norte.

Las labores de exploración efectuadas a partir del primer tercio del siglo pasado han dejado como secuela, numerosas picadas en todo el territorio involucrado en la Hoja, tanto en el ambiente de llanura como en el serrano.

## 4 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO NATURAL

### 4.1 CLIMA

En base a la clasificación de Köppen, el clima de la zona de estudio, se halla diferenciado entre el ambiente serrano (Sierras Subandinas) y el de la llanura. En la zona mencionada en primer término se reconoce un clima "Cw, Templado mesotermal) caracterizado por una temperatura media del mes más frío inferior a los 18 °C y superior a -3 °C y superior a 10 °C en el mes más cálido. Las precipitaciones

exceden a la evaporación. El invierno es seco, en consecuencia el mínimo de precipitaciones coincide con el periodo de temperaturas más bajas.

En el ámbito de la llanura (zona del Chaco semiárido) el tipo climático es Bshw, Árido estepario cálido), con precipitaciones anuales inferiores a la evaporación, donde las lluvias medias anuales están entre un 50% y un 100% de la temperatura media anual multiplicada por veinticuatro y la temperatura media anual supera los 18 °C.

La ocurrencia de las precipitaciones particularmente su variación espacial, tiene un sentido este-oeste. La Sierras Subandinas forman una barrera orográfica que promueve la formación de nubes de gran desarrollo vertical. Cuando la masa de aire se aproxima a la sierra de Tartagal, esta barrera actúa como un disparador de las formación de nubes, pero como los cordones son bajos, las nubes continúan su desarrollo hacia el oeste y se producen varias zonas con altas precipitaciones sobre los cordones montañosos (Bianchi y Yáñez, 1992). En el mapa de isohietas (figura 2) del departamento de San Martín (Bianchi, 2006) se observa un pronunciado gradiente de precipitaciones de oeste a este. En el sector de la llanura chaqueña se registran precipitaciones que varían entre 900 mm a 550 mm anuales. A partir de la isohieta de 600 mm se considera el inicio del Chaco semiárido, por lo que la franja ubicada entre las sierras y la misma constituye el umbral del Chaco. Estas condiciones determinan que durante los meses más cálidos coincidentes con los meses de más precipitaciones, no exista déficit hídrico.

A los fines de caracterizar los regímenes térmicos, se consideraron las estaciones meteorológicas (Tartagal aero) y (Oran aero) del Servicio Meteorológico Nacional, que proveen datos de 54 años, entre 1956 y 2010.

En la estación Tartagal aero (SMN) la temperatura media máxima es de 36° para el mes de diciembre. Durante el verano las temperaturas oscilan entre 17° y 36°. En invierno la temperatura mínima es de 5° en el mes de julio y la máxima de 25° para el mismo mes.

En la estación Oran aero (SMN) la temperatura máxima media en el mes de diciembre es de 36° y la mínima media de 19° para el mismo mes. La temperatura mínima tiene ocurrencia en el mes de julio y es de 5°, registrándose máximas de 19° para el mismo mes.

En la figura 3 donde se representan los datos de precipitación anual medidos a lo largo de 50 años de la estación Tartagal aero, se observa un valor míni-

mo de 681 mm para le año 1962 y un máximo de 1489,5 para 2006 y una media de 999 mm.

Para la estación Oran aéro (figura 4) el máximo registrado fue de 1521mm en el año 2002 y el mínimo de 553 en 1995, la media en este caso es de 976mm. De acuerdo al mapa de isohietas elaborado por el INTA ambas localidades se ubican entre las isohietas de 1000 y 800 mm. En la figura 5 se ha

graficado los datos de precipitación media mensual de la estación meteorológica Tartagal aéro del año 2006, donde se observan los máximos de precipitación durante el verano.

A partir de los registros de precipitación de las localidades ubicadas al pie de la sierras subandinas (tabla 1) se observa un incremento de la precipitación media anual hacia el norte.

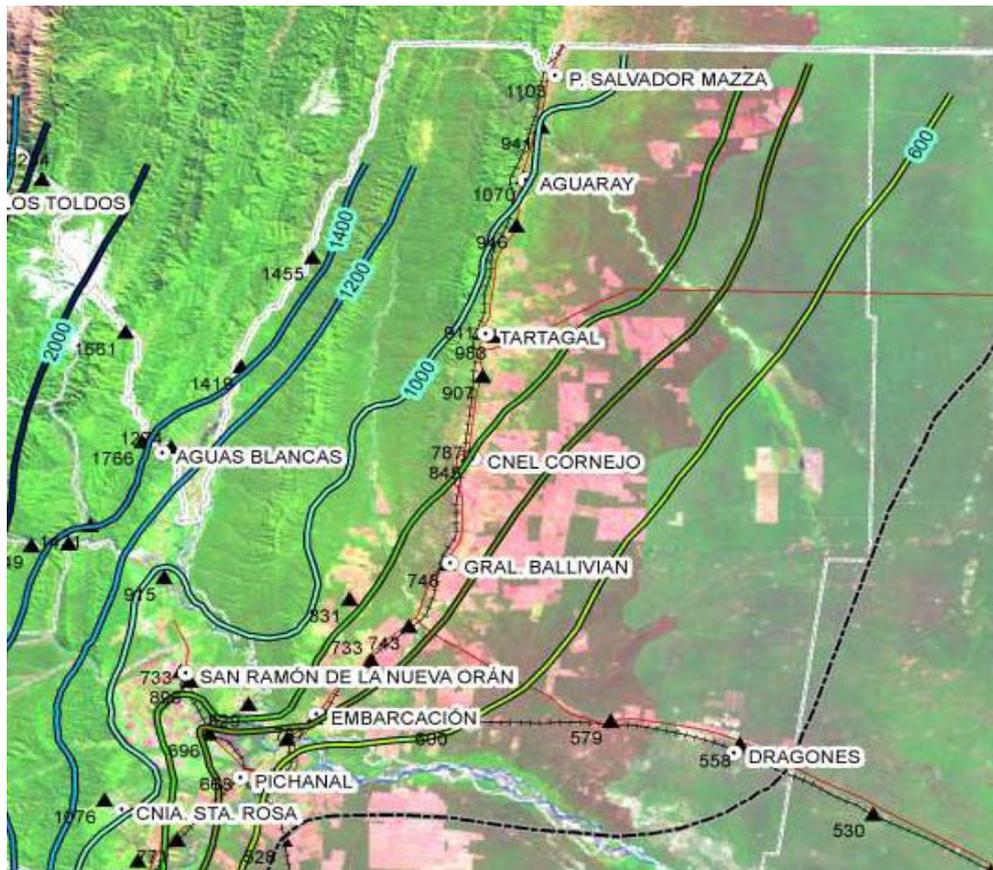


Figura 2: Mapa de isohietas anuales para el departamento de San Martín (Bianchi, 2006)

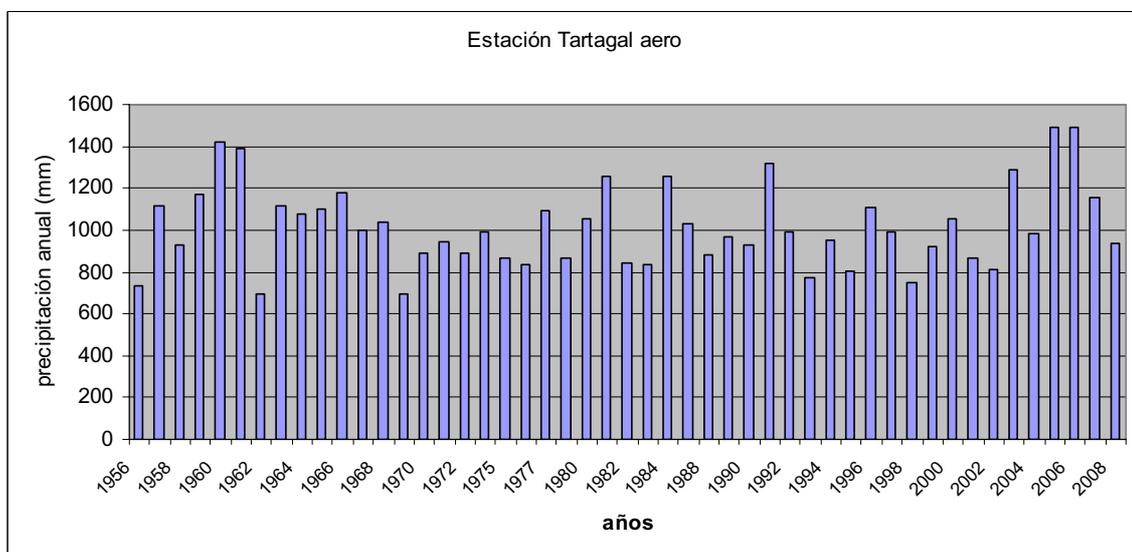


Figura 3: Hidrograma de precipitaciones de la estación meteorológica Tartagal aéro desde el año 1956 hasta el año 2010. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

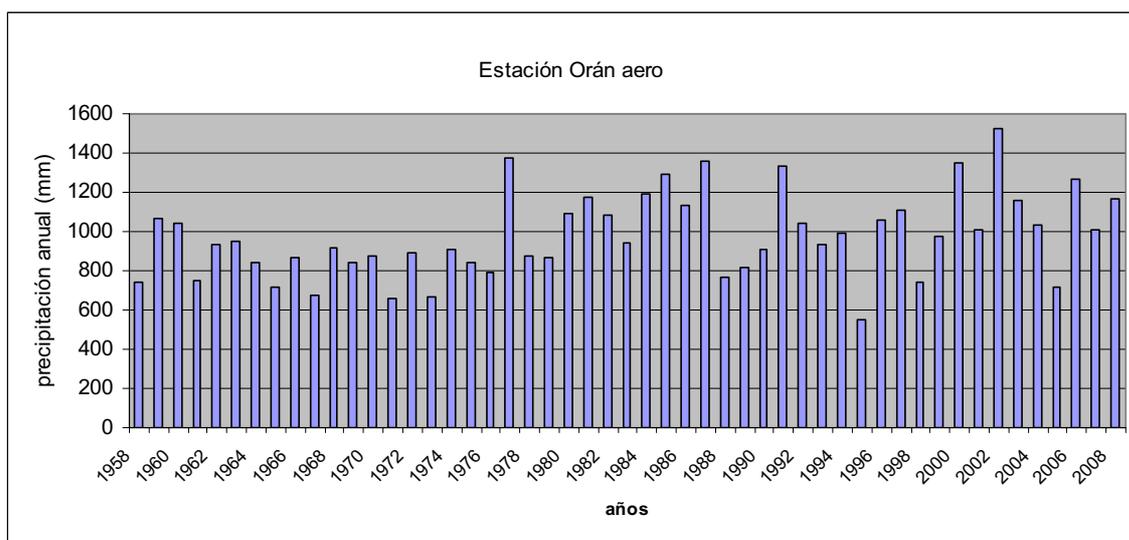


Figura 4: Datos de precipitación anual de la estación meteorológica Oran aéreo desde el año 1958 hasta el año 2008. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

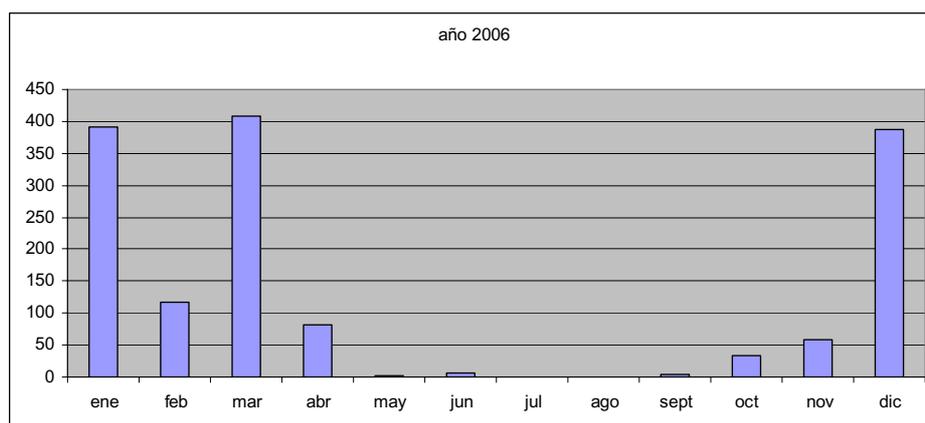


Figura 5: Datos de precipitación media mensual de la estación meteorológica Tartagal aéreo del año 2006. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

Localidad	Media	Mediana	Moda	Desvío estándar	rango	Mínimo	Máximo	años analizados
Gral. Ballivian	748	748		207	1321	321	1642	57
Cnel. Cornejo	787	787	600	235	1270	261	1531	57
Gral. Mosconi	907	871	851	296	1481	307	1788	56
Tartagal	911	918	820	286	1486	428	1914	57
Piquirenda	946	947	1012	255	1116	520	1636	53
Aguaray	1070	1036	1671	386	1662	419	2081	52
Tobatirenda	941	957	1013	256	1237	291	1528	50
Pocitos	1103	1030	989	344	1553	492	2045	36

Tabla 1: Recopilación de datos de precipitación media anual para las localidades de General Ballivian, General Mosconi, Tartagal, Piquirenda, Aguaray, Tobatirenda, Pocitos provistos por el ferrocarril General Belgrano en el departamento de San Martín (Plaza et al. 2006).

## 4.2 VEGETACIÓN

Fitogeográficamente el área de estudio pertenece a la región Neotropical y dentro de ella se diferencian el Dominio Amazónico y el Dominio Chaqueño (Cabrera, 1976).

En estas regiones se reconocen 3 unidades fitogeográficas: Selva Montana, Selva de transición y Bosque Chaqueño.

### 4.2.1 BOSQUE CHAQUEÑO

Este tipo de vegetación se desarrolla asociada a regímenes de precipitación que oscilan entre los 500 y 600 mm. En la zona de estudio se encuentra localizada en el sector pedemontano entre los 500 y 230 m sobre el nivel del mar.

Constituye un bosque xerófilo, caracterizado por un estrato superior muy abierto, de hasta 20 m de altura, integrado por quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*) y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), ambos muy explotados, acompañados por un segundo estrato más bajo donde predomina el itín (*Prosopis kuntzei*) el mistol (*Ziziphus insignis*) los Algarrobos (*Prosopis alba* y *P. nigra*) y otros. El estrato arbustivo, a veces muy denso y de una altura media de 5 m, tiene diversas especies del género *Acacia*: *Atamisqui*, *Maytenus* sp., *Bougainvillea* sp. y *Bulnesia* sp.

La presencia de cactáceas y bromeliáceas son características de esta unidad, haciéndose más notables en las zonas sobrepastoreadas, muy erosionadas, o simplemente más secas (Cabrera, 1976).

Su heterogeneidad en cuanto a especies no es muy grande y esta ligada principalmente a las variaciones edáficas tales como zonas húmedas asociadas a cursos de agua donde predominan *Tessaria integrifolia* (Pájaro bobo) y *Salix humboldtiana* (saucillo) y depresiones más o menos salinas o arenales y variaciones topográficas, como pendientes y orientaciones de laderas.

En estas últimas pueden aparecer algunos elementos de otras unidades como *Tipuana tipu* (Tupa blanca), *Enterolobium contortosilium* (pacará) o pequeños montes de cebil asociados con palo borracho, acacias y cactáceas.

### 4.2.2 SELVA DE TRANSICIÓN

Bosque alto, muy denso que se encuentra entre los 500 y 700 m, con precipitaciones que oscilan en-

tre los 800 y 1000 mm anuales. En el área de estudio se encuentra en el ambiente serrano, en las unidades geomorfológicas denominadas en este trabajo como: a) Relieve erosivo múltiple densamente irrigado; b) Relieve de cuevas y crestas homoclinales; c) Cañadones intermontanos y d) Bajadas intermontanas y pedemontanas proximales. Los árboles más altos superan los 30 m y existen varios estratos más bajos. En la zona de Orán y de la confluencia del río Bermejo con el Río Tarija predominan el palo amarillo (*Phyllostylon rhamnoides*) y el palo blanco (*Calycophyllum multiflorum*). Sin embargo en toda el área asociada a la llanura aluvial de los ríos antes mencionados, este tipo de vegetación ha sido casi totalmente eliminada para la implantación de cultivos.

### 4.2.3 SELVA MONTANA

Este tipo de vegetación se encuentra entre los 800 y 1800 m de altura, con una precipitación media anual de más de 1000 mm. Durante el verano su límite superior está envuelto en nubes o neblinas.

En la zona de estudio, la selva Montana cubre las Sierras de Aguaragüe (Sierras Subandinas orientales) y las sierras ubicadas entre el río Seco y el Río grande de Tarija, que comprende las Cumbres de San Antonio y la Sierra de Macueta. En el sector oeste de la hoja ocupan también una ancha faja que abarca la sierra del Divisadero y parte de la Sierra de Las Pavas.

Es un bosque muy rico en especies, sumamente denso e integrado por numerosos estratos.

En términos generales, se pueden considerar dos pisos altitudinales; (un piso inferior) dominado por el laurel (*Phoebe porfiria*) de grandes dimensiones, con los Ceibos y los cedros, el horco cebil, etc. y un (piso superior) dominado por mirtáceas como el horcomolle o palo barroso, *Eugenia mato*, *Eugenia pungens*, junto con los nogales, el cochucho y otros. Los árboles son numerosos y densos, así como las lianas, los helechos y las bromeliáceas. El piso superior coincide con el área de las neblinas. Las variaciones que presenta este tipo de vegetación están relacionadas con la altitud, la lluvia y la latitud. El aumento de temperaturas hacia la zona boliviana y la menor altura de las cadenas montañosas provoca ciertas variaciones en la lista de especies dominantes de esta unidad, no existiendo una diferencia tan neta entre el piso superior y el piso inferior, siendo este último más extenso e importante. Esta unidad se encuentra sobre terreno muy ondulado, disectado y quebrado

que corresponde a las unidades geomorfológicas de "Relieve erosivo múltiple con diseño dendrítico" y "Relieve erosivo en limbos homoclinales y limbos y cumbres anticlinales". Debido a las características del terreno hay una gran heterogeneidad tanto en el número de especies como en la agrupación de las mismas y la presencia de numerosas inclusiones de otras unidades como la Selva de transición.

### 4.3 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

En el sector oeste de la hoja se ubican 2 grandes ríos que limitan con la República de Bolivia: el Bermejo y el Tarija. Estos ríos pertenecen a la cuenca alta del Río Bermejo y a su vez conforman la subcuenca Tarija-Bermejo. Para la subcuenca Tarija Bermejo el caudal medio anual en Junta de San Francisco es de aproximadamente 330 m<sup>3</sup>/s. Estos cursos tienen un período de elevados caudales correspondientes a los meses de verano y un período de estiaje de abril a octubre. El caudal medio mínimo del río Bermejo a la altura de la localidad de Aguas Blancas, se verifica en el mes de septiembre con un valor de 13,86 m<sup>3</sup>/s y el caudal medio máximo de 253,6 m<sup>3</sup>/s registrado en el mes febrero (datos serie 1944-2003). El río Tarija nace en Bolivia cerca de la ciudad del mismo nombre y se une con el Río Itau en el paralelo 22°20' para formar el río Grande de

Tarija. El principal afluente del río Bermejo en el sector de estudio es el río Pescado que nace en la sierra de Divisadero y corre con sentido norte-sur hasta confluir en el río Iruya en la sierra baja de Oran donde tuerce hacia el sureste. El tramo occidental a la confluencia con el río Bermejo, sufrió numerosos cambios a partir del siglo XVIII. En el año 1863, para evitar posibles inundaciones en la ciudad de Orán durante la estación lluviosa, se decidió forzar la captura del río Iruya por parte del río Pescado, para lo cual se construyó un canal en la loma del Portillo. Previamente el río Iruya, al encontrarse con las lomadas de San Ignacio se desviaba hacia el sur (figura 6), formando un codo pronunciado para desaguar a través de lo que hoy se conoce como Río San Ignacio, al río Blanco y finalmente aportar sus aguas al Bermejo. Dos años después de haber derribado la loma del Portillo, las aguas consiguieron tomar el nuevo camino. Entre la laguna nueva del Pescado y el portezuelo del Portillo existía un desnivel de 60 m, que en la actualidad ya no existe dado que la erosión se trasladó aguas arriba, originándose un cañón de 60 m de alto y 100 m de ancho entre la confluencia con el río Piedras y el mismo río Pescado. Según los datos de caudales de Recursos Hídricos (2004) el valor medio mínimo para el río Iruya en el Angosto, medido en el mes de septiembre es de 12,69 m<sup>3</sup>/s y el caudal medio anual máximo de 181 m<sup>3</sup>/s para el mes de febrero.

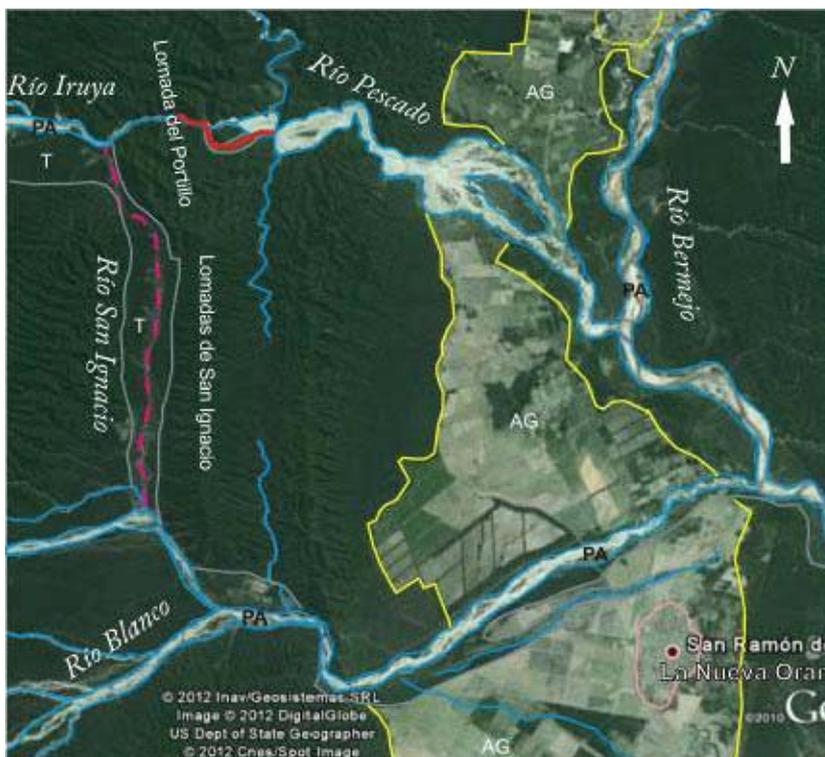


Figura 6: En la siguiente figura se esquematiza el desvío (captura forzada) del río Iruya hacia el río Pescado

En el centro de la hoja se ubica la cuenca del río Seco, recorrida por el río homónimo que nace en la región de Acambuco y discurre hacia el sur, entre las sierras de San Antonio al oeste y las de Tartagal al este, hasta llegar a la antigua planicie aluvial del río Bermejo cerca de Campichuelo. A lo largo de su trayecto recibe numerosos afluentes, constituidos por cauces de escaso recorrido que bajan de las sierras formando niveles de bajada. En el sector oriental de la hoja se desarrolla una amplia faja de ríos y quebradas que poseen sus nacientes en la sierra de Tartagal comprendida entre las divisorias de agua de los ríos Pilcomayo al norte y Bermejo al sur.

El más importante el río Itiyuro nace en la confluencia de los ríos Caraparí e Itangue. El curso principal es el río Caraparí que fluye de norte a sur y configura una cuenca estrecha, delimitada por estructuras anticlinales de flanco empinado y rumbo submeridiano (Amengual, 1991). El río Itangue, colector principal del tramo austral desarrolló su cauce en una zona de falla que controló su diseño. A pocos kilómetros aguas abajo de la confluencia de los ríos Caraparí e Itangue se encuentra el dique Itiyuro. La presa tiene una pantalla de hormigón y sobre la margen izquierda tiene un vertedero de 2300 m<sup>3</sup>/s. Fue construida para regular los aportes de agua para suministro de servicio de agua potable para las poblaciones de Salvador Mazza, Aguaray, Tartagal y parte de Mosconi. A la latitud de la presa la cuenca tiene una superficie aproximada de 1153 km<sup>2</sup> de los cuales 670 km<sup>2</sup> están en la República de Bolivia y los 483 km<sup>2</sup> restantes en Argentina.

Río Itiyuro a la altura de la ruta 34 recibe también las aguas del río de la Quebrada de Yacuiba. Esta última se origina en el sector norte de la ciudad de Yacuiba en Bolivia y durante la época de verano recibe las aguas de varios afluentes de las sierras de Campo Duran ubicadas al este de la ciudad de Salvador Mazza y las aguas de las quebradas Internacional y de Yariguarenda sobre la margen oeste.

Hacia el sur, los cursos más importantes de norte a sur son los arroyos Yacuy, Tranquitas, Zanja Honda, el río Tartagal, los arroyos Lomitas, Griton y la quebrada de Galarza. Estos ríos y arroyos que desagan el flanco occidental de la sierra de Tartagal, fluyen principalmente con sentido NO-SE, cortando las estructuras principales de rumbo norte-sur. Tienen un régimen hidrológico torrencial concentrando los máximos escurrimientos entre los meses de diciembre a marzo, mientras que para los períodos de estiaje solo algunos ríos presentan un caudal mínimo que van perdiendo a medida que ingresan a la llanura. La cuenca hidrográfica del río Tartagal tiene una superficie de 96,68 km<sup>2</sup> con una cota máxima de 1032 m y una mínima de 502 m cuando ingresa al sector urbano, lo que define una pendiente media de 2,33°. El cauce principal recorre 19 Km. desde su nacimiento hasta el puente por el cual ingresa a la ciudad de Tartagal y a partir de este punto aproximadamente 30 Km. hasta que se insume en la llanura. En los últimos años como consecuencia de mayor escurrimiento superficial, resultado del cambio de uso de la tierra y las acciones antrópicas directas sobre el cauce tales como la canalización y estrechamiento en la zona urbana, han provocado la migración hacia el este del área de depositación o abanico distal del río Tartagal.

#### 4.4 LITOLOGÍA

La región de estudio ocupa parte de las provincias geológicas de Sierras Subandinas y Llanura Chaqueña. Las sierras están formadas por mas de 10 Km. de sedimentos de edad silúrica a actual (Hernández, 2009) que se elevaron en el cuaternario, durante la orogenia andina. En la llanura afloran arenas, limos y arcillas fluviales del cuaternario.

Las Sierras Subandinas integran parte de una faja plegada y fallada de antepais conjuntamente con la Puna y la Cordillera Oriental (Figura 7)

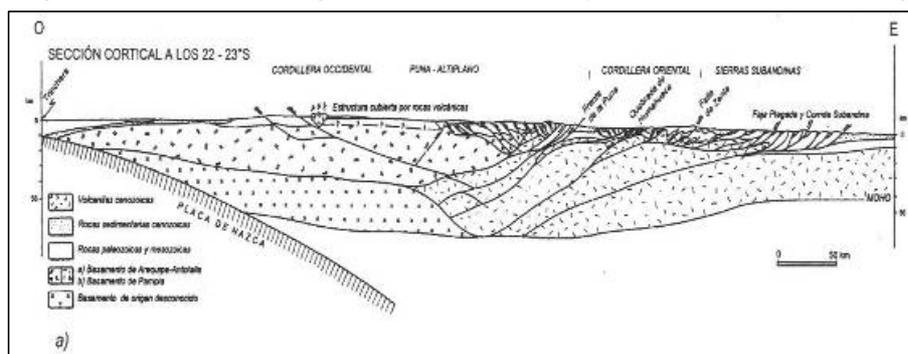


Figura 7: Diseño de la faja plegada y corrida andina, antitética al plano de subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana. Tomado de Ramos, 1999.

Cada una de las unidades morfoestructurales presenta variaciones en el estilo de deformación en base a su ubicación dentro de la cuña orogénica regionalmente comprendida entre la superficie de despegue basal inclinada hacia la Puna y la superficie topográfica fuertemente inclinada hacia la llanura chaqueña. Esta cuña denominada cuña orogénica o acrecional (Dahlen 1990) constituye un rasgo inherente a todas las fajas plegadas y falladas. En esta región de los Andes el Sistema Subandino integra el frente activo de la cuña, con una faja plegada de piel fina caracterizada por cabalgamientos de bajo ángulo y por pliegues con longitudes de ondas del orden de los 10 kilómetros vergentes al este (Mingramm et al. 1979) que se extienden hacia la República de Bolivia. Las superficies de despegue de las Sierras Subandinas se transfieren desde el basamento leptometamórfico de la Cordillera Oriental a los niveles del Paleozoico superior (Aramayo Flores, F. 1999).

El avance orogénico en las Sierras Subandinas presenta sus primeros registros sedimentarios a partir de los 8,5 Ma. (Hernández et al. 1996). El frente orogénico, ciego o no emergente en las Sierras Subandinas, se encuentra debajo de la llanura chaqueña donde la deformación disminuye de manera transicional formando pliegues suaves. El avance del frente orogénico está vinculado con la actividad sísmica actual determinada en la transición entre el sistema subandino y la llanura chaqueña (Ramos et al. 2006).

## UNIDADES LITOLÓGICAS

Las unidades geológicas aflorantes se agruparon en 8 unidades en virtud de sus características litológicas y estructurales.

### 4.4.1 PELITAS

#### 4.4.1.1 (2A) - *Diamictitas*

Corresponden a la Formación Tarija (Padula y Reyes, 1958) de edad carbonífera superior cuyos afloramientos se restringen a la ladera oriental de la sierra de Tartagal y sobre el río Bermejo en los alrededores de Balapuca. En la sierra de Tartagal, al oeste de Piquirenda esta integrada por diamictita gris oscura, pelitas grises y verdosas con presencia de rodados dispersos entre los que se destacan cuarcitas y granitoides interpretados como drop stones. Presenta intercalaciones en bancos de hasta

1.5 m de espesor de areniscas deleznablemente caracterizadas por la presencia de motas de manganeso. En algunas secciones, las areniscas aparecen en grandes bloques lenticulares y replegados inmersos y aislados en la matriz pelítica con intensa deformación sinsedimentaria (Fig.8). En la ladera oriental de la sierra de Aguara Güe entre las localidades de Piquirenda y Tuyunty esta unidad constituye el nivel de despegue de deslizamientos de gran magnitud.



Figura 8: Diamictitas, bloques lenticulares de areniscas inmersos en la matriz pelítica. El afloramiento se encuentra en el flanco oriental de la sierra de Aguara Güe, sobre el camino provincial 54 que va a la localidad de Acambuco.



Figura 9: Borde del camino que va a Acambuco, afloramientos de arenisca donde se observan estrías glaciares.

#### 4.4.1.2 (2B) - *Pelitas y areniscas subordinadas*

En esta unidad se incluye exclusivamente a la Formación San Telmo (Padula y Reyes, 1958), asignada al carbónico superior. Aflora escasamente en el anticlinal Pescado y con mayor extensión en las sierras de San Pedrito, Macueta y Tartagal - Aguara Güe, con un espesor referido por diversos autores de 350 a 400 m. En el valle de del río Itiyuro

que corta la sierra de Aguaragüe, se observan 10 metros de areniscas rojizas con intraclastos de arcilla en la base y hacia arriba areniscas con laminación fina (Fig. 10).

En la sierra de San Pedrito está compuesta por areniscas rojas laminadas con intercalaciones de pelitas rojo intenso muy diagenizadas. Se observan estratos de crecimientos con truncamientos internos. Intercalan algunos bancos de areniscas sacariodes con abundante contenido de cuarzo y escasos bancos de areniscas conglomerádicas (Fig. 11).

#### 4.4.2 PSAMITAS

##### 4.4.2.1 (IA) - Areniscas y pelitas competentes

Afloran en la parte central de la sierra El Candado formando parte del Parque Nacional Baritú. Sus afloramientos se pueden observar en el corte del río Bermejo sobre la ruta que une las ciudades bolivianas de Bermejo y Tarija (Fig. 12 y 13).

Esta unidad corresponde a las formaciones Pescado y Los Monos o Unidad Cordillerana (González Bonorino y Llambías, 1996) de edad devónica. Están integradas por bancos competentes de cuarcitas y pelitas, organizados en sucesiones estrato y granocrecientes.

En general, la Formación Pescado es más rica en areniscas y la Formación Los Monos en pelitas. Pese a su litología favorable a la generación de deslizamientos, en el ámbito de la hoja sus afloramientos se encuentran estabilizados por la intensa cobertura vegetal caracterizada por árboles de gran porte y arbustos.

##### 4.4.2.2 (IB) - Areniscas Competentes

Corresponde a la Fm Las Peñas (Padula y Reyes, 1958) bien expuesta donde el río Bermejo corta los anticlinales Nogalito y Pescado y el bloque colgante de la falla Desecho Chico, y en la sierra de Tartagal entre los ríos Caraparí y Tartagal.

En el río Caraparí, sobre el camino al dique Itiyuro, la Formación las Peñas esta compuesta por areniscas medianas a gruesas con estratificación gruesa de color gris claro a levemente verdoso (Fig. 14).

El núcleo del anticlinal que forma la sierra de Aguaragüe, esta integrado por areniscas deleznales, sacaroides, medianas a gruesas de color verde grisáceo pálido, en las que intercalan areniscas finas mas competentes de color gris parduzco. Se destaca la presencia de niveles de carbón Los bancos gruesos tienen estratificación cruzada y en algunos

sectores se encuentran fuertemente diaclasados provocando la separación de bloques y caídas por gravedad. Depósitos de bloques angulosos de hasta 1,5 m de diámetro fueron observados en pequeñas quebradas de arroyos tributarios en la margen izquierda del río Caraparí.

El espesor de esta formación es de aproximadamente 400 m en el río Caraparí (Tapia, 1985) y de 100 m en el anticlinal Pescado (Starck et al., 1993).



Figura 10: Areniscas rojas en el valle del río Itiyuro.



Figura 11: Areniscas rojas y pelitas de color rojo intenso muy meteorizadas



Figura 12: Vista de las cuarcitas en el corte ubicado sobre la ruta boliviana que une las localidades de Bermejo y Tarija en Bolivia.



Figura 13: Detalle de las cuarcitas sobre la ruta boliviana que une las localidades de Bermejo y Tarija en Bolivia.



Figura 14: Afloramiento de areniscas Las Peñas en la margen izquierda del río Carapari, además de la estratificación se observan varios juegos de diaclasas.



Figura 15: Areniscas blancas eólicas con estratificación entrecruzada, ubicadas en la compuerta del dique de Itiyuro.



Figura 16: Afloramiento de las areniscas blancas y rojizas del grupo Cuevo en sobre el camino que va a san Pedrito en la sierra de San Antonio. En la sierra de San Antonio, sobre en el corte del camino que va a San Pedrito, se observan areniscas blancas y rojas pertenecientes al grupo Cuevo (Fig. 16) (GPS 225 y 233)

#### 4.4.2.3 (3) - Areniscas Deleznables

Esta unidad incluye los grupos Cuevo (Schlater y Nederloff 1966), Tacurú (Padula y Reyes, 1958) y las Formaciones Tranquitas y Garganta. Están extensamente expuestas en el ámbito serrano de la Hoja, en algunos casos integran los núcleos y en otros los flancos de los anticlinales que dan origen a las sierras mas elevadas. Los grupos Cuevo y Tacurú están integrados por areniscas finas a medianas, grises, blanquecinas y rojas en su mayoría de origen eólico. En la compuerta del dique Itiyuro se observó la presencia de bancos medianos con laminación entrecruzada de bajo ángulo en la base, areniscas medianas de origen eólico caracterizadas por estratificación entrecruzada de alto ángulo en la parte media y bancos de areniscas impregnadas de sílice que forman pseudoclastos aislados en la parte superior de la sección superior (Fig.15).La forma-

ción Tranquitas tiene buenas exposiciones en Bolivia, frente al puente de aguas Blancas, en la quebrada de Galarza y en los cortes de acceso al yacimiento Ramos de Pluspetrol.

Las formaciones Tranquitas (Schlagintweit, 1938) y Garganta están compuestas mayoritariamente por areniscas finas a medianas de colores amarillo verdosas grises y blanquecinas muy deleznables y en ocasiones medianamente alteradas.

La sección inferior es masivamente arenosa (Fig. 17), mientras que en el tramo superior presenta intercalaciones de pelitas verdes y areniscas finas limo-arcillosas de color ocre.

Los niveles pelíticos, suavemente inclinados a favor de la pendiente, actuaron como superficies de despegue de deslizamientos en la quebrada Gritón en la ladera oriental de la sierra de Aguaragüe, próximo al Pozo Lomita 1001 de la Compañía Tecpetrol. El espesor de la Formación Tranquitas varía entre 500m y 750.



Figura 17: areniscas de la Formación Tranquitas en el flanco oriental de la sierra de Tartagal, sobre el camino de acceso a la planta de Tecpetrol.



Figura 18: Bancos de pelitas rojas y grises con intercalaciones de bancos de areniscas. Sector de la ladera inestable.



Figura 19: detalle de la arenisca de la formación Tranquitas, se observa la estratificación y varias direcciones de diaclasas.

#### 4.4.2.4 - Areniscas limosas y pelitas subordinadas

Corresponden a las unidades denominadas Subgrupo Terciario Subandino (Mauri, 1956), y Pri-

mer, Segundo y Tercer Ciclos Progradantes. Esta unidad está restringida al sector occidental de la Hoja. Solo se observan afloramientos en algunos cortes de caminos y quebradas, ya que en su mayor parte se encuentra bajo la cobertura de suelos cuaternarios y vegetación.

La litología dominante está integrada por areniscas grises claras a pardas, de grano fino y mediano, dispuestas en estratos medianos y gruesos que alternan con pelitas rojizas y escasas intercalaciones de tobas.

Los bancos de areniscas son mayormente masivos, aunque en algunos casos presentan estratificación entrecruzada y techos y bases irregulares. Conforman una sucesión de tres ciclos fluviales granocrecientes que se inician con pelitas rojizas y culminan con estratos de areniscas conglomerádicas y escasos conglomerados en la parte superior del tercer ciclo.

En el flanco occidental de la sierra de Aguaragüe se colectaron cuatro muestras del Terciario Subandino, dos de ellas sobre el camino que comunica Vespucio con el río Seco y las otras dos en las cercanías de la ruta provincial rumbo a Acambuco. Según el (sistema unificado de clasificación de suelos) los sedimentos terciarios son CL (arcillas limosas de baja a media plasticidad), SM (arena limosa), CH (limos de alta plasticidad) y ML (limos de baja plasticidad). En el sector oeste de la hoja, sobre la ruta que va de Aguas Blancas a Tarija (Bolivia) se observan intercalaciones de bancos de areniscas y arcillitas con inclinaciones de hasta  $65^\circ$ . Los bancos de arcillas están muy erosionados y a partir de los bancos de areniscas se producen caídas y deslizamientos planares.



Figura 20: Secuencia de pelitas y areniscas, expuesta en la cicatriz de un gran deslizamiento, en el camino que va de la planta norte a la Porcelana en el sector austral de la sierra de San Antonio.

En las Cumbres de San Antonio la secuencia está esencialmente compuesta por bancos continuos y lentes de hasta 1 m de espesor de pelitas rojizas y verdosas intercaladas en bancos potentes de aproximadamente 4 a 10 m de espesor de areniscas medianas a gruesas muy deleznales.

En la ladera occidental de la sierra de San Antonio, se produjeron grandes deslizamientos dentro de esta unidad dejando expuesto un paredón abrupto de aproximadamente 50 m. También se observaron en la ladera oriental derrumbes y caídas de bloques de menor volumen facilitados por las inclinaciones de los estratos y por la presencia de pelitas.

#### 4.4.2.5 (5) - Conglomerados y areniscas conglomerádicas

Corresponde a las Formaciones Piquete y Guanaco (Gebhard et al., 1974) y sus equivalentes Formación Simbolar y Terciario Subandino superior.

Esta integrada por bancos potentes de conglomerados polimícticos de grano grueso con clastos orientados y a menudo imbricados, inmersos en matriz arenosa. Estos depósitos corresponden a abanicos aluviales acumulados en depresiones formadas por la estructuración de las sierras. Los espesores de esta unidad son variables entre 400 m en el sector occidental de la Carta Geológica y 2000 m en la franja oriental (Hernández et al., 1996). En la quebrada Zanja Honda se apoyan discordantemente sobre areniscas del Terciario Subandino inferior. Al este de Campo Duran sobre el camino que va a Santa Victoria, se observan bancos de conglomerados que inclinan hacia el este (Fig. 21).



Figura 21: Corte en el borde de la ruta que va a Santa Victoria al este de Campo Duran, se observan bancos de arena y conglomerados que forman un alero mas resistente. Toda la secuencia se encuentra en el flanco occidental de la sierra de Campo Duran. La inclinación de los estratos es hacia el este.

### 4.4.3 DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

#### 4.4.3.1 (6) - Depósitos de abanicos aluviales cuaternarios

Esta unidad agrupa los depósitos de abanicos aluviales ubicados al pie de las sierras de Tartagal y Campo Duran, y en la ladera occidental de las sierras San Antonio y San Pedrito.

A varios kilómetros al este de Tartagal (GPS 278) el perfil observado en una quebrada de 5 m de profundidad ubicada a la vera de la ruta 86, muestra un depósito de 1,8 m de espesor limo arcilloso de color rojizo apoyado sobre sedimentos mas arenoso, de color parduzco. Se destaca que estos depósitos son altamente erodables (Fig. 22). Se obtuvo una muestra (278/7) entre 110 y 180 cm profundidad, cuyo análisis granulométrico dio como resultado una arcilla limosa de baja a media plasticidad (CL).

En la misma unidad más al este (GPS 279/8) se sacó otra muestra que dio una textura de arena arcillosa (SC) con baja plasticidad (12.1).

El espesor de los depósitos cerca del pie de sierra es estimado por los autores de la Carta Geológica, en 140 m en base a un pozo de agua cercano a Gral. Ballivian.

Estos depósitos se encuentran surcados por numerosas cárcavas en las áreas cultivadas extendidas al este y al sur de la ciudad de Tartagal. Cerca de la Planta de Tecpetrol ubicada entre Tartagal y Mosconi se observaron numerosas cárcavas, destacándose una de ellas de más de 16 m. Como testimonio de la velocidad de la erosión retrocedente y avance de las cárcavas, se registra un badén sobre la quebrada Gritón (camino a la planta del Tecpetrol) profundizado a más de 5 m en el lapso de 2 años.



Figura 22: Cauce que atraviesa la ruta provincial 86 que va a Tonono, se observan los depósitos cuaternarios en el corte de la barranca.

#### 4.4.3.2 (7 y 5) - Depósitos de abanicos aluviales y áreas inundables con baja pendiente y 11. - Depósitos de abanicos aluviales del río Itiyuro

Esta unidad agrupa los depósitos arena limosos y arena arcillosos de abanicos aluviales extendidos al este de la sierra de Campo Durán y que ocupan la franja oriental de la Hoja. Los suelos comunes en esta región son los Grandes Grupos Haplusterte (Vertisol), Haplustal (Alfisol) y Hapludol (Molisol) (Nadir y Chafatinos, 1994).

Es una unidad compleja formada por sedimentos fluviales de numerosos cauces recientes y subrecientes, se ha dividido en tres subunidades: 1. Depósitos de abanicos aluviales 2. Áreas inundables con baja pendiente y 3. Depósitos de abanicos aluviales del río Itiyuro. Los primeros son áreas elongadas este oeste y noroeste y sudeste formadas por depósitos de abanicos aluviales distales. Los segundos son áreas elongadas con la misma orientación que las anteriores con algunos cursos activos que nacen en el abanico proximal. Estos ambientes se inundan temporalmente durante la época de lluvia y son las vías de escurrimiento distal de algunos ríos y arroyos que nacen en la sierra de Tartagal y de Campo Duran.

La tercer subunidad (depósitos de abanicos aluviales del río Itiyuro), abarca una franja a ambos lados del río.

En la parte distal se encuentran depósitos arenosos recientes y algunos cauces activos durante las crecidas, mientras que en la porción proximal los depósitos son más antiguos (subrecientes) y las geoformas más estables.

En las imágenes satelitales se observa una menor densidad de cárcavas en esta unidad en relación con la unidad 6. Las aguas de canales y cauces de los ríos, entre los que se destaca el Itiyuro, se insumen dentro de los límites de la Hoja Tartagal.

#### 4.4.3.3 (8)- Depósitos de planicies aluviales actuales

Esta unidad incluye bloques gravas, arenas y arcillas que rellenan los cauces de los ríos actualmente activos.

En los tramos de los ríos que atraviesan las sierras los sedimentos que rellenan los cauces van desde arena a bloques. Los depósitos de la planicie aluvial del río Seco son arenas arcillosas o are-



Figura 23: planicie aluvial del río Itiyuro entre el embalse y la ruta nacional 34. Se observan grandes bloques de areniscas de la Fm. las Peñas.



Figura 24: Depósitos arena limosos de la terraza del río Itiyuro, a la altura de Tonono.

nas limosas. Los depósitos aluviales del río Itiyuro entre el embalse y el pie de la sierra están compuestos por arenas, gravas y grandes bloques de areniscas de la formación las Peñas (Fig. 23) y en el ámbito de la llanura por arenas.

Se obtuvo una muestra (281/9) de los depósitos de terraza del río Itiyuro (Fig. 24) a la altura de Tonono que se clasificó como arena limosa (SM según el sistema de clasificación de suelos).

Su mayor extensión se encuentra en el sudoeste de la Hoja donde el sistema de canales del río Itiyuro se une con madrejones y meandros abandonados de la cuenca del río Bermejo.

Bonorino et al (2001) refieren que los registros de pozos de agua y pruebas de sísmica de reflexión de poca profundidad realizados en la región, indican que estos depósitos están compuestos por arenas finas y medianas bien seleccionadas y participan en una proporción del 10 % niveles de arena con gravilla y delgados bancos de arcilla y limo.

#### 4.4.3.4 (10) - Depósitos de planicies aluviales cuaternarias del río Bermejo

Se trata de una unidad compuesta por sedimentos fluviales con cursos activos e inactivos. Litológicamente están compuestas por arena, limos y arcillas no consolidados. Dentro de la unidad hay meandros abandonados que forman lagunas y bajos alargados o pantanos laterales en los interfluvios.

#### 4.4.4 DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE DEPÓSITOS POCO CONSOLIDADOS Y NO CONSOLIDADOS.

En el campo se tomaron 19 muestras 2 pertenecientes a la unidad litológica (Areniscas deleznales) (Fm. Tranquitas), 12 del Terciario subandino y 5 del cuaternario.

Se clasifican en cuatro grandes grupos según su granulometría:

1. Gravas: se caracterizan por tener tamaño de granos entre 12 y 2mm
2. Arenas con partículas comprendidas entre 2 y 0.060 mm
3. Limos partículas comprendidas entre 0.060mm y 0.002mm, retiene el agua mejor que los tamaño anteriores.
4. Arcillas formadas por partículas inferiores a 0.002 mm, pueden tener un comportamiento coloi-

dal y tienen capacidad de retener agua muy grande, la granulometría de las fracciones mas gruesas (grava y arena) se realizó con una serie de 10 tamices entre 12.7 y 0.074 mm obteniendo su distribución hasta el tamaño de arena fina.

Las fracciones finas fueron tamizadas vía húmeda en el tamiz de la serie; correspondiente al diámetro de partículas menores a 0,075 mm (tamiz de la serie ASTM N°200). Al porcentaje de mineral pasante 0,075 mm de las muestras se les realizó la determinación de distribución granulométrica con el sedigraph 5100.

#### 4.4.5 PLASTIDAD Y TEXTURA DE LOS SUELOS

Los suelos son susceptibles de sufrir deformaciones hasta cierto límite sin romper su estructura destacándose las arcillas y los limos arcillosos por dicha propiedad.

Para ponderar este proceso se utilizan los límites Atterberg y entre ellos se destaca el Límite Líquido (Lw) que equivale al contenido de humedad en % del peso del suelo seco y se determina mediante un aparato diseñado por Casagrande. El límite plástico (Pw) es el contenido de humedad límite inferior del estado plástico del suelo expresado en % respecto del peso seco del suelo. Es la cantidad de agua que requiere un suelo para pasar del estado

Numero	Textura	Plasticidad	Nombre	Formación/Depósito
M41-1	SM-SC	6.9	Arena con limo y arcilla	Terciario subandino
M41-2	CL	11.6	Arcilla inorgánica	Terciario subandino
M41-3	SC	8.9	Arena arcillosa	Terciario subandino
M49-4	SM	3.4	Arena limosa	Tranquitas
M55-5	SM	sin plast.	Arena limosa	Terciario subandino
M55-6	SC	25.5	Arena arcillosa	Terciario subandino
M55-7	CL	17.7	Arcilla inorgánica	Terciario subandino
M63-8	ML	3.3	Limo inorgánico	Cuaternario
M63-9	CL-ML	6.6	Limo arcilloso	Cuaternario
V8/1	SM	2.3	Arena limosa	Tranquitas
V9/2	CL	21.3	Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad	Terciario subandino
V9/3	SM	sin plast.	Arena limosa	Terciario subandino
V10/4	CL	18.5	Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad	Terciario subandino
Acam/6	CL	10.2	Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad	Terciario subandino
254/5	CH	21.8	Arcilla inorgánica de alta plasticidad	Terciario subandino
254/6	ML	1.4	Limo inorgánico	Terciario subandino
278/7	CL	8.5	Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad	Cuaternario
279/8	SC	12.1	Arena arcillosa	Cuaternario
281/9	SM	sin plast.	Arena limosa	Cuaternario

Tabla 2: Resumen de la textura (Sistema unificado de clasificación de suelos) y la plasticidad de las muestras analizadas.

sólido a uno plástico. Estos 2 límites se determinan con la fracción de suelo que pasa por el tamiz N° 40 A.S.T.M. (0.1 mm) El índice de elasticidad se calcula mediante la diferencia entre el valor del límite Líquido y del Límite Plástico.

$$L_w - P_w = I_w$$

Las granulometrías de las muestras ubicadas en la llanura perteneciente a la unidad litológica (Depósitos de abanicos aluviales cuaternarios) son limo arenosas.

Así como las muestras del depósito de deslizamiento y fluviales actuales de la quebrada del Aguay. Las 2 muestras de la formación Tranquitas en cambio tienen una granulometría netamente arenosa y arenosa con un porcentaje de grava (Tabla 2).

En cuanto a la plasticidad en general las muestras con textura arcillosa tienen un índice de plasticidad entre 17 y 25 plasticidad media (Tabla 2).

#### 4.5 GEOMORFOLOGÍA

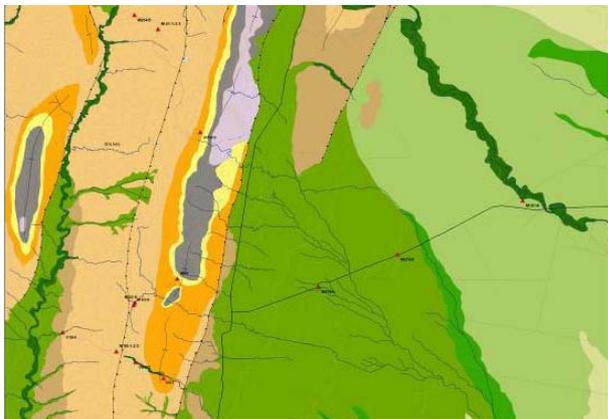


Figura 25: Recorte del mapa litológico con ubicación de las muestras analizadas.

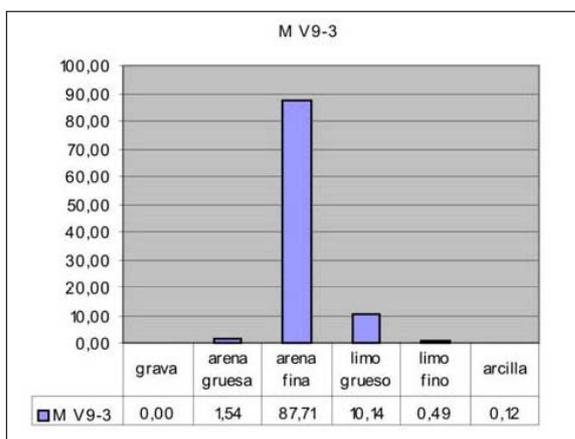


Figura 26a

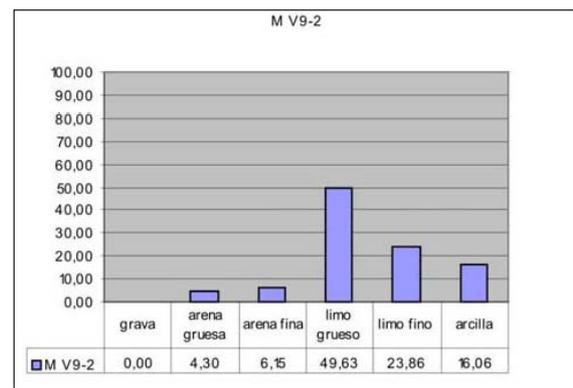


Figura 26b



Figura 26a,b,c: Bancos de arcilla y arena castaña clara del terciario subandino y gráficos con los resultados de los análisis granulométricos. El afloramiento está ubicado sobre el camino que va de Vespucio al río Seco.

El área de estudio comprende dos grandes ambientes: el sector occidental serrano, correspondiente a la Unidad Estructural Sierras Subandinas, y el sector llano oriental que forma parte de la extensa Llanura Chaqueña.

#### UNIDAD ESTRUCTURAL SIERRAS SUBANDINAS

Los sistemas serranos locales están constituidos por la Sierra baja de Orán, Serranía del Divisadero, al oeste de la confluencia de los ríos Bermejo y Tarija (límite internacional Argentina – Bolivia), en el sector suroccidental de la hoja; Sierras del Alto río Seco también denominadas Cumbres de San Antonio, Serranía de Itaú, Alto de Macueta, ubicadas respectivamente de sur a norte al este del límite internacional y al oeste del Valle del Río Seco que discurre con sentido meridional en la parte central del área de estudio. Con la misma orientación y hacia el naciente, se halla la Sierra de Tartagal, cons-

tituyendo la unidad de mayor altitud y pendientes del área de estudio.

Las Sierras Subandinas integran parte de una faja plegada y fallada de antepais conjuntamente con la Puna y la Cordillera Oriental.

Estas sierras presentan un marcado lineamiento estructural con sentido aproximado N-S consecuencia de su origen resultado de fajas plegadas y corridas, con fuerte control estructural debido a los plegamientos, diferente grado de coherencia de las sedimentitas plegadas, variación de potencia de los bancos y fallas.

El mismo se manifiesta de modo muy conspicuo en la red de drenaje de tipo (en enrejado) y en menor grado (rectangular angular). El ambiente se caracteriza por geoformas debidas a la erosión fluvial y por procesos de movimiento en masa, fuertemente condicionados por la litología y estructura geológicas.

Se distinguieron unidades geomórficas formadas por planos inclinados o subhorizontales que coinciden con limbos y charnelas de los pliegues; sectores de crestas y senos formados por secuencias sedimentarias inclinadas con diferente grado de coherencia y meteorización; ambiente serrano resultante de la erosión fluvial, entre los cuales se distinguen sectores de mayor densidad de irrigación y otros con fuerte control estructural (lineamientos norte-sur); pedimentos; conos y bajadas aluviales; llanos intermontanos; valles anticlinales; cañadones y valles intermontanos.

Las mayores elevaciones corresponden a la sierra de Tartagal y no superan los 1400 m, destacándose el cerro Tuyuntí.

Las pendientes por lo general son cortas y variables entre 15 y 25°, con valores extremos de 60°. En relación con la orientación de las mismas se observa un fuerte control litológico-estructural debido a la presencia de los plegamientos como a la diferente coherencia y potencia de los bancos que componen las laderas. En virtud de la litología, la red de drenaje también se halla fuertemente controlada con un alto grado de densidad, como es el caso de la unidad (Relieve erosivo múltiple densamente irrigado) y diseños en enrejado como en los casos de las unidades (Relieve de cuevas y crestas en flancos homoclinales) y (Relieve erosivo múltiple en limbos homoclinales).

Se incluyen en el ambiente serrano, planicies intermontanas asociadas a los cursos fluviales de mayor jerarquía tales como Bermejo, Grande de Tarija y Seco, que discurren con rumbo aproximado

norte sur y diseño que evidencia variable control estructural según el tramo considerado. Las geoformas adyacentes a los cauces, están constituidas por las planicies aluviales, terrazas y las bajadas de los afluentes. El diseño de la red fluvial de la región responde al citado control estructural, originándose así valles paralelos a las sierras. Sin embargo, los ríos principales, en alguna parte de su recorrido discurren transversalmente a las estructuras cruzando las sierras de oeste a este y alcanzando la llanura.

### UNIDAD ESTRUCTURAL LLANURA ORIENTAL

Constituye un ambiente de escaso relieve con pendiente regional hacia el sureste, extendido entre los ríos Pilcomayo y Bermejo.

Se desarrolla como resultado del proceso fluvial en un ambiente pedemontano extenso, dominado por planicies de inundación, terrazas aluviales y abanicos distales dominados por paleocauces y áreas de interfluvio.

El curso fluvial principal es el río Itiyuro, que nace en el ambiente serrano donde es denominado Caraparí. Posee en su cuenca superior y media fuerte control estructural pasando a la llanura con hábito meandriforme y geoformas fluviales asociadas bien desarrolladas.

Aproximadamente a los 60 Km. del frente serrano el canal se interrumpe dando lugar a un abanico distal.

Los cursos de menor envergadura son de carácter temporario y escaso desarrollo, denominados localmente (zanjas) o (cañadas). En las proximidades del frente serrano presentan un cauce definido que se va atenuando hacia el sureste, hasta que se insumen a distancias entre 20 y 40 Km. del piedemonte.

Los cursos presentan un diseño de la red de drenaje de tipo paralelo con rumbo noroeste- sureste.

Al sur de la hoja, se encuentra el ambiente formado por paleocauces del río Bermejo, resultantes de su migración meridional.

Los antiguos canales presentan rumbo oeste-este y constituyen un límite natural para los cursos provenientes de la sierra, al noroeste del paleosistema del Bermejo.

La confluencia de ambos sistemas produce una concentración de aguas y la consecuente formación de lagunas (en collera) en el límite entre ambas unidades.

#### 4.5.1 UNIDADES DOMINADAS POR LA AGRADACIÓN FLUVIAL:

##### 4.5.1.1 Planicies aluviales de ríos meandriformes. (200)

Esta unidad fue definida para los ríos de mayor envergadura, como el Grande de Tarija (o Itaú), Bermejo, Pescado, Seco, Carapary/Itiyuro y Quebrada Internacional. Con excepción del río Seco, estos cursos presentan régimen permanente. Ocupa una superficie aproximada de 0,05 km<sup>2</sup>, con cotas que oscilan entre los 700 m en la cuenca alta de río Seco, hasta los 300 m en la cuenca baja del río Itiyuro. Dada su morfología predominantemente llana, las pendientes son tendidas en coincidencia con el perfil longitudinal del cauce. Está formada por las tierras inmediatamente adyacentes al cauce, que en ocasiones de crecidas son incluidas en el mismo. Presentan relieve llano y microrelieve ondulado debido a formas de estructuras de corriente como barras longitudinales y óndulas. Son zonas de morfogénesis intensa por migración del canal fluvial y la elevada tasa de sedimentos en transporte.

Los depósitos son gravas medias a gruesas en las partes más elevadas de la cuenca y limo arenosos en los sectores donde los cauces surcan la llanura oriental, dada la disminución de la pendiente y en consecuencia de la capacidad de carga. Esta unidad adquiere una dimensión mayor en las proximidades de la afluencia del río Pescado en el río Bermejo, en el borde suroccidental de la hoja. En este curso, se ha extendido lateralmente a expensas de la erosión de la terraza y como consecuencia de una captura artificial resultado de la acción antrópica (ver párrafo de hidrología superficial).



Figura 27: Valle (Quebrada Internacional), en el límite con Bolivia en la localidad de Salvador Mazza. Unidad (Fajas aluviales de ríos meandriformes)



Figura 28: Río Itaú, límite internacional Argentina – Bolivia



Figura 29: Vista del río Yacuiba desde el poblado Monte Sinaí. Unidad (Fajas aluviales de ríos meandriformes).



Figura 30: Río Bermejo. Barras longitudinales y laterales

##### 4.5.1.2 Terrazas bajas de ríos meandriformes (1)

Se asocia a los cursos de mayor importancia, en su mayoría de régimen permanente, tales como Grande de Tarija (o Itaú), Bermejo, Pescado, Caraparí/Itiyuro, Quebrada Internacional y con menor desarrollo en el río Seco, éste último de régimen transitorio. Se ensancha notablemente en la cuenca baja del río Grande de Tarija, en las proximidades de su con-



Figura 31: Valle del río Itiyuro, cuenca media, en las proximidades de la localidad de Bobadal. Unidad (Terraza baja de ríos meandriiformes)

fluencia con el Bermejo. La unidad presenta escaso desarrollo superficial y distribución saltuaria, con cotas entre 600 y 350 m en la cuenca alta y baja del río Grande de Tarija o Itaú respectivamente. Denota un relieve plano con pendientes tendidas, adyacente a la planicie aluvial. Constituye una geoforma de acumulación debida al proceso fluvial vinculado a un nivel de base previo, superior al actual. En algunos casos, como en la cuenca baja del río Itiyuro, la migración lateral afecta a esta unidad e incluso a la terraza inmediatamente superior por procesos de activación de la erosión hídrica vinculados a la deforestación.

#### 4.5.1.3 Terrazas altas de ríos meandriiformes (2)

Esta unidad si bien tiene escasa representación cartográfica dada la escala de trabajo, adquiere su máxima expresión en la cuenca baja del río Grande de Tarija y en la confluencia Bermejo-Tarija-Pescado. Su superficie de relieve plano, pendiente suave y aparición saltuaria alcanza los 14 km<sup>2</sup> en el mapa geomorfológico. Se halla a una cota promedio de 350 m. Se formó por acción fluvial con un nivel de base superior al actual y constituyen unidades remanentes ubicadas entre las bajadas intermontanas y el nivel de terraza inmediatamente inferior.

#### 4.5.1.4 Bajadas intermontanas y edemontanas proximales (9)

Se desarrollan en los laterales de los valles de los ríos Grande de Tarija o Itaú, Bermejo y Seco, y en el ambiente pedemontano proximal de la Sierra de Tartagal. La representatividad areal a la escala de trabajo (1:250000) es de 153 km<sup>2</sup> con relieve pla-

no moderadamente inclinado, con pendientes bajas en el rango de 0-7°.

Las cotas oscilan entre 700 m en la alta cuenca del río Grande de Tarija y 350 m en las proximidades de la confluencia del mencionado curso fluvial con el Bermejo y el Pescado. Se forma por coalescencia de abanicos aluviales correspondientes a los cursos, de escaso recorrido perpendiculares al rumbo de la estructura principal de las Sierras (N-S). En los sectores del flanco oriental de las sierras del Río Seco o San Antonio, estas geoformas presentan un marcado control tectónico-litológico desarrollándose en dos niveles altitudinales como abanicos (en cadena). En general están constituidos por depósitos finos (arena y limo) resultantes de la disgregación de las sedimentitas aflorantes en los limbos de los pliegues.

#### 4.5.1.5 Bajadas proximales orientales (12)

Constituye el piedemonte proximal de la sierra de Tartagal y está formada por la coalescencia de abanicos aluviales de los cursos que descienden de la sierra con rumbo noroeste-sureste tales como Zanja Honda, Yacuy, Tranquitas, Yariguarenda, Zanja Honda (otro curso homónimo al antes mencionado pero de mejor envergadura), Caña Muerta, Tartagal, Gritón, Lomitas, Galarza y numerosas vías de escurrimiento más pequeñas y de régimen transitorio ubicadas al sur de Tartagal, en coincidencia con la disminución de la altitud de la sierra.

Constituye una llanura que abarca una superficie de 1430 km<sup>2</sup>, con cotas entre 500 y 300 m, y pendientes entre 0,5 % y 0,7 %.

En las proximidades del quiebre de pendiente sierra-llano, los cauces muestran diseño predominantemente distributivo, pero aguas abajo tienden a unificarse en un diseño dendrítico siguiendo la inclinación regional.

Asimismo, muchos cursos que inicialmente se insumen en el llano, afloran en su tramo medio y distal, contribuyendo a la formación de la mencionada red dendrítica.

Predomina la agradación fluvial, con episodios erosivos lineales en algunos sectores de los cauces.

Actualmente debido al tipo de uso de la tierra predominantemente agrícola de grandes latifundios, ha promovido la alteración del escurrimiento superficial debido al cambio de tipo y grado de cobertura vegetal (reemplazo de monte por monocultivo) y de la canalización, desvío y prolongación de los cauces con la finalidad de drenar humedales, facilitar laboreos y redistribuir el recurso hídrico.



Figuras 32 y 33: En la foto de la izquierda vista de la unidad bajadas proximales orientales con cultivos. Foto de la derecha planicie aluvial del río Tartagal al este de la ciudad de Tartagal.

#### 4.5.1.6 Vías de escurrimiento de abanicos distales (13)

Se ubica en el ámbito de la llanura oriental y se halla constituida por cauces (denominados localmente zanjones dada su escasa profundidad y la presencia de humedales) y sectores adyacentes. La superficie involucrada en esta bajada es de 790 km<sup>2</sup>, con cotas variables entre 400 y 250 m y pendientes del orden de 0,2 % a 0,3 %. Constituyen un ambiente llano, con una red de drenaje de diseño dendrítico distributivo.

La actividad geomórfica es elevada y está dominada por procesos de agradación (colmatación del cauce y su consecuente migración) y de erosión lineal, restringida a algunos tramos de los cursos.

Estos sectores se denominan localmente (arenales), y constituyen una limitante al desarrollo de localidades cercanas. La migración de los cursos y sus áreas de derrame, se hallan influenciadas por un incremento en la velocidad de los procesos potenciada por una mayor escorrentía debida a la deforestación.



Figura 33b: Se observa en color claro un cauce seco de la unidad (Vías de escurrimiento de abanicos distales).

#### 4.5.1.7 Áreas de interfluvio de abanicos distales (14)

La presente unidad se halla en el ámbito de la llanura oriental, interdigitada y genéticamente relacionada con la unidad previamente descrita. Abarca una superficie de 788 km<sup>2</sup>, con altitudes variables entre 400 y 250 m y desniveles entre 0,2 % a 0,3 %, con pendiente regional hacia el sureste.

Presenta un relieve llano, resultante de la actividad fluvial en un ambiente de bajada, formado por paleocauces inactivos que conforman áreas de interfluvio entre las vías de escurrimiento actualmente activas, agrupadas en la Unidad (Vías de escurrimiento de abanicos distales).

#### 4.5.1.8 Unidad: Abanico antiguo del río Itiyuro (15)

Conforma territorios llanos, adyacentes al norte y al sur del río Itiyuro.

Presenta cotas entre 500 m en el pie de monte, hasta 250 m en el área de la llanura oriental, con pendientes atenuadas, de 0,2 a 0,3 % hacia el sureste.

Genéticamente son paleocauces inactivos que constituyen interfluvios de las vías actuales y subactuales del río Itiyuro y arroyos que bajan de la sierra de Tartagal y discurren con rumbo noroeste sureste

Resultan del proceso fluvial, por colmatación del cauce y posterior migración, dando lugar a la formación de numerosos paleocauces.

Este abanico tiene un nivel de base diferente al actual y la zona de derrame se encuentra actualmente migrando hacia el sureste.



Figura 34: Vista de las áreas de interfluvio con vegetación de monte chaqueño en los alrededores de la ruta provincial 54.



Figura 35: Comunidad aborigen que vive sobre la ruta provincial 86 que lleva hasta el río Itiyuro. Se observa la vegetación de monte chaqueño que crece sobre la unidad de antiguo abanico conformada por suelos limo arenosos y pendientes suaves.

#### 4.5.1.9 Abanico actual del río Itiyuro

Se halla aproximadamente 43 Km. al sureste del piedemonte, en el ámbito de la llanura. Abarca una superficie de 254 km<sup>2</sup>, con cotas del orden de 325 a 225 m y pendiente sureste 0,2 %. Constituye un ambiente plano de forma elongada con sentido noroeste sureste en el cual el río pierde su canalización dando lugar a un ambiente de agradación y descarga subsuperficial, con procesos geomórficos intensamente activos. Estos procesos fueron reconocidos al sur de la localidad de Bobadal, prolongándose hacia el sureste hasta la confluencia de esta faja con la unidad (abanico antiguo del río Bermejo) donde se forma una laguna permanente. Localmente se reconoce como una zona de (arenales) y los procesos de agradación y migración del cauce afectan las rutas y terrenos donde se asientan las poblaciones. La deforestación en líneas sísmicas provoca la formación de vías preferenciales de escurrimiento e incrementa por erosión y la carga sedimentaria de las corrientes, con el consecuente aumento de material disponible para sedimentación.



Figura 36: Vista del cauce del río Itiyuro a la altura de la localidad de Bobadal se observan las terrazas arenosas perteneciente a la unidad (abanico actual del Río Itiyuro).

#### 4.5.1.10 Abanico antiguo del río Bermejo (paleocauces del río bermejo)

La presente unidad se halla en el sureste de la hoja con una superficie de 634 km<sup>2</sup>, alcanzando su mayor extensión fuera del área de estudio (Hoja Orán).

Las cotas no superan los 250 m y las pendientes muy tendidas (aproximadamente 0,2%), tienen sentido oeste-este. Constituye un ambiente plano de origen fluvial, con numerosos paleocauces y bajos ocupados por lagunas perennes o estacionales, con diseño (en collera).

Se formó por migración hacia el sur de paleocauces meandriformes y anastomosados, del sistema Bermejo, debido a causas tectónicas y climáticas.

En el límite norte de esta unidad confluyen los sistemas fluviales que provienen de la sierra de Tartagal con sentido noroeste-sureste, formando numerosos cuerpos de agua permanentes en los bajos derivados de los paleocauces.

### 4.5.2 UNIDADES DOMINADAS POR EL CONTROL ESTRUCTURAL

#### 4.5.2.1 Limbos y cumbres de anticlinales

Forma un relieve serrano integrado por superficies inclinadas y planas que corresponden respectivamente a limbos y cumbres de anticlinales, parcialmente erosionadas, en las cuales se halla bien conservada su morfología estructural original, en virtud de su características litológicas. Se halla en sectores cuspidales de la parte norte de las Sierras de Tartagal, filo de Achiri y sector septentrional de las Cumbres de San Antonio, a la altura de la localidad de Yariaguarenda, abarcando una superficie aproximada de 61,5 km<sup>2</sup>. Presenta cotas entre 750 y 1200 m aproximadamente y pendientes pronunciadas predominantemente de 15 a 30° y en menor proporción mayores de 30° (ver mapa de pendientes).

Está constituida por bancos homoclinales de areniscas competentes, fuertemente cohesivas de la formación Las Peñas (edad Carbonífero superior). Los procesos más conspicuos son erosión hídrica y remoción en masa. Se han observado evidencias de grandes movimientos en masa (deslizamientos y caídas de rocas y detritos) en la sierra de Tartagal.



Figuras 37



Figura 37 y 38: Paisaje unidad geomórfica (Limbos y cumbres de anticlinales), paraje conocido como (La montura) por donde pasa el camino a Yariaguarenda. Se observan los estratos de areniscas competentes intercaladas con pelitas casi horizontales por ser la cresta del pliegue.

#### 4.5.2.2 Relieve de cuestras y crestas en flancos homoclinales

Esta unidad constituye un relieve serrano con marcados lineamientos estructurales NE-SO, formados por erosión diferencial en bancos homoclinales de variable potencia y resistencia a la erosión que forman los limbos de los pliegues. La alternancia de bancos duros y friables, con esa disposición estructural permite el desarrollo de un relieve de crestas y cuestras homoclinales caracterizadas por escarpas de erosión y de inclinación que condicionan el diseño de la red de drenaje. La presencia de valles de rumbo y migración homoclinal (figura 39) son rasgos comunes de esta unidad (González Díaz y Malagnino, 1986).

Se reconoce en la vertiente occidental de las Sierras del Alto Río Seco o Cumbres de San Antonio; sector Norte de sierra de Macueta; en las estribaciones más bajas de las vertientes oriental y occidental de la Sierra de Tartagal; en el extremo

suroeste de la hoja y en parte de las vertientes orientales de la Sierra de Divisadero, ocupando una superficie aproximada de 356 km<sup>2</sup>.

Las elevaciones mayores promedian los 750 m y las pendientes dominantes son de dos clases: 7 a 15° y 15 a 30°. Predominan el proceso erosivo fluvial

y la remoción en masa, que modelan la geomorfología de carácter esencialmente estructural.

Se asocia a litologías friables tales como areniscas limosas y pelitas subordinadas del Terciario subandino (Unidad 4 del mapa litológico).

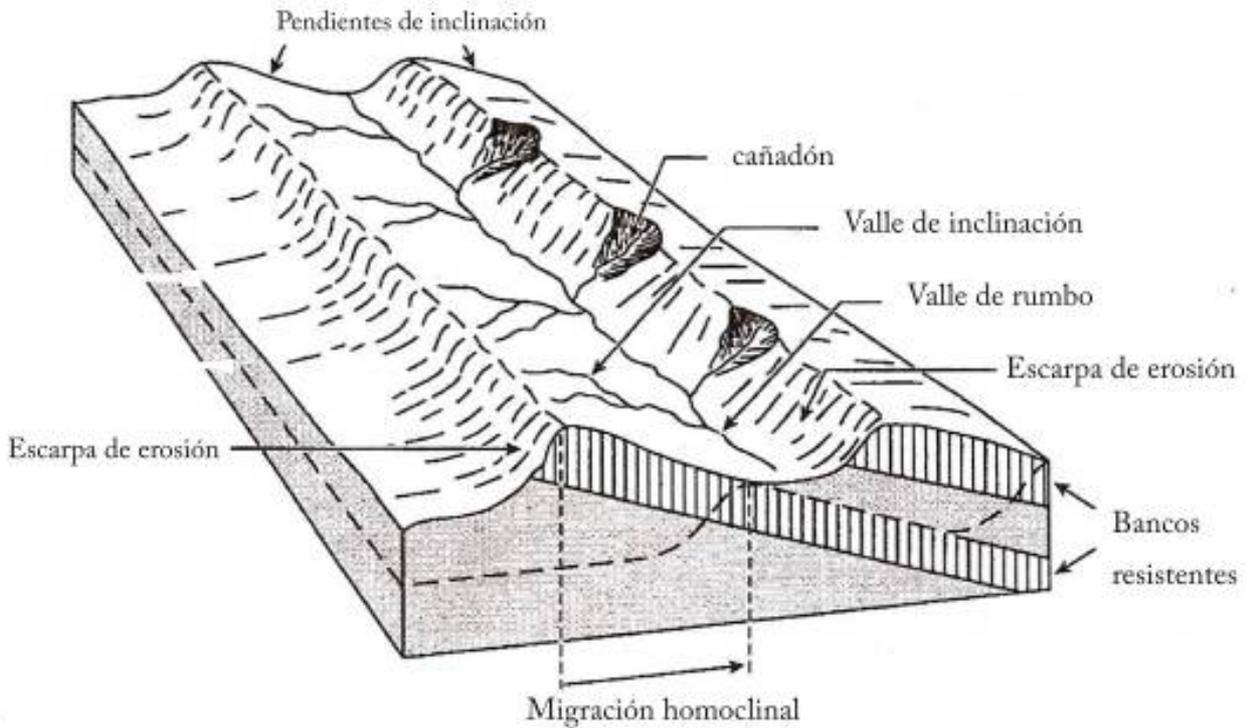


Figura 39: Esquema tomado de Goudie (2004) en el cual se describe el proceso de migración homoclinal con sus geomorfos asociadas.



Figura 40: Paisaje de cuevas y crestas homoclinales. Vista hacia el oeste desde las cumbres de la sierras de Macueta.

#### 4.5.2.3 Relieve erosivo múltiple en limbos homoclinales

Se ubica en los sectores cuspidales de Sierras del alto río Seco o Cumbres de San Antonio y al noroeste del Filo de Achiri y en la Sierra Macueta en el sector norte de la hoja. Abarca una superficie aproximada de 199 km<sup>2</sup>

Constituye un relieve serrano con fuerte control estructural que define lineamientos estructurales

norte sur, por erosión diferencial en bancos homoclinales de variable potencia y grado de cohesión.

Resulta de procesos erosivos de origen predominantemente fluvial y procesos de remoción en masa. Esta unidad se halla estrechamente relacionada con la unidad (Limbos y cumbres de anticlinales) pero asociada en este caso a areniscas de variado grado de cohesión (unidad litológica 3: grupos Cuevo, Tacurú y Formación Tranquitas).



Figuras 41 y 42 Dique de ltiyuro en el valle homónimo emplazado en el ambiente de Unidad (Relieve erosivo en limbos homoclinales)



Figura 43: Cauce del río Bermejo y serranías del Divisadero, paisaje ubicado en el suroeste de la hoja.

#### 4.5.2.4 Valles anticlinales con inversión de relieve

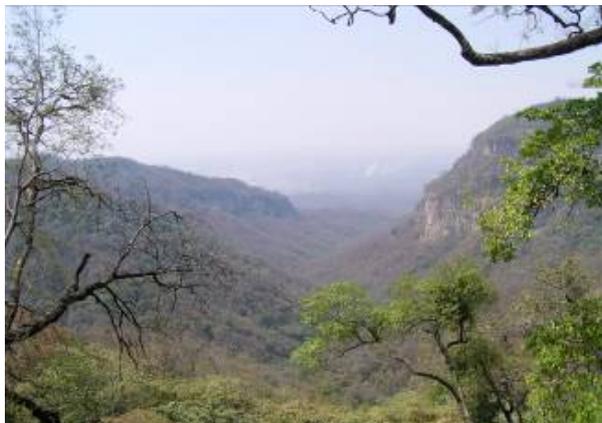


Figura 44: Vista de un valle anticlinal desde el camino de la montura.

Son valles anchos y de recorridos cortos, cuyas nacientes se ubican en las crestas del anticlinal de la sierra de Aguara Güe. En sus cabeceras dónde aflora una intercalación de psamitas y psefitas terciarias y más antiguas, tienen paredes abruptas de cientos de metros de altura con pendientes muy abruptas que superan los 30° (Fig. 44). La generación de estos valles tiene lugar por procesos fluviales y movimientos en masa y están drenados por cursos fluviales con régimen hidrológico torrencial que tienen sus mayores caudales de diciembre a marzo. Estas unidades tienen alturas que varían entre 1250 y 750 y abarcan una superficie de 4 Km. <sup>2</sup>

#### 4.5.3 UNIDADES DOMINADAS POR LA EROSIÓN FLUVIAL

##### 4.5.3.1 Relieve erosivo múltiple densamente irrigado

La presente unidad se halla en la ladera occidental de Cumbres de San Antonio, ladera oriental de Sierra de Tartagal y sector pedemontano noreste. Su aspecto es de relieve serrano muy homogéneo altamente irrigado por una red de drenaje dendrítica sumamente densa, sin control estructural evidente, con cumbres y valles concordantes y pendientes dominantes de dos clases 0-7° y 7-15°. Abarca una superficie de 511 km<sup>2</sup> y posee cotas aproximadas entre 500 y 700 m. En esta unidad predomina el proceso fluvial y en menor grado la remoción en masa. Se asocia a litologías altamente friables y homogéneas (areniscas limosas y pelitas subordinadas del Terciario Subandino).



Figura 45: Aspecto del río Itiyuro cerca de la localidad de Totatirenda, donde se observa una extensa planicie aluvial y la unidad (Relieve múltiple densamente irrigado).



Figura 46: Sierras del alto río Seco, vista desde Bolivia. Del frente al fondo: Bajada, Pedimentos y Relieve múltiple densamente irrigado y al fondo, relieve de cuevas y crestas homoclinales, dónde se observan zonas de arranque de procesos de movimiento de laderas.

##### 4.5.3.2 Pedimentos

Se desarrolla mayormente en el ambiente pedemontano proximal de las Sierras de alto río Seco o Cumbres de San Antonio y de Macueta, con mayor ubicuidad en la vertiente occidental. Presentan moderado grado de disección fluvial con diseño dendrítico distributivo. Posee pendientes predominantemente entre 0 a 7° y en menor proporción de 7 a 15°. Abarca una superficie de 17,5 km<sup>2</sup> y cotas entre 450 y 500 m. Los materiales se asocian a unidades del Terciario Subandino.

##### 4.5.3.3 Relieve erosivo múltiple con diseño dendrítico

Se halla en sectores cuspidales de la Sierra de Tartagal sur, y en laterales de Sierra de Tartagal Norte

y filos de Achiri. También en vertiente occidental de Cumbres de San Antonio y Macueta. Constituye un relieve serrano muy quebrado, con fuertes desniveles y pendientes, predominando entre 15-30°. Se asocia a unidades geológicas diversas, ya que su principal característica es el drenaje dendrítico altamente irrigado, con moderado a escaso control estructural y fuertes desniveles. Los procesos dominantes son fluvial y de remoción en masa.

#### 4.5.3.4 Cañadones intermontanos

Valles de corto recorrido, encajonados en ambiente serranos, con laderas muy empinadas. Su material en tránsito depende de las litologías que atraviesan pero en general son gravosos de alta energía y régimen temporario. Presentan comúnmente intensos procesos de remoción en masa, constituyendo en muchos casos las zonas de arranque de deslizamientos translacionales.

#### 4.5.3.5 Zonas afectadas por movimientos en masa y erosión hídrica intensa.

Superficies de suelo decapitado, desnudo o con cobertura vegetal fuertemente degradada debido a procesos antrópicos (vinculados a la actividad petrolera o forestal) o de remoción en masa (cicatrices de deslizamientos), que constituyen áreas de aporte de materiales detríticos para su posterior movilización por erosión eólica e hídrica, áreas susceptibles de remoción en masa sean flujos o reptaje de suelos. En general los grandes movimientos en masa se desarrollan sobre secuencias de pelitas y areniscas muy diaclasadas con una inclinación a favor de la pendiente que constituyen limbos de pliegues.



Figura 47: Vista de un deslizamiento desde el camino provincial que lleva a Acambuco.

## 4.6 SUELOS

### 4.6.1. INTRODUCCIÓN:

Los suelos se describieron en base al estudio (los Suelos del NOA) efectuado por A. Nadir y T. Chafatiños en 1990 y su posterior informatización efectuada en 2009 por técnicos del INTA y de la Universidad Nacional de Salta. La taxonomía fue tomada de ese trabajo conservando la identificación nominal de las taxas (por ejemplo suelo (El yacón) y adaptando las unidades cartográficas de suelos definidas por los precitados autores, a las geomorfológicas elaboradas en esta Carta.

### 4.6.2. FACTORES Y PROCESOS DE FORMACIÓN DE LOS SUELOS

#### Factores de estación

##### *Factor relieve*

El relieve influye a nivel local, en la redistribución del agua a través del perfil del suelo. En aquellos suelos desarrollados en relieve plano cóncavos, hay menor lixiviación de carbonatos y sales así como deficiencia de drenaje que se traducen en rasgos hidromórficos. En suelos de pendientes, el agua se infiltra en menor grado, propiciando los procesos de escurrimiento superficial.

A nivel regional, el efecto orográfico de las Sierras Subandinas, genera un gradiente de precipitaciones de este a oeste, registrándose 550 mm anuales en la llanura chaqueña y 1400 mm en el límite con Bolivia, a la altura del río Grande de Tarija. Asimismo, la presencia de estas cadenas montañosas con rumbo aproximado norte-sur y el incremento altitudinal hacia el occidente, genera una irregularidad en la distribución areal de las precipitaciones (Bianchi y Yañes, 1992). Esta característica se traduce en el régimen de humedad de los suelos: ústico (déficit hídrico invernal), en los suelos de la llanura y údico (sin déficit hídrico) en los del sector serrano.

El tipo de uso del territorio, también se halla condicionado por este factor, especialmente en la actividad agropecuaria y forestal. En la zona serrana predomina la extracción forestal de raleo y a pesar de las condiciones climáticas favorables debido a las características físicas y a los métodos usuales de siembra, resulta impracticable el cultivo extensivo de herbáceas (leguminosas, cereales y oleaginosas), como se realiza en la llanura.

### *Factor material originario*

Influye fuertemente en la textura y el color con matiz rojo en todos los suelos estudiados. En algunos casos es tan determinante la influencia textural que define la taxonomía a nivel orden, tal es el caso de los Vertisoles. La presencia de numerosas taxas con horizontes argílicos (incluidas dentro del Orden Alfisol y en menor grado Molisol), está relacionada estrechamente con la disponibilidad de fracción fina susceptible de ser iluviados en los materiales originarios de los suelos. Estos materiales parentales, se relacionan principalmente con las unidades litológicas Areniscas limosas y pelitas subordinadas del Terciario Subandino (unidad 4) y Pelitas y areniscas subordinadas de Formación San Telmo (unidad 2b).

### *Factores bioclimáticos*

Las variables bioclimáticas muestran una estrecha relación con las dos unidades estructurales presentes en la región: Sierras Subandinas y Llanura Chaqueña. En la primera los regímenes de humedad de los suelos tipo údico, debido a un régimen de precipitaciones abundante y homogéneo durante todo el año, entre 800 y 2000 mm anuales con incremento de oeste a este, se asocia a la vegetación de Distrito de las Selvas Montanas correspondiente a la Provincia de las yungas del Domino Amazónico (Cabrera 1994). Esta unidad fitogeográfica está caracterizada por una vegetación muy densa, cubierta casi permanentemente por nubes en verano y principios de otoño, con variedad de lianas y enredaderas entre troncos de árboles de más de 30 m, herbáceas de más de 1 m de altura. Esta vegetación propicia la formación de mantillos forestales y la incorporación superficial de materia orgánica en los suelos. Los intensos procesos lixiviación y argiluvación, en virtud del régimen de precipitaciones, determinan suelos de tipo Alfisoles (suelos algo desaturados y con horizonte enriquecido en arcillas).

En la zona de llanura, la existencia de una estación seca les confiere a los suelos un régimen ústico. No se reconocieron Aridisoles, dado que el balance precipitación-evapotranspiración es positivo. La unidad de vegetación reconocida por Cabrera es de Distrito Chaqueño Occidental, Provincia chaqueña, dominio Chaqueño. Predominan el quebracho Colorado (*Schinopsis lorentzii*), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco*) y mistol (*Zizipus mistol*). En virtud de la importante biomasa vegetal la humificación y melanización son moderadas, aun-

que el progresivo cambio de uso de suelo por expansión agrícola hacia el este, bajo condiciones hídricas menos favorables, modifica las condiciones edáficas básicamente relacionadas con la materia orgánica, estructura y biota, incrementando también el riesgo de erosión hídrica (por impacto de gota de lluvia) y su posterior derivación en escurrimiento superficial.

### Procesos pedogenéticos

Los procesos pedogenéticos de mayor influencia en los suelos estudiados son: Humificación/melanización, Argiluvación, Lixiviación, Hidromorfismo, Carbonatación y Salinización.

Como resultado de la incorporación de materia orgánica, transformación y asociación con el material mineral en forma de complejos arcillo húmicos (humificación) ocurre el oscurecimiento o melanización de los materiales del suelo por el desarrollo de pátinas y coberturas en partículas gruesas (limo y arena). Estos procesos son altamente dependientes de los factores bioclimáticos, manifestándose más tempranamente y en mayor proporción en los suelos de ambientes pedemontanos y serranos bajo precipitaciones medias superiores a los 700 mm anuales. Este proceso se acentúa en los suelos del Orden Molisol (Argiudoles y Hapludoles) ubicados en el sector oeste de la zona de estudio.

La migración de arcillas o argiluvación, está evidenciada por horizontes argílicos en los que se reconoce una estructura en general prismática, enriquecimiento en la fracción fina y cutanes o barnices recubriendo las paredes del espacio poroso, como caras de agregados, oquedades de raíces y actividad de fauna del suelo. Este proceso se vincula fuertemente con el material originario, por la disponibilidad de material fino que se moviliza a través del perfil.

Este proceso tiene lugar en perfiles residuales, formados por meteorización y pedogénesis de rocas aflorantes, en general formaciones friables de Terciario Subandino (unidad 4: Areniscas limosas y pelitas subordinadas del Terciario Subandino); depósitos coluviales (dónde el transporte es escaso) y depósitos aluviales finos, en virtud a la disponibilidad de material fino y un régimen de precipitaciones estacional.

Este proceso es dominante en el Orden Alfisol y en menor grado Molisol. Otra faceta de este mismo proceso es la fuerte eluviación de arcillas, mayormente por migración lateral, que se traduce en la presencia de horizontes álbicos en algunos Alfisoles.

El proceso de lixiviación o desaturación del complejo de intercambio a nivel de horizontes A y E tiene lugar en los suelos del tipo Alfisol del sector serrano y pedemontano proximal, con desaturación del complejo de intercambio a nivel de los horizontes superficiales. El proceso de carbonatación se halla estrechamente relacionado con el régimen ústico y ústico transicional arídico o bien en suelos bajo condiciones de drenaje restringido, dónde los procesos de disolución

y transporte están limitados. La alcalinización tiene lugar en ambientes hidromórficos (saturados en agua al menos estacionalmente), dónde el elevado contenido de sales está vinculado con condiciones de drenaje restringido.

Estos suelos se halla en el sur de la Hoja, asociados paleocauces del antiguo sistema fluvial del río Bermejo, bajo la denominación taxonómica a nivel Subgrupo (Natrustalfe típico).

#### 4.6.3. UNIDADES TAXONÓMICAS

ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO	SUBGRUPO
<b>Vertisol</b>	<b>Acuerte</b>	Endoacuerte	crómico (El yacón)
	<b>Usterte</b>	Haplusterte	típico (Palmar)
<b>Molisol</b>	<b>Udol</b>	Argiudol	álfico (Aguay, Campo Durán, Zenta) abruptico (Madrejones 2) vértico (Pocitos) típico (Campichuelo)
		Hapludol	éntico (Itiyuro) típico (Curva de Juan, El candado, La Pintada, Peña Colorada, San Andrés)
<b>Alfisol</b>	<b>Acualfe</b>	Albacualfe	típico (Agua blanca, Bermejo, Las pavas)
	<b>Ustalfe</b>	Natrustalfe	típico (Iguana)
		Haplustalfe	inceptico (Hickman) údico típico (Campo Argentino)
<b>Udalfe</b>	Hapludalfe	crómico vértico (Pelícano) glóssico (Vespucio) típico (San Agustín, Aujoncito)	
<b>Inceptisol</b>	<b>Udepte</b>	Distrudepte	típico (San Antonio)
<b>Entisol</b>	<b>Acuente</b>	Hidracuente	típico (Juntas San Antonio)
	<b>Psamente</b>	Ustipsamente	arídico (Pluma de pato) típico (Michicola)
		Udipsamente	típico (Porongal)
	<b>Fluvente</b>	Ustifluvente	mólico (La Pista)
		Udifluvente	ácuico (Río Pescado, Totoral)
	<b>Ortente</b>	Ustortente	típico (Tonono)
Udortente		típico (Abra grande, Pocoy, Tomasito)	

Tabla 3: Cuadro taxonómico para la zona de estudio.

*Vertisol:*

Este Orden taxonómico agrupa suelos enriquecidos en arcillas heredadas de los materiales originarios. Se caracterizan por presentar caras de fricción en los agregados en forma de cuña, mayor proporción de arcillas que 30% dentro de los 50 cm superiores del suelo, grietas que se abren y cierran periódicamente según la hidratación del suelo y eventualmente micro relieve (Gilgay). En el área de estudio predominan en las unidades cartográficas (Suelos arcillosos de vías de escurrimiento de llanura) y (Suelos hidromórficos de abanico antiguo del río Bermejo) de la llanura oriental, los Grandes Grupos Endoacuerter (suelos continua o periódicamente con agua freática) y Haplusterte (suelos afectados por una estación seca en invierno y de perfil escasamente diferenciado). Dentro de los primeros se reconoce el suelo (El yacón) (Endoacuert crómico), de poca profundidad, muy pobremente drenado, con pendiente de 0 – 1%, frecuentemente anegable, con limitaciones de salinidad y sodicidad, grietas hasta los 40 cm de profundidad, caracterizado por perfiles de tipo A-C, de textura fina, estructura en bloques fuertes, coloración castaño grisáceo, moderada proporción de C orgánico y pH alrededor de 6 en los horizontes superiores que se incrementa a 7,7 en el C2 como resultado de la concentración de carbonatos. La CIC presenta valores medios del entre 16 y 20 cmol/kg y la saturación con bases es elevada en todos los horizontes. Representa a los Haplusterte el suelo Palmar, un suelo muy somero presente en la unidad cartográfica (Suelos arcillosos de vías de escurrimiento de llanura). Se halla muy pobremente drenado, con pendiente de 0-2% es inundable frecuentemente, posee grietas de 50 cm y es levemente salino en profundidad. Su perfil está poco desarrollado con una secuencia de horizontes de tipo A-C, coloración castaño rojiza, textura arcillosa, estructura en bloques, valores de pH de alrededor de 6 en los horizontes superiores que se incrementa a 7,7 en el C2 como resultado de la concentración de carbonatos y sales. Los valores de CIC son altos a moderadamente altos y todos los horizontes poseen alta saturación de su complejo de intercambio. Se destaca en este suelo la elevada proporción de carbono orgánico (3,89%) en el horizonte A.

*Molisol:*

Se incluyen en este Orden a los suelos caracterizados por la presencia de un epipedón mólico y

una elevada saturación con bases de cambio. En el área de estudio pueden presentar, o no un endopedón argílico (enriquecimiento del horizonte B en arcillas traslocadas del horizonte superficial) y son en su mayoría de régimen de humedad del tipo údico (lluvias abundantes en todo el año).

En el área de estudio se reconocen los Grandes Grupos Argiudol (1), caracterizado por la presencia de un endopedón argílico (enriquecido en arcillas traslocadas) y Hapludol (2), con perfiles sencillos debido al escaso desarrollo de horizontes. En el Gran Grupo Argiudol (1) se reconocen para el área de estudio los Subgrupos álfico, abruptico, vértico, éntico y típico. Se hallan en ambientes pedemontanos y de llanura, dominados por materiales originarios pelíticos, retransportados por el proceso fluvial.

El Subgrupo álfico, caracterizado por un horizonte álbico suprayacente al argílico, está representado por los suelos Aguay, Campo Durán y Zenta, que integran las Unidades Cartográficas (suelos poco desarrollados de bajadas intermontanas), (suelos arcillosos de vías de escurrimiento de llanuras), (suelos arcillosos de bajada de Campo Durán), (suelos arcillosos de bajadas occidentales) y (suelos pedemontanos húmicos). Son suelos profundos, bien drenados a moderadamente bien drenados, excepcionalmente inundables, con horizonte mólico de alrededor de 20 cm y perfiles altamente diferenciados del tipo A-E-Bt, que incluyen horizontes de transición. Predominan los colores castaño rojizo, las texturas francas y franco arenosa y texturas en bloques. En los niveles superficiales el Carbono orgánico es elevado, superando el 3%. Los valores de pH son neutros hasta moderadamente ácidos. La CIC suele ser moderadamente baja, con máximos a nivel de Bt de 20 cmol/Kg. La saturación es moderada en algunos casos a elevada en otros.

El Subgrupo abruptico, presenta un cambio textural muy acentuado a nivel del horizonte argílico, determinado por un incremento de más del 20% de arcillas en menos de 7,5 cm de transición. En la zona de estudio se hallan principalmente en el ambiente serrano, formando las unidades (Suelos serranos de escaso desarrollo), (Suelos serranos arcillosos) y (Suelos serranos fuertemente lixiviados). Es un suelo de perfil moderadamente profundo, de tipo A-B-C, bien a pobremente drenado, con pendientes moderadas (entre 12 y 25%) lo que implica problemas de erosión. Posee textura fina organizada en una estructura en bloques. Su coloración es en general castaño rojiza y su reacción neutra a moderadamente alcalina, con alto contenido de materia orgánica en

su epipedón (casi 4%). La capacidad de intercambio catiónico y la saturación con bases son elevados. Son levemente salino sódicos.

El Subgrupo vértico se caracteriza por presentar grietas a través de una profundidad de 30 cm, agregados en cuña y/o caras de fricción en los agregados de un horizonte de al menos 15 cm de potencia. Estas propiedades deben manifestarse dentro de los 125 cm desde la superficie. Corresponde a esta taxa el suelo Pocitos incluido en la unidad cartográfica (Suelos serranos arcillosos). Es un suelo profundo, bien diferenciado, con perfil tipo A-E-B-C y horizontes de transición. Su color es pardo rojizo y rojo, posee textura moderadamente gruesa en superficie a medianamente fina en profundidad y estructura dominante en bloques y prismática, en horizontes B. Se halla moderadamente bien drenado a imperfectamente drenado con, pendientes moderadas (6 a 13%).

El Subgrupo típico está representado por el Suelo Campichuelo (Unidad cartográfica (Suelos arcillosos de bajada del río Seco)). El mismo es moderadamente profundo, altamente diferenciado en horizontes principales y de transición con una secuencia A-E-B-C. Posee coloración castaño rojiza y textura franca, la cual se hace arcillosa a nivel del horizonte argílico. La estructura dominante es en bloques fuertemente manifiesta. Está moderadamente provisto de materia orgánica, su reacción es levemente ácida a neutra y la CIC es baja, con el complejo de intercambio saturado. Se asocia a pendientes bajas (1-4%) y se halla dentro de la clase de drenaje (moderadamente bien drenado a imperfectamente drenado).

Dentro del Gran Grupo Hapludol (2), se reconocen para el área de estudio los Subgrupos éntico y típico. El primero se halla representado en la zona de estudio por el suelo Itiyuro, ubicado en la Unidad cartográfica (Suelos serranos de escaso desarrollo). Es un suelo poco profundo (40 cm), bien a imperfectamente drenado, frecuentemente anegable, ubicado en pendientes moderadas del orden del 25%. Su desarrollo es muy escaso, evidenciado por el perfil de tipo A-C. Posee coloración castaño rojiza, textura franco limosa y estructuras migajosa y en bloques, reacción alcalina y abundante  $\text{CO}_3\text{Ca}$  por debajo del epipedón mólico. Los Hapludoles típicos presentan comúnmente horizonte B o AC, y en la zona se hallan los suelos Curva de Juan, El candado, La pintada, Peña colorada y San Andrés. Se distribuyen en las unidades cartográficas (Suelos arcillosos de vías de escurrimiento de llanura), (Suelos ar-

cillosos de áreas de interfluvio de abanicos distales); (Suelos pedemontanos húmicos), (Suelos serranos de escaso desarrollo y mal drenaje) y (Suelos pedemontanos húmicos). Son suelos moderadamente profundos (entre 70 y 100 cm), débilmente desarrollados, con perfiles tipo A-B-C; A-AC-C e incluso A-C. En general son suelos de pendientes bajas, menores al 5% exceptuando el Subgrupo (El Candado) que se ubica en sectores muy empinados (pendientes entre 25 y 75%), bien drenados a excesivamente drenados. Poseen coloración castaño rojiza, textura media a fina en los horizontes superiores a moderadamente gruesas en los inferiores y predomina la estructura el bloques moderados. Los valores de pH son neutros a ligeramente ácidos, la materia orgánica es moderada; la CIC es moderada a baja y se hallan próximos a la saturación con bases.

#### Alfisol:

Estos suelos se caracterizan por la presencia de un horizonte argílico, kandico o nátrico, es decir resultante de procesos de argiluvación. Los suelos que no poseen ninguno de los horizontes mencionados pero poseen un fragipán con películas de arcilla de al menos 1 mm de potencia, también se incluyen dentro de este Orden. Carecen de epipedón mólico, y poseen una saturación con bases que oscila entre 35 y 50%. Se identificaron en la región de incumbencia del presente trabajo, los Grandes Grupos 1) Albacualfe, 2) Natrustalfe, 3) Haplustalfe y 4) Hapludalfe.

Los Albacualfes (1) se caracteriza por la presencia de un horizonte albico (además del argílico) y un régimen de humedad ácuico. Dentro de esta taxa se reconoce al Subgrupo típico, representado en las unidades cartográficas (Suelos serranos fuertemente lixiviados), (Suelos de terrazas aluviales), (Suelos serranos de escaso desarrollo y mal drenaje). Corresponden a esta taxa los suelos Agua blanca, Bermejo y Las Pavas. Ellos se caracterizan por una coloración castaño rojiza, secuencia de horizontes A-E-B-C, en algunos casos con horizontes de transición. Por lo general poseen texturas Franco arenosas y arenosas y estructura en bloques débiles o ausente (suelto o masivo según su coherencia). Poseen reacción moderada a ligeramente ácida. El carbono orgánico alcanza un valor de 2%, y se reconocen en profundidad, moteados y carbonatos, resultantes de las malas condiciones de drenaje.

Los Natrustalfes (2) presentan un horizonte nátrico (horizonte argílico enriquecido en sodio) y

régimen de humedad ústico (estación húmeda en verano). En el área de estudio se encuentra el subgrupo típico (Suelo Iguana) en la unidad cartográfica Suelos hidromórficos de abanico antiguo del río Bermejo. Presenta una profundidad de 40 cm y una secuencia A-B-C que incluye horizontes de transición. Se halla en pendientes tendidas, de 0 a 2%, bien drenado, aunque ocasionalmente puede resultar anegado. La coloración es castaño rojiza, textura franca y estructura en bloques finos y medios. La materia orgánica es moderadamente elevada. La reacción es moderadamente ácida en superficie a moderadamente alcalina en profundidad. La CIC presenta valores medios y el complejo de intercambio se halla parcialmente desaturado en los horizontes superiores y próximos a la saturación en los inferiores. A partir de los 10 cm de profundidad el suelo es fuertemente sódico, de ahí su designación taxonómica.

Los Haplustalfes (3) presentan régimen de humedad ústico, reconociéndose en el ámbito de la hoja, los Subgrupos inceptico, údico y típico.

El Haplustalf inceptico posee un horizonte argílico de menos de 35 cm de potencia y carece de un contacto lítico o paralítico dentro del metro de profundidad del suelo. En el ámbito de estudio se reconoce al suelo Hickmann, ubicuo en las unidades cartográficas Hi, Pd-Hi y Cg. Este suelo posee una profundidad de 100 cm con una secuencia de horizontes tipo A-B-C y horizonte de transición BC, reconociéndose un epipedón ócrico y un argílico conspicuamente desarrollado. Se halla bien drenado, asociado a pendientes muy tendidas, entre 0 y 1%. Presenta coloración castaño rojiza, textura franca y estructura en bloques débiles y moderados. Su reacción es neutra a moderadamente alcalina, posee moderada proporción de materia orgánica (alrededor de 2% de C orgánico) y Capacidad de intercambio catiónica moderada, con el complejo de intercambio saturado. Los Haplustalfes údicos, presentan un régimen de humedad ústico en transición con el údico. Corresponde a este Subgrupo el suelo Ranchos presente en las unidades cartográficas (Suelos arcillosos de áreas de interfluvio de abanicos distales), (Suelos arcillosos de vías de escurrimiento de llanura), (Suelos arcillosos de bajadas proximales orientales). Poseen moderado desarrollo con un perfil tipo A-B-C y horizontes de transición BA y BC, color castaño rojizo, textura franca y estructura en bloques finos y medios moderados. Se halla moderadamente bien drenado, con pendientes escasas, del 0-2%. La proporción de materia orgánica es modera-

da (alrededor de 2% de Carbono orgánico). La CIC es media a baja y está altamente saturada. La reacción es neutra en superficie a ligeramente alcalina en profundidad. El Subgrupo Haplustalf típico está presente en las unidades cartográficas (Suelos arcillosos de áreas de interfluvio de abanicos distales), (Suelos arcillosos de bajada de Campo Durán), (Suelos arcillosos de vías de escurrimiento de llanura), (Suelos arcillosos de bajadas proximales orientales) (suelos Pozo del zorrino, Campo argentino y Joyín). Estos suelos se caracterizan por un fuerte desarrollo con perfiles tipo A-E-B-C y frecuentemente horizontes de transición, son de coloración castaño rojiza, de textura fina a muy fina (franco arcillo limosa y arcillosa). Su estructura es en bloques medios y finos, están bien drenados (Campo Argentino) o imperfectamente drenados (Joyin y Pozo del zorrino), ocupando sectores del paisaje con pendientes tendidas, del 0 a 2%. La materia orgánica es moderada a elevada (alcanzando 3% en el horizonte superficial del suelo Joyin), la CIC es moderada a elevada y la saturación con bases se incrementa en profundidad, alcanzando la saturación plena a nivel de horizontes BC y C. La reacción es moderadamente ácida en horizontes superiores a levemente alcalina en niveles inferiores que suelen presentar salinidad y/o carbonatos. Los Hapludalfes (4) presentan a diferencia de los Grandes Grupos antes descritos, un régimen de humedad del suelo de tipo údico, compatible con condiciones climáticas de elevada pluviosidad a lo largo de todo el año. Se reconocieron para la región estudiada los Subgrupos crómico vértico, glossico y típico. El Hapludalf crómico vértico se caracteriza por presentar rasgos relacionados con elevados contenidos de arcillas, como grietas y/o caras de fricción y/o agregados en forma de cuña y materiales superficiales que poseen coloraciones de elevada luminosidad e intensidad (value y croma mayor de 4 según la tabla Munsell). Representa a esta taxa en el área de estudio el suelo (Pelícano), emplazado en la unidad cartográfica (Suelos pedemontanos húmicos). El mismo posee moderada grado de desarrollo, con una secuencia de tipo A-B-C y la presencia de horizontes de transición. Se halla en sectores de baja pendiente (1 a 2%) y moderadamente bien drenados. Posee colores castaño rojizos, textura franca y franco arcillosa y estructura en bloques subangulares medios moderados. Posee barnices discontinuos en el horizonte B y el transicional. El Subgrupo glóssico se caracteriza por poseer interdigitaciones de materiales albos (porciones de material altamente lixiviados y empobrecidos en

pelitas y materia orgánica) en 1 o más subhorizontes argílicos. Este subgrupo fue reconocido en la región, bajo la denominación de suelo (Vespucio), en las unidades cartográficas (Suelos arcillosos de bajadas proximales orientales), (Suelos arcillosos de vías de escurrimiento de llanura). Constituye un suelo de perfil muy desarrollado (A-E-B-C) con horizonte de transición, coloración castaño rojiza, textura franca a franco arcillosa en profundidad, estructura en bloques finos y medios, débiles y moderados, reacción moderadamente ácida en los horizontes superiores a moderadamente alcalina en los niveles más profundos, materia orgánica moderada en el A (2,68) que decae abruptamente en el E, la CIC es baja (inferior a 13 cmol/Kg en todos los horizontes) y la saturación con bases es elevada, salvo en los horizontes eluviales E y EB. Se halla en sectores del paisaje bien drenados a imperfectamente drenados con pendientes del orden de 4%.

El Subgrupo típico, está representado en la zona por el suelo (Aujoncito) ubicados en la unidad Suelos údicos arcillosos de bajadas occidentales. Son suelos moderadamente desarrollados, con perfiles tipo A-B-C, con clase de drenaje moderadamente bien drenado a algo excesivamente drenado, en pendientes del orden del 6%. Poseen coloración castaño rojiza, dominan las texturas franco arenosas las estructuras en bloques subangulares medios moderados y barnices discontinuos en horizontes B y BC.

#### Inceptisol:

Este Orden agrupa a suelos de incipiente desarrollo pero con algún horizonte diagnóstico, por ejemplo un cámbico. En el área de estudio, está poco representado, hallándose únicamente el Subgrupo Distrudepte típico con la denominación de suelo (San Antonio), ubicado en la unidad cartográfica (Suelos serranos fuertemente lixiviados). Es un suelo poco profundo, con una secuencia de horizontes A-AC-C-R, coloración castaño rojiza, texturas medias (franco limoso) y estructura dominante en bloques subangulares medios. Se halla en sectores bien drenados a moderadamente bien drenados con pendientes pronunciadas (12 a 25%). Se reconoce la presencia de elevada salinidad y sodicidad.

#### Entisol:

Este orden incluye a los suelos de escaso o nulo desarrollo pedogenético. En general carecen de horizontes diagnóstico con excepción de un ócrico.

En la zona de estudio se han reconocido los Grandes Grupos 1) Hidracuente, 2) Ustipsamente, 3) Udipsamente, 4) Ustifluente, 5) Udifluente, 6) Ustortente y 7) Udortente.

El principal rasgo de los Hidracuentes (1) es su régimen de humedad ácuico, baja densidad y un alto contenido en agua en relación al peso seco, siendo susceptibles a compactación por pastoreo o laboreo mecanizado. Corresponde el Subgrupo típico el suelo (Juntas San Antonio) dominante en las unidades (Suelos enticos de planicies aluviales y ausencia de cobertura edáfica) y (Suelos de terrazas aluviales), caracterizado por un incipiente desarrollo con perfil tipo A-C colores castaño amarillento y rojizo, textura media en superficie y fina en profundidad, estructura dominante en bloques medios moderadas, pH neutro y moteados sobresalientes. Se asocia a paisajes de escasa pendiente (0-1%) y pobremente drenados.

Los Ustipsamentos (2) son suelos arenoso de régimen de humedad ústico, reconociéndose para la zona los Subgrupos típico (Suelos Michicola y Quijarro) y arídico (Suelo Pluma de pato), cuyo régimen de humedad es transicional con un tórrido o arídico (déficit hídrico pronunciado a lo largo de todo el año).

Corresponden a las unidades cartográficas (Suelos incipientes y ausencia de suelos en áreas de derrame del río Itiyuro), (Suelos serranos de escaso desarrollo), (Suelos serranos arcillosos) y (Suelos hidromórficos de abanico antiguo del río Bermejo).

Los Ustipsamente típicos son suelos de débil desarrollo, con perfiles tipo A-C ó A-AC-C, coloración castaño rojiza y textura generalmente gruesa (areno franca y franco arenosa), la estructura dominante en bloques finos y medios.

Son suelos excesivamente drenados a algo excesivamente drenados, con frecuente salinidad y/o sodicidad, pendientes entre 30% (Quijarro) a 2-6% (Michicola) y profundidad efectiva entre 40 y 70 cm. El suelo (Pluma de pato) (Ustipsamente arídico) posee un desarrollo incipiente, con secuencia de horizontes de tipo A-C, coloración castaño rojiza, textura arenosa, carece de estructura (masivo), reacción neutra, baja CIC, baja materia orgánica y el complejo se halla saturado, en virtud de su régimen de humedad. Se halla en pendientes tendidas (0-1%) con drenaje excesivo.

Los Ustifluentes (3) y Udifluentes (4) son suelos caracterizados por una pendiente muy tendida y variación irregular de la materia orgánica en profundidad o bien con más de 0,2% de materia orgánica a

125 cm de profundidad en depósitos holocenos, resultantes sucesivos eventos de depositación aluvial. En la zona de estudio, se hallan ubicados en las unidades cartográficas (Suelos incipientes y ausencia de suelos en áreas de derrame del río Itiyuro).

Los Entisoles mencionados poseen respectivamente régimen de humedad ústico y údico. Los Ustifluentes reconocidos en la zona de estudio son los suelos Dragones (Ustifluente ácuico) y La pista (Ustifluente mólico).

Los Ustifluentes ácuicos se caracterizan por condiciones ácuicas durante algún tiempo en años normales dentro de los primeros 50 cm del perfil o colores (gley) (grises y azulados resultado de condiciones reduccimórficas) en el primer metro y medio del suelo. En tal sentido el suelo Dragones, se halla imperfectamente drenado con anegamientos ocasionales, pendientes bajas (0-1%) profundidad efectiva de 40cm. Posee una secuencia de horizontes tipo A-C, color castaño rojizo, textura fina (franco arcillosa) y estructura débil.

Los Ustifluentes mólicos poseen coloración oscura (valué en húmedo menor que 3 y en seco menor que 5) en los 15 cm superiores del perfil, resultado de la melanización por acumulación de materia orgánica.

En la región se halla el suelo La pista, con una secuencia A-C en una profundidad efectiva de 40 cm, coloración castaño rojiza, textura fina (franco arcillosa), débilmente estructurado.

Se halla imperfectamente drenado a moderadamente bien drenado y es frecuentemente inundable, ocupa pendientes del 2-6%, suele presentar abundante carbonatos y alcalinidad y/o salinidad.

Los Udifluentes (5) de la zona de estudio corresponden al Subgrupo ácuico (saturación con agua en algún momento en todos los años normales) y están representados por los suelos Río Pescado y Totoral, hallados en las unidades cartográficas (Suelos énticos bajada intermontana del río Pescado), (Suelos énticos de planicies aluviales y ausencia de cobertura edáfica) y (Suelos de terrazas aluviales).

Estos suelos presentan secuencias de horizontes tipo A-C ó A-2C, con colores castaño amarillentos y castaño rojizos, texturas francas finas y arenosas, variables en virtud de las discontinuidades litológicas, en general están débilmente estructurados y asociados a pendientes tendidas, de menos de 3%. En el caso del suelo Totoral, se presentan moteados y concreciones de carbonatos de calcio. El suelo Río Pescado, debe su régimen ácuico a la proximidad superficial del nivel freático, posee contenidos

moderados de materia orgánica, baja CIC y se halla subsaturado en superficie situación que se revierte en profundidad. Los Ustortentes (6) son Entisoles de régimen ústico formados sobre superficies geomorfológicamente activas que pueden presentar variabilidad textural y en la zona de estudio se hallan representados por el Suelo Tonono, ubicado en las unidades cartográficas (Suelos incipientes y ausencia de suelos en áreas de derrame del río Itiyuro), y (Suelos poco desarrollados de bajadas intermontanas).

Su secuencia de horizontes es A-C, de color castaño rojizo, textura franco limosa a arenosa y carente de estructura edáfica.

Posee escasa materia orgánica y baja CIC, con el complejo de intercambio saturado. Su reacción es neutra a levemente alcalina, por la presencia de carbonato de calcio a nivel del horizonte C. Se desarrolla en superficies de escasa pendiente (2-6%) y su drenaje es moderado a excesivo.

Los Udortentes (7) poseen similares características que los Ustortentes, pero su régimen de humedad es de excesos hídricos durante la mayor parte del año (údico).

En el ámbito de estudio, están representados por los suelos Abra grande y Tomasito, que responden al Subgrupo típico y se hallan en las unidades cartográficas (Suelos énticos bajada intermontana del río Pescado), (Suelos arcillosos de bajada del río Seco), (Suelos incipientes y ausencia de suelos en áreas de derrame del río Itiyuro) y (Suelos poco desarrollados de bajadas intermontanas).

Su perfil es de tipo A-C, de color castaño rojizo, de textura franca y más gruesa hasta arenosa, carecen de estructura o la misma es muy débil, reconociéndose en algunos casos relictos del origen sedimentario del depósito.

Se hallan bien algo excesivamente drenados, con moderada CIC y materia orgánica, baja saturación y en pendiente de 1 a 4%. Poseen profundidad efectiva entre 70 y 100 cm.

#### 4.6.4. UNIDADES CARTOGRÁFICAS DE SUELOS

Unidad cartográfica	Suelos	Caracterización de la unidad cartográfica
<b>SUELOS ARCILLOSOS DE VÍAS DE ESCURRIMIENTO DE ABANICOS DISTALES</b>	<b>Predominan Vertisoles y Alfisoles ústicos. En menor proporción Molisoles údicos.</b> Haplusterte típico Haplustalf údico Haplusterte crómico Haplustalf típico Hapludol típico Argiudol álfico Hapludalf glósico	Factores de formación: relieve plano y plano cóncavo con escasa pendiente regional hacia el este-sureste (0,2 a 0,5%) favorable a la infiltración. Constituye áreas de derrame intermitente de abanicos distales. Materiales originarios finos con alta participación de pelitas. Clima templado cálido con déficit hídrico estacional (ústico). Se halla aproximadamente entre las isoyetas de 550 y 700 mm. Procesos pedogenéticos dominantes: argiluviación con la consecuente formación de horizontes argílicos, lixiviación de bases (desaturación del complejo de intercambio a nivel de horizontes A y E), fuerte eluviación de arcillas evidenciada por la presencia de horizontes álbicos. Humificación/melanización conspicua en Molisoles, menos manifiesta en Alfisoles y Vertisoles. Vegetación: Bosque xerófilo (dominio Chaqueño, distrito Chaqueño occidental, según Cabrera 1994) con sectores deforestados y dedicados a la agricultura extensiva de monocultivo. Uso: pastoreo, deforestación selectiva (especies de gran porte).
<b>SUELOS ARCILLOSOS DE ÁREAS DE INTERFLUVIO DE ABANICOS DISTALES</b>	<b>Predominan Alfisoles ústicos y Molisoles poco desarrollados.</b> Haplustalf típico Haplustalf údico Hapludol típico	Distribución geográfica: constituye una unidad de gran extensión en la zona de la llanura, distribuida en forma de abanico de noreste a sureste. Características de superficie: Presenta relieve plano, con escasa pendiente regional hacia el este-sureste (0,2-0,3%). Constituye áreas de interfluvio de abanicos distales. Si bien en su origen constituyeron ambientes de depositación de derrames de los cursos fluviales que provienen de la Sierra de Tartagal, actualmente por migración de las vías de escurrimiento pasaron a forma parte de las áreas de interfluvio, con desniveles muy atenuados. Factores de formación: relieve plano, favorable a la infiltración. Materiales originarios finos con alta participación de pelitas. Clima templado cálido con déficit hídrico estacional (ústico). Se halla aproximadamente entre las isoyetas de 550 y 700 mm. Procesos pedogenéticos dominantes: argiluviación con la consecuente formación de horizontes argílicos, humificación/melanización conspicua en Molisoles, menos manifiesta en Alfisoles. Vegetación: Bosque xerófilo (dominio Chaqueño, distrito Chaqueño occidental, según Cabrera 1994) moderadamente degradado. Uso: pastoreo, deforestación selectiva (especies de gran porte), agrícola de monocultivo en algunos sectores.
<b>SUELOS INCIPIENTES EN ÁREAS DE DERRAME DEL RÍO ITIYURO.</b>	<b>Predominan Entisoles ústicos.</b> Ustortente típico Ustipsamente típico Ustifluvente mólico	Distribución geográfica: Unidad asociada a la cuenca media e inferior del río Itiyuro. Características de superficie: Presenta relieve plano, con escasa pendiente regional hacia el sureste (0,2-0,3%). Constituye áreas de derrame intermitentes del río Itiyuro, inactivas en el margen sur y de reciente actividad en el margen norte. Factores de formación: relieve plano, materiales originarios de arena y pelitas, clima templado cálido con déficit hídrico estacional (ústico). Se halla aproximadamente entre las isoyetas de 550 y 650 mm. Vegetación: Bosque xerófilo (dominio Chaqueño, distrito Chaqueño occidental, según Cabrera 1994). La taxonomía de suelos denota un escaso tiempo de acción de los factores de formación debido a la alta tasa de morfogénesis. Procesos pedogenéticos dominantes: dado su escaso desarrollo el único proceso manifiesto es la humificación/melanización, principalmente en los subgrupos mólicos.

<p><b>SUELOS ARCILLOSOS DE BAJADA DE CAMPO DURÁN.</b></p>	<p><b>Predominan suelos con horizonte argílico y régimen ústico y údico</b>  Argiudol álfico  Haplustalf údico  Haplustalf típico</p>	<p>Distribución geográfica: piedemonte proximal y medio del sector Norte de la Sierra de Tartagal.  Factores de formación: Presenta relieve plano, con pendiente hacia el este-sureste de moderada a baja (0-5°), materiales originarios pelíticos y arenosos, entre 800 y 1000 mm anuales, regímenes ústico y údico, en virtud de su ubicación en los abanicos proximales y medios, el tiempo de acción de los procesos formadores supera a las unidades previamente descriptas. Bosque xerófilo (dominio Chaqueño, distrito Chaqueño occidental, según Cabrera 1994).  Procesos pedogenéticos dominantes: argiluviación con la consecuente formación de horizontes argílicos, Humificación/melanización  Humificación y melanización moderadamente manifiesta.  Uso actual: Entre un 30 y 40% de la superficie de esta unidad presenta uso agrícola extensivo de tipo siembra directa. Cultivos de invierno en orden de importancia: cártamo y trigo (INTA 2010). Cultivos de verano en orden de importancia: soja y poroto (INTA 2011).</p>
<p><b>SUELOS ARCILLOSOS DE BAJADAS PROXIMALES ORIENTALES</b></p>	<p><b>Predominan Alfisoles, Vertisoles, Entisoles y Molisoles énticos, subordinados</b>  Hapludalf glósico  Haplustalf údico  Haplustalf típico  Haplusterte típico  Haplustol fluvéntico  Udortente típico  Udispsamente típico</p>	<p>Distribución geográfica: centro sur de la hoja, en el piedemonte proximal del sur del sistema serrano.  Factores de formación: relieve plano con pendientes suaves, entre 0,5 y 3%, regímenes de humedad údico y ústico, se halla comprendido entre las isoyetas de 600 y 800 mm anuales. Materiales originarios predominantemente pelíticos y en menor proporción arenosos. Vegetación de bosque xerófilo (dominio Chaqueño, distrito Chaqueño occidental, según Cabrera 1994) relíctica dada la intensa deforestación para uso agrícola del suelo.  Procesos pedogenéticos dominantes: Argiluviación con la consecuente formación de horizontes argílicos. Lixiviación de bases (desaturación del complejo de intercambio a nivel de horizontes A y E). Humificación y melanización moderadamente manifiestas.  Uso actual: Aproximadamente el 90% de la superficie de esta unidad presenta uso agrícola extensivo de tipo siembra directa. Cultivos de invierno en orden de importancia: cártamo y trigo (INTA 2010). Cultivos de verano en orden de importancia: soja y poroto (INTA 2011).</p>
<p><b>SUELOS HIDROMÓRFICOS DE ABANICO ANTIGUO DEL RÍO BERMEJO.</b></p>	<p><b>Suelos mal drenados con salinidad, arenosos y arcillosos de régimen ústico</b>  Natrustalf típico  Endoacuerte crómico  Ustipsamente arídico  Argiustol típico</p>	<p>Distribución geográfica: se halla en el suroeste de la hoja, prolongándose ampliamente fuera de la zona de estudio.  Factores de formación: relieve cóncavo y plano cóncavo, con numerosos cuerpos de agua asociados, cuya génesis se vincula a paleocauces del río Bermejo que perduran como meandros abandonados y lagunas "en collera". Las pendientes son muy tendidas, menores al 0,2%. Precipitaciones entre 550 y 600 mm anuales. Vegetación de bosque xerófilo, comunidades camalotes y espartillares (dominio Chaqueño, distrito Chaqueño occidental, según Cabrera 1994).  Procesos pedogenéticos dominantes: Humificación/melanización, argiluviación, salinización, hidromorfismo.  Uso actual: uso ganadero y bosque nativo.</p>

<p><b>SUELOS SERRANOS ARCILLOSOS</b></p>	<p><b>Molisoles arcillosos y Entisoles arenosos subordinados</b> Argiudol abráptico Argiudol vértico Udipsamente típico</p>	<p>Distribución geográfica: Se distribuyen en una franja con sentido en un amplio sector del centro e la hoja, asociada a las laderas de la Sierra de Tartagal. Factores de formación: Relieve ondulado y quebrado, con pendientes máximas de 35° (pendientes clases 1 a 4). Los materiales originarios de los suelos son mayormente pelíticos, derivados de la Unidad litológica "Areniscas limosas y pelitas subordinadas (ID 4). Los Entisoles arenosos se distribuyen en las áreas morfogenéticamente más activas, de cauces y pendientes. Las precipitaciones son entre 800 y 1000 mm progresando de sureste a noroeste (régimen de humedad del suelo tipo údico). La vegetación corresponde al dominio Amazónico, provincia de las yungas, distrito de las selvas de transición (Cabrera 1994). Procesos pedogenéticos dominantes: Argiluvación con la consecuente formación de horizontes argílicos. Humificación y melanización moderadamente manifiesta. Uso actual: forestal (extracción selectiva) y petrolero, principalmente caminos (picadas) y destilería.</p>
<p><b>SUELOS SERRANOS DE ESCASO DESARROLLO</b></p>	<p><b>Suelos de escaso desarrollo superficial (entisoles y molisoles abrápticos).</b> Argiudol abráptico Udipsamente típico Hapludol éntico</p>	<p>Distribución geográfica: cumbres de las Serranías de Tartagal y Cumbres de San Antonio o Altos del río Seco, en dos franjas con orientación norte sur. Factores de formación: Relieve ondulado y quebrado, con pendientes máximas de 35° (pendientes clases 1 a 4). Los materiales originarios de los suelos son mayormente pelíticos, derivados de las Unidades litológicas "Areniscas deleznales"; "Areniscas limosas y pelitas subordinadas" (ID 3, 4) y en menor proporción "Areniscas competentes" y "Pelitas y areniscas subordinadas, (ID 1b y 2b). Las precipitaciones son entre 900 y 1100 mm aproximadamente progresando de sureste a noroeste (régimen de humedad del suelo tipo údico). La vegetación corresponde al dominio Amazónico, provincia de las yungas, distrito de las selvas de transición (Cabrera 1994). Procesos pedogenéticos dominantes: Argiluvación con la consecuente formación de horizontes argílicos. Humificación y melanización moderadamente manifiesta. Uso actual: forestal (extracción selectiva) y petrolero (picadas y líneas sísmicas).</p>
<p><b>SUELOS SERRANOS FUERTEMENTE LIXIVIADOS</b></p>	<p><b>Suelos arcillosos y/o con horizontes álbicos</b> Distrupte álbico Argiudol abráptico Albacualf típico</p>	<p>Distribución geográfica: faja elongada de norte a sur, en el centro oeste de la hoja abarcando ambas laderas de las Cumbres de San Antonio (o Altos del río Seco). Factores de formación Relieve ondulado y quebrado, con pendientes entre 5-35° (pendientes clases 2 a 4). Los materiales originarios de los suelos son mayormente pelíticos, derivados de las Unidades litológicas "Areniscas limosas y pelitas subordinadas" y en menor proporción "Conglomerados y areniscas conglomerádicas". Las precipitaciones son entre 1000 y 1400 mm aproximadamente progresando de sureste a noroeste (régimen de humedad del suelo tipo údico). La vegetación corresponde al dominio Amazónico, provincia de las yungas, distrito de las selvas de transición (Cabrera 1994). Procesos pedogenéticos dominantes: argiluvación con la consecuente formación de horizontes argílicos, lixiviación de bases (desaturación del complejo de intercambio a nivel de horizontes A y E), fuerte eluviación de arcillas evidenciada por la presencia de horizontes álbicos debido a la intensa lixiviación o escurrimiento subsuperficial. Uso actual: forestal y petrolero (picadas y líneas sísmicas)</p>

<p><b>SUELOS SERRANOS DE ESCASO DESARROLLO Y MAL DRENAJE</b></p>	<p><b>Suelos poco desarrollados y/o otros de régimen ácuico.</b> Hapludol éntico Udipsamente típico Albaqualf típico</p>	<p>Distribución geográfica: Suroeste de la hoja, involucrando a las Sierra de Oran, Serranías del Divisadero y de Las Pavas. Factores de formación Relieve ondulado y quebrado, con pendientes entre 5 - 35° (pendientes clases 2 a 4). Los materiales originarios de los suelos son mayormente pelíticos, derivados de las Unidades litológicas "Areniscas limosas y pelitas subordinadas" y (ID 4 y 3) y en menor proporción "Areniscas limosas y pelitas subordinadas" y "Areniscas competentes". En menor proporción y "Areniscas y pelitas competentes" y "Diamictias", pelitas y areniscas subordinadas. Las precipitaciones son entre 1200 y 1600 mm aproximadamente progresando de sureste a noroeste (régimen de humedad del suelo tipo údico). La vegetación corresponde al dominio Amazónico, provincia de las yungas, distrito de las selvas de transición (Cabrera 1994). Procesos pedogenéticos humificación/melanización moderadamente manifiesto, argiluviación con la consecuente formación de horizontes argílicos, lixiviación de bases (desaturación del complejo de intercambio a nivel de horizontes A y E), fuerte eluviación de arcillas evidenciada por la presencia de horizontes álbicos. Uso actual: Forestal y petrolero</p>
<p><b>SUELOS ARCILLOSOS DE BAJADAS OCCIDENTALES</b></p>	<p><b>Suelos údicos con endopedón argílico</b> Argiudol típico Argiudol álfico Hapludalf típico</p>	<p>Distribución geográfica: ladera oriental y ambiente pedemontano de Cumbres de San Antonio o Altos del río Seco. Factores de formación: material originario: Relieve ondulado (pendientes clase 1 y 2: 0-15°) e inclinación regional hacia el este. Los materiales originarios son arenas y pelitas derivadas de depósitos de abanicos aluviales cuaternarios (id 6) y depósitos de abanicos aluviales actuales (id 9). El régimen de precipitaciones es de tipo údico y la unidad se halla comprendida aproximadamente entre las isoyetas de 1100 y 1400 mm. La vegetación corresponde al dominio Amazónico, provincia de las yungas, distrito de las selvas de transición (Cabrera 1994). Procesos pedogenéticos dominantes: humificación/melanización moderadamente manifiesto, argiluviación con la consecuente formación de horizontes argílicos. Uso actual: forestal y petrolero (picadas y líneas sísmicas)</p>
<p><b>SUELOS POCO DESARROLLADOS DE BAJADAS INTERMONTANAS</b></p>	<p><b>Predominan Entisoles</b> Argiudol álfico Udipsamente típico Udortente típico Udortente típico x x Ustortente típico</p>	<p>Distribución geográfica: bajadas intermontanas hacia el río Seco y sector intermontano de la parte norte de la Sierra de Tartagal. Factores de formación: Relieve ondulado (pendientes clase 1 y 2: 0-15°). Los materiales originarios son arenas y pelitas derivadas de depósitos de abanicos aluviales cuaternarios y depósitos de abanicos aluviales actuales. El régimen de precipitaciones es de tipo údico y la unidad se halla comprendida aproximadamente entre las isoyetas de 1000 y 1400 mm. La vegetación corresponde al dominio Amazónico, provincia de las yungas, distrito de las selvas de transición (Cabrera 1994). Procesos pedogenéticos dominantes: argiluviación con la consecuente formación de horizontes argílicos, fuerte eluviación de arcillas evidenciada por la presencia de horizontes álbicos. Procesos pedogenéticos dominantes: dado su escaso desarrollo el único proceso manifiesto es la humificación/melanización. En algunos casos argiluviación con la consecuente formación de horizontes argílicos, fuerte eluviación de arcillas evidenciada por la presencia de horizontes álbicos.</p>
<p><b>SUELOS ARCILLOSOS DE BAJADA DEL RÍO SECO</b></p>	<p><b>Suelos údicos</b> Argiudol típico Udortente típico</p>	<p>Distribución geográfica: área aproximadamente triangular al sur de la hoja, conformando el abanico proximal del río Seco. Factores de formación: Relieve plano, con escasa pendiente (0,5 a 0,7%), los materiales originarios son arenas y pelitas derivadas de</p>

<p><b>SUELOS ARCILLOSOS DE BAJADA DEL RÍO SECO</b></p>		<p>depósitos de abanicos aluviales cuaternarios (id 6), las precipitaciones oscilan entre 700 y 1000 mm anuales distribuidas de modo aproximadamente homogéneo a lo largo de todo el año (údic). La vegetación corresponde al dominio Amazónico, provincia de las yungas, distrito de las selvas de transición (Cabrera 1994). Procesos pedogenéticos dominantes: humificación/melanización moderadamente manifiesto; argiluviación con la consecuente formación de horizontes argílicos Uso actual. Agrícola que abarca aproximadamente el 80% de la superficie de esta unidad.</p>
<p><b>SUELOS PEDEMONTANOS HÚMICOS</b></p>	<p><b>Predominan Molisoles údicos</b> Argiudol álfico Hapludol típico Hapludalf crómico vértico</p>	<p>Distribución geográfica: vertiente oriental de la Sierra del Divisadero, en el suroeste de la hoja. Factores de formación: Relieve serrano quebrado y muy quebrado, con pendientes variables, predominantemente abruptas (entre 0 y 35°). Los materiales originarios son predominantemente areniscas limosas y pelitas subordinadas del terciario subandino (unidades 4 y 6 del mapa litológico). El régimen de humedad es de tipo údic con precipitaciones entre 800 y 1200 mm anuales, con incremento hacia el oeste. La vegetación corresponde al dominio Amazónico, provincia de las yungas, distrito de las selvas de transición (Cabrera 1994). Procesos pedogenéticos dominantes: humificación/melanización moderadamente manifiesto, argiluviación con la consecuente formación de horizontes argílicos Uso actual: bosque nativo y uso agrícola.</p>
<p><b>SUELOS ENTICOS DE PLANICIES ALUVIALES Y AUSENCIA DE COBERTURA EDAFICA</b></p>	<p><b>Entisoles údicos y ústicos</b> Hidracuente típico Udifluente ácuico Udipsamente típico Ustipsamente típico</p>	<p>Distribución geográfica: Unidad de escaso desarrollo asociada a cursos fluviales. Factores de formación: Relieve plano, con pendiente suave hacia el sureste y sur, materiales originarios dominantes areniscas y pelitas. El régimen de humedad es de variable de údic a ústico, según su ubicación geográfica. En la región húmeda serrana y pedemontana, la vegetación corresponde al dominio Amazónico, provincia de las yungas, distrito de las selvas de transición, bosquecillos marginales y en ambiente de la llanura, con regímenes de precipitaciones estacionales, domina el Bosque xerófilo (dominio Chaqueño, distrito Chaqueño occidental, según Cabrera 1994). Procesos pedogenéticos dominantes: Todos los procesos se hallan poco manifiestos en virtud de la activa morfogénesis. Uso actual: vegetación natural</p>
<p><b>SUELOS DE TERRAZAS ALUVIALES</b></p>	<p><b>Suelos énticos - húmicos</b> Hidracuente típico Udifluente ácuico Hapludalf típico Argiudol Alfíco Hapludol éntico Albacualf típico Argiudol álfico</p>	<p>Distribución geográfica: Unidad de escaso desarrollo asociada a cursos fluviales. Factores de formación: Relieve plano, con pendiente suave hacia el sureste y sur, materiales originarios dominantes areniscas y pelitas. El régimen de humedad es de variable de údic a ústico, según su ubicación geográfica. La vegetación corresponde al dominio Amazónico, provincia de las yungas, distrito de las selvas de transición, bosquecillos marginales y en ambiente de la llanura, con regímenes de precipitaciones estacionales, domina el Bosque xerófilo (dominio Chaqueño, distrito Chaqueño occidental, según Cabrera 1994). Procesos pedogenéticos dominantes: humificación/mecanización moderadamente manifiesto, argiluviación y lixiviación moderadas, con la consecuente formación de horizontes argílicos y álbicos. Uso actual: Agrícola y vegetación natural.</p>

## 5. PELIGROSIDAD NATURAL

### 5.1. INTRODUCCIÓN

La región de estudio que tiene una región montañosa, las sierras subandinas y su piedemonte donde vive la gran mayoría de la población tiene 2 procesos muy activos la remoción en masa y el fluvial. Eventos como la inundación de detritos del 2009 en Tartagal o los flujos de Mosconi en 1984 tuvieron consecuencias graves para la región. Es muy importante tener herramientas para disminuir la exposición de la gente y sus bienes a los potenciales peligros naturales a través de un adecuado ordenamiento territorial.

El principal objetivo de este trabajo es producir un mapa indicativo de la peligrosidad natural en esta región, acompañado por un texto explicativo. Este trabajo tiene que ser la base para la realización de estudios de detalle en los lugares que los necesiten.

A continuación se describen los principales procesos y eventos de la zona de estudio empezando por inundaciones y erosión fluvial, luego movimientos en masa y por último la peligrosidad sísmica.

### 5.2. INUNDACIONES

Las inundaciones se producen por el desborde de corrientes fluviales (ríos, arroyos y canales) o de cuerpos de agua superficiales tales como lagos o lagunas. El grado de peligrosidad de la inundación depende de la altura del agua o de la fuerza de la corriente de agua. El agua también transporta sólidos de distintos tamaños que pueden formar grandes depósitos. La Directiva Europea de Inundaciones (2007/60/EC) define inundación como el (anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos por agua).

Se puede hacer una distinción entre 2 tipos de inundaciones: estática y dinámica. Entre ambos procesos hay transiciones y pueden coexistir en un mismo evento.

En el caso de las inundaciones estáticas, el agua discurre muy lentamente, o no se moviliza. Este tipo de inundaciones son comunes en la llanura y en la orilla de lagos o lagunas. El parámetro determinante para los daños es la profundidad máxima de la inundación. Los mismos se cuantifican según la velocidad de la subida de las aguas, la sedimentación y la duración de la inundación. (Lateltin, 1997)

Las inundaciones dinámicas se caracterizan por tener una velocidad de corriente rápida. Se dan so-

bre terrenos inclinados en ríos o arroyos de montaña. Este tipo de proceso dinámico ocurre también en zonas estrechamiento de un cauce o en terraplenes con brechas.

La peligrosidad de este tipo de crecidas es fundamentalmente por la presión que ejerce la corriente. El parámetro para estimar los daños es el producto entre la velocidad de escurrimiento del agua y la altura de escurrimiento medio.

Localmente se pueden producir daños por erosión, particularmente cerca de obstáculos como pilares o construcciones. En algunos casos también hay que tener en cuenta la presión ejercida por los clastos (arena, grava y bloques) que transporta el río y la madera flotante (troncos y ramas). La inundación dura en general solo algunas horas ya que el agua sobre un terreno inclinado se escurre rápidamente.

Después del paso del agua suelen quedar importantes depósitos de gravas y bloques o materiales más finos como arena y limo, dependiendo de lo que transporta el río.

El incremento de caudal por encima de la capacidad del cauce para desalojarlo, conlleva el desborde y la ocupación de las márgenes. Estos aumentos de caudal se pueden producir por crecidas y/o avenidas. Las crecidas se relacionan con precipitaciones generalizadas y de larga duración; las avenidas pueden originarse tras precipitaciones concentradas (orográficas y/o convectivas), roturas de represamientos naturales (lagos, lagunas) o artificiales (puentes obstruidos embalses).

La presencia de abundante madera flotante dificulta el flujo y el paso del agua en puentes, terraplenes o angostamientos naturales del cauce, formando un dique. El posterior colapso o rotura del este tipo de endicamientos, constituye un proceso es particularmente peligroso, dado que se moviliza de modo repentino el volumen de agua que estaba retenido.

#### *Erosión de las riberas fluviales*

Uno de los procesos relacionados con las crecidas es la (erosión de las riberas fluviales). La fuerza o energía de la corriente puede erosionar el lecho y las márgenes del cauce, produciendo socavación de infraestructura e inestabilidad de laderas, desencadenando movimientos de material (deslizamientos, flujos), con los consiguientes daños asociados, que pueden afectar tanto a personas y bienes como a infraestructuras. Cuando la erosión de las márgenes del río se produce al pie de una barranca, da lugar,

en muchos casos a deslizamientos o vuelcos en las laderas del río. Estos movimientos resultan en un retroceso de la barranca que según el tipo de litología y la intensidad de la crecida puede alcanzar varios metros en un único evento (retroceso de margen y colapso de barranca).

Otro de los procesos comunes, es la migración de lateral de los cauces. Los cursos de agua de hábito meandriforme a menudo migran durante las crecidas extremas. Sobre la margen externa del meandro hay erosión y en la margen interna se deposita sedimento.

*Registros de inundaciones y de erosión de las riberas fluviales (erosión lateral de las márgenes y migración de cauces)*

En los sectores de la zona de estudio dónde la red de drenaje es muy densa, son comunes los problemas de inundación y erosión lateral de las márgenes por crecidas extraordinarias. Las comunidades ubicadas al pie de las sierras, sobre los abanicos aluviales y en las márgenes de los ríos Itiyuro, Quebrada de Yacuiba y el río Bermejo se vieron afectadas en varias oportunidades por inundaciones y erosión de las riberas. Se cuenta con registros históricos de diferentes episodios desde 1980 hasta la actualidad.

Los eventos coinciden en general con años de precipitaciones más altas que la media anual, pero también se da el caso de precipitaciones orográficas concentradas, como la ocurrida en el año 2009 en Tartagal.

En la región de estudio las crecidas que se producen en los arroyos que bajan de las sierras afectan las localidades ubicadas al pie de las mismas y la ruta nacional 34 que corre paralela a esta (Fig. 49 y 50). De norte a sur las principales localidades son Salvador Mazza, Aguaray, Yacuy, Tartagal, General Mosconi, Campamento Vespucio y Coronel Cornejo (Tabla 1). En el verano del año 2006, se produjeron intensas precipitaciones sobre la sierra de Aguaragüe y la ciudad de Tartagal, que se iniciaron a fines de diciembre 2005 y se prolongaron hasta abril de 2006. Estas precipitaciones generaron un importante caudal con arrastre de material sólido en el río Tartagal que produjo la destrucción de gran parte del revestimiento de la canalización y el deslizamiento de las barrancas de sus márgenes (Fig.48).

El 4 de abril la destrucción del revestimiento y la erosión retrocedente llegó hasta el puente peatonal y ambas márgenes del río retrocedieron unos 10 m

aproximadamente. La población que vivía a orillas del río (aproximadamente 130 personas) tuvo que ser evacuada.



Figura 48: Vista del río Tartagal hacia la sierra, evento del 2006, destrucción del revestimiento del río, profundización y erosión de las barrancas (Foto municipalidad de Tartagal) .



Figura 49: Evento del año 2006 causado por las intensas precipitaciones del verano de este año, cárcava paralela a la ruta Nacional 34, parte de la ruta esta siendo destruida por el agua que proviene de las sierras. (Foto municipalidad de Tartagal)



Figura 50: Inundación de la estación de servicio ubicada en el cruce entre la ruta nacional 34 y el camino que lleva a General Mosconi (Foto municipalidad de Tartagal).

Las intensas lluvias del verano 2006 generaron además erosión y deslizamientos en la sierra de Aguaragüe.

Las inundaciones también afectaron a Coronel Cornejo: el día 19 de marzo cayeron 170 mm en 5 horas y 20 familias tuvieron que ser evacuadas por la inundación de sus casas.

Posteriormente el 9 de febrero de 2009, los pobladores de la ciudad de Tartagal se vieron afectados por (una inundación de detritos), que constituyen un flujo muy rápido, cargado con gran cantidad de sedimentos a lo largo de un canal inclinado (también denominado crecida de detritos, GEMMA, 2007) Este episodio causó muertes y grandes daños en un sector importante de la ciudad (fig.51-53).

La inundación en este caso fue producto de una lluvia intensa en la parte alta de la cuenca del río Tartagal.

Otros de los lugares afectados por las crecidas son las pequeñas localidades, poblados y barrios ubicados a orillas del río Itiyuro y de su afluente norte, la Quebrada de Yacuiba.

En el sector sur de la región y fuera de los límites de esta Hoja, el puente que cruza el río Seco sobre la ruta 34 fue destruido por crecidas en el año 2006 y 1987.

En el sector oeste, al norte de la ciudad de Oran, se registran también otros eventos como el desborde del río Pescado en el año 2006 y la caída del puente sobre el río Blanco en el año 1980.

En el año 2007 en el sector 5, lugar donde se juntan la Quebrada de Yacuiba y la Quebrada Internacional, el agua arrasó con el puente tipo (pasarela) que cruza el río y erosiono ambas márgenes del cauce (Ver ficha en anexo I).

Aguas abajo se inundaron varios barrios ubicados en la ribera oeste. El mismo año, la Comunidad El Arenal ubicada en la margen oeste de la quebrada de Yacuiba fue afectada por inundación y erosión, durante las cuales el agua entró en las viviendas y algunas de ellas quedaron destruidas.

Esta población estaba ubicada en la planicie aluvial del río Quebrada de Yacuiba, en el recodo de un meandro sobre un albardón lateral.

En la ficha xx (anexo I) se observa la ubicación de la comunidad con respecto al río: la misma se hallaba entre el cauce actual del río y un paleocauce, el cual se puede reactivar durante las crecidas.

En la crecida del año 2007, como consecuencia de la migración del cauce, el agua erosiono las barrancas y desbordo hacia el lugar donde se ubicaba la comunidad (Ver ficha en anexo I) hasta alcanzar

cauce antiguo. La migración del cauce durante una crecida extraordinaria es un proceso muy frecuente en este tipo de ríos.



Figura 51: Vista del río Tartagal hacia las sierras en la crecida (agua y detritos) del 9 de febrero 2009. (Fotos gentileza del fotógrafo de Tartagal)



Figura 52: Vista de los troncos que se acumularon antes del puente de la avenida Packham y que generaron el endicamiento y el desplazamiento del puente del ferrocarril.



Figura 53: Vista del cauce del río Tartagal aguas abajo del puente de la avenida Packham donde se observa el retroceso de las barrancas por erosión y deslizamientos (vuelcos) y destrucción de las casas ubicadas a orilla del río.

Lugar	fecha	afectación a la comunidad
Coronel Cornejo	9/03/2000	corte de ruta 34 por inundación y sedimentación
	19/03/2006	20 familias evacuadas por la inundación de viviendas entre Mosconi y Gral. Cornejo, desbordo la quebrada Galarza y se inundó la ruta
Campamento Vespucio	21/03/1984	
	23/08/2000	inundación y erosión quebrada de Galarza a la altura del hotel cerros colindantes a Vespucio
Tartagal	26/03/1980	cae el puente sobre el río Tartagal
	15/02/1994	2 viviendas precarias destruidas al norte de Tartagal
	27/01/2000	anegamiento de los barrios de Tartagal se inundaron barrios en el sur de Tartagal cruzó la ruta e inundó la estación de servicio el arroyo Gritón casi retorna a su antiguo cauce y atraviesa los barrios del complejo habitacional conocido como Barrio Supe.
	09/03/2000	planta potabilizadora de Tartagal fuera de servicio por inundación
	19/03/2006	la crecida del río erosionó la barranca y se cayeron 2 casas la avenida 25 de mayo se transformó en una vía de escurrimiento
	4/04/2006	la destrucción del revestimiento de hormigón y la erosión retrocedente en el río Tartagal llegó hasta el puente peatonal
	09/02/2009	flujos de detritos e inundación de la ciudad de Tartagal. 2 muertos y muchos daños económicos.
Zanja Honda	15/02/1994	sobre la ruta nacional 34 se cortó el puente en Zanja Honda
Aguaray	27/01/2000	se rompieron las compuertas de la planta de agua y hay sedimentación de arena en la planta, todas las localidades al sur de Salvador Mazza quedaron sin agua potable.
	29/01/2007	ver
Dique Itiyuro	03/1984	dique Itiyuro sobrepasó su cota máxima y se evacuaron 250 personas en Misión Caraparí
	09/03/2000	caída de 2 torres
	15/02/1994	crecida produjo peligro de desborde del dique Itiyuro
Salvador Mazza	29/01/2007	caída de puente peatonal en sector 5, 150 evacuados y 5000 personas incomunicadas. Quebrada de Yacuiba, erosión en el puente internacional. La escuela del Sauzal quedó destruida.
	09/02/2009	en la ciudad y en la quebrada de Yacuiba se registraron procesos de erosión en el lecho y en las riberas durante las crecidas de verano
Comunidad el Arenal	27/01/2007	migración de un brazo del río, toda la comunidad quedó bajo el agua, daños en las casas.
ruta 50 (Oran)	9/03/2000	corte de la ruta 50 a 25km de Oran
Río Pescado	19/03/2006	desbordo el río pescado e inundó propiedades de la zona
Río Blanco	11/03/1980	caída del puente sobre el río Blanco

Tabla 4: Resumen de los eventos de inundaciones, erosión hídrica y sedimentación de la región de estudio.

**Años históricos de crecidas:**

En la tabla 5 se resume los años con eventos de crecidas y las precipitaciones estivales (octubre a marzo) de estos años para las estaciones de Tartagal y Oran. Las figura 54 y 55 muestran las precipitaciones máximas anuales para la serie 1956-2010 de la estación Tartagal y para la serie 1958 y 2008 de la estación Oran. En general en los años de precipitaciones anuales mayores que la media (999.8 mm y 976,4 mm para Oran) se registraron episodios de inundaciones y movimientos en masa en la región. Sin embargo hay excepciones como en el caso del evento ocurrido en la cuenca de Tartagal el 9 de febrero 2009, en ese hubo una fuerte lluvia en las cabeceras de la cuenca y no fue registrada en la estación de Tartagal. En el año 1994 se registra algo parecido para la alta cuenca del río Itiyuro.

En las figuras 56 y 57 se representa la serie de precipitación estival (octubre a marzo) para las estaciones mencionadas arriba, expresadas como porcentaje del promedio de todo el periodo (Pt) (1956-2010) de acuerdo con el método utilizado por

Campagnucci y Agosta (2008). En los gráficos se puede observar variaciones anuales de precipitaciones y ciclos húmedos y secos con alternancia más o menos regular hasta mediados de los años 70s. A partir de esta fecha se observa un incremento de las precipitaciones para los últimos 40 años. En el precitado estudio se correlaciona la variabilidad de las precipitaciones con el fenómeno el Niño/Oscilación Sur (ENSO). El Niño y su contraparte la Niña están asociados a eventos de temperatura superficial del agua en el Pacífico más cálida o fría de lo normal. En los gráficos mencionados se indicó en color verde los porcentajes (Pt) asociados a años Niño y en color anaranjado a la Niña., no reconociéndose un vínculo entre los años húmedos (barra por encima de 100 %) y el fenómeno ENSO. De acuerdo con Campagnucci y Agosta (2008) no se percibe una relación entre la temperatura superficial del mar en el Pacífico y la precipitación de la región de estudio. Aunque si se observa una relación entre un incremento de las precipitaciones en los últimos años y el cambio en las condiciones medias de temperatura del Pacífico Ecuatorial central de 1976/77.

años con eventos de crecidas	precipitación estivales estación Tartagal (mm)	Precipitación estivales estación Oran (mm)
1980-1981	1095	986,3
1984-1985	N/D	1238,9
1993-1994	809,1	861,7
1999-2000	809,7	813,7
2005-2006	1511	931
2007	1265	1112,3
2009	688,6	

Tabla 5: Resumen de los años con crecidas y la precipitación media estival para los mismos años.

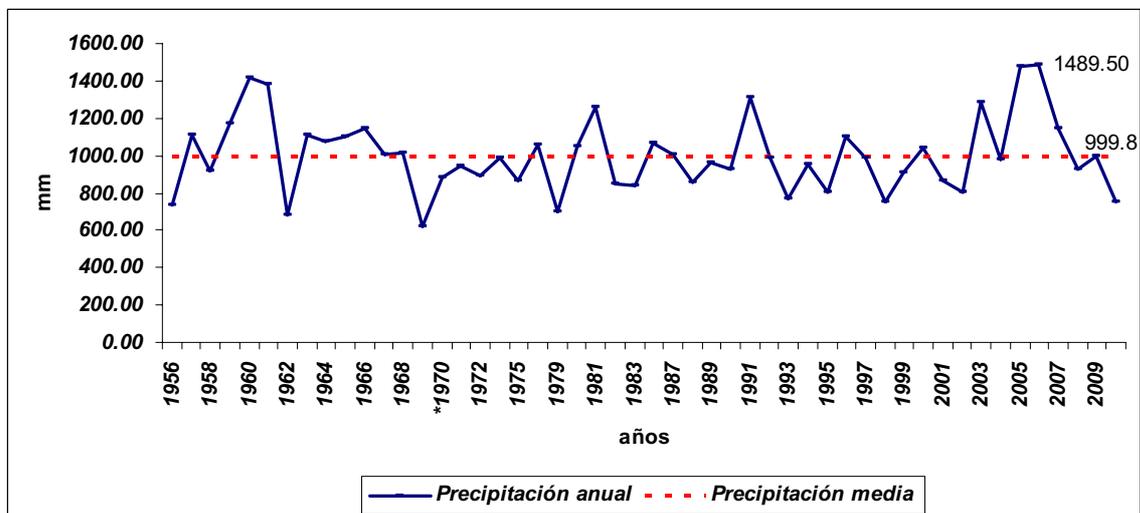


Figura 54: Precipitaciones anuales de la estación Tartagal para el periodo 1956 y 2010

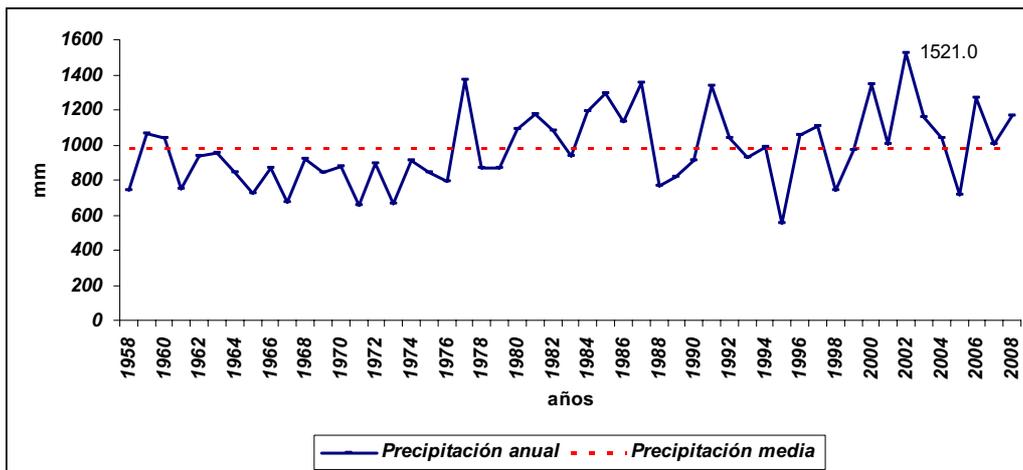


Figura 55: Precipitaciones anuales de la estación Oran para el período 1958 y 2008

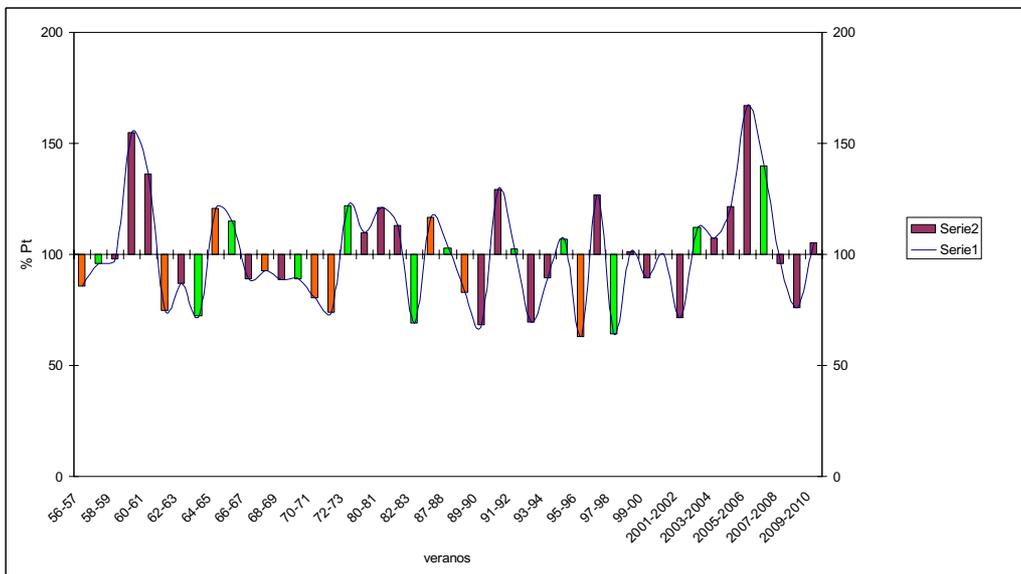


Figura 56: Serie de precipitación estival (octubre a marzo) para la estación Tartagal, expresadas como porcentaje del promedio de todo el periodo (Pt)

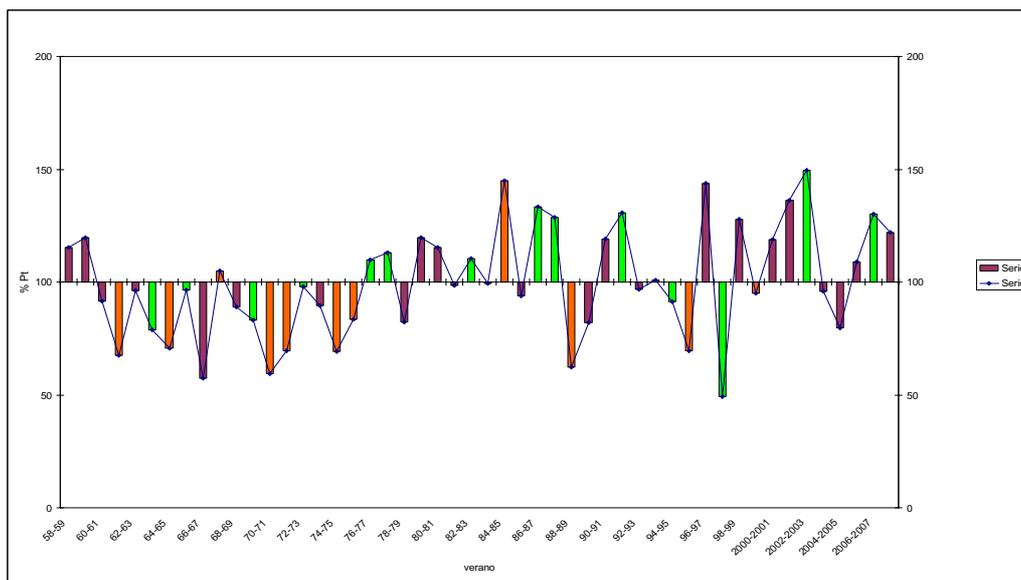


Figura 57: Serie de precipitación estival (octubre a marzo) para la estación Oran, expresadas como porcentaje del promedio de todo el periodo (Pt) (1958-2008) en color verde se graficaron los porcentajes asociados a años Niña y en color anaranjado a la Niña.

### 5.3. EROSIÓN HÍDRICA

#### Erosión laminar y cárcavamiento

La erosión del agua sobre el suelo es producto de las gotas de agua que caen con las precipitaciones y el agua que fluye en la superficie, que se puede mover como flujo laminar o concentrarse en cárcavas o surcos. La erosión del suelo provee la mayor parte del material fino (arena, limo y arcilla) que luego es transportado por los ríos. Cuando el flujo de agua se concentra puede transportar gran cantidad de material, como en el caso de la formación de grandes cárcavas. La FAO (1965) desde una perspectiva agronómica, las define como canales fluviales cuyo ancho y profundidad no permiten las operaciones de arado. Imeson y Kwaad (1980) las caracterizan como canales formados por flujos de agua concentrados, de carácter intermitente, mayormente desarrollados sobre materiales inconsolidados en áreas de pendiente.

Se han identificado varios factores, todos interrelacionados, que contribuyen a la erosión del suelo, siendo los más importantes el clima, las pendientes, el tipo de litología, la vegetación y la actividad humana.

Dentro del factor climático, las precipitaciones constituyen el desencadenante y la capacidad de erosión depende de la intensidad y la duración de las mismas.

La susceptibilidad a la erosión depende de las propiedades intrínsecas del suelo como la textura (proporción relativa de arena, limo y arcilla), de la cobertura vegetal y del tipo de uso del suelo. En el área de estudio se observaron varios sectores con cárcavas de hasta 8 metros. En casi en todos los casos las mismas se generan cuando el escurrimiento de agua se desvía concentrándose en un sector. Este aumento de caudal genera erosión vertical en los sedimentos friables (bancos de limo arenoso y arcilloso) de las bajadas ubicadas al pie de las sierras. Un ejemplo de la formación de una cárcava de grandes dimensiones que se produjo en una temporada de verano, se observa en la cuenca baja del arroyo Lomitas (Figura 58). En los alrededores de la ciudad de Tartagal, se generaron también grandes cárcavas, una de ellas ubicada en la intersección entre la ruta Nacional 34 y el río Tartagal, como consecuencia de la concentración de aguas en la calle 13 de Junio, que colecta el escurrimiento de varias calles generando un caudal considerable, que se vierte en la banquina de la ruta Nacional N° 34 y finalmente en

el río Tartagal (Cabral 2006). Cruzando la ruta Nacional, perpendicular a la margen derecha del río se observa otra cárcava de mayores dimensiones que la anterior, que en el año 2006 tenía una longitud de 600 m y una profundidad de 20 m.

La formación de esta cárcava se debe también al agua que escurre por las calles y a las descargas pluviales que son evacuadas a través de la red de cloacas.

Asimismo en Salvador Mazza, en el barrio ubicado al Noroeste de la ciudad adyacente a la quebrada Internacional se observó la formación de una cárcava que cruza en sentido oeste este el barrio antes mencionado. Una de las viviendas se ubica a escasos metros del cauce.

En el sector sureste de la hoja cerca de la localidad de Bobadal, en la unidad perteneciente al abanico actual del río Itiyuro, se observan cárcavas de por lo menos 1 m de profundidad al costado del camino (Fig. 60).



Figura 58: Cárcava ubicada en la cuenca baja del arroyo Lomitas.



Figura 59: obra de contención en una cárcava ubicada en la cuenca baja del río Lomitas, al oeste de la Ruta Nacional n° 34.



Figura 60: Cárcavas al borde del camino que lleva a Bobadal, localidad ubicada sobre margen oeste del río Itiyuro en su parte distal.

### Erosión retrocedente

En la mayoría de los ríos que discurren de oeste a este desde las sierras hacia la llanura chaqueña se observó una marcada erosión, que se evidencia sobre todo en la cercanía de los puentes y alcantarillas de la ruta nacional 34 y de la traza del ferrocarril Belgrano. Desde la década del 1970 hasta la actualidad la zona ubicada al este de la ruta y el ferrocarril ha sido modificada antropicamente para la explotación agrícola, como los cultivos de poroto y de soja.

En un trabajo de evaluación de la cobertura vegetal y estimación de pérdida de suelo realizado por Sánchez (2008), se demuestra que los cambios en el uso del suelo por desmontes condujeron a que en el año 2006 el 70% del área comprendida por la cuenca baja y zonas de influencia del río Tartagal estuviera representada por clases erosivas alta a muy alta según la clasificación de la FAO. Los desmontes se deben casi totalmente a un incremento de la superficie con fines agrícolas entre los años 1975 y 2006. Los ríos se caracterizaban por ser meandriformes y de muy bajo gradiente por lo que los caudales de crecida se dispersaban en la zona de bosque chaqueño (Farias, 2009). Con la explotación agrícola se ha rectificado y prolongado los cauces para que no desborden hacia los campos. La principal consecuencia geomorfológica de estas acciones es un marcado descenso en el nivel de base del río, lo cual genera erosión retrocedente, produciendo un ajuste de fondo y lateral, como consecuencia de la modificación del nivel de base original. La erosión retrocedente en todos los cursos ha avanzado hasta la ruta nacional 34 y en algunos casos hasta la traza del ferrocarril, produciendo un salto en el cauce in-

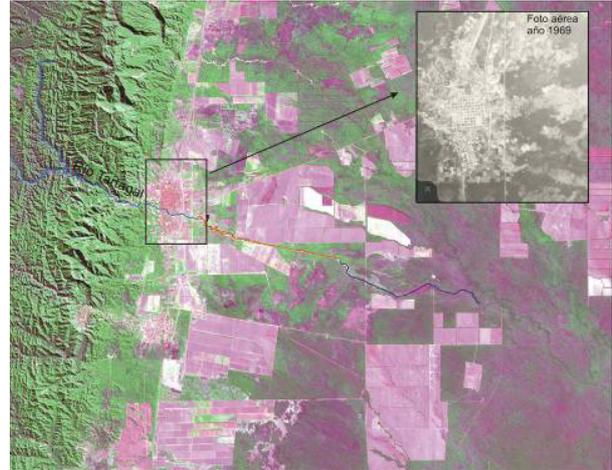


Figura 61: Sobre la imagen satelital del año 2000 se ha dibujado el río Tartagal con su canalización y migración hacia el este. En el año 1969, el río llegaba hasta la ruta nacional 34, el traza del río se resalta sobre la imagen en color azul. Entre 1969 y 1996, el río se prolongó unos 24 Km., (dibujo en color naranja). En el año 2000 se observa 11km más de canalización (dibujo en color azul).

mediatamente aguas abajo de cada una de las obras de cruce (alcantarillas y puentes). La magnitud de estos procesos ha sido comprobada en las visitas de campo en las cuales se revisaron cada uno de los cauces que cruzan la R.N.34. En la tabla 6 se muestra un resumen de las observaciones realizadas en el campo. El río Tartagal es uno de los ejemplos de modificación del curso en su parte distal y su consecuente erosión retrocedente que llegó hasta la ciudad de Tartagal. El análisis preliminar de las imágenes satelitales y fotografías aéreas disponibles muestra que en los últimos 30 años, el tramo canalizado del río ubicado al este de la ciudad de Tartagal se alargó significativamente (Sánchez 2007). El río que en el año 1969 se perdía y depositaba sus sedimentos al terminar la ciudad de Tartagal en años siguientes se prolongó aproximadamente 35 Km. en la llanura a través de canales rectos que discurren entre los cultivos (figura 61).

Hoy el cauce del río llega a la cañada el Rosarito para encauzarse luego hacia el bañado del Tacuruzal. Asimismo, el arroyo Galarza que nace en la sierra de Tartagal ha sido modificado en su último tramo llegando a la ruta Nacional 34, donde el curso fue desviado y corre paralelo a la ruta unos 5 km hacia el sur para luego cruzarla haciendo un codo de 90°. El arroyo Gritón fue también desviado hacia el sur en el piedemonte, juntándose con el arroyo Lomitas al oeste de la ruta nacional 34. Como consecuencia de ello en el cruce del arroyo Gritón y el camino que conduce a las instalaciones de Tecpetrol se observa erosión severa e incluso rotura del puente. (Fig.62)

Arroyos	Erosión retrocedente	Modificación del curso	obras de mitigación
Galarza	si	si	
Gritón	si	si	
Lomitas	si	no	
Tartagal	si	si	
Cuña Muerta	si		gaviones para proteger
Zanja Honda	si		
Yariguarenda	si		
Tranquitas	si		gaviones para proteger
Yacuy	no		
Piquirenda	no		
Aguaray	no		
Tobatirenda	no		

Tabla 6: Resumen de algunas características de los arroyos que cruzan la ruta Nacional 34, entre las localidades de General Mosconi y Tobatirenda.



Figura 62: Erosión retrocedente y rotura del puente en el arroyo Gritón.



Figura 64: Profundización del cauce en el arroyo Tranquitas, aguas abajo de la ruta Nacional 34. Obsérvese atrás, el gasoducto que cruza el cauce.



Figura 63: Arroyo Tranquitas erosión retrocedente, se observa la profundización del arroyo y los gaviones que se construyeron para evitar que se descalza el puente.

### Mapa de peligrosidad a las inundaciones y la erosión hídrica

En este trabajo se empleó un criterio hidrogeomorfológico y se cartografiaron las zonas sensibles a las inundaciones, erosión hídrica y sedimentación teniendo en cuenta las observaciones de campo, los registros históricos de eventos, las unidades geomorfológicas y la topografía, descriptos y analizados en los capítulos correspondientes a dichas temáticas.

El método hidrogeomorfológico tiene por objeto identificar los elementos de referencia que permiten interpretar la dinámica de los espacios fluviales, zonas activas de evolución de ríos y riberas, y las unidades geomorfológicas que constituyen los diferen-

tes lechos (Masson et al., 1996). En este caso se han cartografiado las planicies de los ríos que son muy susceptibles de ser inundadas. Los ríos de la región tienen un hábito meandriforme, con una planicie aluvial que tiene un cauce activo, cauces abandonados y terrazas bajas. Los cauces activos migran y se desplazan dentro de la planicie aluvial. Los ríos mayores como el Itiyuro, el Bermejo y el Río Grande de Tarija tienen en muchos casos un segundo nivel de terraza que se inunda solamente en casos de precipitaciones extremas.

En el mapa de peligrosidad se reconocieron sectores con predominio de inundaciones y erosión hídrica asociados a las planicies y terrazas de los cursos fluviales. Los ríos de mayor envergadura como el Bermejo, Itau, Grande de Tarija, Seco e Itiyuro tienen una planicie aluvial que se inunda todos los años en el verano (estación húmeda), con peligrosidad clasificada como alta y media para las terrazas donde ocurren eventos de crecida extraordinaria. Los cursos menores que bajan del frente montañoso de la Sierra de Tartagal, como el Huancarenda, Yacuy, Tranquitas, Yariguarenda, Zanja Honda, Cuña Muerta, Tartagal, Lomitas, Griton y Galarza, presentan también alta peligrosidad. La escala de trabajo no permite diferenciar ambientes fluviales por lo que se cartografió una franja de 200m que puede ser afectada por procesos de alta intensidad. Los cursos intermontanos afluentes de los ríos mayores como el río Seco, también presentan peligrosidad alta y se han cartografiado con una franja de 100 m para señalar la zona más afectada por procesos fluviales. En el ambiente serrano predomina la erosión hídrica reconociéndose dos grados de peligrosidad alta y media, según los tipos de litología y densidad de la red de drenaje. Según este criterio las unidades Relieve erosivo múltiple con diseño dendrítico (8), Relieve erosivo múltiple densamente irrigado (4), Relieve de cuevas y crestas homoclinales (6) y valles anticlinales (21) tienen alta peligrosidad a la erosión hídrica y Limbos y cumbreras de anticlinales (3), pedimentos (5) y Relieve en limbos homoclinales tienen peligrosidad media (7).

En las unidades geomorfológicas de bajadas pedemontanas y abanicos predomina los procesos de inundación y sedimentación de acuerdo a los registros históricos pendientes y gradiente de precipitaciones se han dividido en 4 clases alta, media, baja y muy baja. El abanico actual del río Itiyuro y el sector proximal de las bajadas orientales se han cartografiado como peligrosidad alta. A las vías de

escurrimiento de abanicos distales y el antiguo abanico del río Bermejo se les asignó peligrosidad media y a las unidades de bajadas proximales orientales y bajadas intermontanas y pedemontanas proximales peligrosidad baja. Asimismo las áreas de interfluvio de abanicos distales se les asignó peligrosidad muy baja. Por último un proceso muy conspicuo en esta región es el carcavamiento o erosión hídrica concentrada en canales, este proceso se identificó en las unidades geomórficas de bajadas proximales orientales y en las bajadas intermontanas y se les asignó a las mismas peligrosidad alta por erosión lineal o carcavamiento.

#### 5.4 MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa son desplazamientos, pendiente abajo de una masa rocosa compacta o desagregada y/o de depósitos no consolidados y agua, bajo el efecto de la gravedad. Pueden producirse de manera instantánea y rápida como caída de rocas, deslizamientos, flujos de detritos etc., o lentamente como reptaje, deslizamientos lentos.

Los procesos que originan movimientos en masa son muy complejos y dependen rara vez de una sola causa. La litología, el relieve y la exposición, son parámetros fundamentales, más o menos constantes durante largos periodos que determinan la predisposición general del terreno para los procesos de inestabilidad.

Los movimientos en masa se producen cuando hay un cambio en el equilibrio de las fuerzas en las laderas, desencadenados por procesos físicos o químicos que a su vez también dependen de varios factores. De esta manera los procesos de alteración actúan durante mucho tiempo (llevando a una disminución de las fuerzas resistentes), como así también los cambios del nivel freático, pueden influenciar la estabilidad de una ladera de manera continua. Además una pendiente puede ser desestabilizada de una manera repentina, cuando hay erosión de un río en la base de la ladera o un temblor producido por un sismo.

El desencadenante de un proceso peligroso se produce cuando se sobrepasa el valor límite de uno de los factores determinantes.

En general el agua tiene un rol determinante para los movimientos en masa porque produce presiones hidrostáticas en los poros, fisuras y fallas (presiones intersticiales). Las precipitaciones locales de mucha intensidad o regionales de larga duración llevan en

<b>PROCESO IDENTIFICADO</b>	<b>LITOLOGÍAS PREDOMINANTES</b>	<b>UNIDADES LITOLÓGICAS</b>	<b>UNIDADES DE PAISAJE</b>
<b>Caídas de rocas</b>	<b>areniscas y pelitas</b>	1a) Areniscas y pelitas competentes	Cañadones y cortes de camino en laderas anticlinales de las sierras de Aguaragüe, Macueta, Cumbres de San Antonio, Sierra baja de Oran, Serranía del Divisadero, Serranía de Las Pavas y región de Campo Duran.
	<b>areniscas</b>	1b) Areniscas competentes	
	<b>areniscas</b>	3) Areniscas deleznales	
	<b>conglomerados y areniscas conglomerádicas</b>	5) Conglomerados y areniscas conglomerádicas	
<b>Deslizamientos</b>	<b>areniscas</b>	1b) Areniscas competentes	Laderas orientales de Sierras de Aguaragüe y Macueta. Cumbres de San Antonio.
	<b>diamictitas</b>	2a) Diamictitas	
	<b>pelitas y areniscas</b>	2b) Pelitas y areniscas subordinadas	
	<b>areniscas</b>	3) Areniscas deleznales	
<b>Deslizamientos de suelos</b>	<b>areniscas limosas y pelitas</b>	4) Areniscas limosas y pelitas subordinadas	Relieve de cuevas y crestas homoclinales y relieve erosivo serrano
<b>Vuelcos en riberas fluviales</b>	<b>arenas limos y arcillas inconsolidadas</b>	6) Depósitos de abanicos aluviales cuaternarios	Barrancas de los ríos Itiyuro, Quebrada de Yacuiba, quebrada internacional, río grande de Tarija, Bermejo y cursos menores que drenan las áreas serranas como el río Tartagal.
	<b>arenas y limos inconsolidados</b>	8) Depósitos aluviales actuales	
<b>Flujos</b>	<b>areniscas limosas y pelitas</b>	4) Areniscas limosas y pelitas subordinadas	Relieve de cuevas y crestas homoclinales y relieve erosivo serrano
<b>Avalanchas de detritos</b>	<b>areniscas limosas y pelitas</b>	4) Areniscas limosas y pelitas subordinadas	

Tabla 7: tipos de movimientos en masa dominantes según litología

muchos casos a la ocurrencia de movimientos en masa. Los movimientos en masa además pueden ocurrir en parte por causas antrópicas.

Como por ejemplo la sobrecarga de una construcción sobre una pendiente, la elevación de la napa freática, la explotación inapropiada de áridos son acciones que pueden aumentar el peligro por los movimientos en masa.

Los efectos antrópicos como la deforestación, el sobrepastoreo y la explotación intensiva y denudación del suelo pueden contribuir de un modo más indirecto y a largo término en la desestabiliza-

ción de las laderas. Este tipo de procesos (movimientos en masa) es uno de los más activos en las Sierras Subandinas. Los factores condicionantes son las características geomorfológicas, litológicas, estructurales, tectónicas y climáticas de la región. La sierra de Tartagal presenta un relieve estructural, con elevadas pendientes de ladera que coinciden aproximadamente con las inclinaciones de capas en ambos flancos del anticlinal, favoreciendo la generación de cárcavas y movimientos en masa. Los principales factores son la litología y la pendiente, la gran cantidad de rocas blandas tales como arenas, con-

glomerados y arcillas muy deleznable y sedimentos recientes inconsolidados le dan al terreno fragilidad con respecto a la erosión (tabla 7 ).

Por otra parte las rocas mas antiguas aflorantes en las partes mas altas, consisten en una alternancia de areniscas y pelitas muy diaclasadas y meteorizadas, fácilmente erodables. En los cortes de camino y las márgenes de los ríos donde afloran areniscas se producen frecuentemente caídas de rocas. Los deslizamientos de gran envergadura se producen donde hay intercalaciones de bancos duros con areniscas y pelitas. El relieve esta muy influenciado por la estructura y las diferencias de competencia de las litologías. Las pendientes de los laterales de valles y quebradas varían entre 40° y 25°, pero las mas pronunciadas se observan sobre todo en escarpas de deslizamientos y erosión hídrica, en bordes de terrazas y en cortes de camino.

Los principales tipos de movimientos en masa presentes en la hoja son:

- Caídas de rocas
- Deslizamientos rotacionales y planares
- Deslizamientos de suelos
- Avalanchas de detritos
- Flujos de detritos y/o barro
- Vuelcos en riberas fluviales

#### 5.4.1. CAÍDAS DE ROCAS

La caída es un tipo de movimiento en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes o rodamiento (Varnes, 1978). En la zona de estudio, se producen a partir de afloramientos de areniscas cementadas expuestas en las pendientes con ángulos mayores que 30° de márgenes de valles fluviales y cortes de ruta. En el mapa litológico esta unidad se denomina (areniscas competentes) y corresponde a la Formación Las Peñas. Esta litología se halla bien expuesta en el río Carapari observándose varios episodios de caídas de rocas en el camino ribereño. En la ruta provincial 46, camino a Acambuco se producen también caídas a partir de los afloramientos de areniscas. En la zona de estudio este tipo de proceso es muy común en el frente oriental de la sierra de Tartagal donde afloran las

Formaciones Las Peñas (Fig. 65) y Tranquitas. Se observó también a partir de afloramientos de areniscas del terciario subandino, de las areniscas de la Fm. Tranquitas y las de las areniscas mesozoicas a menudo asociadas a cortes de taludes. Todas estas litologías presentan por lo menos 3 direcciones de diaclasamiento, dando como resultado bloques de diversos tamaños. En la sierra de San Antonio se observo una caída de rocas en un corte de camino, a partir de un afloramiento de areniscas del terciario subandino (Fig. 66). En el sector septentrional se observan también en el tramo del valle del río Bermejo que atraviesa la sierra, estas como en los casos anteriores se producen a partir de bancos de areniscas. En las serranías del Divisadero se dan también a partir de bancos de areniscas del terciario subandino que en este sector son más competentes que las que afloran en la región oriental. El principal desencadenante de estos movimientos son las intensas precipitaciones que se dan en los meses de verano. Los sismos también pueden desencadenar caídas de rocas, aunque los casos documentados en el presente capítulo no se han podido relacionar con eventos telúricos.



Figura 65: Se observan grandes bloques al costado de la ruta provincial 46 que va a Acambuco. Los bloques se desprenden del afloramiento de bancos de areniscas competentes de edad Carbonífera.



Figura 66: Caída de roca a partir de un afloramiento de areniscas poco consolidadas del terciario subandino, en el camino que va a la planta de Tecpetrol Chango norte.

#### 5.4.2. DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES Y TRASLACIONALES.

El deslizamiento rotacional es un tipo de movimiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por una escarpa principal pronunciada y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia la escarpa principal. La deformación de la masa interna es usualmente muy poca. En el caso de los deslizamientos traslacionales en cambio la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre normalmente a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual (GEMMA, 2007).

En la ladera oriental de la sierra de Aguaragüe cuyas alturas varían entre 1000 y 500 m de altura se han cartografiado 6 grandes movimientos en masa. La zona de arranque se encuentra casi en todos los casos en pelitas y areniscas carboníferas de la Fm. San Telmo entre 1000 y 800 m de altura.

Las pelitas están muy meteorizadas lo que las hace altamente friables y se parten en laminillas según los planos de estratificación mientras que; las areniscas tienen varios juegos de diaclasas. Esta alternancia de rocas más friables y otras más competentes sumada a la inclinación de los bancos, a favor de la pendiente, propicia los deslizamientos. En este sector el flanco oriental de la sierra constituye un limbo anticlinal que inclina en el mismo sentido que

la pendiente. Los factores desencadenantes son en general las precipitaciones extraordinarias, observándose nuevos movimientos y reactivaciones después de los años muy lluviosos. Aunque no se puede descartar los sismos, ya que la región es activa sísmicamente.

Otro de los factores desencadenantes son las líneas sísmicas que se hacen para la prospección de petróleo. Hay por los menos tres zonas de cicatrices de deslizamientos que coinciden con las trazas de las líneas sísmicas.

Se han cartografiado los movimientos activos o reactivados recientemente como es el caso de los deslizamientos que represaron el arroyo Yacuy, observándose muchas cicatrices antiguas colonizadas por la vegetación, por lo que se concluye que estos procesos son muy comunes en la región.

El mayor tiene una cicatriz con orientación norte-sur de aproximadamente 1200 m y un largo de 1800 m (tomado entre la cicatriz y el extremo del deslizamiento). Este afecta varias litologías, la zona de arranque se halla en el límite entre 2 tipos de litologías: areniscas y pelitas de la Fm. San Telmo y areniscas Las Peñas afectando también en el último tramo a las Diamictitas de la Fm. Tarija. En la imagen CBERS del año 2007, se observa todo el movimiento con su zona de arranque reconociéndose una parte proximal mas elevada y los lóbulos dístales que endicaron al río Yacuy y cambiaron su rumbo (figura 67). De acuerdo a las imágenes satelitales, este es un antiguo deslizamiento que fue reactivado en el 2006, año de lluvias excepcionales que provoco muchos movimientos en masa en toda la región. La reactivación del movimiento desplazo la traza del río Yacuy. (ver ficha xx)

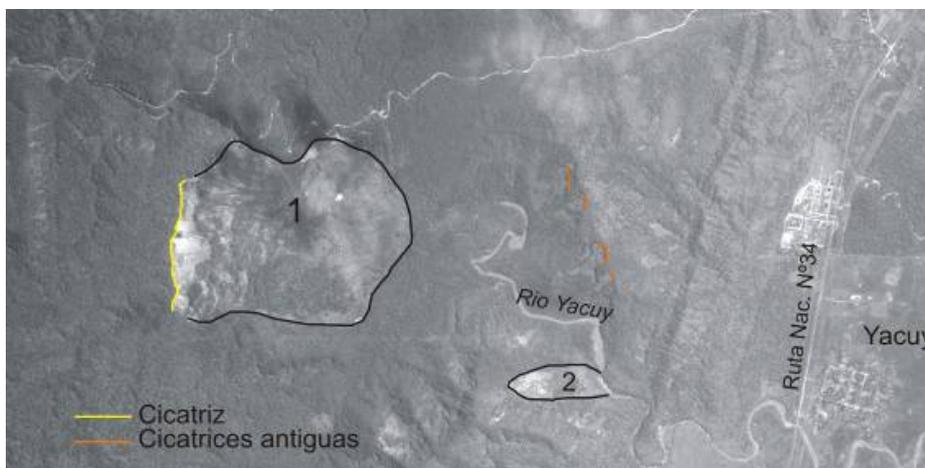


Figura 67: Imagen CBERS del año 2007 donde se puede observar un gran deslizamiento, en amarillo esta dibujada la cicatriz que tiene unos 1200 m de largo. En negro se remarco el límite del deslizamiento. El mismo cuando se reactivo en el año 2006, endicó y modificó el río Yacuy. El movimiento 2 es un deslizamiento de menor magnitud en la margen del río, que también endicó el río. En color naranja se remarcaron varias cicatrices de deslizamientos traslacionales más pequeños.



Figura 68 (Derecha): Vista de la escarpa (cicatriz del movimiento ubicado como 1 en la imagen anterior). Figura 69 (Izquierda): Vista de un deslizamiento traslacional en la sierra de Aguara Güe. Corresponde a uno de las zonas de arranque que se dibujo en color naranja sobre la imagen CBERS.



Figura 70: Imagen Google en 3D donde se ubica un gran movimiento que se genero en las cabeceras del arroyo.



Figura 71: Vista del deslizamiento marcado en la figura de arriba, la fotografía se tomo desde el camino de ascenso a la virgen de las Peñas, y constituye una vista hacia el Este.



Figura 72: Imagen Google en 3D, donde se ubica un gran movimiento en las sierras de San Antonio. La zona de arranque del deslizamiento esta marcada en rojo. En rojo se señala la fotografía del movimiento obtenida desde la ruta.



Figura 73: Fotografía obtenida desde la ruta, cuya ubicación se señala en la figura anterior. En el fondo, vista de la cicatriz del movimiento y el sector removilizado al pie de la misma.

Otro de los deslizamientos que endicó el río el año 2006 se halla ubicado a 1,7 Km. aguas arriba de la localidad de Yacuy (Fig. 67(2)) Este movimiento tiene una corona (o zona de arranque) de aproximadamente 180 m y un largo de 700 m; en este caso la litología involucrada en el movimiento son pelitas rojizas y areniscas de la Fm. San Telmo.

En la misma área se observa un deslizamiento traslacional cuya cicatriz se inicia en la parte superior de un escarpe formado por las pelitas y areniscas de la Fm. San Telmo (Fig. 69). Desde el camino que sube a la virgen de la Peña se observa también un gran deslizamiento que involucra como en los casos anteriores, rocas carboníferas, intercalaciones de pelitas y areniscas muy meteorizadas (Fig. 70 y 71).

Estos deslizamientos no afectan directamente a la población ya que los mismos están ubicados en las partes altas e intermedias de la sierra, sin embargo una de las consecuencias fue la generación de varios represamientos como en el caso del caso del río Yacuy. En el año 2006 después de una temporada de lluvias extraordinarias al reactivarse los deslizamientos se generaron 2 endicamientos y se tuvo que limpiar el material con maquinas para que vuelva a correr el agua por el río. Sobre el flanco oriental de la sierra ubicado al sur de Tartagal donde nacen los arroyos Lomitas y Gritón, también se registraron algunos movimientos en masa de los cuales varios son deslizamientos. La litología de este sector esta compuesta por pelitas y areniscas miocenas de la Fm. Tranquitas. Uno de los sectores mas problemáticos es el camino de acceso a los pozos de la planta Tecpetrol que está construido sobre un deslizamiento. El corte del camino es muy ines-



Figura 74: Deslizamiento en areniscas y pelitas del Terciario Subandino sobre la margen norte del Río Pescado.

table ya que está constituido por material friable producto del deslizamiento, con bloques de areniscas consolidadas inmersas en matriz pelítica (bancos de areniscas amarillenta y castaña, calcárea de grano fino friables y pelitas grises muy deformados). En el camino se observan cárcavas, flujos y caídas de bloques de areniscas. Se han realizado obras del tipo aterrazamientos en una parte del depósito, sin embargo continúan los problemas de flujos y deslizamientos disparados por lluvias. Otro de los sectores afectados por deslizamiento es en la porción sur de las Cumbres de la sierra de San Antonio. (Fig. 72 y 73) La litología se compone de intercalaciones de bancos de arcillas y areniscas competentes del Terciario subandino.

En las Serranías del Divisadero ubicadas al noroeste de Oran, se observaron deslizamientos en ambas márgenes del río Bermejo.

Asimismo en las márgenes del río Pescado se observaron varios deslizamientos (Fig. 74). Estos se producen a partir de los afloramientos de Terciario subandino que consisten en intercalaciones de bancos de areniscas y pelitas con fuertes inclinaciones.

#### 5.4.3 AVALANCHAS DE DETRITOS Y DESLIZAMIENTOS DE SUELO

La avalancha de detritos fue definida por Hungr et al. (2001) como (un flujo de poco espesor, muy rápido a extremadamente rápido, compuesto por detritos parcialmente o totalmente saturados sobre un pendiente inclinada, sin estar confinado a un canal, que pueden encauzarse en canales inclinados o zanjas y convertirse en flujos de detritos o de barro).

Una avalancha de detritos comienza como un fallamiento superficial deslizante que continua desarrollándose como flujo, de modo similar a una ola de movimiento rápido pero sin un canal establecido. En su etapa inicial antes de producirse la distorsión interna, se asemeja a un (deslizamiento de detritos). Las avalanchas de detritos tienen lugar en distintas partes de la ladera y no ocurren normalmente en forma repetida en el mismo lugar, puesto que hay una pérdida de material, y estabilización de ese sector de la pendiente. La morfología del depósito de una avalancha de detritos (en caso de quedar preservada) es una pared coluvial lateral no confinada, difícil de interpretar en términos de trayectoria individual.

En el área de estudio las avalanchas de detritos son comunes en los sectores de las sierras que tienen un relieve de crestas y cuevas homoclinales, con un drenaje casi en enrejado, donde los movimientos en masa se producen sobre los ambas pendientes de los valles.

Las pendientes tienen inclinaciones que varían entre  $25^\circ$  y  $45^\circ$  y los materiales que se movilizan pueden ser tanto un suelo de entre 0,5 y 1m de espesor como los bancos de arena o arcilla poco consolidados del terciario subandino. Este tipo de movimiento se produce además en la unidad de (relieve múltiple densamente drenado) con un relieve bajo, con valles en forma de v y pendientes entre  $25^\circ$  y  $40^\circ$ . La litología en este caso también es el terciario subandino.

En el terreno las avalanchas de detritos recientes se identifican por una cicatriz desprovista de vegetación. En las imágenes satelitales las cicatrices de los movimientos recientes sin vegetación tienen un color blanco o claro que contrasta con el color de las laderas vegetadas.



Figura 75: Vista de deslizamientos de detritos en la cuenca alta del arroyo Naranjito, ubicado al costado del camino que lleva a Yariaguarenda.



Figura 76: Vista aérea de múltiples deslizamientos, avalanchas de detritos y flujos de barro ocurridos en la cuenca del río Tartagal en febrero del año 2009.



Figura 77: Deslizamiento de detritos ubicados en la quebrada del Aguay.

#### 5.4.4. FLUJOS

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco (GEMMA, 2007). En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída. (Varnes, 1978, en GEMMA). La evaluación de la peligrosidad de los flujos de detritos debe considerar las condiciones geomorfológicas, los procesos, y la disponibilidad de sedimentos. Conocer la disponibilidad de sedimentos en distintos tipos de depósitos tiene mucha importancia para un estudio de peligrosidad. Esto incluye una aproximación de la tasa de sedimentación y el aporte de sedimentos de otras fuentes que luego van a estar disponibles para los flujos.

Según Takahashi, 1981, la ocurrencia de los flujos de detritos está fuertemente condicionada por

los siguientes factores: 1. disponibilidad de sedimentos 2. cantidad de agua e 3. inclinación de la pendiente. La zona de estudio tiene un clima tropical serrano con una media de precipitación registrada entre los años 1934-1990 para la localidad de Tartagal de 911 mm y una máxima de 1914 mm en el año 1984 (Cabral et al., 2006). Las rocas aflorantes en los flancos de los anticlinales pertenecen al Terciario Subandino y están representadas por areniscas medianas, areniscas conglomerádicas y pelitas de colores rojizos, fuertemente deleznable, con un suelo bien desarrollado y vegetación de bosque. Este sector de la sierra tiene una red de drenaje densa con cursos norte-sur que siguen las estructuras y otros que las cortan. En general las zonas de arranque de los flujos empiezan como deslizamientos o avalanchas de detritos en las laderas más empinadas de las quebradas con inclinaciones entre  $35^\circ$  y  $20^\circ$ .

En síntesis, el patrón que siguen los flujos se divide en tres fases: a) colapso en zona de inicio; b) flujo rápido a favor de la red de drenaje (zona de transporte); c) depósito del material en forma de lóbulos de acumulación (Figura 78).

Históricamente en la región de estudio, las tormentas de mucha intensidad o las lluvias de larga duración desencadenaron gran cantidad de movimientos en masa, dentro de los cuales están los flujos de barro. En marzo del año 1984 las zonas más afectadas por flujos fueron el campamento Vespucio, General Mosconi y la ruta Nacional 34 entre las localidades de Mosconi y Tartagal. Al norte de la misma hubo también daños sobre la infraestructura en el pueblo del Aguay y el desborde del dique del Itiyuro.

Uno de los últimos eventos producidos en la zona de estudio fue la tormenta del 9 de febrero del 2009, que desencadenó en la cuenca alta del río Tartagal una multitud de movimientos en masa que consistie-

ron en avalanchas de detritos, deslizamientos de suelo y flujos de barro. Gran parte del material y la vegetación que se movilizó hasta el río Tartagal llegaron a la ciudad homónima, produciendo un endicamiento en el puente de la avenida Packham y luego inundación y erosión en la ciudad (Ver capítulo 5.2.) Los flujos de detritos fueron mapeados sobre una imagen spot obtenida después del evento (Fig. 79) y se hizo también un relevamiento de campo expeditivo a pocos días de ocurrido. En la recorrida de campo se hicieron observaciones en la quebrada del Aguay, afluente de la margen derecha del río Tartagal, que constituye la vía de acceso a la planta potabilizadora ubicada sobre una terraza del río Tartagal (Fig. 80). El camino, actualmente en reparación, fue totalmente destruido entre la quebrada El Pomelo y la planta durante la última crecida. Sobre las pendientes de la margen izquierda de la quebrada se reconocieron grandes zonas afectadas por deslizamientos de detritos. Sobre la margen derecha, se observaron varias quebraditas profundizadas por los flujos de detritos y albardones con sedimentos y ramas que en algunos casos también formaron pequeños endicamientos. Todo el material proveniente de ambos márgenes se concentró en el cauce de la quebrada del Aguay y se movilizó como flujo de barro, alcanzando el río Tartagal en frente a la planta potabilizadora (Fig. 80 y 81), donde se generó un endicamiento temporal en el mismo.

Procesos similares, de erosión en las laderas y posterior transporte de material por las quebradas como flujos de barro, tuvieron lugar en muchos otros afluentes del río Tartagal, como por ejemplo en el arroyo Naranjito (Fig. 82), lo que conllevó al posterior desenlace de la inundación de detritos en la ciudad con un último endicamiento en la zona urbana.

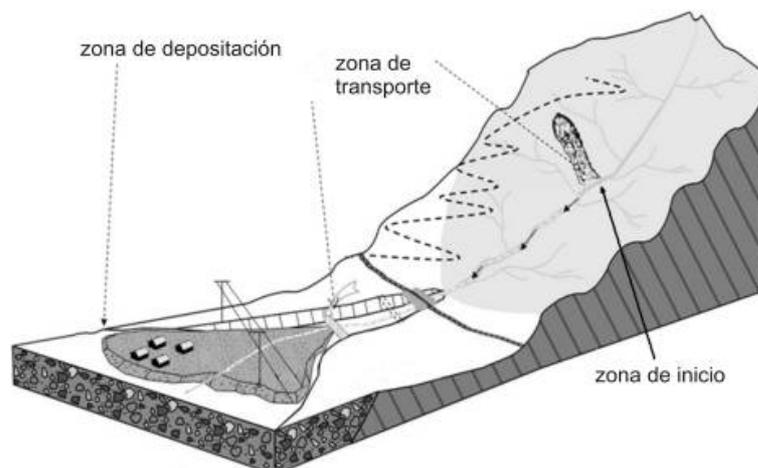


Figura 78: Esquema de la generación de los flujos de detritos y de barro con sus 3 zonas.

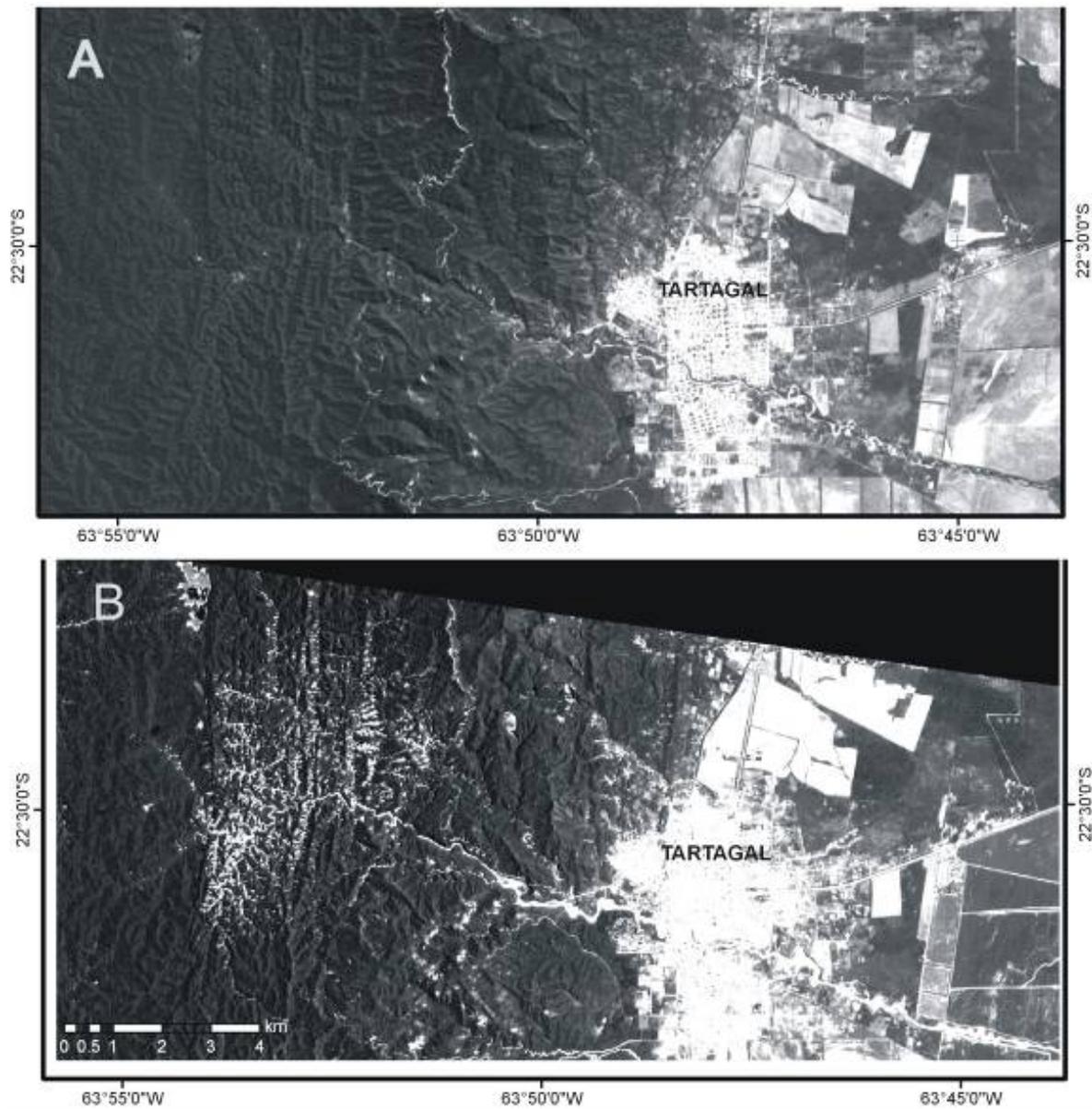


Figura 79: Figura 3: A) Imagen satelital ASTER del año 2004. B) Imagen satelital SPOT del 15 de febrero del año 2009, donde se observan las cicatrices (áreas blancas, desprovistas de vegetación) producidas por los movimientos en masa desencadenados por la lluvia del 9 de febrero.



Figuras 80 y 81: En la foto de la izquierda (año 2006) se observa la planta potabilizadora de agua del Aguay ubicada sobre la terraza del Río Tartagal. A la derecha vista de la erosión de la barranca del río Tartagal y material (sedimentos y troncos) que depositó el flujo de barro que paso sobre la terraza (planta potabilizadora) en el año 2009.

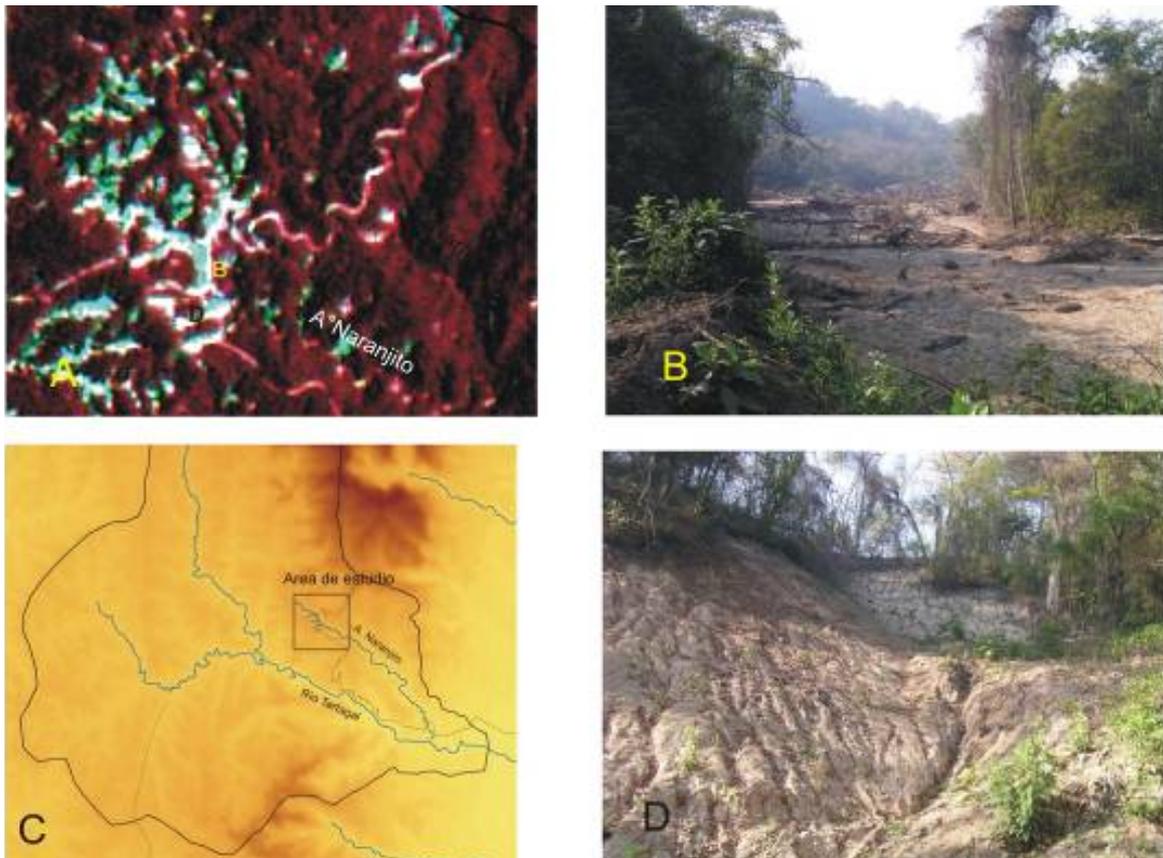


Figura 82: Arriba a la izquierda se observa un recorte de la imagen satelital spot de las nacientes del arroyo Naranjito en la cuenca del río Tartagal. A la izquierda la imagen B muestra un depósito (plano como la superficie de un lago que se fue rellenando) que cubrió la planicie del arroyo Naranjito debido a los endicamientos que se produjeron aguas abajo. En la figura D se observan las zonas de inicio de los flujos que indicaron el arroyo. Los mismos empiezan como deslizamientos de detritos que se concentran en la quebrada para seguir como flujos. Figura C ubicación de las nacientes del arroyo Naranjito sobre el camino que lleva a Yariaguarenda.



Figura 83: En primer plano depósito de flujos ocurrido en febrero 2009 en la quebrada del Aguay, en el fondo la profundización del cauce como resultado de la erosión por los flujos.

#### 5.4.5. VUELCOS EN RIBERAS FLUVIALES

Son procesos que se desarrollan en las riberas erosivas de los canales fluviales activos. Cuando la erosión de las márgenes del río se produce al pie de una barranca, desencadena en muchos casos deslizamientos o vuelcos en las laderas del río. Presentan dos rasgos: la cicatriz de arranque y el bloque deslizado. La cicatriz de arranque tiene forma de muesca y tiene una extensión que ronda entre los 2 a 8 m de largo y los 2 a 10 m de altura según el caso analizado.

El material afectado por los vuelcos es de tipo inconsolidado, compuesto por arenas, limos arenosos y arcillas depositados por los ríos. Los mismos, se encuentran fracturados por grietas de tensión que se desarrollan a partir de la pérdida de humedad del material. En la zona de estudio, es un proceso muy común y ha producido pérdidas y daños en casas ubicadas sobre la terraza alta de los cursos fluviales. Sobre la margen derecha del río Quebrada Internacional ( $20^{\circ}04'24''S$  y  $63^{\circ}41'02''O$ ) en el año 2006, la erosión al pie de la barranca, produjo varios deslizamientos (Fig.84).

En la ciudad de Tartagal en el año 2006 también la profundización del cauce desestabilizó las laderas. Se produjeron grandes deslizamientos que afectaron varias casas ubicadas en la orilla del río. En las barrancas del río Itiyuro hay también una migración lateral de los cauces por erosión en la margen

cóncava del río y posterior retroceso de barranca por deslizamientos.

#### 5.5 MAPA DE PELIGROSIDAD A LA REMOCIÓN EN MASA

La zonificación de la peligrosidad en este caso, se ha realizado en base a los diferentes factores que intervienen en la remoción en masa. Se ha evaluado en forma cualitativa las distintas variables litología, geomorfología y pendientes. Para la valoración de la peligrosidad se clasificó el mapa de pendientes en 4 rangos:  $0-7^{\circ}$ ;  $7^{\circ}-15^{\circ}$ ;  $15^{\circ}-30^{\circ}$  y  $30^{\circ}-62^{\circ}$  que luego fueron ponderados según el proceso dominante Tabla 8.

De igual modo se estableció una relación entre la litología y los movimientos en masa (Tabla 9) Para realizar la zonificación de la peligrosidad se tomó como base la geomorfología y se le asignó un rango de susceptibilidad a los movimientos en masa a cada unidad (tabla 6).

A partir de la ponderación en forma cualitativa de los factores pendiente, litología y geomorfología se reconocieron 3 rangos de peligrosidad: alto (rojo), medio (azul) y bajo (amarillo). Para cada uno de los rangos se indica también el tipo de movimiento en masa que predomina.

La metodología se validó con el inventario de movimientos en masa realizado a partir de observaciones de campo e interpretación de imágenes satelitales.



Figura 84: Vista de las barrancas de la quebrada de Yacuiba desde la Misión El Obrero. Las barrancas en los últimos años (2006 a 2009) retrocedieron más de 6 m. Las viviendas y la escuela ubicadas en las proximidades de la barranca tuvieron que ser trasladados.

pendientes (°)	caídas de rocas	deslizamientos	Deslizamientos de suelos y avalanchas de detrito	flujos de detritos s
0 - 7				
7-15				si
15 - 30		si	si	si
30 +	si	si	si	si

Tabla 8: Rangos de pendientes según el tipo de movimiento en masa

Unidad geomorfológica	Litologías	Pendiente (grado)	Tipo de movimiento en masa	Grado de susceptibilidad
Planicies aluviales de ríos meandriformes (200)	arenas finas y medianas y en menor proporción gravas arcillas y limos	0-7	N/O No observado	Bajo
Terrazas bajas de ríos meandriformes (1)	arenas finas y medianas y en menor proporción gravas arcillas y limos	0-7	N/O	Bajo
Bajadas intermontanas y pedemontanas proximales (9)	Arenas limosas y arenas arcillosas inconsolidadas	0-7	N/O	Bajo
Terrazas altas de ríos meandriformes (2)	arenas finas y medianas y en menor proporción gravas arcillas y limos	0-7	N/O	Bajo
Bajadas proximales orientales (12)	Arenas, limos y arcillas inconsolidadas	0-7	Vuelcos en las barrancas de los ríos	Bajo
Vías de escurrimiento de abanicos distales (13)	Arenas limosas y arenas arcillosas inconsolidadas	0-7	N/O	Bajo
Áreas de Interfluvio de abanicos distales (14)	Arenas limosas y arenas arcillosas inconsolidadas	0-7	N/O	Bajo
Abanico antiguo del río Itiyuro (15)	Arenas, limos y arcillas inconsolidadas	0-7	N/O	Bajo
Abanico actual del río Itiyuro (17)	Arenas, limos y arcillas inconsolidadas	0-7	N/O	Bajo
Abanico antiguo del río Bermejo (paleocauces del río bermejo) (18)	Arenas, limos y arcillas inconsolidadas	0-7	N/O	Bajo
Limbos y cumbres de anticlinales (3)	1b, 2b, 2a Areniscas competentes, pelitas y ar. sub, diamictitas	7-15 15-30	Caídas de rocas Deslizamientos	Alto
Relieve de cuevas y crestas en flancos homoclinales (6)	4 Areniscas limosas y pelitas subordinadas,	0-7 7-15 15-30	Flujos y avalanchas de detritos Deslizamientos de suelos	Alto
Relieve de cuevas y crestas en flancos homoclinales (6)	3 areniscas deleznable	0-7 7-15 15-30	Caídas de rocas Deslizamientos	Alto
Relieve erosivo	3, 2 a , - 4	7-15	Caídas de rocas	Alto

múltiple en limbos homoclinales (7)	Areniscas deleznales, diamictitas, Areniscas limosas y pelitas subordinadas	15-30 <30	Deslizamientos	
Relieve erosivo múltiple con diseño dendrítico (8)	3,4 y 1b Terciario subandino, areniscas deleznales, y areniscas competente	7-15 15-30 <30	Caídas de rocas Deslizamientos	Alto
Relieve erosivo múltiple con diseño dendrítico (8)	3,4 y 1b Areniscas limosas y pelitas subordinadas, areniscas deleznales, y areniscas competente	7-15 15-30	Caídas de rocas Deslizamientos	Medio
Cañadones intermontanos (10)	arenas finas y medianas y en menor proporción gravas arcillas y limos	0-7 7-15	Flujos y avalanchas de detritos Deslizamiento de suelos	Alto
Valles anticlinales con inversión de relieve (21)	3, 1b,2b areniscas deleznales Areniscas competentes, pelitas y areniscas subordinadas	15-30 <30	Caídas de rocas Deslizamientos	Alto
Relieve erosivo múltiple densamente irrigado (4)	Areniscas limosas y pelitas subordinadas	0-7 7-15	Flujos y avalanchas de detritos Deslizamiento de suelos	Medio
Zonas afectadas por movimientos en masa y erosión hídrica intensa (11)	Todas las litologías	15-30 <30	Deslizamientos Flujos de detritos Avalanchas de detritos Deslizamiento de suelos	Alto

Tabla 9: Resumen de los criterios utilizados para el grado de susceptibilidad a los movimientos en masa.

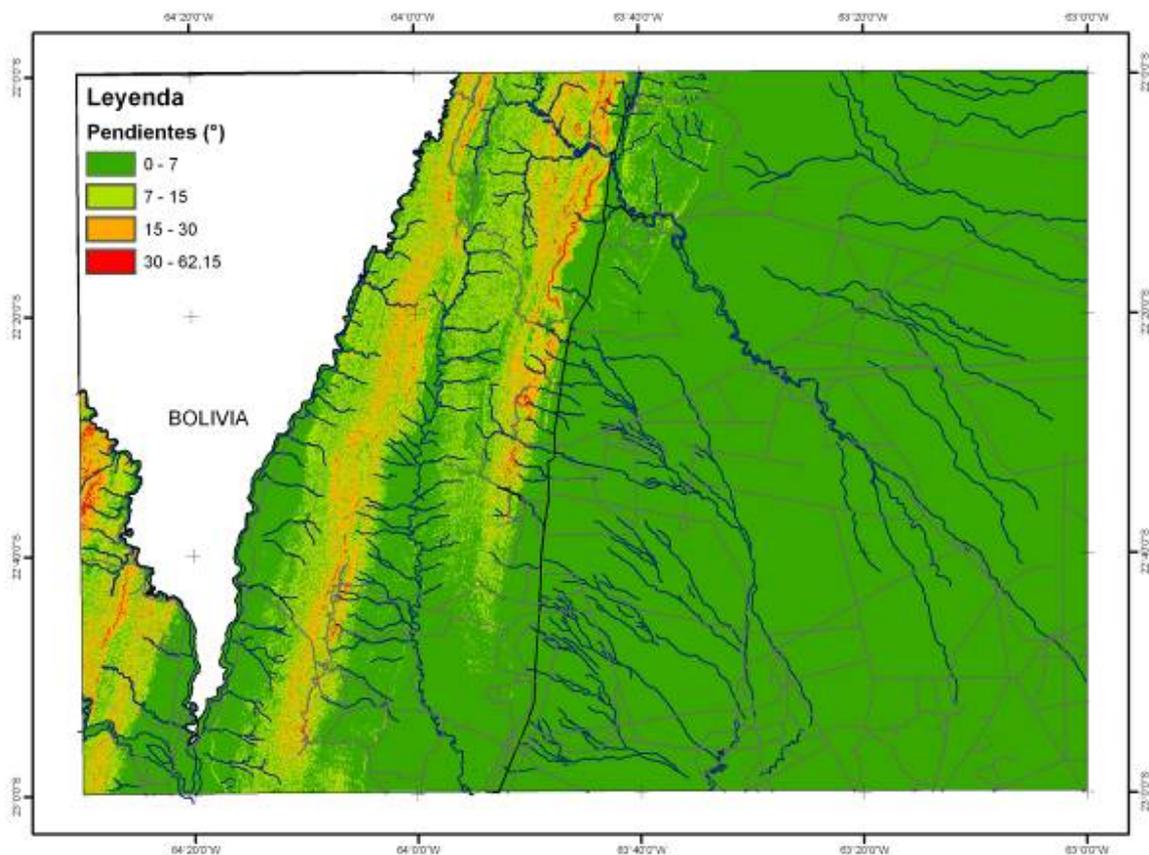


Figura 85: Mapa de pendientes de la Hoja Tartagal, realizado a partir del modelo de elevación SRTM de 90m.

### 5.6 SISMICIDAD

La actividad sísmica regional y local esta relacionada con algunas características estructurales del sistema serrano. El levantamiento de las sierras subandinas empezó hace aproximadamente 10 Ma y continuó hasta los 2,2 Ma aproximadamente. El segundo ciclo de deformación lo representa un evento de crecimiento fuera de secuencia, que se inicia a los 2,2 Ma y continua activo en la actualidad (Hernandez et al. 2009) RAGA

La prueba de la deformación actual puede encontrarse en la falla de El Pescado que corta depó-

sitos de El Simbolar datados en menos de 1 Ma. Se observaron también estratos rotados 8° con respecto a las terrazas fluviales (Hernández et al. 1996)

El nivel de sismicidad de cada zona constituye la probabilidad de que ocurra un movimiento de determinada amplitud en un intervalo de tiempo fijado. Su clasificación constituye el peligro sísmico. A partir de los diferentes niveles de peligro sísmico se elaboran Mapas de Zonificación Sísmica. En el mapa del Reglamento INPRES-CIRSOC 103 se encuentran identificadas 5 zonas, con valores de 0 a 4 según el incremento del peligro sísmico. El área de estudio queda comprendida en la zona 2, de peligrosidad

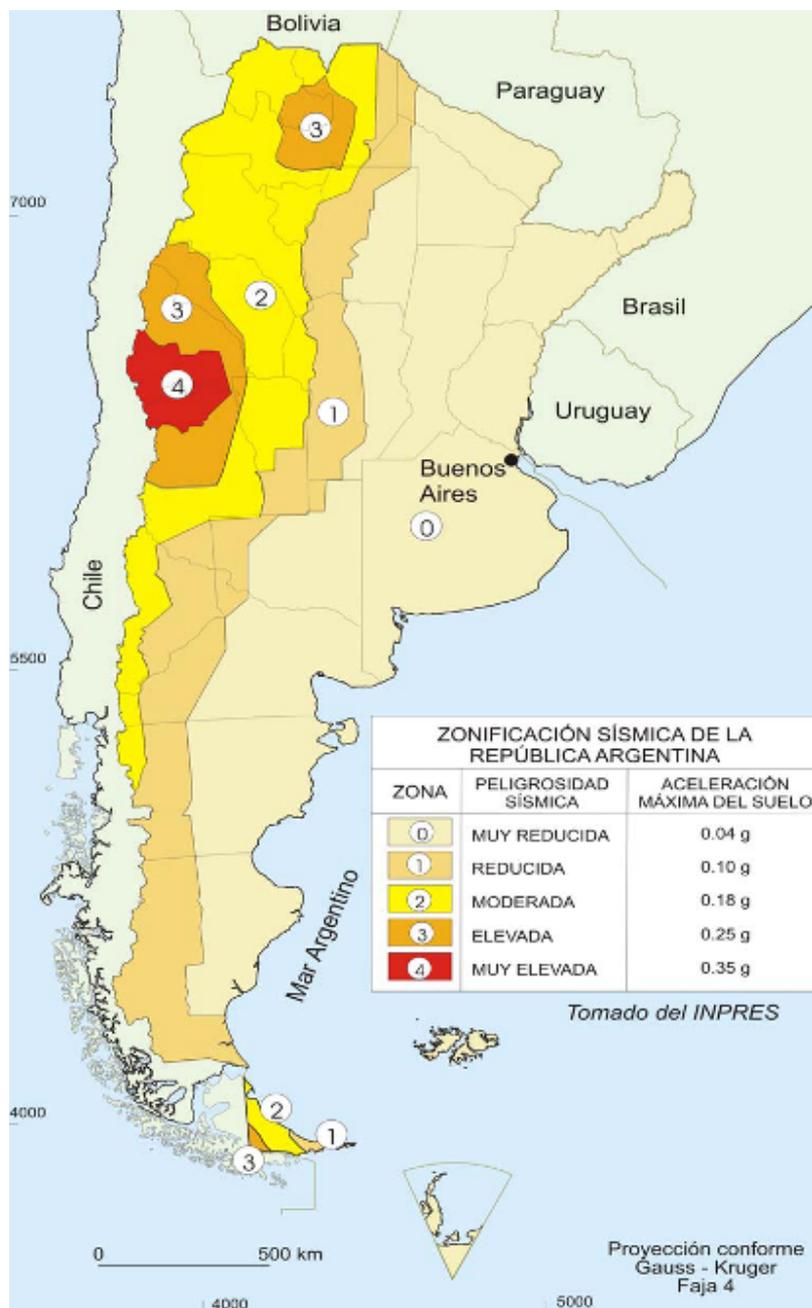


Figura 86: Zonificación sísmica de la República argentina (INPRES)

moderada (Fig. 86). El 23 de marzo del año 1899 se produjo un sismo de intensidad VIII (Mercalli), magnitud 6,4 y profundidad focal de 30 Km. El sismo destruyó la localidad de Yacuiba y varias pequeñas localidades de la provincia de Salta, causando 3 muertos y varios heridos.

El 30 de octubre del año 1966, se produjo un sismo cuyo epicentro fue a  $-22,42$  de latitud sur y  $-63,9$  de longitud oeste, provocando daños sobre la infraestructura (viviendas, industrias, etc..) en la ciudad de Tartagal. La intensidad fue de VI según la

escala de Mercalli, y la magnitud 4,8 con una profundidad focal de 20 Km.

En este trabajo se presenta dos mapas con la ubicación de los sismos registrados por el INPRES entre los años 1940 y 2009 y 2 sismos históricos del siglo 19, en el primero se clasifican según la profundidad (Fig. 87) y en el segundo según la intensidad (Fig. 88).

En la región de Tartagal se ha registrado al menos 15 sismos de foco superficial y magnitud (mb) entre 3 y 6.

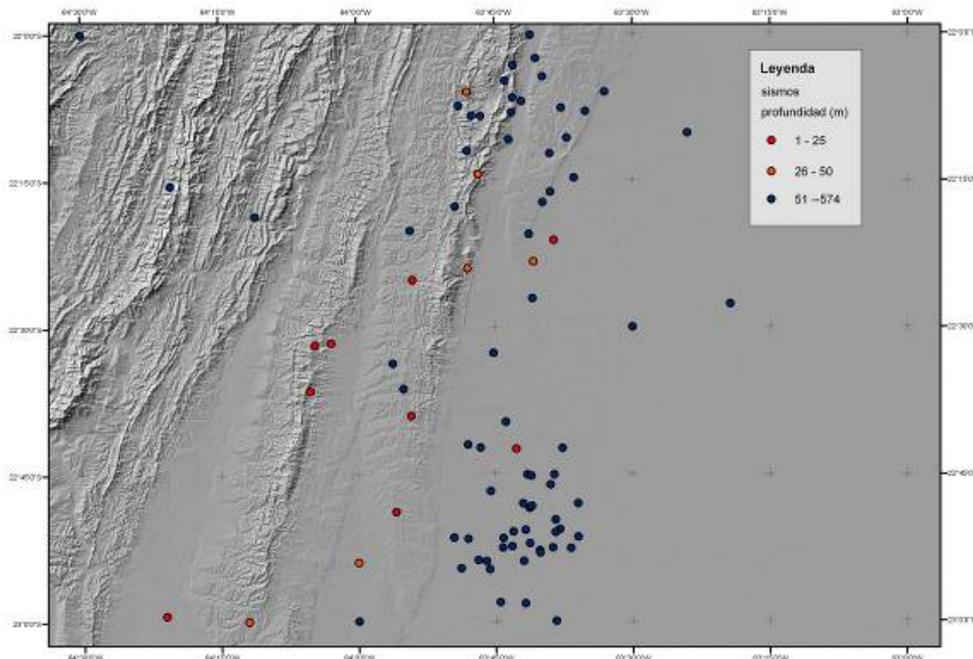


Figura 87: Mapa de relieve con la ubicación y una clasificación según la profundidad de los sismos registrados para el período 1940- 2009.

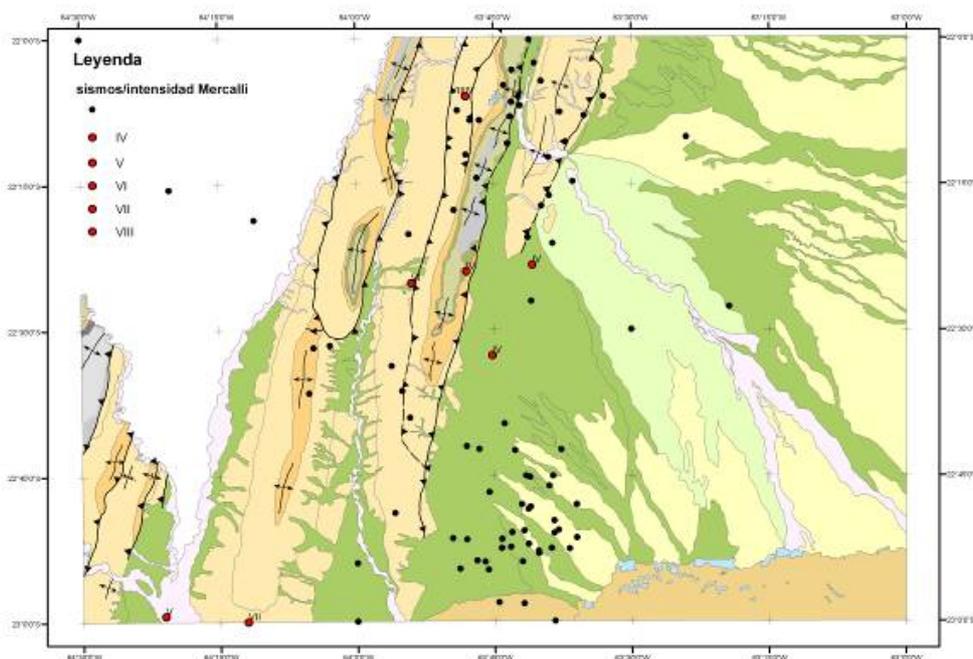


Figura 88: Mapa litológico con ubicación de los sismos de intensidad mayor a tres en color rojo y los menores en color negro.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

La zona estudiada presenta 2 grandes ambientes diferentes las sierras subandinas y la llanura chaqueña. En la zona serrana los procesos más activos son la erosión hídrica y la remoción en masa favorecidos por precipitaciones locales de mucha intensidad o regionales de larga duración. Uno de los factores condicionantes es la litología ya que en la región de estudio aflora gran cantidad de sedimentos inconsolidados y rocas antiguas muy diaclasadas y meteorizadas fácilmente erodables. Otro de los factores es la pendiente, las sierras subandinas presentan un relieve estructural con pendientes que coinciden con la inclinación de las capas en los flancos de los anticlinales y favorecen los deslizamientos. En el caso de bancos homoclinales de un relieve de crestas y cuevas homoclinales caracterizadas por escarpas de erosión y de inclinación que condicionan el diseño de la red de drenaje.

En la llanura chaqueña un ambiente fluvial pedemontano extenso de escaso relieve los procesos más activos son la inundación, sedimentación, erosión de las riberas fluviales, migración lateral de los cauces, erosión retrocedente y cárcavamiento.

Las actividades antrópicas como la deforestación, el sobrepastoreo, la explotación intensiva y denudación del suelo, los caminos, la impermeabilización del suelo contribuyen en la desestabilización de las laderas y producen cambios en el drenaje entre otros.

En la zona de estudio el cambio de uso del territorio de monte chaqueño a uso agrícola de monocultivo con la consecuente rectificación de los cauces e prolongación de las áreas de derrame hacia el este genera grandes problemas de erosión en los cursos que bajan de las sierras como en el caso del río Tartagal.

El desmonte y raleo selectivo en la zona serrana aumenta también la desestabilización de las laderas. En la zona serrana se ha observado varios movimientos en masa vinculados con los caminos y las líneas sísmicas de la actividad petrolera.

El crecimiento de las ciudades en los últimos años con la impermeabilización de los suelos y el desvío de las aguas en muchos casos a un curso principal hace que en época de lluvia aumente mucho el caudal y se produzcan crecidas extraordinarias con la consecuente erosión, migración de los cauces e inun-

daciones que afectan a las poblaciones ubicadas a orillas del río. En los últimos años varias localidades ubicadas a orillas de la quebrada de Yacuiba, el río Itiyuro y el río Pescado tuvieron que ser relocalizadas o tuvieron grandes pérdidas por las crecidas.

En la región las ciudades de Tartagal y Salvador Mazza, las localidades más importantes y la ruta Nacional 34 están ubicadas en la zona pedemontana proximal (desembocadura de los ríos a la llanura) y fueron afectados en varias oportunidades por inundaciones, flujos y erosión. A lo largo de la ruta Nacional 34 se produjeron cortes por inundaciones y destrucción de la calzada durante varios veranos (1984, 2000, 2006, 2007, 2009) dejando aislados a parte de la población.

Los grandes deslizamientos que se producen en la sierra en algunos casos represan un río como en el caso del río Yacuy en el año 2006, este tipo de proceso representa una gran amenaza para las localidades ubicadas en la parte pedemontana.

### 5.2 RECOMENDACIONES

La carta de Peligrosidad constituye un estudio regional, da una visión de los problemas más graves de la región. Teniendo en cuenta este primer estudio se recomienda realizar estudios de detalle en las zonas más conflictivas y el uso de mapas a escala 1:5000 y 1:10.000 que permitan tener mayor precisión en el análisis de áreas sujetas a peligrosidad por inundaciones y erosión hídrica y movimientos en masa como información de base para la ocupación del territorio.

## Bibliografía

- Amengual, R.E., 1991. Fenómenos de remoción en masa en la cuenca del río Caraparí- Itiyuro, provincia de Salta. Actas Asociación Geología Aplicada a la Ingeniería: volumen VI. 94-102. Buenos Aires
- Aramayo Flores, F., 1999. Estructura de las Sierras Subandinas del Noroeste Argentino. En: González Bonorino, G, Omarini, R. y Viramonte, J. (eds): Geología del Noroeste Argentino, Relatorio 14° Congreso Geológico Argentino 1: 401-415. Salta.
- Bianchi A. R. y Yañes C. E. 1992, Las precipitaciones en el Noroeste Argentino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación experimental agropecuaria Salta. SEAGyP. Segunda edición
- Bianchi A.R., 2006. Distribución de las lluvias en la región del Noroeste argentino. INTA Centro regional Salta – Jujuy. Mapa.
- Bonorino G., Rivelli F., Bartoloni M., 2001. Hoja Geológica 2363-I, Tartagal. Provincia de Salta. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 331, p. 30. Buenos Aires.
- Bravo G., Bianchi A., Volante J., Alderete Salas S., Sempronii G., Vicini L., Fernandez M., Lipshitz H. y Piccolo A., 2007. Regiones agroecómicas del Noroeste Argentino . INTA EEA Salta, Catamarca, Santiago del Estero, Banda del Río Salí, Famailla, pp. 7  
<http://inta.gob.ar/documentos/regiones-agroecomicas-del-noroeste-argentino/>
- Cabral M.C. y Plaza G. 2006. Diagnóstico Ambiental Departamento San Martín- Municipalidad de Tartagal.
- Cabrera, A. 1976. Regiones Fitogeográficas de la República Argentina. II (I). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Ed. ACME. Buenos Aires.
- Compagnucci, R.H. y Agosta E.A. 2008. La precipitación de verano en el centro-oeste de Argentina y los fenómenos interanual el Niño/Oscilación Sur (ENOS) e interdecádico «tipo « ENOS. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. GEOACTA 33, 97-103.
- Dahlen, F.A., 1990, Critical taper model of fold-and-thrust belts and accretionary wedges. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 18: 55-99.
- Díez-Herrero, A., Laín-Huerta, I. y Llorente-Isidro, M. 2008. Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración. Instituto Geológico y Minero de España, p. 190, Madrid.
- Donato.E., Stark, D. y E. Gallardo. 1990. Cuenas silurodevónicas y neopaleozoicas subandinas. Nuevos aportes a su conocimiento y consideraciones de interés petrolero. YPF. Inédito
- Estadística hidrológica 2004  
<http://www.hidricosargentina.gov.ar/estad2004/sus-0621.htm>
- Farias, H.D., 2009. Procesos morfológicos en cauces afectados por un descenso en su nivel de base. Caso de arroyos en la región Este de la provincia de Salta, Argentina. 4° Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Salta.
- Ferrer M., 1997. Normativa para la cartografía Línea Base de Peligrosidad Geológica de la República Argentina a escala 1:250.000. SEGEMAR
- Gebhard, J., A. Giudici y J. Oliver Gascón, 1974. Geología de la comarca entre el río Juramento y arroyo Las Tortugas, provincias de Salta y Jujuy. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 39 (3): 359-375, Buenos Aires
- GEMMA (Grupo de estándares para movimientos en masa). 2007. Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Proyecto multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Geológica Multinacional N° 4.
- González Díaz, E. F. y E.C. Malagnino. 1986. El proceso de remoción en masa en la Sierra de Aguarague (Salta): Causas y factores determi-

- nantes del fenómeno del 29/3/1984 en el área abarcada por las cuencas en los arroyos Galarza, Lomitas y Gritón. Inédito.
- Gonzalez Bonorino, G., Rivelli, F. y M. Bartoloni. 2001. Hoja Geologica 2363-I, Tartagal. Programa Nacional de la Carta Geológica de la República Argentina. Boletín N 331. SEGEMAR. Buenos Aires.
- González Bonorino, G. y E. Llambias, 1996. Geologic and paleogeographic development of southern South America (excluding Brazil) in the late Proterozoic and early Paleozoic. En: M. Moullade y A.E.M. Nairn (Eds.), The Phanerozoic Geology of the World I, The Palaeozoic, B., p. 265-338. Elsevier, Amsterdam.
- Goudie A.S., 2004. Encyclopedia of Geomorphology. Routledge Ltd., New York, Volume 1
- Hernández, R., Reynolds, J. y Di Salvo, A., 1996. Análisis tectosedimentario y ubicación geocronológica del Grupo Orán en el río Iruya. Boletín Informaciones Petroleras 45: 80-93. Buenos Aires.
- Hernández, R. y Echavarría L., 2009. Faja plegada y corrida subandina del noroeste argentino: estratigrafía, geometría y cronología de la deformación. *Revista Asociación Geológica Argentina*, vol.65, n.1, pp. 68-80.
- Hungr, O, Evans, S.G., Bovis, M., & Hutchison, J.N.2001. Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and engineering geoscience*, 4, pp. 231-228.
- Hungr, O, Evans, S.G., Bovis, M., & Hutchison, J.N.2001. Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and engineering geoscience*, 4, pp. 231-228.
- Imeson, A.C. and Kwaad, F.J.P.M., 1980. Gully types and gully prediction. *Geografisch Tijdschrift*, 14, pp. 430-441
- Jakob, M., 2005. Debris-flow hazard and analysis, Debris flow hazards and related phenomena, ed. M. Jakob and O. Hungr., Springer-Praxis books in geophysical sciences, Chichester, pp. 411-443.
- Lateltin, O., 1997. Recommandation, Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Série Dangers naturels, OFEFP, OFAT, OFEE, OFCIM: 32.
- Masson, M., Garry G. y J.-L. Ballais, 1996. Cartographie des zones inondables. Approche Hydrogéomorphologique. Éditions Villes et Territoires, Paris, La Défense.
- Mauri, E., E. Padula y J. Aldazosa, 1956. Yacimientos de petróleo y gas en Bolivia. Actas 20° Congreso Geológico Internacional. Simposio de Yacimientos de Petróleo y Gas en América del Sur y Antillas, 4, Méjico.
- Minetti, J.M., 2005. Características de la comercialización de maderas nativas en Orán y Tartagal (Salta). Publicado en internet. <http://inta.gov.ar/yuto/info/documentos/entomología/maderas.pdf>
- Mingramm, A., Russo, A., Pozzo, A. y Casau, L., 1979. Sierras Subandinas. Segundo simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 1: 95-138. Córdoba.
- Nadir, A y T. Chafatinos, 1994. Los suelos del NOA (Salta y Jujuy). Universidad Nacional de Salta. CIUNSa. 86p. Salta
- Nadir y T. Chafatiños en 1990 y su posterior informatización efectuada en 2009 por técnicos del INTA y de la Universidad Nacional de Salta.
- OEA (organización de los estados americanos) republica Argentina - republica de Bolivia, 1973. Estudio de los Recursos Hídricos de la Alta Cuenca del Río Bermejo y Programación para su desarrollo. Volumen 3: Recursos de la Tierra.
- Organización de los Estados Americanos (OEA), 1973. Estudio de los Recursos Hídricos de la alta cuenca del río Bermejo y programación para su desarrollo. Informe general 1. Subsecretaría de Recursos Hídricos, Argentina.
- Padula, E. y F. Reyes, 1958. Contribución al léxico estratigráfico de las Sierras Subandinas. Revis-

- ta Técnica Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, 1(1): 9-70.
- Paoli, H., Elena H., Mosciaro J., Ledesma F., Noé Y., 2009. Caracterización de las cuencas hídricas de las provincias de Salta y Jujuy. INTA, Salta.
- Plaza Gloria, Perales Alejandro, Cabral Claudio, 2006. Variabilidad de las precipitaciones en el NOA y el riesgo ambiental. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 10.
- Ramos, V.A., 1999. Los depósitos sinorogénicos terciarios de la región andina. En: R. Caminos (Ed.), Geología Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29 (22), 651-682.
- Ramos, V. A., Alonso, R.N. y Strecker, M., 2006. Estructura y Neotectónica de Las Lomas de Olmedo, zona de transición entre los Sistemas Subandino y de Santa Bárbara, provincia de Salta. Revista de la Asociación Geológica Argentina 61(4): 579-588.
- Sanchez L. G. 2008. Evaluación temporal de la cobertura vegetal y estimación de la pérdida de suelo en la cuenca del río Tartagal y zona de influencia. Departamento San Martín. Salta. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Tesis Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales y Medioambiente. Inédito. P.163.
- Schlagintweit, O., 1938. Una reunión de geólogos de YPF y el problema de la terminología estratigráfica. Boletín de Informaciones Petroleras, 15: 31-95.
- Schlatter, L. y M. Nederloff, 1966. Bosquejo de la geología y paleogeografía de Bolivia. Servicio Geológico de Bolivia, Boletín 8, p. 149, Bolivia.
- Serraiotto, A. 1977. Relevamiento geológico en los ríos Iruya, Pescado, Porongal y afluentes principales. YPF. Inédito.
- Starck D., E Gallardo y a. Schulz, 1993. Neopaleozoic stratigraphy of the Sierras Subandinas Occidentales and Cordillera Oriental, Argentina. Comptes Rendus XII International Congress on the Carboniferous – Permian, 2: 353-372. Buenos Aires.
- Tapia, E. 1985. Estudio de las sedimentitas neopaleozoicas en el río Caraparí provincia de Salta. Trabajo final de licenciatura. Facultad de Ciencias exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, 92p. Inédito.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement and types and processes. En Landslides: Analysis and control, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Special Report 176, 11-33, Washington, D.C.
- Volante J.N., Bianchi A.R., Paoli H.P. y Fernandez D., 2002. Monitoreo de cultivos extensivos en el Noroeste Argentino a partir de sensores remotos. Campaña agrícola 2001-2002. (Cultivos de verano) INTA EEA Salta <http://www.inta.gov.ar/región/noa/prorenea> 23 pp

