



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA  
FACULTAD DE TECNOLOGIA Y CIENCIAS APLICADAS

# ANÁLISIS DE RIESGO HÍDRICO DEL DEPARTAMENTO JUAN BAUTISTA ALBERDI- TUCUMÁN



**LICENCIATURA EN GEOLOGIA**

**ANGEL RAMIRO VALDEZ**

M.U. N°474

**Directora: Dra. Adriana Niz**

NOVIEMBRE 2017

## **INDICE**

### **CAPITULO I**

<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	3
1.3 VÍAS DE ACCESOS.....	4
1. 4 OBJETIVOS .....	5
1.5 METODOLOGIA.....	5

### **CAPITULO II**

<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>8</b>
2. 1 ASPECTOS CONCEPTUALES .....	9
2. 2 MORFOMETRIA.....	10

### **CAPITULO III**

<b>MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO .....</b>	<b>17</b>
3. 1 ECONOMÍA.....	18
3. 2 CLIMA .....	19
3. 3 VEGETACIÓN .....	21
3. 4 FAUNA .....	21
3. 5 GEOLOGÍA REGIONAL .....	23
3. 5. 1 <i>Orógeno Pampeano y Famatiniano</i> .....	23
3. 5. 2 <i>Sierras Subandinas en la provincia de Tucumán</i> .....	25
3. 5. 3 <i>Sierras Pampeanas en Tucumán</i> .....	27
3. 5. 4 <i>Sierra de Ambato en Tucumán</i> .....	29
3. 6 GEOLOGÍA LOCAL.....	31
3. 7 FISIOGRAFÍA.....	34
3. 7. 1 <i>Llanura tucumana</i> .....	35
3. 7. 2 <i>Piedemonte</i> .....	35
3. 7. 3 <i>Montañas</i> .....	35
3. 8 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL DEL AREA.....	37

### **CAPITULO IV**

<b>RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>40</b>
4. 1. 1 <i>Basamento metamórfico-ígneo (Precámbrico-Paleozoico)</i> .....	41
4. 1. 2 <i>Granito (San Ignacio-Los Pinos, Carbonífero)</i> .....	43
4. 1. 3 <i>Unidad sedimentaria-volcánica (Formación Aconquija, Eoceno)</i> .....	44
4. 1. 4 <i>Formación Concepción (Pleistoceno)</i> .....	47
4. 1. 5 <i>Depósitos pedemontanos (Holoceno Inferior)</i> .....	49
4. 1. 6 <i>Depósitos aluviales (Holoceno Inferior)</i> .....	49
4. 2 GEOMORFOLOGIA .....	51
4. 2. 1 <i>Áreas serranas</i> .....	51
4. 2. 1. 1 <i>Valles Intermontanos</i> .....	52
4. 2. 2 <i>Ambientes pedemontanos</i> .....	53

---

4. 2. 2. 1 <i>Glacis cubierto</i> .....	53
4. 2. 2. 2 <i>Glacis de erosión terciario</i> .....	53
4. 2. 3 <i>Áreas de llanura</i> .....	55
4. 2. 4. 1 <i>Geoformas de origen antrópico</i> .....	56
4. 3 MORFOMETRIA.....	60
4. 3. 1 <i>Características físicas</i> .....	62
4. 4 ACTIVIDAD ANTROPICA .....	69
4. 4. 1 <i>Expansión agraria y uso del suelo en el área de estudio</i> .....	70
4. 4. 2 <i>Expansión antrópica</i> .....	73
4. 4. 3 <i>Eventos extraordinarios</i> .....	79
<b>CAPITULO V</b>	
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>81</b>
5. 1 CONCLUSIONES .....	82
5. 2 RECOMENDACIONES .....	83
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>93</b>
<i>Tabla de Cálculos Morfometría</i> .....	94

## **INDICE DE FIGURAS**

### **CAPITULO I**

<b>FIGURA 1.</b> MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
<b>FIGURA 2.</b> VÍAS DE ACCESO AL DEPARTAMENTO JUAN BAUTISTA ALBERDI. ....	4

### **CAPITULO II**

<b>FIGURA 3.</b> ACCESO AL BARRIO BELGRANO, DEPARTAMENTO JUAN BAUTISTA ALBERDI, CON PROBLEMAS DE INUNDACIÓN EN MARZO 2017. EXPUESTO A MODO DE EJEMPLO. ....	10
---	----

### **CAPITULO III**

<b>FIGURA 4.</b> CULTIVO DE LIMONES PARA EXPORTACIÓN EN LA ZONA DE LA CALERA. ....	19
<b>FIGURA 5.</b> PERFILES COMPARATIVOS DE PRECIPITACIONES Y TEMPERATURA EN INVIERNO Y VERANO DE LA CIUDAD DE JUAN B. ALBERDI-GRANEROS. ....	20
<b>FIGURA 6.</b> ÁRBOL DE CEBIL CIUDAD DE JUAN B. ALBERDI. ....	21
<b>FIGURA 7.</b> CHANGO DEL MONTE ENCONTRADO EN LA ESCUELA DE LA CALERA-ALBERDI-TUCUMÁN. ....	22
<b>FIGURA 8.</b> MAPA ESQUEMÁTICO REGIONAL DE SIERRAS PAMPEANAS DE ARGENTINA QUE MUESTRA LA DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE LOS ORÓGENOS PAMPEANOS Y FAMATINIANOS. ABREVIATURAS DE LAS SIERRAS: AC (ACONQUIJA), AM (AMBATO), AN (ANCASTI), CA (CAPILLITAS), CC (CUMBRES CALCHAQUIES), CH (CHEPES), CO (CÓRDOBA), FA (FAMATINA), FI (FIAMBALÁ), GU (GUASAYÁN), QU (QUILMES), VE (VELASCO), VF (VALLE FÉRTIL). MODIFICADO DE LARROVERE ET AL. (2012). ....	24
<b>FIGURA 9.</b> PRINCIPALES FORMACIONES GEOLÓGICAS CON METAMORFISMO DE BAJO Y MUY BAJO GRADO HACIA GRADO MEDIO EN EL NOROESTE ARGENTINO. ABREVIATURAS: SA: SIERRA, FO: FORMACIÓN. MODIFICADO DE ACEÑOLAZA Y ACEÑOLAZA (2005). ....	26
<b>FIGURA 10.</b> MAPA ESQUEMÁTICO REGIONAL DE SIERRAS PAMPEANAS NOROCCIDENTALES Y SUBDIVISIÓN PROPUESTA POR CAMINOS (1979) MODIFICADO POR CARRIZO (2016). ABREVIATURAS: B (BRAVA), H (HUERTA), P (PAGANZO), SA (SIERRA), SAS (SIERRAS), TN Y C (TORO NEGRO Y CUMICHANGO), U (ULAPES), UM (UMANGO). ....	28
<b>FIGURA 11.</b> MAPA ESQUEMÁTICO REGIONAL DE LA SIERRA DE AMBATO, SIERRAS VECINAS Y LINEAMIENTOS ASOCIADOS. MODIFICADO DE GUTIÉRREZ Y MON (2008).....	30
<b>FIGURA 12.</b> SIERRAS DEL SUDOESTE DE TUCUMÁN.....	31
<b>FIGURA 13.</b> RELIEVE EN LOMADA ZONA RURAL DE LA CALERA DEPARTAMENTO ALBERDI-TUCUMÁN. ....	32
<b>FIGURA 14.</b> UNIDADES FISIGRÁFICAS DEL DEPARTAMENTO JUAN BAUTISTA ALBERDI DESDE EL PUNTO DE VISTA MORFOESTRUCTURAL PROPUESTO POR ALDERETE (1998). ....	36
<b>FIGURA 15.</b> GRANDES CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN, ADAPTADO SEGÚN CRITERIOS DE ALDERETE (1998)...	38

### **CAPITULO IV**

<b>FIGURA 16.</b> AFLORAMIENTO DE MIGMATITAS HACIA EL MARGEN DERECHO DEL RÍO MARAPA EN ADYACENCIAS A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN BATIRUANA.....	41
<b>FIGURA 17.</b> AFLORAMIENTOS DE MIGMATITAS, EN LA QUEBRADA DEL BOQUERÓN, RÍO MARAPA. ....	42
<b>FIGURA 18.</b> CONTACTO TRANSICIONAL ENTRA BASAMENTO Y EL MATERIAL SEDIMENTARIO CUATERNARIO EN LA QUEBRADA DEL BOQUERÓN, RÍO MARAPA.....	42
<b>FIGURA 19.</b> GRANITO SAN IGNACIO-LOS PINOS OBSERVADOS EN LOS PERFILES DE LA RUTA DEL DIQUE ESCABA. ....	43
<b>FIGURA 20.</b> AFLORAMIENTO DE CONGLOMERADO DE COLOR ROJIZO Y CLASTOS ANGULOSOS LA FORMACIÓN ACONQUIJA EN LAS INMEDIACIONES DE DIQUE ESCABA.....	45
<b>FIGURA 21.</b> AFLORAMIENTO DE ARENISCAS GRISÁCEAS DE LA FORMACIÓN ACONQUIJA QUE SE ENCUENTRAN EN CONTACTO NETO CON CONGLOMERADOS ROJIZOS CUATERNARIO EN EL MARGEN IZQUIERDO DEL RÍO EL SINGUIL. ....	46
<b>FIGURA 22.</b> TUFITAS TOBÁCEAS DE LA FORMACIÓN ACONQUIJA AFLORANDO EN LA ZONA DE LA CALERA.....	47
<b>FIGURA 23.</b> AFLORAMIENTO DE FORMACIÓN CONCEPCIÓN EN CONTACTO CON EL BASAMENTO EN LA QUEBRADA DEL BOQUERÓN, RÍO MARAPA.....	48

<b>FIGURA 24.</b> CARTA GEOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO JUAN BAUTISTA ALBERDI. EN ANEXO SE PUEDE OBSERVAR EN TAMAÑO A3. ....	50
<b>FIGURA 25.</b> VISTA DE LAS SIERRAS DE SANTANA Y EL VALLE DE ESCABA DESDE LA CUMBRE DEL NARVÁEZ.....	52
<b>FIGURA 26.</b> VALLE INTERMONTANO DE LA CUENCA RIO CHAVARRÍA EN LA ZONA DE ESCABA DE ARRIBA. ....	53
<b>FIGURA 27.</b> LOMADAS O COLINAS AISLADAS DEL GLACIS DE EROSIÓN TERCIARIO EN LA ZONA DE LA CALERA. ....	54
<b>FIGURA 28.</b> CAUCE DEL RIO MARAPA.....	56
<b>FIGURA 29.</b> EN LA IMAGEN SE PUEDE VISUALIZAR LOS PALEOCAUCES (EN NARANJA) PRODUCTOS DE LOS CAMBIOS DE LA DINÁMICA HÍDRICA GENERADAS COMO CONSECUENCIA DE LA ACTIVIDAD HUMANA. ....	58
<b>FIGURA 30.</b> CARTA GEOMORFOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO JUAN BAUTISTA ALBERDI. EN ANEXO SE PUEDE OBSERVAR EN TAMAÑO A3 .	59
<b>FIGURA 31.</b> CUENCAS QUE INTEGRAN EL DEPARTAMENTO JUAN BAUTISTA ALBERDI, PROV. DE TUCUMÁN.....	61
<b>FIGURA 32.</b> DESCRIPCIÓN DEL ÁREA, PERÍMETRO Y LONGITUD DE LA CUENCA DEL ARROYO MATAZAMBI. ....	63
<b>FIGURA 33.</b> MAPA DE PENDIENTES PARA EL ÁREA DE ESTUDIO. SE OBSERVA LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO, EN LO QUE SE REFIERE AL RELIEVE, DESTACANDO LAS ÁREAS DE MAYOR Y MENOR ALTITUD. ....	65
<b>FIGURA 34.</b> CÁLCULO DE PENDIENTE MEDIAS PARA LAS CUENCAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	66
<b>FIGURA 35.</b> PERFIL DE ELEVACIÓN DE LA CUENCA DEL ARROYO MATAZAMBI DONDE SE PUEDE OBSERVAR LA VARIACIÓN DE LA PENDIENTE.	66
<b>FIGURA 36.</b> FIGURA EN LA QUE ES POSIBLE OBSERVAR, DE ACUERDO CON EL MÉTODO PROPUESTO POR HORTON, EL ORDEN DE LA CUENCA DEL ARROYO MATAZAMBI.....	68
<b>FIGURA 37.</b> FOTOGRAFÍA AÉREA DEL BARRIO BELGRANO, CIUDAD DE ALBERDI, ABRIL DE 2017.....	71
<b>FIGURA 38.</b> J. B. ALBERDI AÑO 1994. AUN NO SE OBSERVAN CAMBIOS SIGNIFICATIVOS EN EL PIEDEMORTE DEBIDO A LA EXPANSIÓN AGRARIA POR EL CULTIVO DE CÍTRICOS (SEÑALADO EN ROJO). CASI EL 100% DE LA ZONA SE CULTIVA CAÑA DE AZÚCAR. IMAGEN EXTRAÍDA DEL GOOGLE EARTH. ....	72
<b>FIGURA 39.</b> J. B. ALBERDI EN EL AÑO 1994, SE PUEDE VER EL COMIENZO DE LAS PLANTACIONES DE CÍTRICOS ES UN 20% DEL TOTAL (SEÑALADO EN ROJO). EL RESTO SIGUE CORRESPONDIENDO A LOS CULTIVOS DE CAÑA DE AZÚCAR, LOS CAMBIOS EN EL PIEDEMORTE NO SON CONSIDERABLES. IMAGEN EXTRAÍDA DEL GOOGLE EARTH.....	73
<b>FIGURA 40.</b> J. B. ALBERDI AÑO 2006. SE PUEDE OBSERVAR EL AUMENTO DE LA ALTERACIÓN DEL PIEDEMORTE POR LAS PLANTACIONES DE CÍTRICOS A UN 30% (SEÑALADO EN ROJO). IMAGEN EXTRAÍDA DEL GOOGLE EARTH. ....	73
<b>FIGURA 41.</b> J. B. ALBERDI AÑO 2016. EN LA IMAGEN PUEDE OBSERVARSE EL AVANCE DE LA PLANTACIÓN DE CÍTRICOS HACIA ZONAS DE MAYORES PENDIENTES (SEÑALADO EN ROJO). IMAGEN EXTRAÍDA DEL GOOGLE EARTH. ....	74
<b>FIGURA 42.</b> POBLACIÓN DE J. B. ALBERDI EN REFERENCIA CON LA POBLACIÓN TOTAL DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN. DATOS EXTRAÍDOS MUNICIPALIDAD DE ALBERDI EN BASE A DEL CENSO 2010. ....	75
<b>FIGURA 43.</b> JUAN B. ALBERDI EN EL AÑO 1984, NOTÁNDOSE EN COLOR LA DISTRIBUCIÓN URBANA EN ESE AÑO.....	77
<b>FIGURA 44.</b> JUAN B. ALBERDI EN LOS AÑOS 1984-1994. PUEDE OBSERVARSE EL AUMENTO DE LA DENSIDAD Y LA DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL TRANCURSO DE 10 AÑOS. DE COLOR ROJO CLARO POBLACIÓN EN EL AÑO 1984, EN AMARILLO POBLACIÓN EN EL AÑO 1994. ....	77
<b>FIGURA 45.</b> JUAN B. ALBERDI EN LOS AÑOS 1994-2008. EN ESTE PERIODO LA DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN NO HA SIDO TAN SIGNIFICATIVA COMO EN EL PERIODO 1984-1994. DE COLOR AMARILLO OSCURO LA POBLACIÓN EN EL AÑO 1994, DE AMARRILLO CLARO POBLACIÓN EN EL AÑO 2008. ....	78
<b>FIGURA 46.</b> JUAN B. ALBERDI EN LOS AÑOS 1984-2016. NÓTESE COMO SE MODIFICÓ EL AMBIENTE DESDE EL AÑO 1984 AL 2016 DONDE SE EVIDENCIA UNA GRAN EXPANSIÓN DEMOGRÁFICA DE LA CIUDAD. ....	78
<b>FIGURA 47.</b> BARRIO BELGRANO DE LA CIUDAD DE J. B. ALBERDI AFECTADOS POR LAS AGUAS EN ABRIL DEL 2017 PRODUCTO DEL DESBORDE DEL CANAL DE DESAGÜE A LA ALTURA DEL PUENTE DE ACCESO ....	79
<b>FIGURA 48.</b> PRECIPITACIONES EN MARZO DE 2017 COMPARADO CON LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL DEL DEPARTAMENTO J. B. ALBERDI REGISTROS DE LLUVIAS ING. ANÍBAL COMBA DIRECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO PROVINCIA DE TUCUMÁN. ....	80
<b>FIGURA 49.</b> SE DEFINE EN FORMA GENERAL LAS ÁREAS, ANTE RIESGO DE TIPO HÍDRICO EN EL DEPARTAMENTO ALBERDI. ....	81

## **INDICE DE CUADROS Y TABLAS**

### **CAPITULO II**

**TABLA 1.** TAMAÑO DE LA CUENCA EN RELACIÓN A LAS DIMENSIONES DEL ÁREA; **Error! Marcador no definido.1**

**TABLA 2.** FORMA DE LA CUENCA EN RELACIÓN CON EL VALOR DEL COEFICIENTE DE COMPACIDAD ..... 12

**TABLA 3.** INDICA LOS RANGOS DE LA DENSIDAD DE DRENAJE SEGÚN SCHUMM-STRAHLER (1956) ..... 14

### **CAPITULO III**

**CUADRO 1.** CUADRO CRONO-ESTRATIGRÁFICO. .... 33

### **CAPITULO IV**

**TABLA 4.** FORMA DE LA CUENCA EN RELACIÓN CON EL VALOR DEL COEFICIENTE DE COMPACIDAD ..... 67

**TABLA 5.** RELACIÓN DE BIFURCACIÓN DATO GENERADOS POR QGIS ..... 69

**TABLA 6.** SE INDICAN LOS VALORES DE LONGITUDES RÍOS PARA CADA ORDEN. .... 69

**TABLA 7.** VALORES DE LA RELACIÓN DE LONGITUD..... 69

**TABLA 8.** ESTIMACIÓN PROYECTADA DE LA POBLACIÓN PARA EL DEPARTAMENTO JUAN BAUTISTA ALBERDI  
..... 76

## **RESUMEN**

El área de estudio está ubicada al sur de la provincia de Tucumán, en el departamento Juan Bautista Alberdi. La región responde a las características geológicas de Sierras Pampeanas Noroccidentales. Asimismo, corresponde a las denominadas Sierras del Sudoeste de Tucumán. Desde el punto de vista hidrológico, el área se ubica en el extremo sur de la cuenca del Río Salí, en la que se destacan 4 subcuencas denominadas, como Cuenca del Río Marapa, Cuenca del Río Chavarría, Cuenca del Río Singuil y Cuenca del Arroyo Matazambi.

En los últimos 20 años de manera periódica, el área de estudio ha estado expuesta a inundaciones que afectaron distintas zonas urbanas, por ello, atendiendo a esta problemática, se tuvo como principal objetivo, en el presente trabajo, identificar y analizar las características geomorfológicas del área, con la finalidad de reconocer la dinámica fluvial, para evaluar el riesgo hídrico a la que estaba expuesta el área, centrando la atención en la relación entre los eventos naturales y las actividades antrópicas que influyen para la generación de inundaciones.

La metodología utilizada fue considerada desde el punto de vista de las características geomorfológicas a partir de la perspectiva morfométrica, complementando así, la falta de datos climáticos necesarios. En general consistió en: recopilación y análisis de información bibliográfica, visitas al campo para control de cartografía e información, evaluación geológica, análisis morfométricos, análisis de actividad antrópica y elaboración informe final.

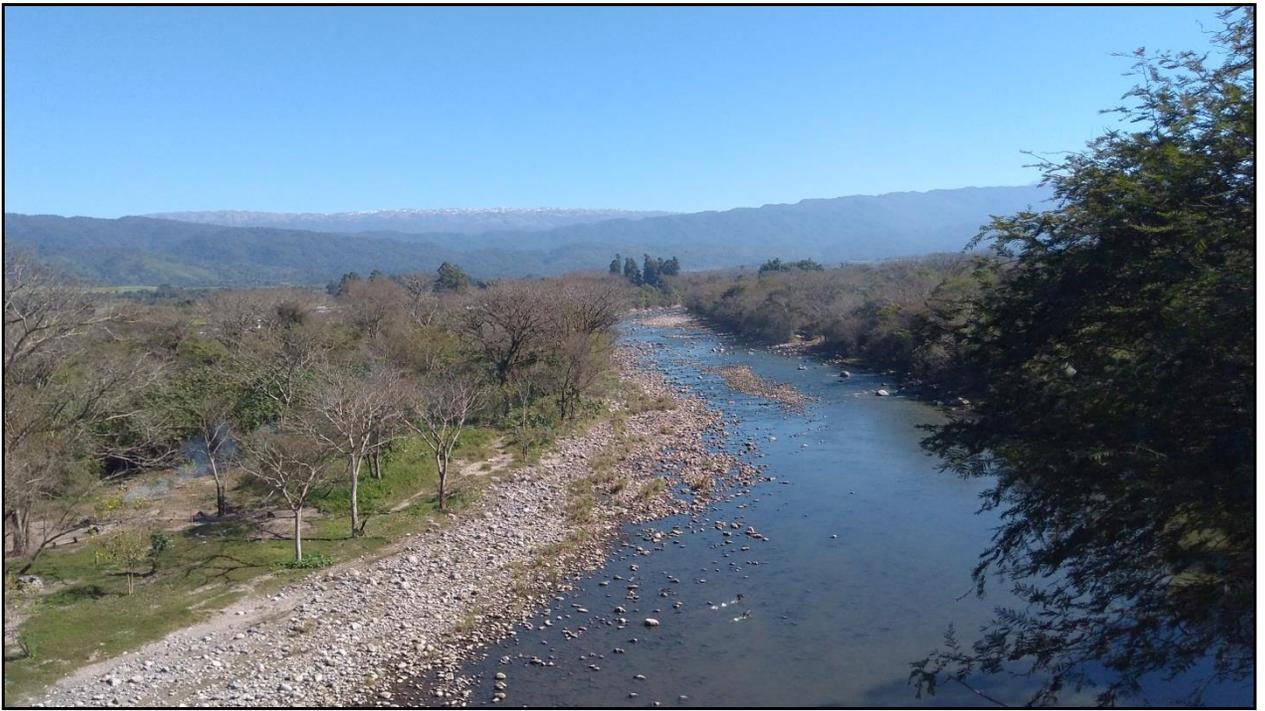
Se determinó a partir del análisis geológico-geomorfológico, que la cuenca responsable de los eventos y/o procesos que genera el riesgo hídrico, en el área de estudio corresponde a la cuenca de arroyo Matazambi, la cual presenta rocas impermeables, con pendientes abruptas de oeste a este en áreas de sierras y pendientes muy suaves en piedemonte, lo que favorece las inundaciones. Asimismo, cabe destacar la fuerte influencia de la actividad antrópica que altera gran parte del piedemonte modificando la dinámica fluvial que contribuye a la problemática.

Se concluyó que el área de estudio es muy sensible ante eventos fluviales y pluviales, por lo que presenta riesgo hídrico alto, principalmente en verano. Se recomienda realizar estudios climáticos y llevar a cabo mejoras en el plan de ordenamiento territorial del Departamento.

*Palabras Claves:* Juan Bautista Alberdi, Riesgo Hídrico, Arroyo Matazambi.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES



## **1. 1 INTRODUCCIÓN**

### **Planteamiento del Problema**

El desarrollo humano, económico y urbanístico ha llevado a conceptualizar los elementos y factores del hábitat, ambiente y sociedad, como también sus relaciones. En un principio, los conceptos de riesgo y desastre se asociaron a la posibilidad y al hecho de la ocurrencia de un fenómeno sobre el cual no había mucho que hacer. La visión actual enfrenta a un análisis holístico de la realidad que permite inferir la necesidad de anticipar las situaciones de amenaza y riesgo para mitigar las consecuencias de los desastres, ante condiciones de vulnerabilidad global. Los aportes de Herzer (1998) fundamentan la necesidad que el estudio de la geografía del riesgo presente una mirada compleja e integral que demuestre una visión amplia sobre el medio ambiente urbano, que debería partir del reconocimiento de la fragmentación social de la ciudad, identificando tres puntos fundamentales: las relaciones entre la sociedad y su medio, las relaciones entre diversos actores sociales y las articulaciones entre distintos niveles jurisdiccionales y sectoriales.

El área de estudio está expuesta a una problemática hídrica, debiéndose en gran parte al incremento sistemático de la cantidad e intensidad de precipitaciones en los últimos años, agravada esta situación por la falta de datos climáticos (precipitación y caudal) y la gran modificación realizada en el paisaje por acción antrópica, tales como: la expansión urbana incontrolada, falta de mantenimiento de las obras existentes, el desmonte generado por la actividad agraria y el cambio en el uso del suelo que también contribuye a la degradación de las tierras y su debilidad frente a los procesos hídricos, entre otros, son algunos de los factores importantes a la hora de analizar el riesgo hídrico del departamento Juan Bautista Alberdi.

Ante esta problemática se plantea la necesidad de determinar la fragilidad hídrica, que pueda significar un riesgo hídrico, teniendo en cuenta los escenarios de irregularidad de las inundaciones, e identificar cuáles de las subcuencas que integran la cuenca principal tienen mayor influencia en el aporte directo a la zona de estudio y, cuyos escurrimientos podrían ser los causantes de las inundaciones. En función de lo expuesto, en esta investigación se propone realizar un análisis riesgo hídrico en el departamento Juan Bautista Alberdi, en base a las características geomorfológicas, analizando las cuencas desde la perspectiva morfométrica, la naturaleza del relieve y su evolución, la cobertura vegetal y uso del suelo, el comportamiento de la hidrología superficial y la evolución de los procesos geomorfológicos. La línea de investigación que persigue en este trabajo considera a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en combinación con la teledetección, una herramienta fundamental al momento de desarrollar modelos digitales que expresan las condiciones y características generales del relieve lo que permite analizar el riesgo hídrico en el área de estudio.

## 1. 2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el departamento de Juan Bautista Alberdi, entre los paralelos de latitud S 27°27' y 27°51'; y los meridianos de longitud W 66°00' y 65° 27'. Abarca aproximadamente una superficie de 730 km<sup>2</sup>, y es uno de los 17 departamentos que integran la provincia de Tucumán. Se localiza al sudoeste de la provincia, a 110 km de San Miguel de Tucumán, capital provincial. Sus límites geográficos son: al norte linda con el departamento Río Chico, al este con el departamento Graneros, al sur con el departamento La Cocha, y al oeste con la provincia de Catamarca.

Geológicamente responde a las características de Sierras Pampeanas Noroccidentales (Camino, 1972) y (Baldis et al., 1975). Asimismo, corresponde a las denominadas Sierras del Sudoeste de Tucumán (Sesma, 2014). Desde el punto de vista hidrológico, el área se ubica en el extremo sudoeste de la Cuenca de Río Salí (Tineo et al. 1998) en la Provincia Hidrogeológica Tucumano-Santiagoense (Figura 1).

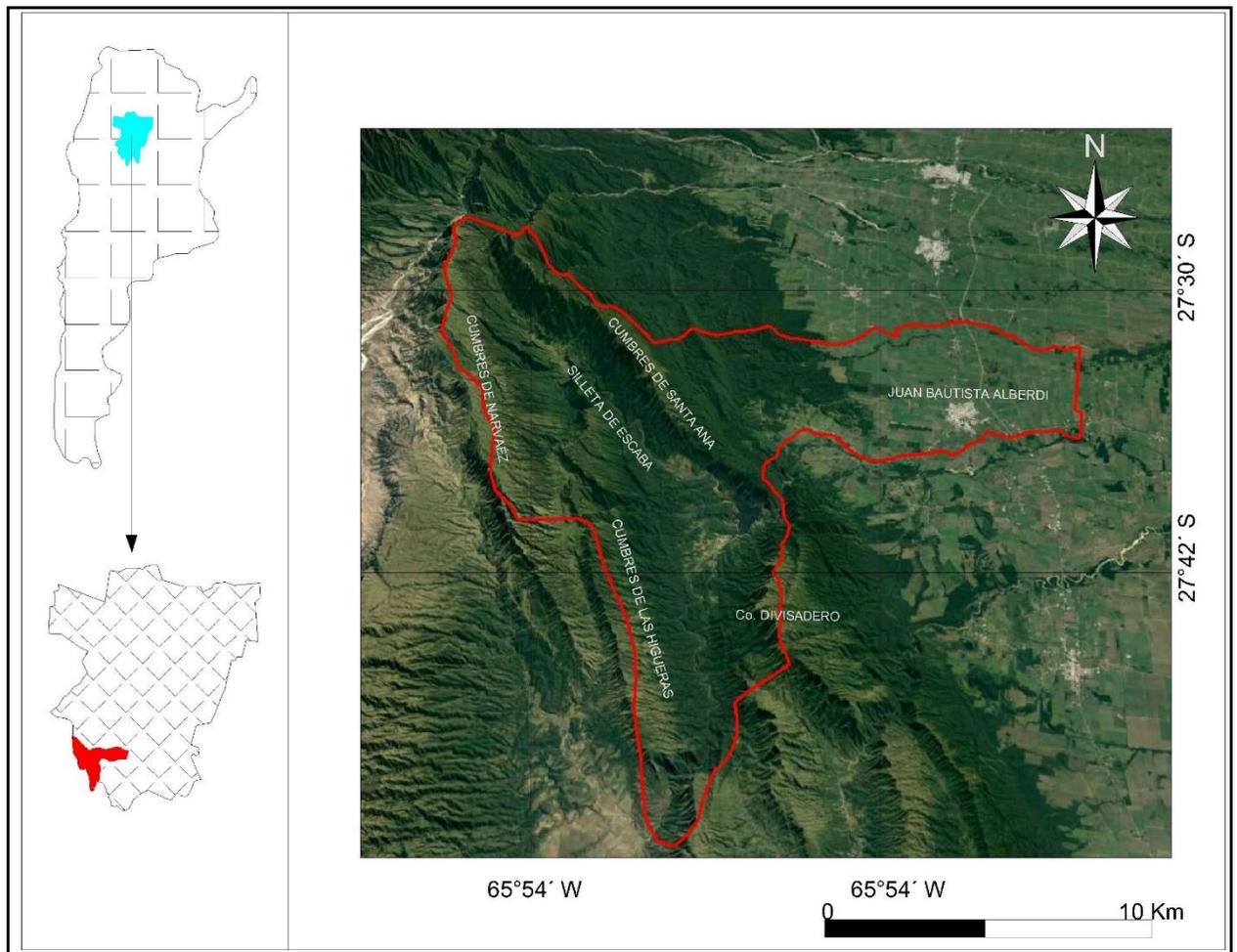


Figura 1. Mapa de Ubicación del área de estudio.

### 1. 3 VÍAS DE ACCESOS

La ciudad de Juan Bautista Alberdi está ubicada a la vera de la Ruta Nacional N° 38 que conecta por el norte, a una distancia de 110 km, con la ciudad de San Miguel de Tucumán, capital provincial, al sur, a 129 km con la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. Hacia el oeste nace la Ruta Provincial N° 308 que pasa por el Dique de Escaba e ingresa al departamento Paclín, provincia de Catamarca.

Al sur de la localidad se encuentra el río Marapa, y al norte, a unos 15 kilómetros y formando parte de la divisoria departamental con río Chico corre el arroyo Matazambi, ambos desaguan en el embalse de río Hondo en la provincia de Santiago del Estero (Figura 2).

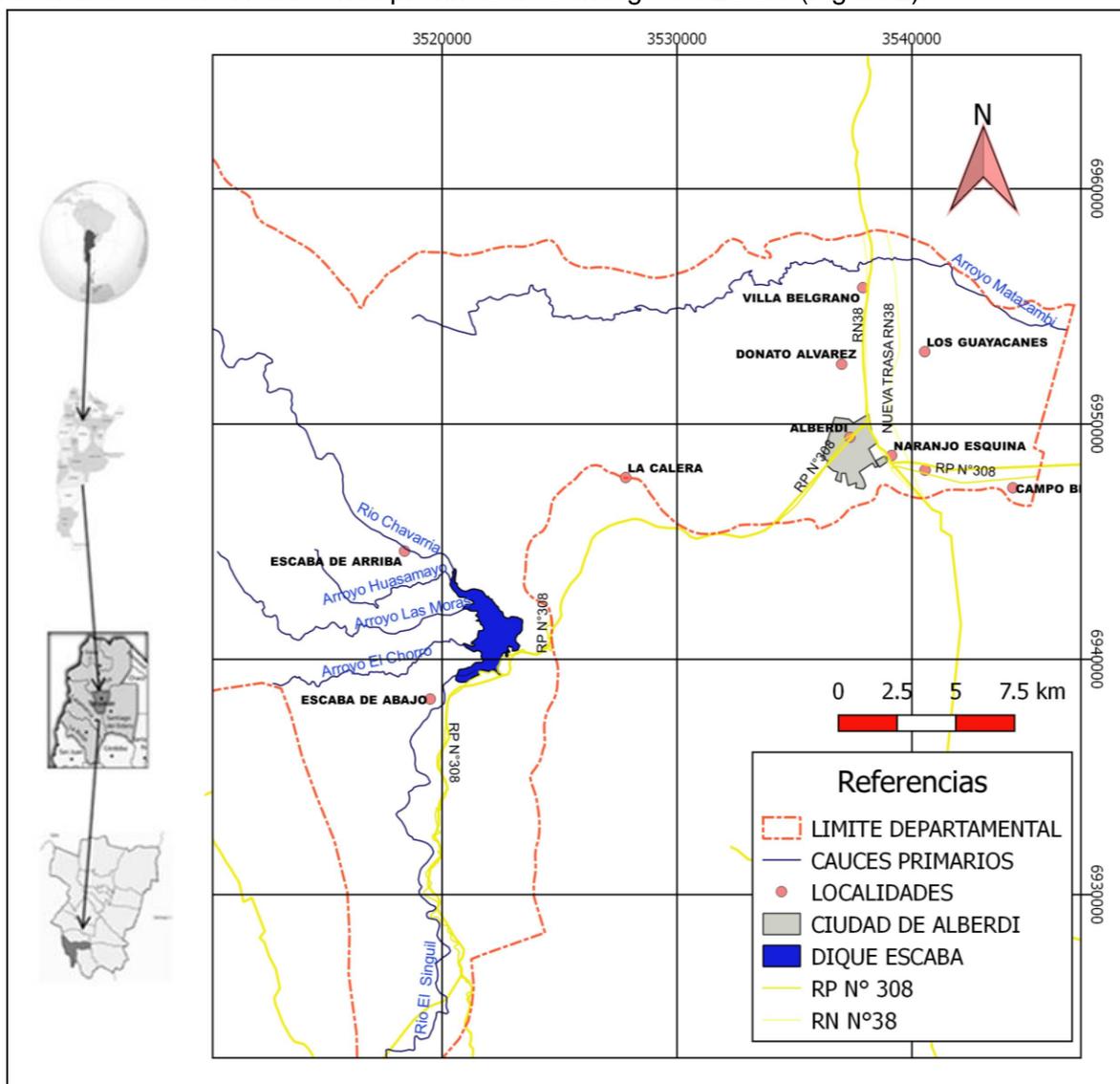


Figura 2. Vías de Acceso al departamento Juan Bautista Alberdi.

## **1. 4 OBJETIVOS**

### **1. 4. 1 General:**

Identificar y analizar las características geomorfológicas del área de estudio, con la finalidad de reconocer la dinámica fluvial del departamento Juan. B. Alberdi, Provincia de Tucumán, para analizar los procesos hídricos, centrando la atención en la relación entre los eventos naturales y las actividades antrópicas que influyen para la generación de inundaciones en el área.

### **1. 4. 2 Específicos:**

- Realizar recopilación y análisis de antecedentes bibliográficos para poder generar una base de datos que permita establecer el estado del arte en el área.
- Describir las características geológicas y geomorfológicas existentes en la región en la cual está asentado el departamento Juan. B. Alberdi.
- Identificar los por procesos naturales y sociales (antrópicos) que influyen sobre la problemática hídrica en la región considerada.
- Definir las cuencas que están involucradas en el espacio geográfico-político del departamento.
- Analizar los parámetros morfométricos de las cuencas que integran el departamento.
- Confeccionar la cartografía geológica y temática del departamento Alberdi.
- Determinar en base al análisis de cartografía la influencia antrópica en el sistema hídrico en el departamento Alberdi.
- Establecer, el grado de riesgo hídrico presente en el área.
- Establecer, de acuerdo con los resultados obtenidos, las alternativas de manejo de mayor riesgo hídrico del departamento Alberdi.

## **1. 5 METODOLOGIA**

La metodología para la realización de este trabajo se consideró desde el punto de vista de las características geomorfológicas, analizando las cuencas a partir de la perspectiva morfométrica, debido a la falta de datos climáticos necesarios, por ejemplo, datos de precipitaciones o caudales, para un análisis completo de la variabilidad climática y su influencia en los eventos de anegamiento. Por ello, esta investigación se llevó a cabo mediante procedimientos generales para alcanzar, a partir de distintas actividades, los objetivos planteados, la metodología usada en general es la siguiente:

- Recopilación y análisis de información bibliográfica.
- Visitas al campo.
- Evaluación geológica.
- Elaboración Informe final.

Dadas las características del trabajo se fundamentó las siguientes etapas.

### **1. 5. 1. Etapa Nº 1: Trabajos de gabinete**

En esta etapa se definió la problemática hídrica del departamento Alberdi, mediante la recopilación de antecedentes bibliográficos, necesarios para ajustar las metodologías de relevamiento geológico, geomorfológicos, hidrológico, topográfico y para poder así generar un mapa geológico de base con el programa QGIS.

Asimismo, a partir del análisis de imágenes satelitales (soporte digital y papel) se confeccionó un mapa geológico base a escala 1:250.000, en el que están representada la geología entre los límites departamentales y el mapa geomorfológico, que cubre un área mayor para correlacionar las características geomorfológicas con los departamentos vecinos, lo cual sirvió de apoyo para diseñar la metodología sistemática del relevamiento en terreno, donde se volcaron los datos relevados en campo.

### **1. 5. 2. Etapa Nº 2: Relevamiento y control de campo.**

Se realizó el control de campo de la cartografía confeccionada, la corroboración de datos obtenidos en la actividad de gabinete, la toma de fotografías en áreas tipo, que ejemplifican puntos concretos (vinculados con el riesgo hídrico) en la cartografía.

Además, se realizó el control de las características geológicas, de uso de suelo y erosión hídrica en las áreas rurales de La Calera y Escaba, para definir el nivel de interacción entre la actividad antrópica y el paisaje natural.

### **1. 5. 3. Etapa Nº3: Trabajos de gabinete desarrollo**

En la etapa de gabinete se confeccionaron distintos mapas temáticos utilizando los programas QGIS 2.18, GLOBAL MAPPER Y ArcGIS 10.4.1, que son Sistemas de Información Geográfica (SIG.), que permitieron generar el modelo de elevación digital (DEM). Los DEM constituyen la base para el análisis morfométrico y geomorfológico de este trabajo, a partir de ellos se generaron las curvas de nivel – para definir las características topográficas de la zona-, la distribución y características de la red de drenaje y se definieron los límites entre cuencas y subcuencas mediante la divisoria de aguas, se confeccionaron también el mapa de las direcciones principales de escurrimiento superficial, las evidencias de acumulaciones de sedimentos de origen fluvial, clasificación de pendientes, perfiles del cauce principal en la cuenca hidrográfica, área de la cuenca y longitud de los cauces principales del área de estudio.

La morfometría fue desarrollada en base a los criterios morfológicos, morfométricos, morfogenéticos, morfodinámicos, la naturaleza del suelo, la cobertura vegetal y uso del suelo. Estos parámetros permitieron tener una idea de las características naturales de la cuenca a partir de las técnicas de teledetección y control de campo.

Desde el enfoque Hídrico, la cuenca funciona como un colector que recibe la precipitación y convierte, parte de ésta, en escurrimiento. Esta transformación depende de sus condiciones climáticas y de las características físicas particulares (Henaos, 1988; Gaspari et al., 2009). En definitiva, las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica proporcionan conclusiones

preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales (Gaspari 2002). Las mismas, relacionan las características físicas de la cuenca, y las características hidrológicas de la zona, altamente dinámicas. Permiten explicar la interacción entre las características geológicas y geomorfológicas con los patrones físicos superficiales, mostrando de manera cuantitativa, la posible respuesta de la cuenca ante un escenario hidrológico. La geomorfología en base a estos criterios nos proporciona los parámetros físicos de la red de drenaje que derivan de los trabajos tradicionales de Horton (1945), Strahler (1957) y Morisawa (1959). Las principales características físicas relacionadas a la morfometría de la cuenca definen los parámetros de forma, relieve y red de drenaje (Senisterra et al., 2014).

Con los estudios morfométricos, geológicos, y geomorfológico se lograron definir las cuencas que están involucradas en el espacio geográfico-político del departamento y puntualizar cuál de las cuencas involucradas, es la responsable del riesgo hídrico del mismo.

El análisis de la actividad antrópica se realizó a partir del análisis multitemporal, con imágenes satelitales extraídas de la plataforma GOOGLE EARTH, desde 1990-2017, tratando de diferenciar los distintos tipos de actividad antrópica que interactúan en la zona de estudio.

#### **1. 5. 4. Etapa Nº 4: Redacción del informe final del Seminario**

Mediante el análisis crítico de la información preexistente y la lograda mediante la presente investigación se redactó el informe final conteniendo las prácticas realizadas, las conclusiones extraídas y las recomendaciones pertinentes.

# CAPITULO II

## MARCO TEORICO



## 2. 1 ASPECTOS CONCEPTUALES

El análisis en el marco de políticas de reducción del riesgo hídrico por inundación no ha sido suficientemente explorado, y en general, actualmente se basan las investigaciones hacia la explicación de modelos de adaptación y/o mitigación de las zonas alteradas (Figura 3). En la República Argentina los antecedentes más destacados fueron las investigaciones realizadas por (Wolansky – Corzo, 2003), en la provincia de Santa Fe, o el trabajo del Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios, sobre el Riesgo de Desastres en la Planificación del Territorio (Dall Armellina-Fernandez Bussy, 2010) y la publicación sobre “Inundaciones Urbanas y Cambio Climático” recomendaciones para la Gestión (González, et al, 2015) de la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

Desde lo conceptual:

- El *riesgo* hace referencia a la probabilidad de que una población o un segmento de la misma, le ocurra algo a partir de una amenaza o peligro, nocivo o dañino; en este caso particular es de que sufra inundación.
- La *amenaza* o *peligro* se entiende como la posibilidad de ocurrencia de un evento físico proveniente - en este caso - de la naturaleza que puede causar algún tipo de daño a la sociedad teniendo en cuenta el deslizamiento y la retención de agua que puede causar la geomorfología.
- La *exposición* queda definida por la población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen la posibilidad que se produzca de un evento peligroso (Naciones Unidas, 2009). La medida del grado de exposición puede incluir la cantidad de personas o los tipos de bienes en una zona o territorio.
- La *susceptibilidad* es el grado de fragilidad interna de un sujeto/s, objeto o sistema para recibir un posible impacto debido a la concurrencia de un evento adverso (CIIFEN, 2013). Describe la precondition antes de sufrir un daño debido a las condiciones residenciales precarias, una infraestructura inadecuada, frágil o inexistente como la falta de acceso a los servicios básicos o con materiales de construcción “inestables” (Welz-Krellenberg, 2016).
- La exposición y la susceptibilidad conforman la *vulnerabilidad* una manifestación del nivel expresado en grados de desequilibrio o desajuste entre la estructura social y el medio natural y construido. No puede tener valor absoluto, sino que su expresión es relativa (Hilda Herzer – Raquel Gurevich, 1996).
- La *resiliencia* se refiere a la capacidad de recuperación/respuesta para afrontar el impacto de un evento, como también estar prevenido ante un fenómeno adverso.



*Figura 3. Acceso al Barrio Belgrano, departamento Juan Bautista Alberdi, con problemas de inundación en marzo 2017. Expuesto a modo de ejemplo.*

## **2. 2 MORFOMETRIA**

El término *morfometría* se describe como un conjunto de técnicas, procedimientos y métodos, utilizados para determinar propiedades configuracionales del relieve, y, en base a ellos, conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno” (Pedraza Gilsanz, 1996)

En base al estudio morfométrico se definen las siguientes características físicas:

**Área de la cuenca (A) (km<sup>2</sup>):** Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido -directa o indirectamente- a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie que contribuye con la escorrentía superficial y está definida por las divisorias de agua de la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en

km<sup>2</sup>. Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para lograr la mayor confiabilidad en este valor (Tabla 1). Este se clasifica según su tamaño en:

TAMAÑO DE LA CUENCA EN KM <sup>2</sup>	DESCRIPCIÓN
Menores a 25	Muy Pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-Pequeña
500 a 2500	Intermedia-Grande
2500 a 5000	Grande
Mayores a 5000	Muy Grande

*Tabla 1. Tamaño de la cuenca en relación a las dimensiones del área.*

**Perímetro (P) (km):** Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros.

**Longitud de la cuenca (L) (km).** Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca, hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

**Ancho de la cuenca (B):** Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca.

$$B = A / L$$

**La orientación:** se determina de acuerdo con la orientación del río principal de la cuenca en relación con el norte y se considera su influencia especialmente en las zonas de ladera en donde la inclinación de las laderas afectará la influencia solar. La orientación de la cuenca en cuanto al movimiento del sol y a la interposición de las cadenas montañosas con respecto a las corrientes de aire, es un factor que influye en su comportamiento hidro-meteorológico.

**Pendiente media de la cuenca (PMC):** la pendiente media de una cuenca hidrográfica es una de las tareas más importantes en la realización de cualquier estudio hidrológico, pues esta pendiente media controla la velocidad con que se dará la escorrentía superficial en dicha cuenca. Algunos de los parámetros de mayor uso en la hidrología superficial, como el Coeficiente de Escorrentía, se fundamentan en la estimación de la cantidad del volumen total de agua precipitada sobre la cuenca hidrográfica que se convertirá en caudal superficial, a partir de parámetros diversos, entre los que destaca el valor de su Pendiente Media.

**Factor de forma (Kf):** Horton (1932), sugirió un factor adimensional de forma *kf*, como índice de la forma de una cuenca, Cellini, (2005) indicaba que es un factor que relaciona el movimiento del agua y la respuesta de la cuenca a dicho movimiento, controlando la velocidad con que el agua llega al cauce, indicando la regulación de la concentración de la escorrentía superficial.

El mismo, se calcula como la relación entre el área en km<sup>2</sup> y el cuadrado de la longitud de la cuenca (L<sup>2</sup>), medida desde la salida hasta el límite, cerca de la cabecera del cauce principal, a lo largo de una línea recta.

$$KF = \frac{A}{(L)^2}$$

Este factor permite inferir la geometría de la cuenca, respecto a cuan cuadrada o alargada puede ser. Una cuenca con un factor de forma bajo indica que la cuenca es elongada, por lo tanto, capta menor cantidad de agua y esta menos expuesta a crecientes que una cuenca con la misma área y mayor factor de forma, es decir, con una forma redondeada.

Principalmente los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas. Un valor de Kf superior a la unidad, proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o a un río principal corto y, por consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

R << 1 + Forma alargada

**Coefficiente de compacidad (Kc):** Propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas o divisoria que la encierra y el perímetro de la circunferencia. Este coeficiente adimensional, independiente, tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua. En general es un parámetro para predecir la variación de la intensidad del flujo en función del tiempo, especialmente cuando los datos hidrológicos son escasos o bien inexistentes.

$$Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Cuando el valor de índice Kc= 1 nos indica que la cuenca será de forma circular, de modo que cuanto más cercano a la unidad se encuentre, más se aproximará su forma a la del círculo o redonda, en cuyo caso la cuenca tendrá mayores posibilidades de producir crecientes con mayores picos (caudales), y cuando Kc > 1 son cuencas alargadas, cuando Kc se aleja más del valor unidad significa un mayor alargamiento en la forma de la cuenca (oblonga), ver tabla 2.

Índice de compacidad Kc	Forma
1,00 a 1,25	Redonda o circular
1,25 a 1,50	ovalada
1,50 a 1,75	oblonga

**Tabla 2.** Forma de la cuenca en relación con el valor del coeficiente de compacidad.

**Relación de elongación (Re):** Se define como la relación entre el diámetro de un círculo que posea la misma área de la cuenca, donde el diámetro es igual la longitud de la cuenca, su formulación matemática es la siguiente:

$$Re = 1,128 * \frac{\sqrt{A}}{L}$$

El valor de la relación de elongación se acerca a la unidad cuando la cuenca es muy plana (respecto del relieve) y circular, cuando la cuenca presenta variaciones en el relieve de manera de presentar áreas de mayor pendiente, la relación de elongación varía entre 0,5 y 0,8. Cuando el coeficiente varía desde 0,50 correspondería a una región con variación de clima y geología relacionada con los relieves de la cuenca de manera que un valor cerca de este cociente es típico de regiones baja. En cambios Re varía desde 0,50 a 0,80 está asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas en el terreno.

**Orden de los cauces:** El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos para realizar tal clasificación. En este caso se optó por el método de Horton, el cual se fundamenta en los siguientes criterios: Se consideran corrientes de primer orden (u orden 1), a aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de cabeceras y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden 1 se acoplan, resulta una corriente de orden 2. De manera general, cuando dos corrientes de orden i se unen, resulta una corriente de orden i+1. Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el valor del mayor orden, por ejemplo, en caso de acoplarse una corriente de orden 2 con una corriente de orden 3, la resultante será una corriente de orden 3.

**Relaciones de bifurcación (Rb):** Utilizando la jerarquización de Horton, Strahler (1969) propuso que la relación de bifurcación es la resultante del cociente entre el número total de ríos de un orden dado (Nr) y el número total de ríos del orden inmediato superior ( $r(n + 1)$ ). Los valores de Rb varían entre 2 y 5 (Strahler, 1957; Langbein y Leopold, 1966) y constituye un número adimensional que cuantifica la ramificación de la red, indicando la forma del sistema de drenaje. Según Senciales González (1999), las altas relaciones de bifurcación indican áreas de fuertes pendientes con rápida concentración de la escorrentía, pero con picos de crecida poco importantes.

$$Rb = \frac{Nr(n)}{r(n + 1)}$$

**Densidad de drenaje (Dd):** Strahler (1952) Este índice relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas. Es un indicador de las relaciones entre clima, vegetación y la resistencia del sustrato rocoso o edáfico a la erosión. La unidad de densidad de drenaje se expresa en km/km<sup>2</sup>. Ver tabla 3.

$$Dd = \frac{\text{long. de la red de drenaje}}{\text{area de la cuenca}}$$

Rangos		Pesos	
Clasificación	Unidad	Calificación	Ponderación
Menores a 0,44	Km/km <sup>2</sup>	Baja	20
0,44 a 0,88	Km/km <sup>2</sup>	Media	30
Mayores 0,88	Km/km <sup>2</sup>	Alta	50

**Tabla 3.** Indica los rangos de la densidad de drenaje según Schumm-Strahler (1956).

**Porcentaje de longitud de ríos de cada orden (LnO):** expresa la relación porcentual entre la longitud de los ríos del orden considerado (Lr) y la longitud total de los ríos de la cuenca (Lt).  
Porcentaje de longitud de ríos (Plrn).

$$LnO = \frac{Lr}{Lt} * 100$$

**Frecuencia de ríos (Fr):** Horton (1952) definió que es la relación que existe entre el número total de ríos de la cuenca (Nt) y el área de la misma (A en km<sup>2</sup>).

$$Fr = \frac{Nt}{A}$$

**Relación de longitud (RI):** es la relación existente entre la longitud media de los cauces de un orden dado (Ln) y la longitud media de los cursos de un orden inferior, (Ln (n -1)). Senciales González (1999) menciona que la Relación de longitud (RI) con un valor de RI > 3 revela una concentración paulatina de caudales a lo largo del colector principal, mientras que bajas relaciones (RI < 3) muestran mayor energía concentrada bruscamente (Sala y Gay, 1981).

$$RI = \frac{Ln(n)}{Ln(n - 1)}$$

**Coefficiente de almacenamiento hídrico (RHO):** es el cociente entre la relación de longitud (RI) y la relación de bifurcación (Rb). Es un parámetro hidrogeomorfológico relacionado con el tiempo en el que se alcanza el caudal máximo, indicador de la torrencialidad de una cuenca. Altos valores indican mayor almacenamiento hídrico en el cauce, un tiempo mayor al caudal máximo, atenuando los procesos erosivos. Está muy relacionado a factores climáticos, geomorfológicos y geológicos.

$$RHO = \frac{RI}{Rb}$$

**Coefficiente de torrencialidad (Ct):** Índice que mide el grado de torrencialidad de la cuenca, por medio de la relación del número de cauces de orden uno con respecto al área total de la misma. A mayor magnitud de Ct, mayor grado de torrencialidad presenta una cuenca.

$$Ct = \frac{\text{numeros del orden 1}}{\text{area de la cuenca}}$$

Altos valores de Ct indican elevada susceptibilidad a la erosión, menor tiempo de llegada al pico de crecida y alta torrencialidad, debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva (erosión en surcos y en cárcavas). El Ct está relacionado a los procesos de erosión lineal y a la capacidad de descarga de una cuenca.

**Longitud media de los ríos de Orden 1 (Lm1):** Schumm-Strahler (1956) citado Guido y Busnelli, (1993) como la relación entre la longitud total (en km) de los ríos de orden 1 (uno) (LT1) y el número total de ríos del mismo orden (N1). A partir de un enfoque hidrogeomorfológico se deduce que valores elevados de Lm1 indican ríos de primer orden más largos, mayor posibilidad de captar agua en menor tiempo y mayor tiempo de duración del escurrimiento directo o tiempo base (Tb). Mientras que valores bajos de Lm1 indican mayor número de río de orden 1, lo que aumenta la torrencialidad de una cuenca.

$$Lm1 = \frac{\text{long. total de orden 1 (LT1)}}{\text{Numero total de orden 1 (N1)}}$$

**Tiempo de concentración (Tc):** Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo se pueden emplear diferentes fórmulas que se relacionan con otros parámetros propios de la cuenca. Para la estimación del tiempo de concentración se recomienda emplear varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica, se considera apropiado incluir al menos cinco estimaciones diferentes, (Ven Te Chow, 1994).

Se seleccionó la propuesta de Ven Te Chow por no contar con los datos de caudales para tener una aproximación del comportamiento de la cuenca en lo que respecta al tiempo de concentración. Es importante conocer el tiempo de concentración, cuando se pretende proponer medidas de mitigación ante un evento natural extraordinario.

Esta puede ser igual o menor a la duración del evento debido a que la duración de la lluvia es ajena al tamaño de la cuenca y es sólo función de variables climáticas, por lo que la lluvia asociada a los caudales máximos se refiere al intervalo más intenso de duración igual al tiempo de concentración, no equivale a la duración del evento y, sólo una fase podrá ser suficiente para generar una creciente, en caso de que el suelo se encuentre saturado.

**La fórmula propuesta por V.T Chow. Es:**

$$T_c = \left( \frac{L_c^{1.15}}{\sqrt{CM - Cm}} \right)^{0.64}$$

- $T_c$  es el tiempo de concentración (horas).
- $L_c$  es la longitud del cauce principal (km).
- $CM$  es la cota mayor del cauce principal (m.s.n.m).
- $Cm$  es la cota menor del cauce principal (m.s.n.m).

# **CAPITULO III**

## **MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO**



### **3. 1 ECONOMÍA**

El departamento Juan Bautista Alberdi tiene en total 30.237 habitantes. La ciudad cabecera homónima se ubica a la vera de la Ruta Nacional N° 38. Siguiendo el trazado de la Ruta Provincial N° 308, en sentido oeste-este, se encuentran las comunas del Corralito, Yánimas, Puerta de Marapa, la ciudad de Graneros y la comuna de La Madrid.

La economía, de esta región se destaca por su agricultura, la misma se especializa en los cultivos subtropicales como ser:

- Caña de azúcar
- Tabaco
- Limones
- Naranjas
- Soja
- Trigo
- Apicultura

Estos cultivos se encuentran en el sector pedemontano y central del área, alternando con cultivos de soja, girasol y forrajeras en la zona de llanura deprimida, en tanto el tabaco ocupa el sector pedemontano en las cercanías de la ciudad de Alberdi (Figura 4).

En lo que concierne a la actividad industrial, se especializan en el proceso de cosecha y la elaboración del azúcar la cual da lugar a un importante impulso como es el caso de la provincia tucumana.



*Figura 4. Cultivo de Limones para exportación en la zona de La Calera.*

### **3. 2 CLIMA**

El clima predominante de una región depende de la posición que ocupe en el globo, de los movimientos de la tierra, del relieve, proximidad al mar y de la circulación de las grandes masas de aire. En general el análisis del clima es de gran importancia en el conocimiento geológico de una región puesto que condiciona de manera determinante el comportamiento del ciclo hidrológico y la dinámica erosiva. El clima en la provincia de Tucumán esta marcadamente condicionada por los siguientes factores:

- A. La posición geográfica desde el punto de vista latitudinal.
- B. La combinación de altura y posición relativas de las formas del relieve.

Es decir, el clima de la provincia presenta características propias de su ubicación latitudinal y particularidades que responden a ese marco geográfico propio, determinado por una sucesión de cordones orográficos que la atraviesan en sentido meridional.

En la provincia de Tucumán en general, predomina un clima subtropical seco y cálido. Durante la época de verano son comunes las intempestuosas lluvias y el calor extremo. En la región conviven dos tipos de clima diferentes: por un lado, el clima árido de alta montaña,

semidesierto, y por el otro podemos apreciar el de las sierras que se caracteriza por su clima subtropical, con bosque subtropical. El clima presenta una estrecha relación con el relieve, diferenciándose áreas serranas y de llanura. En la región serrana predomina el clima subtropical serrano con veranos cálidos e inviernos templados. La temperatura media durante los meses de verano es de 20° y de 14° en invierno, registrándose vientos predominantes del este. Las precipitaciones varían de acuerdo con la altitud y disminuyen su intensidad de Norte a Sur y de este a oeste alcanzando los 1800 mm. En algunas áreas serranas de acuerdo con Guido, E.; Sesma P. J. 2014 (Figura 5). La zona de estudio se caracteriza por un clima subtropical, con bosques subtropicales, donde son frecuentes las intensas precipitaciones en los meses de verano (desde el mes de diciembre extendiéndose al mes de mayo), principalmente en los sectores serranos occidentales; debido a que hay una saturación de la capacidad de infiltración en los abanicos aluviales dispuestos al pie de sierra disminuye, debido a las condiciones favorables del suelo y el subsuelo superficial para transportar y acumular el agua en las primeras napas freáticas al principio de las precipitaciones, provocando la saturación mencionada .

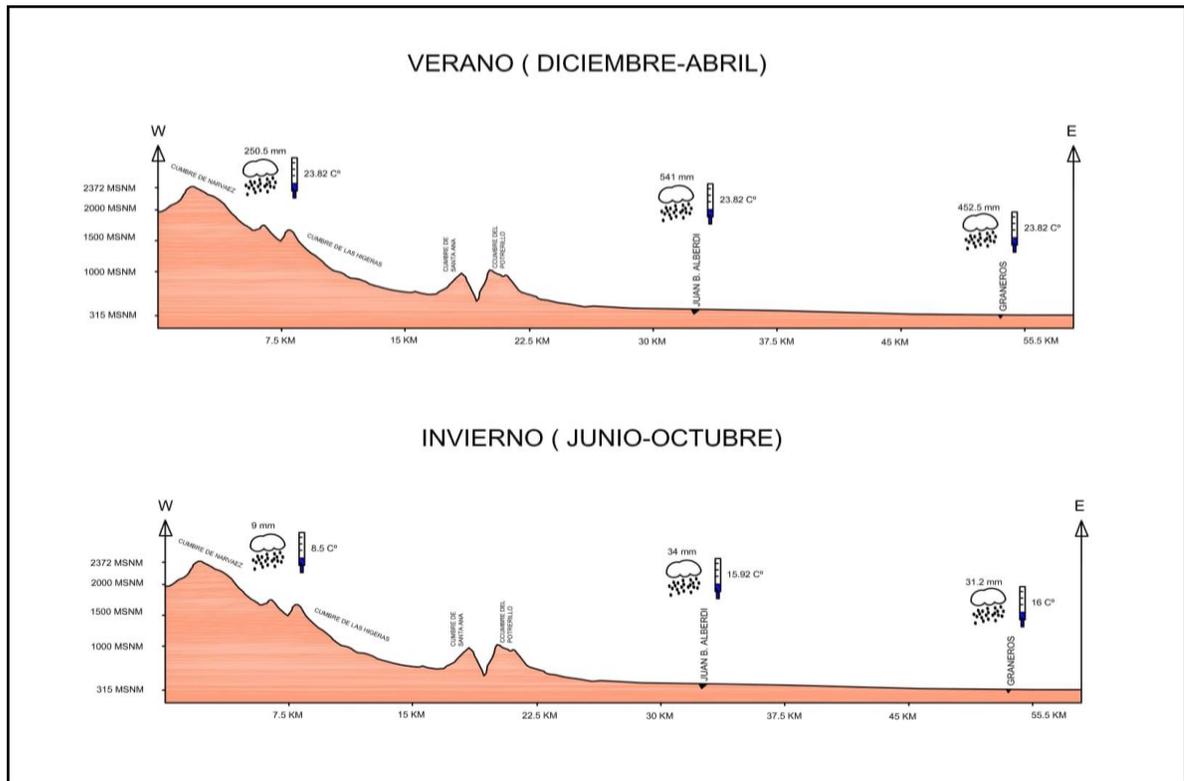


Figura 5. Perfiles comparativos de precipitaciones y temperatura en invierno y verano de la ciudad de Juan B. Alberdi-Graneros.

### 3. 3 VEGETACIÓN

Las manifestaciones vegetales presentes en el área de estudio corresponden a las típicas del área de piedemonte de las Sierras Subandinas, zona caracterizada ecológicamente por la selva de "Las Yungas" o "Tucumano-Boliviana", también es conocida con el nombre de "Bosque de Transición" o "Bosque Montano". En el área se destacan especies vegetales como: algarrobo (Prosopias alba y Prosopias negra), cebil (Anadenanthera colubrina = Anadenanthera macrocarpa = Piptadenia macrocarpa), cebil horco (Piptadenia exelsa), arrayán (Eugenia uniflora), churqui (Acacia caven), tusca (Acacia aroma), tala (Celtis espinosa), entre otros (Figura 6).



**Figura 6.** Árbol de cebil ciudad de Juan B. Alberdi.

### 3. 4 FAUNA

La fauna en la zona de estudio ofrece gran diversidad y abundancia de distintas especies, pudiéndose destacar la presencia de: loros (Amazona tucumana), catas (Bolborbynchus aymara), pecarí (Pecari tajacu), corzuela (Mazama gouazoubira), puma (Puma con color), gato del monte (Oncifelis geoffroyi), gato onza (Leopardus pardalis), chancho del monte, entre otros (Pérez Miranda 2003) (Figura 7).



**Figura 7.** Chango del monte encontrado en la escuela de la Calera-Alberdi-Tucumán.

### **3. 5 GEOLOGÍA REGIONAL**

#### **3. 5. 1 Orógeno Pampeano y Famatiniano**

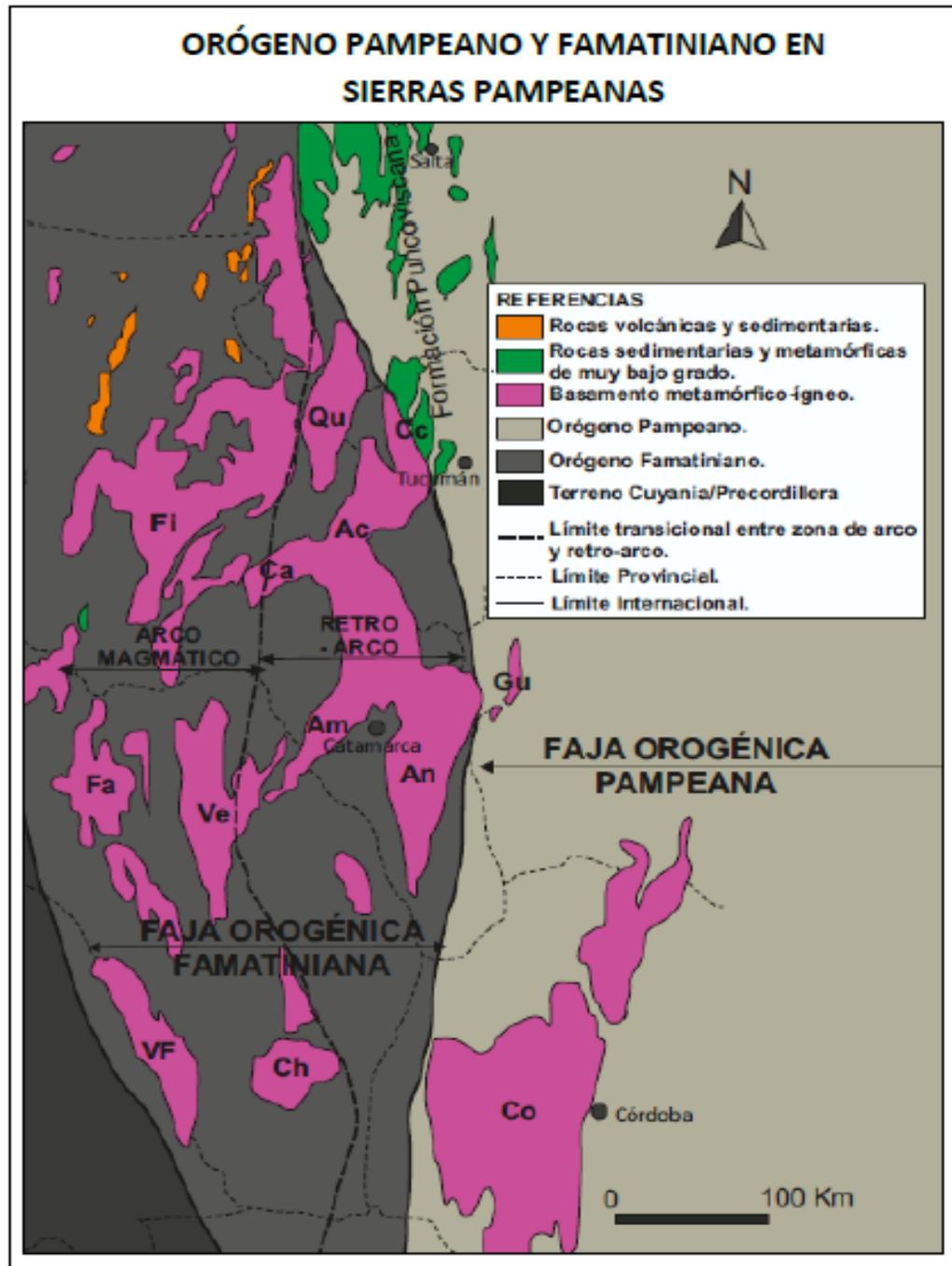
El margen proto-andino de Gondwana ha sido el escenario de al menos dos orogénesis. Ambas, precedidas de un periodo de apertura del océano Atlántico sur, lo que generó la activación de la subducción en el margen pacífico y sedimentación en márgenes pasivos, con desarrollo de arcos-magmáticos de tipo cordillerano y colisión de tipo continente-continente. Estas orogénesis en el noroeste argentino fueron definidas por Aceñolaza y Toselli (1976) como Ciclo Pampeano y Famatiniano (Figura 8). De acuerdo con Rapela et al. (1998 y 2001), la orogénesis Pampeana tendría lugar en un intervalo de tiempo relativamente pequeño de 535 a 520 Ma; por el contrario, la orogénesis Famatiniana tendría lugar en un periodo de tiempo más dilatado de 499 a 435 Ma

En las Sierras Pampeanas el orógeno Pampeano está presente en las Sierras de Córdoba, Sierra de Guasayán y parte oriental de la Sierra de San Luis. Está conformada por rocas de grado metamórfico medio a alto, granitos tipo S y granitos calcoalcalinos de edad cámbrica inferior (Rapela et al. 2007 y referencias allí citadas). Las rocas de medio y alto grado metamórfico del basamento Pampeano han sido correlacionadas con las rocas de muy bajo a bajo grado metamórfico de la Formación Puncoviscana (Aceñolaza y Toselli, 1981; Willner et al. 1990; Rapela et al. 2001). La faja orogénica Pampeana habría sido originada como consecuencia de la colisión del terreno Amazona-Arequipa-Sierras Pampeanas Occidentales y la cuenca de antepaís Puncoviscana-Saldania (Rapela et al. 2007)

El orógeno Famatiniano estaría relacionado a la acreción del terreno alóctono (Thomas y Astini, 1996) o para-autóctono (Aceñolaza et al. 2002) sobre el margen proto-andino de Gondwana. Abarca gran parte de las Sierras Pampeanas Orientales; de este a oeste la faja Famatiniana está definida geotectónicamente por una zona de retro-arco, una zona de arco, y un borde de acreción (Otamendi et al. 2008) relacionados a un margen de subducción activo. Está caracterizada por metamorfismo de baja P/T (zona de retro-arco) y abundante magmatismo de arco tipo I y tipo S (Pankhurst et al. 2000; Larrovere et al. 2012). El metamorfismo y magmatismo habrían sido coetáneos (Pankhurst et al. 2000), desarrollados durante el Ordovícico Temprano-Medio.

Basándose en la clasificación de provincias geológicas de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, en la Provincia de Tucumán es posible distinguir dos provincias geológicas diferenciadas por su estilo tectónico en:

- Sierras Subandinas, que comprenden las Sierras de Medina, Nogalito, La Ramada, El Campo y Candelaria, ubicadas en el Noreste de la provincia.
- Sierras Pampeanas, que ocupan la mayor parte del territorio provincial, el sector Sudoeste de Santiago del Estero, Noroeste de Córdoba y en menor extensión al Sudeste de Tucumán (donde se encuentra el trazado en estudio) y Sudeste de Catamarca.



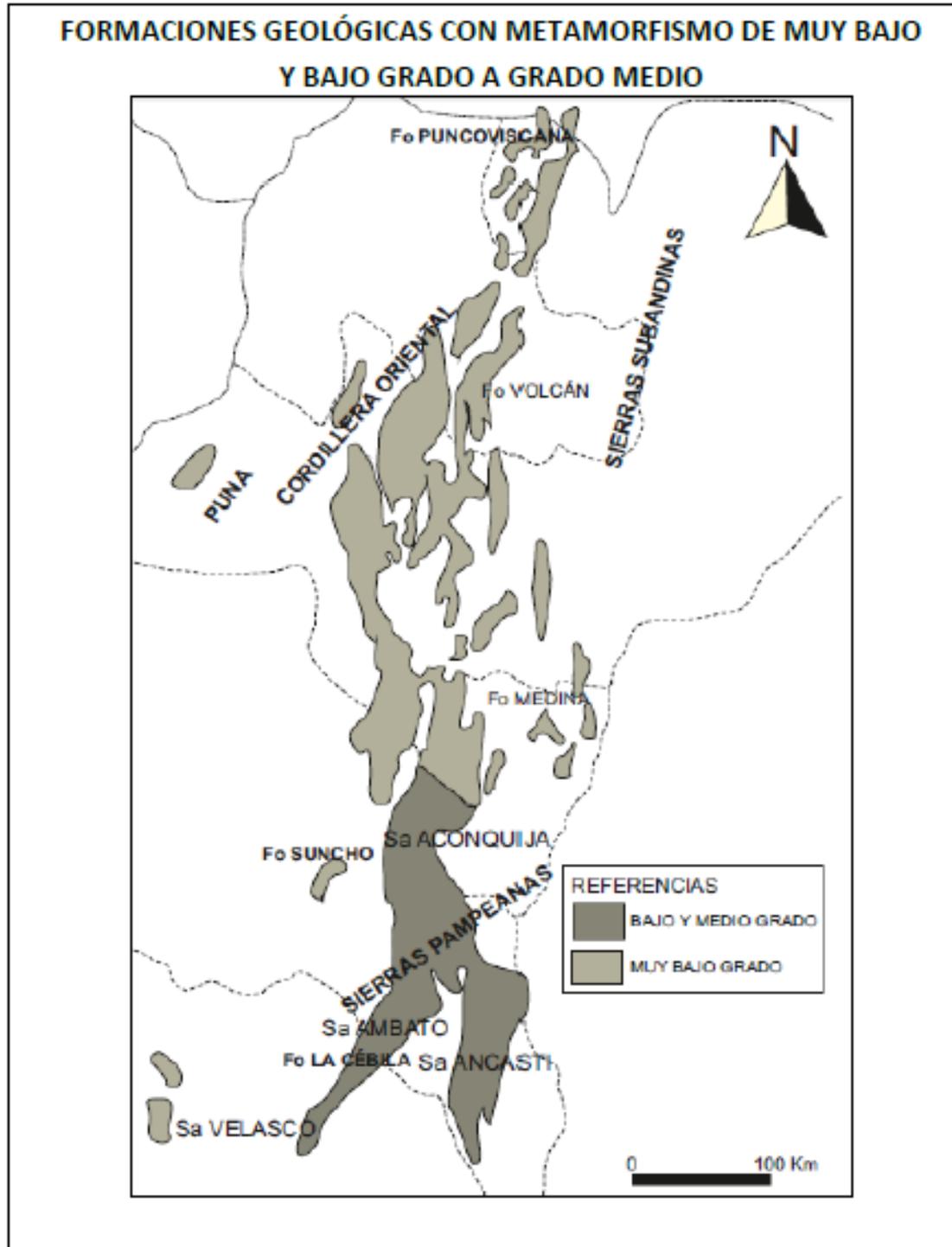
**Figura 8.** Mapa esquemático regional de Sierras Pampeanas de Argentina que muestra la distribución relativa de los Orógenos Pampeanos y Famatinianos. Abreviaturas de las Sierras: Ac (Aconquija), Am (Ambato), An (Ancasti), Ca (Capillitas), Cc (Cumbres Calchaquies), Ch (Chepes), Co (Córdoba), Fa (Famatina), Fi (Fiambalá), Gu (Guasayán), Qu (Quilmes), Ve (Velasco), VF (Valle Fértil). Modificado de Larrovere et al. (2012).

### **3. 5. 2 Sierras Subandinas en la provincia de Tucumán**

En el noroeste de nuestro país se ha identificado una unidad que se distribuye ampliamente en este territorio, denominada Formación Puncoviscana (Figura 9). Si bien en el sector norte de la región (Tucumán, Salta y Jujuy) predominan las metasedimentitas con bajo grado metamórfico, hacia el sur las facies se observan ampliamente representadas por rocas de mayor grado metamórfico (Caminos, 1979; Aceñolaza y Toselli, 1981; Willner y Miller, 1986; Aceñolaza et al., 1999). Es posible identificar unidades de Muy Bajo a Bajo grado metamórfico; en la provincia de Tucumán, la formación medina, formación san Javier y la formación Taficillo.

Dentro del ámbito de la provincia de Tucumán, la formación Puncoviscana es considerada equivalente a la Formación Medina (Bossi, 1969), Formación Taficillo (Porto, 1970) y a la formación San Javier (Toselli et al. 1975).

- Formación Medina: con este nombre (Bossi 1969) describe las secuencias de pizarras, filitas, metagrauvascas y cuarcitas que constituyen el núcleo de las sierras de san Javier y del NE de la provincia.
- Formación San Javier: Toselli et al. (1986) denomina de esta manera al basamento metamórfico de las sierras homónimas, caracterizado por la alternancia de lentes granoblásticos macizos y lepidoblásticos de espesores no mayores a 2 cm, con granulometría correspondientes a limo y arcilla. En el área estos autores destacan la presencia de ritmitas, estructuras flaser, lenguas de flujo, ondulitas, y calcos de deformación y flujo.
- Formación Taficillo: en el extremo norte de las sierras de san Javier, Porto (1970) describe filitas pizarrosas intercaladas con pizarras, con esquistosidad subvertical, que inclina hacia el este. Porto (1992) señala el mismo tipo litológico (pizarras filíticas, que alternan con pizarras) para el flanco oriental de las sierras, en la sierra de El Periquillo. Este afloramiento ubicado al norte, en el Siambón.



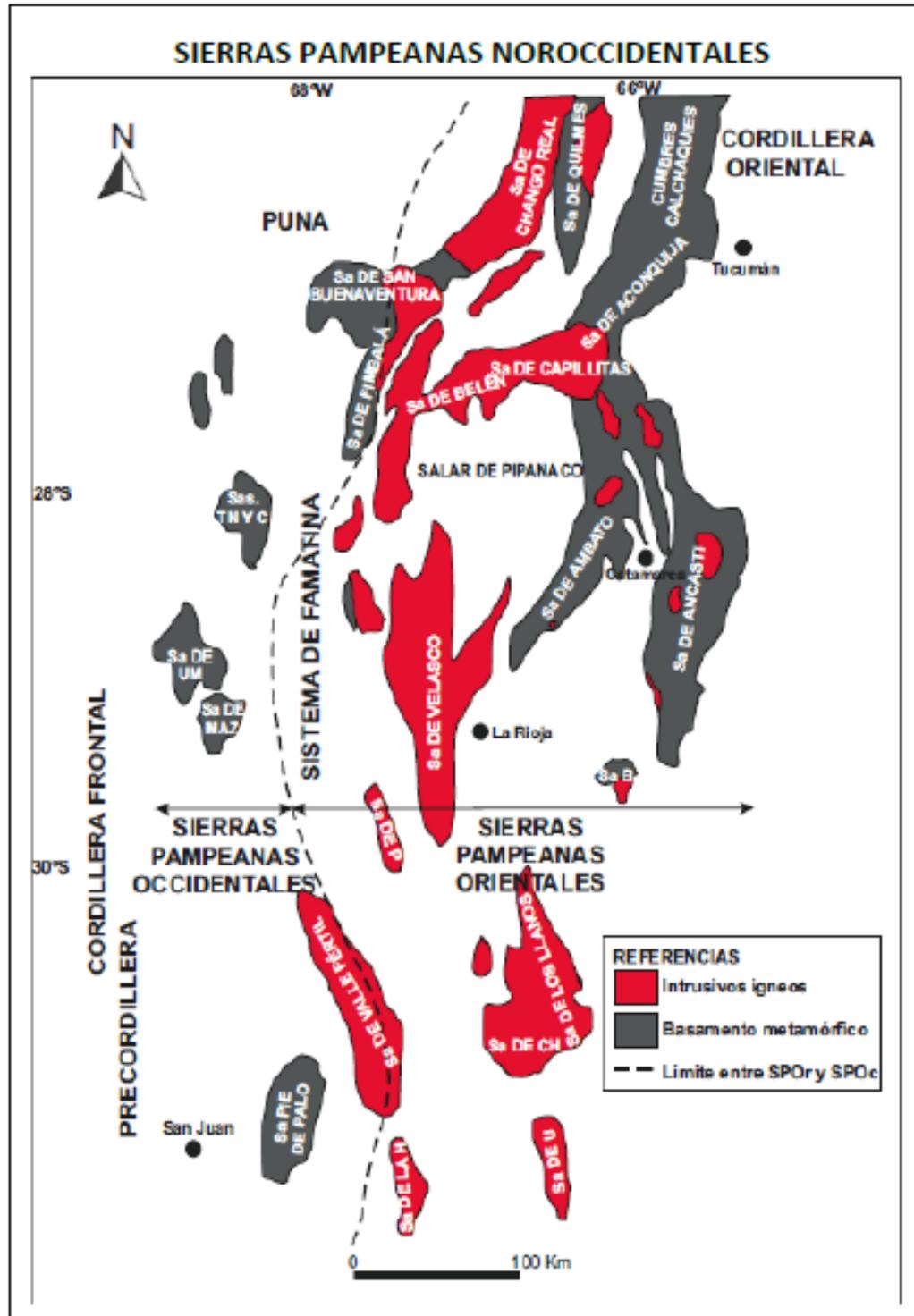
**Figura 9.** Principales formaciones geológicas con metamorfismo de bajo y muy bajo grado hacia grado medio en el Noroeste Argentino. Abreviaturas: Sa: Sierra, Fo: Formación. Modificado de Aceñolaza y Aceñolaza (2005).

### **3. 5. 3 Sierras Pampeanas en Tucumán**

La provincia geológica de las Sierras Pampeanas, definidas inicialmente por Stelzner (1873) están constituidas por numerosos bloques basculados de basamento ígneo-metamórfico de edad Paleozoica, limitados por fallas y orientados en dirección N-S cuyo levantamiento es producto de la orogenia Andina iniciándose en el Mioceno hasta la actualidad, Ramos et al. (2002). Este estilo estructural da lugar a la formación de serranías orientadas en sentido N-S separadas por depresiones o valles con rellenos de sedimentos del Terciario superior y Cuaternario. Esta unidad morfotectónica aflora desde los 25° 30' hasta los 33° de latitud sur. Actualmente, se dividen en Sierras pampeanas Orientales y Occidentales. Las sierras Pampeanas Orientales corresponden a las sierras de Córdoba Norte, Sierra Grande, Sierras Chica y la sierra de Comechingones, con el sector más oriental de San Luis. Están caracterizadas por metamorfitas proterozoicas, en la que se emplazan granitoides calcoalcalinos asociados a subducción (Lira et al. 1997) formados por un arco magmático de edad proterozoica. Las Sierras Pampeanas Occidentales, comprende Sierras de Tucumán, Catamarca, la Rioja, San Juan y el Sector occidental de San Luis. Está caracterizado por metamorfitas ordovícicas, que alojan una serie de intrusivos que varían de gabros tholeíticos a tonalitas y granodioritas asociadas a subducción.

Posteriormente, Caminos (1979), sobre la base de datos petrográficos y condiciones físicas de temperatura y presión, divide el sector noroccidental de Sierras Pampeanas, en faja Oriental que comprende las serranías de Salta, Tucumán y Catamarca e incluye el Sistema de Famatina, mientras que el sector Occidental ocupa las sierras situadas hacia el oeste del Sistema de Famatina y el flanco occidental de las Sierras de San Buenaventura y Fiambalá (Figura 10). Las unidades litoestratigráficas formadas por metapsamitas y metapelitas polimetamórficas, constituyen la faja Oriental donde el grado de metamorfismo y presión es más bajo en relación con la faja Occidental.

Dentro la provincia de Tucumán, el sector oriental se extiende en sentido norte-sur incluyendo a los cordones montañosos de mayor altura (superiores a 5000 msnm). Comprenden a las cumbres calchaquí, sierras centrales, sierra de Aconquija, sierra del cajón o Quilmes y las sierras sudoestes que comprendería la parte norte de las sierras del Ambato en la provincia de Catamarca.

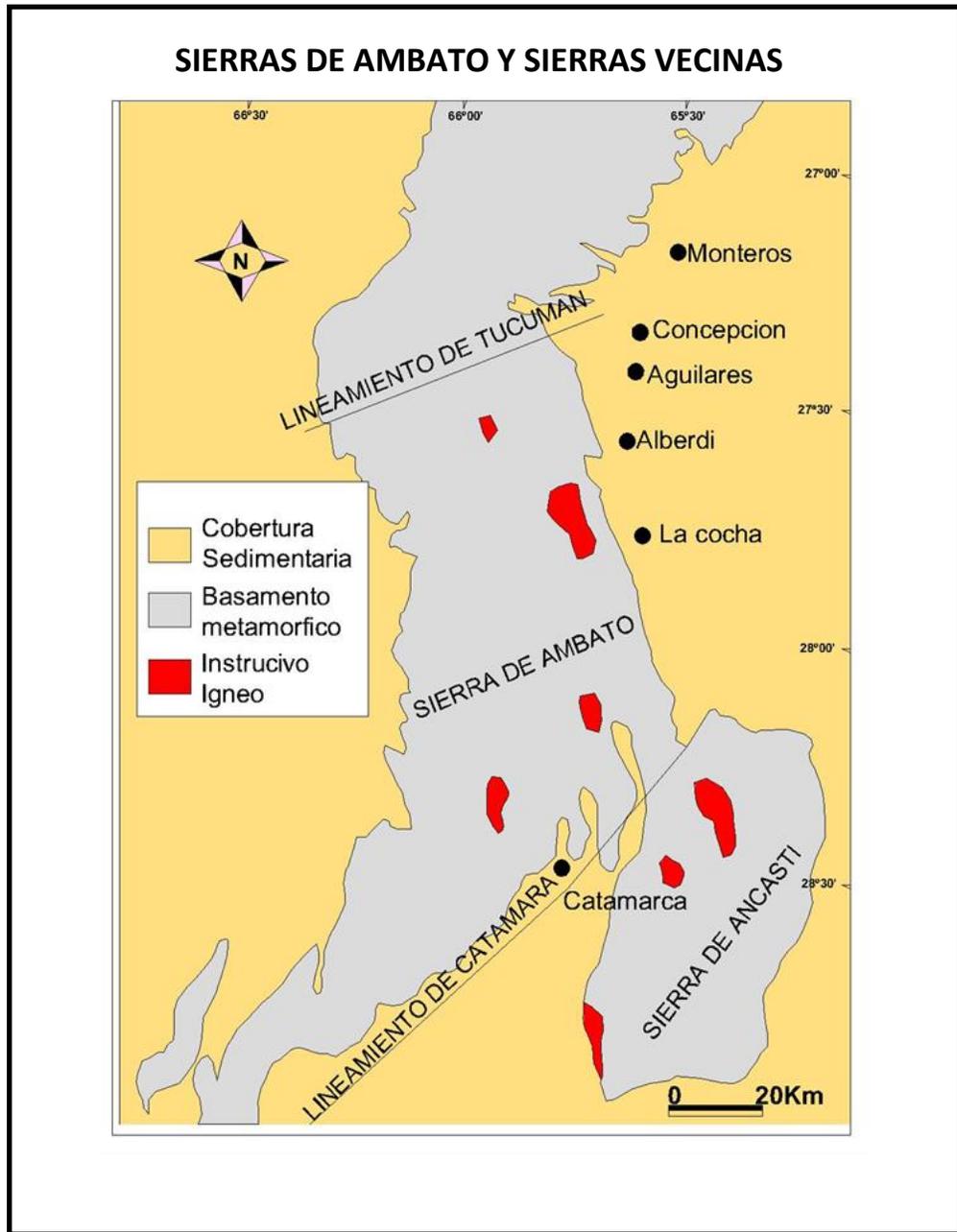


**Figura 10.** Mapa esquemático regional de Sierras Pampeanas Noroccidentales y subdivisión propuesta por Caminos (1979) modificado por Carrizo (2016). Abreviaturas: B (Brava), H (Huerta), P (Paganzo), Sa (sierra), Sas (Sierras), TN Y C (Toro Negro y Cumichango), U (Ulapes), UM (Umango).

### **3. 5. 4 Sierra de Ambato en Tucumán**

La Sierra de Ambato se localiza en el sector nororiental de las Sierras Pampeanas Orientales (Figura 11). Se extiende con dirección NE-SW al suroeste de la provincia de Tucumán, entre las coordenadas geográficas 27° a 28°30' S y 65°30' a 66°30' W aproximadamente. Forma parte de un segmento de las Sierras Pampeanas situado en el límite de las provincias de Tucumán y Catamarca al que se le asigna el nombre genérico de bloque Ambato (Gutiérrez, 1999). Está limitado al norte por la megafractura o lineamiento de Tucumán (Mon, 1976) que lo separa de la sierra de Aconquija y al sur por la megafractura lineamiento de Catamarca (Baldis et al. 1975) que lo separa de la sierra de Ancasti (Figura 11). Morfoestructuralmente, encajan con el modelo descrito por González Bonorino (1950) para Sierras Pampeanas. Se trata de un sistema de bloques de basamento elevados durante el Plioceno por fallamientos regionales con pilares escalonados, volcados suavemente hacia el este y limitados por fallas inversas verticales y subverticales de dirección aproximada norte-sur. Durante la orogenia Andina las estructuras a escala regional se formaron con rumbo submeridiano, pero de acuerdo con Gutiérrez y Mon (2008), durante el Pleistoceno, procesos extensivos y transgresivos generaron nuevas estructuras que configuraron la morfotectónica actual.

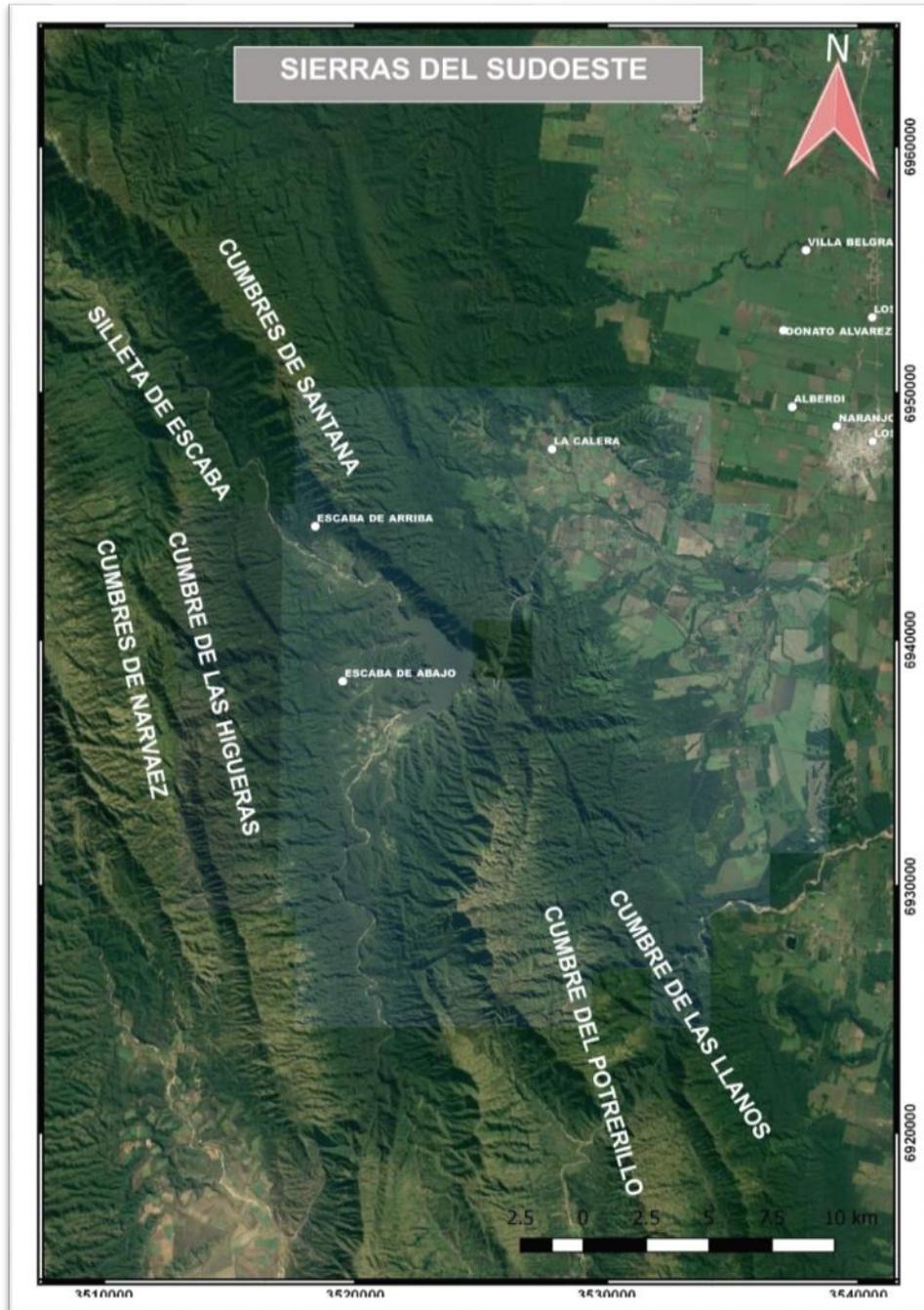
Está constituido por amplias secuencias metasedimentarias que incluyen desde metapsamitas con texturas relícticas, filitas, esquistos hasta migmatitas indicando diferentes grados metamórficos (Caminos, 1979; Toselli et al. 1986), entre otros autores. Las metamorfitas de muy bajo a bajo grado se extienden como septos en diferentes zonas de la sierra, mientras que el metamorfismo de alto grado tiene una mayor distribución areal en el sector oriental de sierra de Ambato. Intrusivos varía entre granitos a tonalitas. Las pegmatitas aparecen como diques y venas afectados por el basamento metamórfico.



**Figura 11.** Mapa esquemático regional de la Sierra de Ambato, sierras vecinas y lineamientos asociados. Modificado de Gutiérrez y Mon (2008).

### 3. 6 GEOLÓGIA LOCAL

El área de estudio se encuentra emplazada en la provincia geológica de Sierras Pampeanas noroccidentales (camino 1969 y Baldis et al.,1975) y del Bloque de Ambato (Gutierrez et al., 2003). Asimismo, corresponde a las denominadas Sierras del Sudoeste de Tucumán (Sesma, 2014) (Figura 12).



**Figura 12.** Sierras del Sudoeste de Tucumán.

En este sector el basamento está representado por los cordones montañosos de la Cumbre de Santa Ana, Silleta de Escaba, norte de las Cumbres de los Llanos y la Cumbre del Narvéez junto con el sector norte del intrusivo granítico llamado Granito San Ignacio-Los Pinos. Se trata de un basamento cristalino fracturado, que forma bloques elongados en sentido NNO-SSE, que inclinan al este. Estos bloques están limitados por fallas inversas de alto ángulo. Se caracterizan por una predominancia de rocas metamórficas y complejos de inyección. El origen de estas metamórficas son sedimentos arcillosos-arenosos, resultando en esquistos cuarzosos feldespáticos moscovíticos. En la zona son comunes las rocas de mezcla (migmatitas) y los cuerpos graníticos están relacionados al área de mayor migmatización, con modificación extensiva de la fábrica original de las rocas metamórficas. Para la zona de estudio, se definen migmatitas e intrusivos sintectónicos y pegmatitas.

Gonzales Bonorino (1950) reconoce la existencia de metamorfismo regional dinamotérmico, cuyo grado de intensidad aumenta gradualmente de norte a sur, el que tiene una relación espacial y genética con las intrusiones graníticas tonalíticas. La edad del basamento es asignada al Proterozoico-Cámbrica Inferior, en el sector oriental, los cuales se encuentra instruido por plutones ácidos de edades Cámbricas, Ordovícicas y Carboníferas.

La cubierta sedimentaria más antigua, está constituida por la formación Aconquija del Eoceno Medio descrita por Mon y Urdaneta (1972), donde se destacan las areniscas, limolitas, arcillitas y tobas. Esta unidad yace en discordancia sobre el basamento metamórfico-ígneo que aflora en el sector occidental del departamento, observable en la localidad rural de La Calera, conformado por un relieve de lomadas aisladas en el pie de monte (Figura 13).



**Figura 13.** Relieve en lomada zona Rural de la Calera Departamento Alberdi-Tucumán.

Por último, se acumulan sedimentos cuaternarios de la Formación Concepción, de edad Pleistocena, los cuales aparece en los valles intermontanos, al pie del faldeo oriental de las cumbres de los Llanos, Santa Ana, cumbres de Narvéez. Representados por conglomerados, areniscas y limolitas, esta unidad se encuentra apoyándose en forma discordante sobre las rocas del basamento y las sedimentitas Terciarias de la Formación Aconquija; Los afloramientos de las unidades holocenas están constituidos por depósitos pedemontanos, aluviales, eólicos (Cuadro 1). Los depósitos eólicos Están representados por limos, se trata de extensas acumulaciones de loess que se encuentran en toda la llanura tucumana, inclusive cubriendo los depósitos aluviales, asignados al Holoceno Superior por Markgraf y Bradbury (1982), tomado de Hoja Geológica 2766-IV.

		EDAD		UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	LITOLOGÍA	AUTORES
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	SUP.	Depósitos Fluviales /Depósitos Eólicos	Gravas y Arenas/ Loess	Markgraf y Bradbury (1982), tomado de Hoja Geológica 2766-IV.
			INF.	Depósitos Pedemontanos y depósitos Aluviales.	Limos-Arcillas Con intercalaciones Gravasos/ Arenas finas y medias con intercalaciones Gravasos.	
		PLEISTOCENO	Formación Concepción.	Areniscas-Limonitas-Arcillitas y Tobas.	Fidalgo 1965 González Bonorino 1950 Batagía 1982 Blaco 1994	
	TERCIARIO	EOCENO MEDIO	Formación Aconquija.	Limonitas-Areniscas-Arcillitas y Tobas.	González Bonorino 1950 Mon y Urdaneta 1972	
PALEOZOICO	CARBONIFERO		Granito San Ignacio-Los Pinos.	Granito adamelítico.	González Bonorino 1950 Halpern 1970 Omil y Cabrera 1989	
	CÁMBRICO		Formación el Alto.	Monzogranito.	Beder 1928 Batagía 1982	
PRECAMBRICO		Basamento Metamórfico-Ígneo.		Filitas-Cuarcitas-Migmatitas-Granitoides.	Rassmuss 1918 González Bonorino 1950 Batagía 1982	

**Cuadro 1.** Cuadro Crono-Estratigráfico.

### 3. 7 FISIOGRAFÍA

La palabra fisiografía viene del griego, donde *physios*: significa naturaleza y *graphos*: descripción, es decir se trata de la descripción de los aspectos relacionados a la naturaleza. La fisiografía no solo describe cuestiones relativas a la litosfera (relieve, edad, procesos morfogenéticos) como lo hace la geomorfología, sino que a su vez describe los aspectos relacionados al agua, el clima y seres vivos. En definitiva, la fisiografía comprende el estudio, la descripción y la clasificación de las geofomas del terreno, considerando los aspectos de geomorfología, geología, y aspectos biológicos, en medida que estas condiciones las características edafológicas de tales formas. Es así como se entiende por unidades fisiográficas, a la entidad geográfica definida por características del relieve, clima, geomorfología e hidrología.

Existen diferentes denominaciones de las unidades fisiográficas de la Provincia de Tucumán de acuerdo con los criterios de diferentes autores. Santillán de Andrés y Ricci (1980), fundamento en factores y elementos naturales, distinguieron las siguientes unidades:

- Llanura: que ocupa el sector centro-este de la provincia.
- Conjuntos montañosos: ubicados al oeste y de norte a sur de la provincia.
- Sierras del noreste
- La cuenca de tapia-trancas.

Posterior Zuccardi y Fadda (1985) uniendo los criterios fisiográficos, climáticos y edáficos, establecieron unidades agrológicas, definiendo en primer nivel cinco regiones naturales:

- Pedemontana.
- Llanura Deprimida.
- Llanura Chaco-Pampeana.
- Cuencas y Valles Intramontanos.
- Región serrana.

Desde el punto de vista principalmente morfoestructural, Alderete (1998) definió unidades fisiográficas de la provincia de Tucumán en la cual predominan tres tipos principales de relieve.

- Llanura tucumana
- Piedemonte.
- Montañas.

Las unidades fisiográficas, presentes en el departamento Juan B. Alberdi, se describen en tres tipos de relieves: llanura, piedemonte y montañas, a los que se le agregan los valles y cuenca intermontanas, esto dado a un enfoque principalmente morfoestructural citado por Alderete (1998), la zona de estudio está situada al sur de San Miguel de Tucumán (Figura 14).

### **3. 7. 1 Llanura tucumana**

Se extiende desde los 400 msnm, en contacto con el piedemonte, hasta el límite con Santiago del Estero alrededor 250 msnm. Se desarrolla por todo el este de la provincia desde el límite con Salta en el norte, hasta el sur fuera de los límites con la provincia de Catamarca, su límite oeste con el piedemonte oriental de la sierra denominadas por Alderete (1998) área serrana del sudoeste de la provincia de Tucumán. Ocupa más del 50% de la superficie de la provincia y es una de las unidades más importantes ya que en la misma se desarrollan grandes partes de las actividades de economías (agrícola, ganadera e industrial) esta se divide en dos:

- Llanura ondulada
- Llanura aluvial

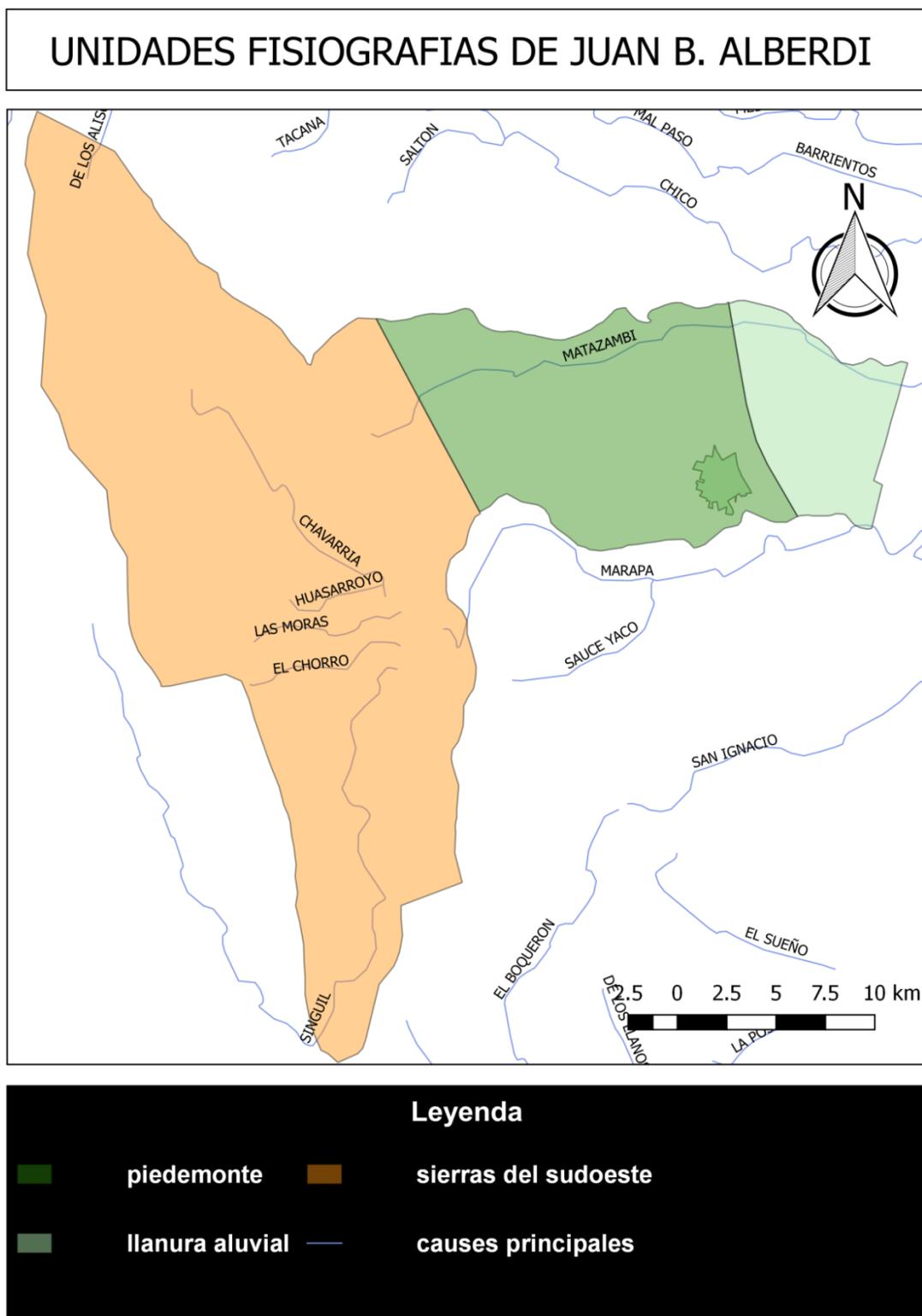
La llanura ondulada es ubicada en la parte noreste de la provincia de Tucumán en el departamento Burruyacú hasta Trancas (departamento Leales), la zona de estudio se emplazaría en la llanura aluvial que se ubica al sur de la provincia y se destaca por el predominio de la morfogénesis fluvial originada por los ríos que descienden de la ladera occidental, presenta un relieve plano que pasa a ondulado, al sur del Río Marapa. Es una unidad muy rica desde el punto de vista agrícola y sensiblemente más fértil en su límite oeste que este (Alderete, op.cit).

### **3. 7. 2 Piedemonte**

Se desarrolla entre los 400 a 700 msnm es la transición de la llanura Tucumán al oriente y las cadenas montañosas al oeste, se extiende desde la sierra del noreste hasta la sierra sudoeste presenta relieve de colina con inclinación hacia el este y sudeste, donde escurren los cauces fluviales actuales (Sayaso et al. 1998) en esta unidad se localiza la ciudad de Alberdi.

### **3. 7. 3 Montañas**

Sierra sudoeste es un área serrana ubicada, como lo indica su nombre, al sudoeste provincia de Tucumán Alderete (1998), se dispone entre los departamentos río Chico, Juan B. Alberdi y la Cocha. Se origina en el departamento Alberdi, más precisamente en la quebrada de las Cañas, se divide en dos brazos: la parte oriental que incluye la cumbre de Santa Ana y Morro de los Cerritos (2493 msnm) y la parte occidental o cumbre de Narvárez (2375 msnm) ambos sistemas tienen dirección sudeste y corren separados por el valle de río Chavarría, la cumbre del Narvárez continúa en la cumbre de la Higuieritas (1789 msnm) a la altura de Escaba de Abajo entre el límite con la provincia de Catamarca se encuentra el cerro Divisadero (1906 msnm) que culmina en el río Balcosna-San Ignacio, al Sur continúa la cumbre de los Llanos en el departamento La Cocha.



**Figura 14.** Unidades fisiográficas del departamento Juan Bautista Alberdi desde el punto de vista morfoestructural propuesto por Alderete (1998).

### **3. 8 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL DEL AREA**

La provincia de Tucumán está caracterizada generalmente por una densa red de cursos naturales de agua que conforman una de las principales fuentes de riquezas para el consumo humano y agropecuario entre otras actividades económicas de la provincia.

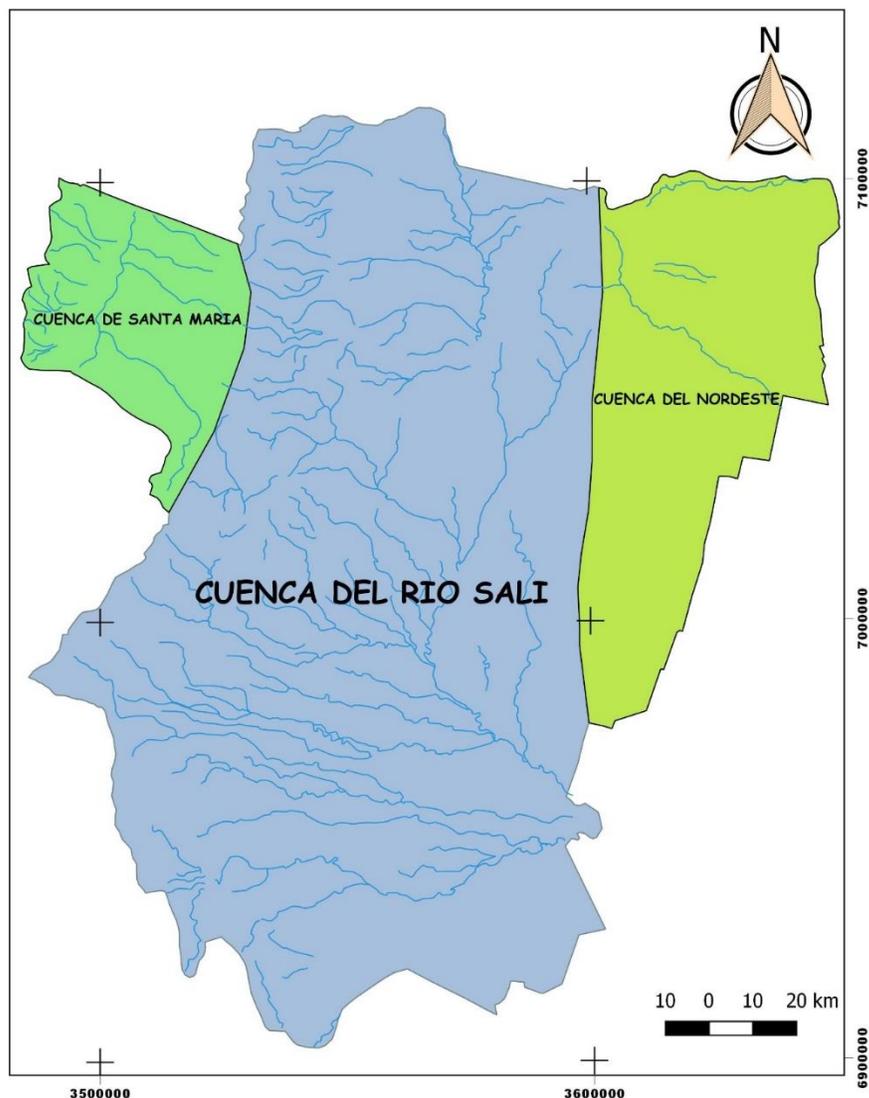
En la provincia se señalan las siguientes cuencas de drenaje:

- Cuenca endorreica: Cuenca del río Salí-Aconquija que abarca la mayor parte del territorio tucumano 80%.
- Cuenca Arreicas: Cuenca del Nordeste 14%.
- Cuenca exorreica: Cuenca del río Santa María 6% solo cubre el departamento Tafi.

La zona de estudio está situada en la parte sur Cuenca del río Salí donde los bosques nublado de los faldeos montanos orientales, son una propiedad fundamental para el desarrollo del reservorio hídrico, ya que la densa vegetación actúa como una esponja, manteniendo fijada y condensada la humedad de las nubes. Las áreas hidrográficas marginales, hacia los territorios extra provinciales, se encuentran bien definidas y se pueden distinguir las siguientes (Figura 15):

- A. Hacia el sur de la cuenca del río Salí, existe una zona sin desagüe, se extiende paralela al río Marapa (afluente más austral del Salí) en este se ubica el complejo hidroeléctrico de Escaba está ubicado casi en las nacientes del río Marapa. La característica más llamativa es que los ríos de esta cuenca alternan un periodo estival-otoñal con grandes volúmenes de precipitaciones pluviales al que le continúa un periodo invernal-primaveral con valores mínimos de precipitaciones con cauces que están secos la mayor parte del tiempo. Ésta ocupa el área comprendida entre las sierras septentrionales del Alto o Ancasti hasta la sierra de Guasayán (hacia el este), formando una franja fronteriza entre Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero.
- B. Otra zona hidrográficamente indefinida se extiende desde el codo del Salí-Dulce (frente a la sierra de Guasayan), hacia el norte, entre el río Salí y el límite con Santiago del Estero, donde el límite provincial corre aproximadamente a mitad de distancia entre el eje hidrográfico tucumano y la línea de las Salinas de los Horcones, pertenecientes al río Salado del Norte. Hacia el Noreste y Norte de la provincia, esta zona marginal pasa al pie de la Sierra del Campo, cuyos arroyos se pierden en la llanura oriental tucumana sin alcanzar la cuenca del río Urueña. Este último, corre por el límite entre Tucumán y Salta; tiene sus cabeceras en la sierra de la Candelaria (sector salteño) y en el extremo Norte de las sierras del Noreste de Tucumán.
- C. En el Oeste, pasando por el Valle de Santa María, la zona marginal está bien definida por alta zona cumbral de las Cumbres Calchaquíes y del Aconquija con los cerros Muñoz y de las Animas y Nevados del Aconquija, mientras que hacia el Sur se encuentra, fuera del territorio provincial, la ya mencionada extensión de la red hidrográfica del Salí que llega hasta el Oeste del Campo del Pucará y faldeo Norte de la Sierra de Ambato.

De esta manera, se advierte que entre los 26° y 28° de latitud S las sierras de Tucumán desempeñan un papel fundamental, desde el punto de vista hidrográfico, pues son las barreras que impiden el paso de las masas de aire húmedas hacia el Oeste y cuyo ascenso forzado produce la condensación y precipitaciones sobre su flanco oriental. Este hecho ha permitido el desarrollo de la importante red hidrográfica del río Salí-Dulce.



**Figura 15.** Grandes Cuencas hidrográficas de la Provincia de Tucumán, adaptado según criterios de Alderete (1998).

La zona de estudio, como se dijo, se encuentra situada en el departamento J. B. Alberdi, sus principales cursos de agua son el Arroyo Matazambi y Río Marapa. El primero que nace en las estribaciones septentrionales del Cerro Escaba, si bien este era un tributario del río Medinas-Chico, la transformación de la dinámica hídrica ha favorecido a su evolución, cambiando su curso hacia la desembocadura el Embalse Río Hondo donde forma un delta en forma de

abanico distributivo. El segundo nombrado como río Granero a partir de la ciudad homónima, surge de dos tramos ascendentes, del sector norte, es el río Chavarría, que drena del faldeo oriental de la sierra de Santa Ana-Escaba desplazándose por una falla regional que sigue un sentido dominante NNO-SSE, y el otro del sur, que pertenece al río el Singuil, que a su vez este nace en el faldeo occidental de la Sierra del Narvárez transitando una falla que limita la sierra de Narvárez al oeste y al este la sierra Humaya, el río Singuil cambia bruscamente su recorrido hacia el norte cuando se une al Arroyo el Chorro para encajonarse en el valle homónimo, limitado al norte por la Sierra de Balcozna y de los Pinos; al sur por la Sierra de la Higuera, con dirección S-N, siguiendo su curso por una falla que separa el Cerro Quico de la Higuera, para unirse con el río Chavarría formando el lago del Dique Escaba.

# CAPITULO IV

## RESULTADOS OBTENIDOS



#### 4. 1 RELACIONES DE CAMPO

##### 4. 1. 1 Basamento metamórfico-ígneo (Precámbrico-Paleozoico)

En la zona de estudio el basamento aflora en el sector oeste del departamento Alberdi, integrando los cordones montañosos de las Cumbres de Santa Ana, Silleta de Escaba, Norte de Cumbre de los Llanos y Cumbre del Narvárez, en donde se observa una serie litológica de migmatitas intrusivos, sin tectónicos y pegmatitas.

Las migmatitas están constituidas por venas de material ígneo ácido, que afecta todas estas rocas con una intensidad variable, que forma desde aisladas venas cuarzosas hasta granitos migmatíticos (afloramientos en la zona del 25 y Batiruaña Figura 16, 17 y 18). Este material incorporado a la roca se presenta en forma nodular, venosa o difusa. Estas rocas se encuentran aflorando en las Cumbres de Narvárez y Santa Ana, junto con la migmatización son comunes encontrar los granitos miloníticos. En estas mismas Cumbres la migmatización aumenta hacia el este y la falda oriental se vuelve un ambiente de migmatitas. En la Silleta de Escaba y en el cerro Quico, la abundancia de venas y material ácido aumenta hacia el norte, predominando en la quebrada del río Marapa material granítico sobre el metamórfico. En esta quebrada, en la zona del dique Escaba, aparece también otro litotipo en la zona de la quebrada del río Marapa, gneises, constituidos por cristales de feldespato y cuarzo que forman ojos y agregados lenticulares ondulantes entre tabiques micáceos. En la parte septentrional de la silleta de Escaba predominan los esquistos biotíticos cuarzosos, aunque también se encuentran los tipos litológicos anteriormente descriptos.



**Figura 16.** Afloramiento de migmatitas hacia el margen derecho del río Marapa en adyacencias a la central hidroeléctrica en Batiruaña.



**Figura 17.** Afloramientos de Migmatitas, en la Quebrada del Boquerón, Río Marapa.



**Figura 18.** Contacto transicional entre basamento y el material sedimentario Cuaternario en la Quebrada del Boquerón, Río Marapa.

#### 4. 1. 2 Granito (San Ignacio-Los Pinos, Carbonífero)

Los principales afloramientos se observan hacia ambos márgenes del dique Escaba (observados en los perfiles de la ruta), (Figura 19), dirigiéndose hacia el norte, hasta la localidad de Escaba de Arriba, llegando a la cuenca del río Chavarría, por el sur se extiende desde el dique Escaba hasta la localidad de Escaba de Abajo al norte de la Cumbre de los Pinos. El contacto con la roca de caja metamórfica es neto. Viruel De Ramírez y Barber (1994) consideran a los granitoides que afloran en el faldeo este de la cumbre de Balcosna como parte del mismo batolito. Los afloramientos de este litotipo observado constituyen, un batolito que conforma casi la totalidad del bloque conocido como cumbre de los Pinos extendiéndose hacia el sur fuera de la zona de estudio.

Al oeste de La Cocha es posible también observarlos, afloramientos color gris rosado. Esta unidad correspondería al carbonífero dadas las dataciones realizadas por de Halpern, et al. (1970), González, y Toselli (1974), Stipanovic y Linares, (1975) y Omil y Cabrera, (1989).



**Figura 19.** Granito San Ignacio-Los Pinos observados en los perfiles de la ruta del Dique Escaba.

#### **4. 1. 3 Unidad sedimentaria-volcánica (Formación Aconquija, Eoceno)**

En las inmediaciones del dique Escaba puede observarse un perfil continuo de esta unidad sedimentario-volcánica.

Estos depósitos, que originalmente se encontraban cubriendo la peneplanicie labrada en el basamento metamórfico, se preservan hoy en las depresiones tectónicas entre los bloques, que integran valles longitudinales y al pie, a lo largo del faldeo de las sierras que estos forman. Diego Fernández y Leonardo Escosteguy (2003) considera apropiada la denominación de Formación Aconquija. González Bonorino (1950) describe en el Campo del Pucará, entre Las Pampitas y Punta del Agua, una secuencia que divide en un conglomerado basal y tres secciones. Estas últimas no poseen límites netos, sino pasajes paulatinos. Se considera a este perfil como localidad tipo:

1. El conglomerado basal presenta un espesor de 5 metros. Es fino a mediano, con clastos angulosos de cuarzo, microclino, migmatita, granito, esquistos micáceos y con una matriz arenosa gruesa, arcósica, cementada por carbonato de calcio (Figura 20).

#### **2. SECCIONES**

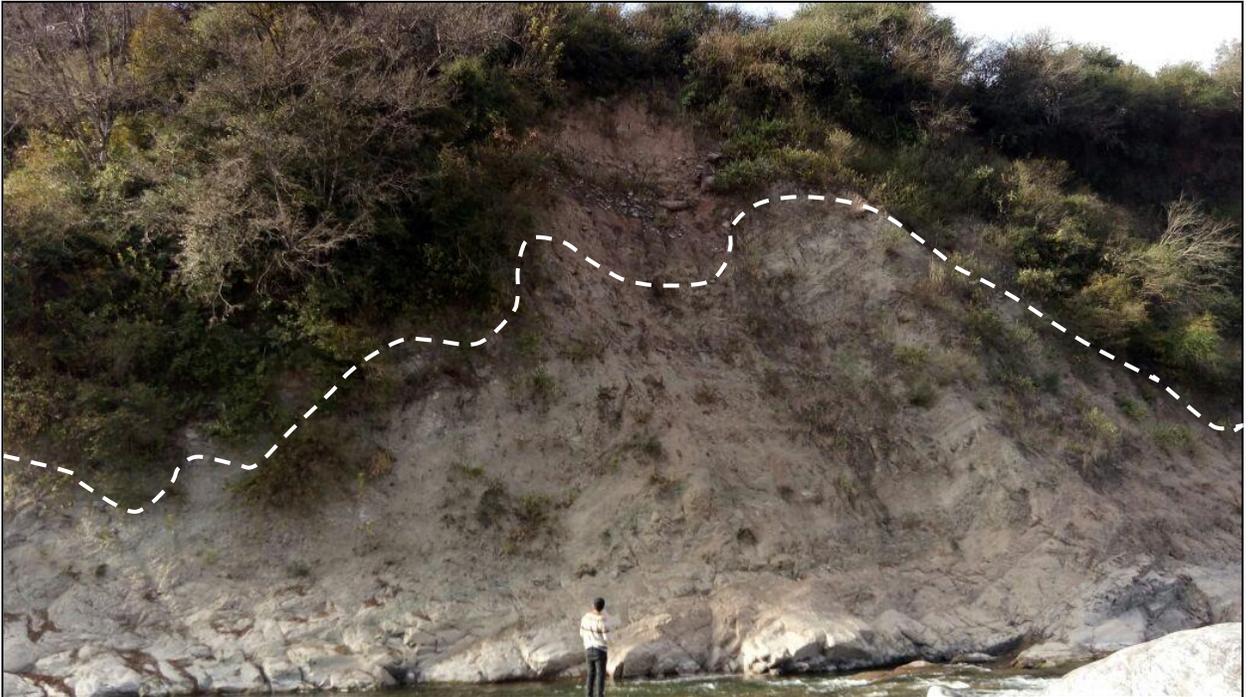
- a. La Sección N°1: está formada por areniscas finas tobáceas, micáceas, ricas en cenizas volcánicas y en plagioclasa. Como cemento hay vidrio básico. Presenta una coloración gris rosada a castaña y pequeñas motas blancas compuestas por piedra pómez.
- b. La sección N°2  
Areniscas tobáceas finas de color gris castaño claro, y areniscas feldespáticas conglomerádicas, En algunas partes aparecen bancos lenticulares conglomerádicos de rodaditos de piedra pómez bancos tienen un espesor medio de entre 1 y 1,5 metros.
- c. La sección N°3  
Constituida por areniscas gruesas, arcósicas, friables, de colores grises y rosados. Presenta delgadas capas de conglomerados redondeados.

En Escaba afloran a los costados del camino, tobas blanquecinas, areniscas tobáceas grises de grano mediano a grueso y tufitas castañas de grano muy fino. Son frecuentes los clastos de piedra pómez. Dentro de las tobas aparecen finas capas discontinuas de color negro, formadas por acumulación de magnetita. Esta secuencia podría corresponder a la sección I del perfil tipo. (Figura 21).



**Figura 20.** Afloramiento de conglomerado de color rojizo y clastos angulosos la Formación Aconquija en las inmediaciones de Dique Escaba.

En los alrededores del dique Escaba, aparecen areniscas conglomerádicas, intercaladas con areniscas finas castañas y clastos de piedra pómez. En las inmediaciones del dique de Escaba afloran tufitas muy finas de color gris y castaño claro. En Escaba de Abajo hay tufitas finas de color castaño, que alternan con bancos de toba arenosa estratificada. En Las Higuierillas aparecen areniscas pardo-rojizas, en parte conglomerádicas, con rodados de composición granítica. Las facies finas están formadas por granos de cuarzo, feldespato y moscovita, con una matriz calcárea de color rosado. Al oeste, donde desagua el arroyo Las Moras, afloran areniscas finas feldespáticas de color gris claro.



**Figura 21.** Afloramiento de areniscas grisáceas de la Formación Aconquija que se encuentran en contacto neto con conglomerados rojizos Cuaternario en el margen izquierdo del río el Singuil.

Los afloramientos que se observan a lo largo del río Chavarría son de areniscas calcáreas tobáceas, finas, en las que alternan capas ricas en carbonato y otras arenosas. Para González Bonorino (1950) corresponden a la sección II. Entre las cumbres de los Llanos y de las Higuierillas afloran areniscas tobáceas de color gris claro, con intercalaciones de tufitas arenosas, blanquecinas. En los alrededores de Singuil afloran areniscas finas tobáceas, de color gris, estratificadas, con pequeñas intercalaciones de finos bancos de tobas blanco-grisáceas y bancos de arcilla bentónica, compuesta por montmorillonita con granos dispersos de cuarzo.

Los afloramientos al pie de la cumbre de Santa Ana muestran una marcada estructura entrecruzada en areniscas color pardo que inclinan hacia el este, en la zona de la calera afloran unas tufitas tobáceas con estructura entrecruzada con la misma inclinación que las anteriores, en esta zona también se observa lomadas de areniscas finas, micáceas, de color gris azulado, con clastos de piedra pómez (Figura 22).



**Figura 22.** Tufitas Tobáceas de la Formación Aconquija aflorando en la zona de La Calera.

En las terrazas del río Marapa afloran areniscas tobáceas finas de color gris castaño, con gran contenido de plagioclasas y vidrio, areniscas grises blanquecinas, con motitas de piedra pómez, con estratificación fina y entrecruzada y capas de una roca arcillosa, con laminillas de moscovita.

González Bonorino (1950), establece una correlación entre lo que denominó la sección I del perfil Las Pampitas-Punta de Agua, y el Calchaquense del Valle Santa María. La sección II, al Complejo Volcánico, y la sección III la consideró correlativa del Araucanense, cuyos niveles superiores son coetáneos con los Rodados de la Puna. Teniendo en cuenta estas relaciones, la edad de esta secuencia estaría comprendida entre el Mioceno medio y el Plioceno. Sin embargo, dos dataciones radimétricas de una muestra de toba extraída de los afloramientos que se encuentran en las inmediaciones del dique La Escaba, Estos datos indicarían una edad eocena media para la sección inferior de la secuencia, lo que permitiría correlacionarla con el Subgrupo Santa Bárbara.

#### **4. 1. 4 Formación Concepción (Pleistoceno)**

Esta formación está constituida por conglomerados caóticos gruesos, los clastos en su mayoría son angulosos, de la misma composición que el basamento. Presenta intercalaciones de facies arenosas gruesas y, esporádicamente, algunos bancos de sedimentos finos (Figura 23). Denominadas por Fidalgo para agrupar denominación para agrupar a todos los sedimentos cuaternarios llamados «Primer Nivel de Piedemonte» por González Bonorino (1950). Battaglia

(1982) denominó Formación Capellanía a los sedimentos fanglomerádicos de abanicos aluviales y loess que afloran a lo largo de la sierra El Alto y al este de la sierra de Guasayán. Blasco *et al.* (1994), en la Hoja Geológica San Fernando del Valle de Catamarca, consideraron equivalentes ambas unidades.

Los afloramientos de este depósito en la zona de trabajo se encajan en los valles intrermontanos del norte, es el río Chavarría, que drena del faldeo oriental del a sierra de Santa Ana-Escaba desplazándose por una falla regional que sigue un sentido dominante NNO-SSE, y el otro del sur, que pertenece al río el Singuil, que a su vez este nace en el faldeo occidental de la Sierra del Narvárez transitando una falla que limita la sierra de Narvárez al oeste y al este la sierra Humaya. Localizando estos depósitos al pie de las sierras, cubriendo las rocas del basamento, y coronando las mesetas y lomadas constituidas por las sedimentitas terciarias, protegiéndolas de la erosión. Los espesores varían desde el orden del metro hasta decenas de metros, en las inmediaciones del Dique Escaba alcanzan una potencia de 20 mts.

Estos depósitos aparecen apoyándose en discordancia erosiva sobre la Formación Las Pavas, de edad pliocena. El alto grado de disección que presentan los afloramientos y su posición topográfica, indica que son anteriores a los depósitos pedemontanos del Holoceno inferior, por lo que se le asigna a esta unidad una edad Pleistocena (Figura 23).



**Figura 23.** Afloramiento de formación Concepción en contacto con el basamento en la Quebrada del Boquerón, Río Marapa.

#### **4. 1. 5 Depósitos pedemontanos (Holoceno Inferior)**

Estas acumulaciones se extienden como una faja norte-sur, a lo largo de todo el piedemonte oriental del sistema serrano, relleno de los espacios entre las lomadas formadas por los remanentes de las rocas terciarias. Su límite oriental es difícil de establecer, ya que la cobertura vegetal y el cultivo de los campos ocultan todo tipo de afloramiento. En el departamento se encuentran a lo largo de los márgenes de los ríos que atraviesan el piedemonte, como el Marapa y arroyos Matazambi. La superficie de los depósitos se encuentra cubierta por un pequeño espesor de suelos y una densa vegetación. Las actividades de desmonte para los caminos que se abrieron entre las localidades de Los Sarmientos y La Calera (denominado por los lugareños con la ruta del cítrico) destaparon esta delgada cubierta, dejando expuestos estos sedimentos (Figura 24).

Estos depósitos están asociados a una agradación pedemontana muy reciente. El bajo grado de consolidación y la horizontalidad de los bancos que lo conforman, les otorga a estos depósitos un aspecto moderno. Se encuentran disectados por la actual red de drenaje, por lo que se los asigna al Holoceno inferior. Los depósitos pedemontanos son correlacionables con la Formación Coneta definida por Nullo (1981), para los sedimentos que conforman el segundo nivel de piedemonte que aparece en la Hoja 15 f Huillapima, y Blasco et al. (1994) extienden en la Hoja 2966-II San Fernando del Valle de Catamarca.

#### **4. 1. 6 Depósitos aluviales (Holoceno Inferior)**

Estos depósitos se caracterizan por contener una vasta planicie aluvial, al norte del río Marapa, se extiende con una suave pendiente hacia el este, desde los depósitos pedemontanos. Estos depósitos se encuentran disectados por la actual red de drenaje que atraviesa de este a oeste la llanura tucumana. Ninguno de los límites de esta unidad está bien definido, ya que el pasaje de depósitos pedemontanos a aluviales es transicional, lo mismo que hacia los depósitos eólicos, que se encuentran cubriendo toda la llanura, pero adquieren más importancia hacia el este. Están constituidos por arenas finas a medianas con esporádicas apariciones de pequeños rodados dispersos, que se hacen más abundantes en profundidad, donde conforman verdaderos bancos gravosos que se intercalan en las arenas. Estos depósitos constituirían las facies más distales del piedemonte del Holoceno inferior (Figura 24).

#### **4.1. 7 Depósitos Eólicos**

Corresponde a una cubierta holocena limo-loésicos intercalados depósitos aluviales de arenas y gravas. Subyacen los depósitos pedemontanos (Dal Molin et al., 2003) limo-arcillosos pardos, con intercalaciones de arenas cuarzosas medianas a finas, que por debajo de los 100 m de profundidad constituyen los principales reservorios de agua subterránea de la región.

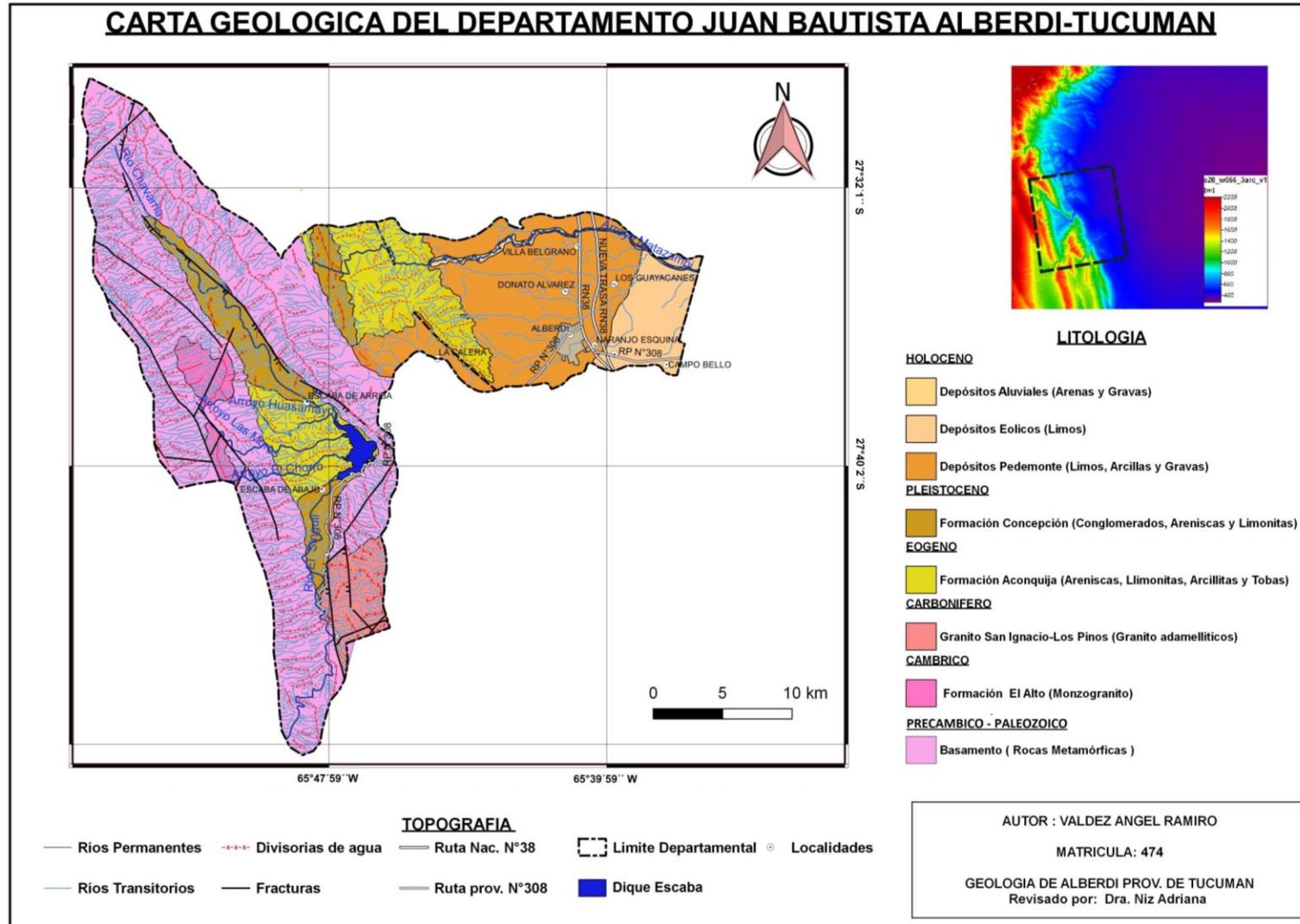


Figura 24. Carta geológica del departamento Juan Bautista Alberdi. En anexo se puede observar en tamaño A3.

## **4. 2 GEOMORFOLOGIA**

En el marco de la geomorfología se puede mencionar que, en el área de estudio se reconocieron tres ambientes bien definidos por sus características geomorfológicas, litológicas y cronológicas. En la porción occidental predominan relieves labrados sobre las rocas de basamento y sedimentitas terciarias, contruidos por bloques fracturados y elevados, modelados principalmente de la erosión fluvial que configuró el paisaje serrano. Los otros dos ambientes que han sido el resultado principalmente de la actividad agradacional fluvial y la acción eólica que contribuyen al modelado del relieve pedemontano y de llanura (Figura 30).

Este sector ha sido modelado por una gran influencia tectónica andina que generó las características principales del relieve, luego fue modificada por la acción fluvial y eólica actual.

### **4. 2. 1 Áreas serranas**

Los generadores principales del ambiente serrano son los procesos tectónicos que transformaron estructuralmente las rocas del basamento, luego continuó la acción fluvial, fuertemente influenciada por la estructura geológica, de modo, que el paisaje está comandado por los principales lineamientos estructurales, evidenciando el diseño angular y rectangular angular de la red de drenaje, que indica que los principales procesos morfogénéticos fueron la disección fluvial y deflación y abrasión eólica en la zona de estudio.

El ambiente está formado por bloques que se desplazan por una falla regional con un rumbo NNO-SSE, estas sierras se caracterizan por poseer gran continuidad en sus líneas de cumbres, una sección asimétrica con la pendiente más abrupta hacia el oeste constituida por la escarpa de falla y el flanco oriental formado por una superficie muy regular, componen el remanente basculado de una extensa peneplanicie desarrollada durante gran parte del período Terciario y/o Paleozoico. Estos bloques, basculados por fallas inversas de alto ángulo dieron origen a los valles longitudinales ocupados por los ríos el Singuil y Chavarría (Figura 25). Se caracterizan por presentar valles en «V», escarpas estructurales, nichos de deslizamientos inactivos y marcado control estructural de la red de drenaje. Este ambiente se caracteriza por poseer laderas de exposición sudoeste que muestran pendientes más abruptas, y en el análisis genético, relacionado con la tectónica corresponden a la escarpa de falla. Presentan profundos valles y desplomes de material suelto.

El escurrimiento superficial es favorecido por las fuertes pendientes y la naturaleza de las rocas constituyentes, las cuales forman un manto casi impermeable, hacen que la esorrentía prevalezca sobre la infiltración del agua de lluvia.



**Figura 25.** Vista de las Sierras de Santana y el valle de Escaba desde la Cumbre del Narváez.

#### **4. 2. 1. 1 Valles Intermontanos**

Son valles subsecuentes, elongados, con dirección NO-SE y NNO-SSE. En el área se los reconoce en los valles ocupados por los ríos Chavarría (entre la cumbre de Narváez al O y la cumbre de Santa Ana al E), Sínguil (entre la cumbre de las Higueras al O y la silleta de Escaba al E) (Figura 26). Este último se encuentra dividido en dos cuencas por los altos del Sínguil. Al norte, el tramo superior del Sínguil, de rumbo N-S y drenaje sur, presenta un quiebre pronunciado en su recorrido entre las cumbres de las Higueras y Balcosna, para desembocar hacia el norte, en el embalse de Escaba. Al sur de los Altos nace el río de los Puestos, que drena hacia el sur con rumbo N-S. Este diseño permite suponer un proceso de captura por retroceso de la cabecera del río Sínguil, captando las aguas de un curso fluvial N-S, formado por el tramo superior del Sínguil y del río de los Puestos. En estos valles predomina el escurrimiento sobre la infiltración, a esta condición se le suma el marcado contraste estructural de la red de drenaje. En las colinas residuales de pendiente fuerte alta y de glacis de erosión disectado se observan también profundos valles en «V», desarrollados sobre rocas terciarias.



**Figura 26.** Valle intermontano de la cuenca Rio Chavarría en la zona de Escaba de Arriba.

#### **4. 2. 2 Areas Pedemontanas**

##### **4. 2. 2. 1 Glacis cubierto**

Estas geoformas constituyen un paisaje de lomadas aterrazadas que representan los remanentes de una antigua superficie desarrollada sobre sedimentos Terciarios bajo clima árido a semiárido, que correspondería temporalmente al glacis de erosión terciario/ disecado/ primer nivel, cubierto por depósitos fanglomerádicos y arenas, durante un período climático más húmedo. Viers (1973) define esta forma como una superficie de erosión cubierta por un manto aluvial, con un espesor tal que escondió el sustrato completamente. Van Zuidam (1976) lo define desde el punto de vista genético como un glacis mixto y de acuerdo con su morfología, como una superficie de aplanamiento con una pendiente de 0, 5° a 7°, con ondulaciones suaves y ramblas, al que también denominó glacis enterrado.

##### **4. 2. 2. 2 Glacis de erosión terciario**

Habría constituido una forma de gran distribución en el valle intermontanos como es el sector septentrional de la cumbre de santana en la zona de La Calera, en La Cocha, en tanto, fue desarrollada sobre los sedimentos compuestos de limolitas, arcillitas y areniscas de las rocas Terciarias (Grupo Aconquija). Se trata de un relieve caracterizado por interfluvios en forma de

lomas o colinas aisladas y una red hidrográfica densa y profundamente encajada, con laderas de fuertes pendientes. Se observan superficies planas, remanentes de estas antiguas superficies de aplanamiento en las cimas. Esta paleoforma se habría generado por los procesos de glaciplanación que habrían actuado bajo la influencia de un clima árido a semiárido durante el Terciario Superior- Holoceno Inferior. Un cambio a condiciones climáticas más húmedas o a un clima estacionalmente más contrastado, habría facilitado la incisión hídrica en los sedimentos terciarios, lo que produjo profundas modificaciones en la paleosuperficie, desarrollando una red de drenaje que modificó a la vez el sentido general del escurrimiento superficial, e incrementó el aporte de las laderas hacia los cauces principales. No se descarta la influencia de la tectónica en la modificación del equilibrio por cambios en el nivel de base (Figura 27).



*Figura 27. Lomadas o colinas aisladas del glacia de erosión terciario en la zona de la Calera.*

#### **4. 2. 2. 3 Glacis de erosión cuaternario**

La superficie de esta geoforma fue labrada las sedimentitas de la formación concepción y depósitos loéssicos, se muestra suavemente ondulada, disecada por corrientes temporarias, cárcavas y barrancos producidos por erosión hídrica.

Es importante tener en cuenta el desarrollo de bajos salinos sobreimpuestos a esta geoforma, asociados a un déficit hídrico y al movimiento de la napa freática en sedimentos loéssicos.

#### **4. 2. 2. 4 Abanico aluvial**

Abanico aluvial del río San Ignacio y en el Arroyo Matazambi. Presenta una sucesión de sedimentos compuestos de gravas, arenas y limos, con estratificación laminar y entrecruzada. Mediante el análisis de fotografías aéreas y los criterios de Harvey (1992), quien postula que “los abanicos aluviales pueden preservar un registro detallado de los cambios ambientales ocurridos durante su formación, y cambios ambientales ocurridos en la cuenca.

Considera que el factor clima es importante como inductor de cambios morfológicos y sedimentológicos en el desarrollo de los abanicos aluviales”. Según lo expresado, y de acuerdo con lo analizado en la teledetección se puede mencionar, que se observó la presencia de paleocauces, valles fluviales y zonas anegables producto de las vacilaciones de los cauces. Desde el punto de vista hidrogeomorfológico constituye un depósito de excelencia para el almacenamiento de agua y con los mejores caudales para el aprovechamiento. La existencia de fracturas que controlan estructuralmente al río, juegan un importante papel en el desarrollo de los acuíferos en el subsuelo (García et al., 2014).

#### **4. 2. 3 Áreas de llanuras**

##### **4. 2. 3. 1 Primer y segundo nivel de Terrazas**

Los cauces de los ríos Marapa y San Ignacio muestran dos niveles de terrazas, por exondación del lecho y un tercero de desarrollo incipiente. Hidrogeológicamente constituyen depósitos de excelencia para la captación de agua subterránea. Sus depósitos de poca extensión areal, están desarrollados en lentes de gravas y arenas que tienen buena permeabilidad y porosidad.

Para Viers (1973), una terraza fluvial es un lecho abandonado, no a causa de la divagación de un curso de agua, sino por incisión. La corriente circula más abajo de la terraza, que se mantiene contrariamente al lecho mayor fuera del alcance de las crecidas. De acuerdo con su composición fueron divididas en terrazas rocosas y terrazas aluviales o de acumulación. La terraza rocosa es un lecho abandonado que conserva una capa de aluviones, más o menos grueso, que recubre un sustrato de roca in situ. Esta capa no siempre es regular y algunas veces no existe. Las terrazas de acumulación (Fairbridge, 1968) son terrazas formadas por la alternancia de ciclos de colmatación y de incisión, a causa de variaciones climáticas húmedas a áridas, y reactivaciones tectónicas.

En base al análisis de fotointerpretación se pudo identificar a dos niveles de terrazas en los cauces de los ríos Marapa, río Chico-Medina y río Gastonas, estas corresponden a terrazas de acumulación, el primer nivel está compuestas de arenas, gravas y limos, promediando estas a unos 100 metros del cauce principal en las redes principales, no obstante, en los Arroyos Matazambi y el arroyo Barrientos están a unos 30 metros del cauce principal. El segundo nivel de terrazas se los pudo identificar a unos 300 metros del cauce principal, se trata de terrazas de acumulación formadas por grava y material limo arcilloso con bancos de loes.

#### 4. 2. 3. 2 Cauces

Los tributarios principales en la zona nacen del sector oeste, definidas por el estilo estructural de las Sierras Pampeanas, orientados W-E, donde adquieren un diseño meandriforme, esto evidencia que se trata de llanuras aluviales con pendientes muy suaves, que hacen presumir que son el resultado de las fluctuaciones estocásticas de la dirección del flujo, debidas a la presencia aleatoria cambios de dirección, como consecuencia de obstáculos en la red de drenaje. Por ejemplo, un banco de arena-generado por la acumulación propia del río (proceso geomórfico), podría desviar el arroyo causando variaciones o influyendo en alguna medida en el patrón de meandros, o bien, la corriente puede ser controlada por la existencia de una falla (proceso morfotectónico) (Figura 28).



*Figura 28. Cauce del Rio Marapa.*

#### 4. 2. 4 Áreas de alteración antrópica

##### 4. 2. 4. 1 Geformas de origen antrópico

Las geformas que tienen una gran interacción antrópica en la zona se encuentran principalmente en la llanura, donde la gran demanda agrícola, que generó una expansión agraria a gran escala, propició la metamorfosis de los cauces de las principales redes hídricas. Esto se evidencia en la cuenca del arroyo Matazambi, las características principales descritas Sayago *et al.* (1984). Donde indica que es una extensa superficie de escaso relieve en la que confluyen los cursos fluviales provenientes de la región montañosa del oeste. Esta unidad, ubicada al oriente del ambiente pedemontano, coincide con la llanura aluvial. Este autor

diferencia un ambiente predominantemente fluvial, al norte del río Marapa, de la zona ubicada al sur, donde las geoformas fluviales se encuentran atenuadas por la disminución de las precipitaciones. Está dominada por la acción agradacional de los cursos fluviales. Los ríos, que en el ámbito pedemontano presentaban hábitos entrelazados, pasan a meandriformes al ingresar a este ambiente, debido a la disminución de la pendiente. La red hidrográfica es muy densa, y los ríos y arroyos poseen cursos divagantes con abundantes meandros y paleocauces. Hacia el este, la frecuencia de los cursos se incrementa, permitiendo diferenciar la unidad denominada Planicie aluvial disectada, con la presencia de bajos anegadizos y mayor número de cursos fluviales y paleocauces recientes. Los cursos fluviales confluyen en el bajo de río Hondo.

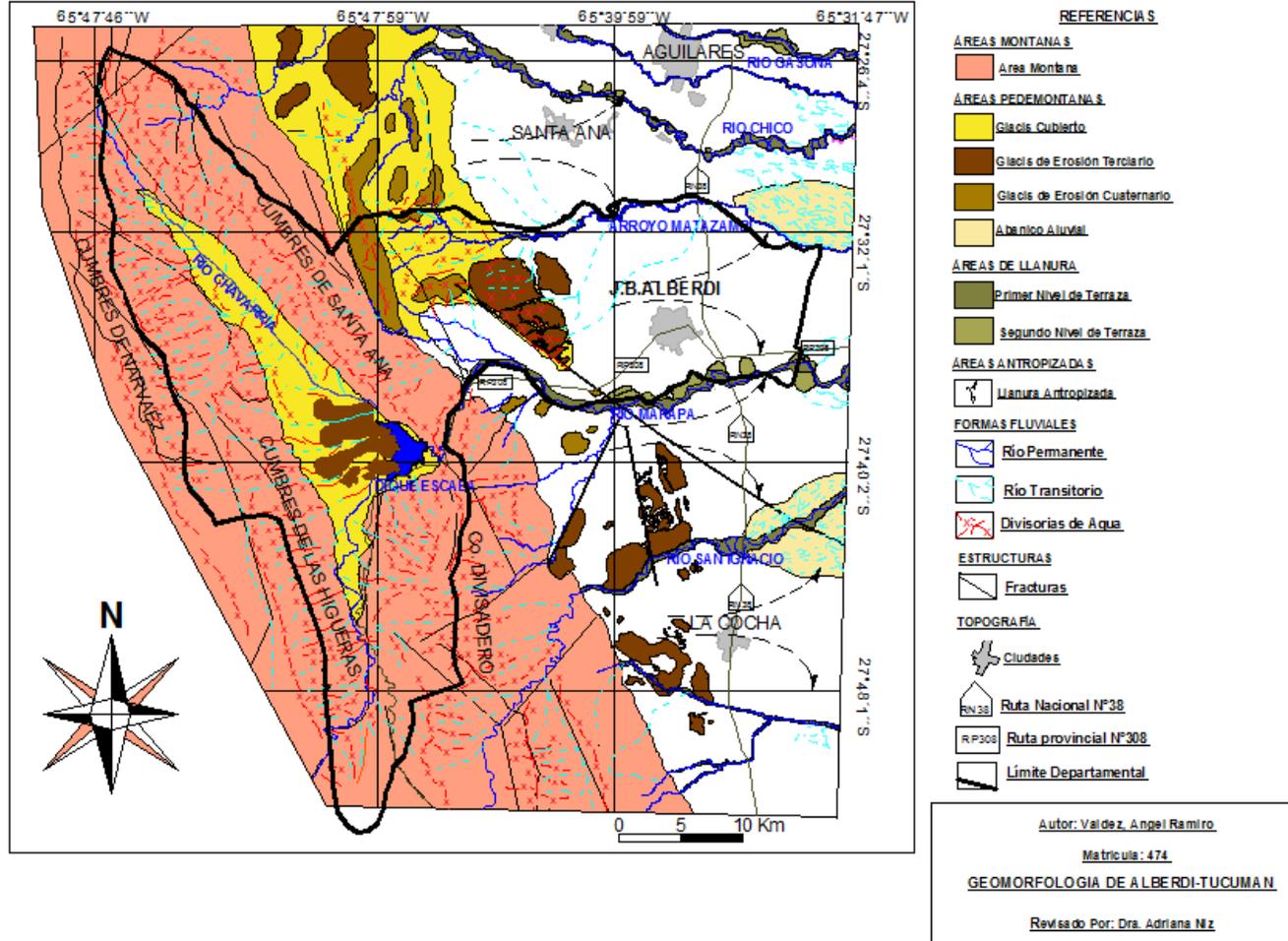
En cuanto al análisis de la alteración producida por la acción antrópica para este estudio, se centró la atención en la cuenca del Arroyo Matazambi, donde se identificó la gran alteración en los paleocauces, debido a la actividad agrícola que condujo al cambio de la dinámica hídrica en la zona, por ejemplo, el caso del arroyo Matazambi en el que se realizó desviación del curso para hacer uso de la llanura de inundación como suelo fértil destinado, como ya se dijo, a la actividad agrícola (Figura 29).

Esta problemática es común al piedemonte regional no se circunscribe solo al área de estudio, Gasparri et al. (2010) Constató la evidencia del proceso de deforestación en varios estudios a diferentes escalas donde se destaca la pérdida de masa forestal en manos de la agricultura en las zonas de llanura (la gran problemática que tiene este proceso de expansión agraria es la degradación de los suelos, y pérdida de su cobertura lo que evidencia un aumento de la erosión, pudiendo ser una causante de desertificación en un futuro).



**Figura 29.** En la imagen se puede visualizar los paleocauces (en naranja) productos de los cambios de la dinámica hídrica generadas como consecuencia de la actividad humana.

**CARTA GEOMORFOLOGICA DEL DEPARTAMENTO JUAN BAUTISTA ALBERDI-TUCUMAN**



**Figura 30.** Carta geomorfológica del departamento Juan Bautista Alberdi. En anexo se puede observar en tamaño A3.

### **4. 3 MORFOMETRIA**

Con los análisis morfométricos se logró delimitar cuales son las cuencas principales y los parámetros relacionados a la forma, el relieve y la red hidrográfica que interactúan en el departamento Juan Bautista Alberdi. En base al estudio y análisis de la zona se pudo determinar que el área está constituida por distintas cuencas: cuencas el río Chavarría, cuenca del río el Singuil, cuenca del río Marapa, cuenca del arroyo Matazambi (Figura 31).

La cuenca río Chavarría, nace del faldeo oriental de la sierra de Santa Ana-Escaba desplazándose por una falla regional que sigue un sentido dominante NNO-SSE.

La cuenca río El Singuil, nace en el faldeo occidental de la Sierra del Narvárez transitando una falla que limita la sierra de Narvárez al oeste y al este la sierra Humaya; el río Singuil cambia bruscamente su recorrido hacia el norte cuando se une al Arroyo el Chorro para encajonarse en el valle homónimo, limitado al norte por la Sierra de Balcozna y de Los Pinos; al sur por la Sierra de La Higuera. Con dirección S-N, siguiendo su curso por una falla que separa el Cerro Quico de La Higuera, para unirse con el río Chavarría formando el lago del Dique Escaba.

La cuenca del río Marapa tiene sus nacientes en las Cumbres de las Higuera y de Santa Ana, mantiene una orientación noroeste-sureste, nace de la confluencia de los ríos Singuil y Chavarría que descarga en el dique Escaba, desde este nace con el nombre de río Marapa, de carácter permanente. Este río modifica bruscamente su recorrido en la zona de La Calera producto de una falla regional originada posiblemente en el levantamiento andino, que elevó el Terciario en esta zona, provocando que el río Marapa desvíe sus aguas en dirección SE hacia el departamento La Cocha donde vuelve a cambiar de rumbo hasta entrar en la llanura en sentido oeste-este.

En el piedemonte recibe algunos afluentes de las laderas más orientales (Escaba y Cerro Quico) como, por ejemplo, el río San Ignacio en el departamento La Cocha, ingresa por su margen derecha al río Marapa cerca de la ciudad de Graneros, por lo que cambia su nombre a río Graneros. El río Graneros, a su vez, recibe los aportes, por su margen norte, como del arroyo Chileno y el Yanamayo, este último nace en una zona de vertientes y bañados al Sur del arroyo Matazambi, finalmente el río Graneros se une con el río Chico en el límite con Santiago del Estero para dar origen al río Hondo.

El arroyo Matazambi, por su parte, nace en las estribaciones septentrionales del Cerro Escaba, si bien, en un tiempo geológico pasado se comportaba como un tributario del río Medinas-Chico, la evolución y transformación de la dinámica hídrica han cambiado su curso haciendo que se comporte como un sistema propio, que drena hacia la desembocadura el Embalse Río Hondo donde forma un delta en forma de abanico (Figura 31).

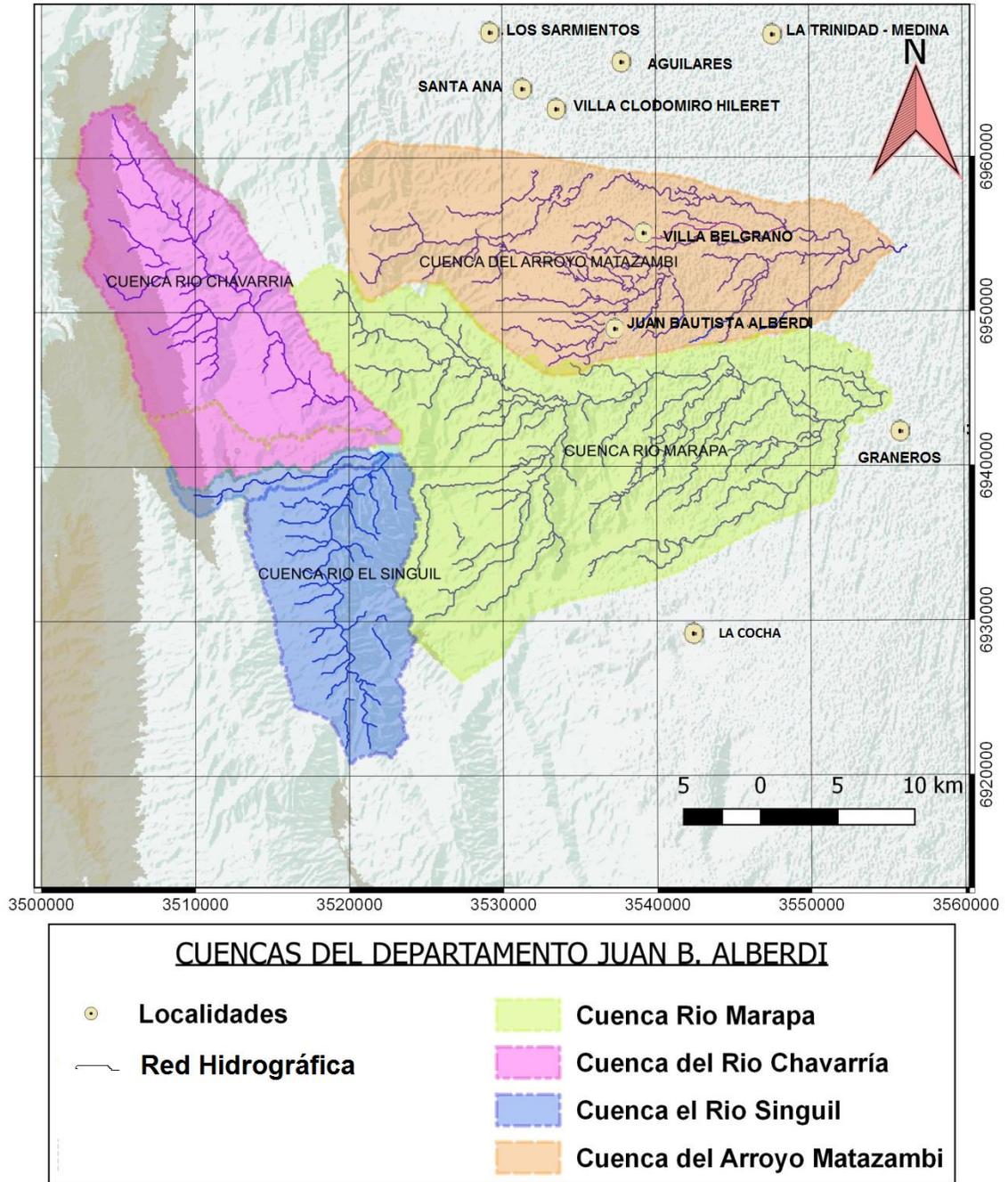


Figura 31. Cuencas que integran el departamento Juan Bautista Alberdi, Prov. de Tucumán.

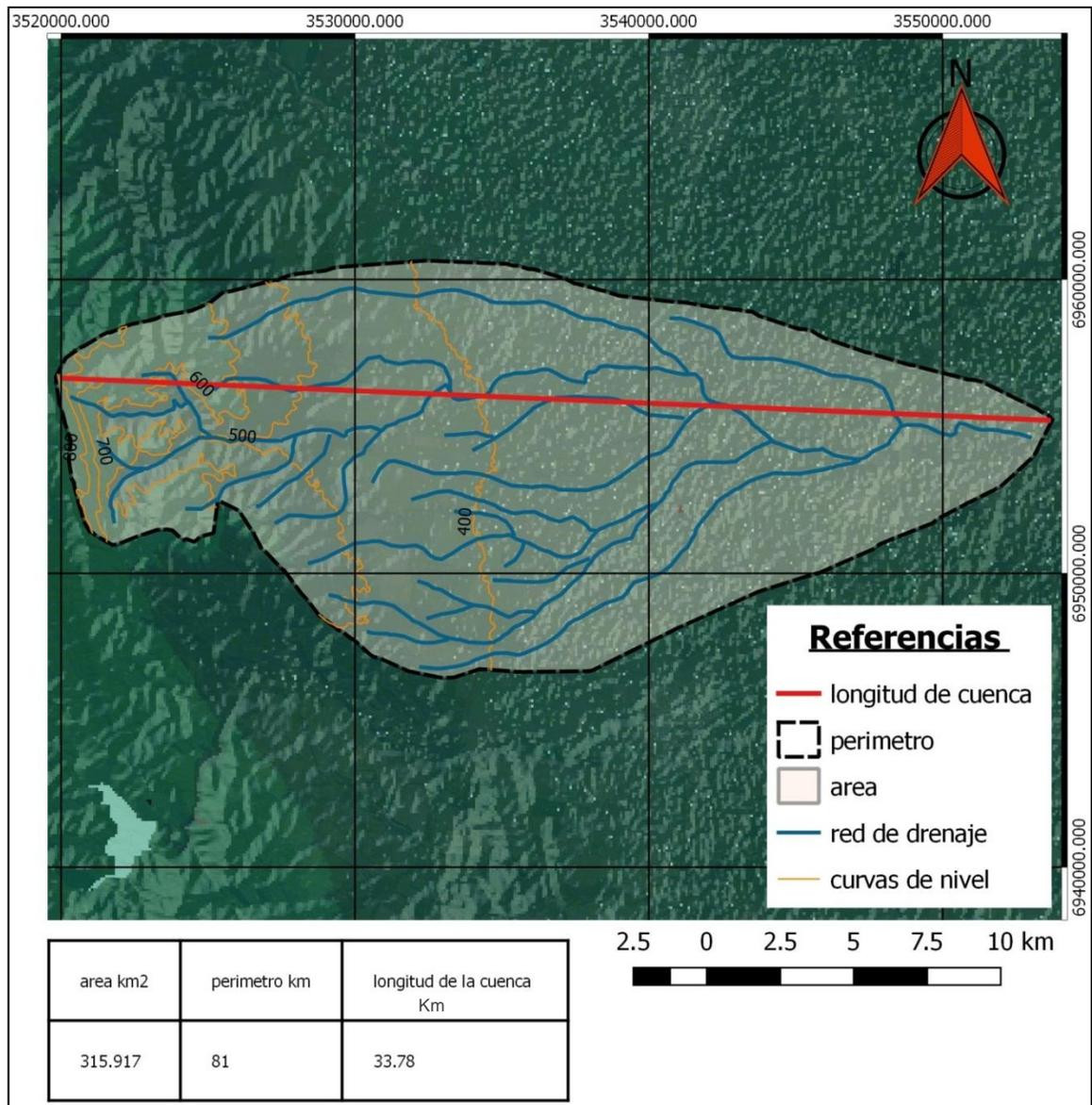
Del análisis de las propiedades geológicas estructurales y geomorfológicas, se desprende que la cuenca responsable del riesgo hídrico en el departamento J.B. Alberdi, es la cuenca del Arroyo Matazambi, ya que realiza aportes directos en el área de estudio y cuyo escurrimiento podría ser el causante de la problemática, por esta razón es que se centra el análisis morfométrico en la cuenca del Arroyo Matazambi.

En base al estudio del modelo de elevación digital se pudo delimitar la cuenca del área de estudio, donde se destaca la distribución de la red de drenaje y se mensuraron las propiedades físicas.

#### **4. 3. 1 Características físicas**

##### **Configuraciones del terreno**

La cuenca del cauce del Arroyo Matazambi se extiende sobre un área de 315.917 km<sup>2</sup>, el área es una de las características importantes de una cuenca, esta depende del volumen de captación y los escurrimientos que en esta infieran. El perímetro obtenido para la cuenca es de 81 km estos valores fueron calculados con ayuda del programa QGIS indicando que se trata de una cuenca de características intermedia-pequeñas y la longitud de la cuenca es de 33,78 km. (Figura 32).



**Figura 32.** Descripción del área, perímetro y longitud de la cuenca del arroyo Matazambi.

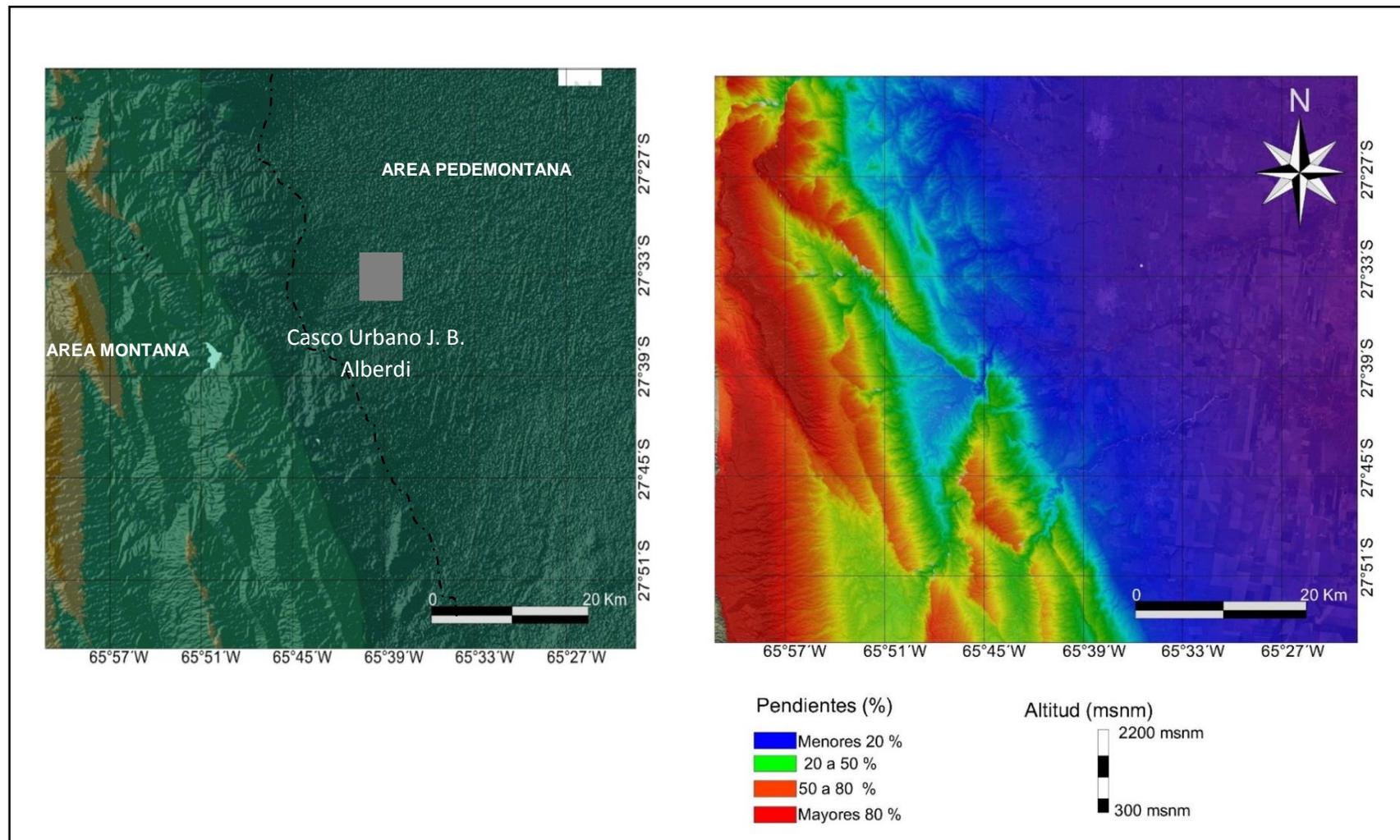
**Ancho de la cuenca (B):** Para el área de estudio se determinó:

$$B = 315,917 \text{ km}^2 \div 33,78 \text{ km} = 9,35 \text{ km}$$

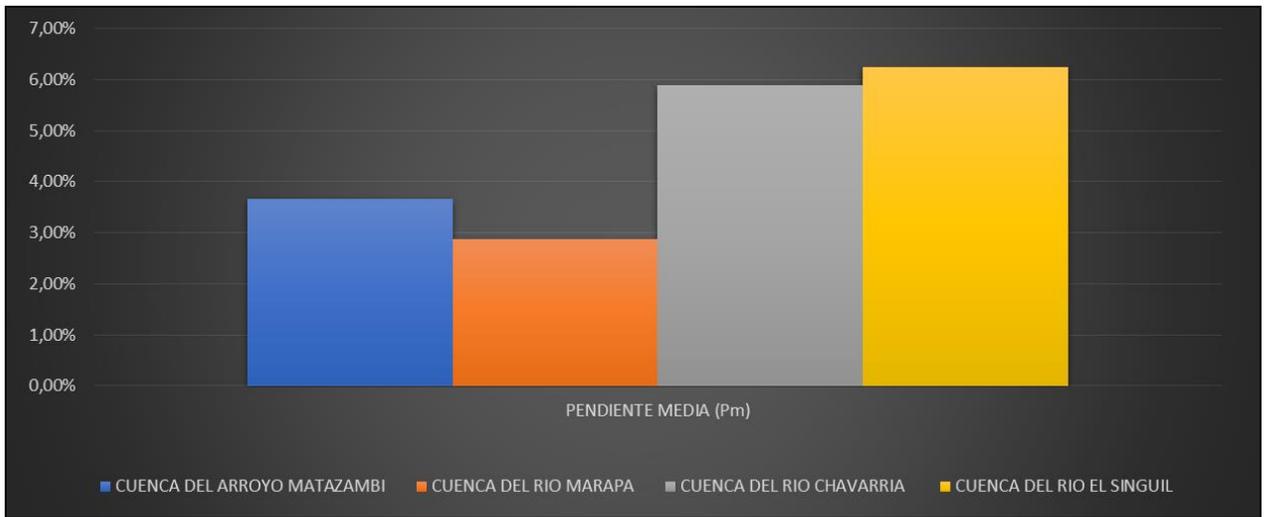
**La orientación:** Para la cuenca del arroyo Matazambi la orientación es oeste-este.

**Pendiente media de la cuenca (PMC):** Para el área de estudio, de acuerdo con la figura 33 obtenida, con el software QGIS 2.1, se pueden observar los porcentajes de pendientes para los distintos relieves presentes en el área. Nótese el marcado contraste entre las áreas de serranías (hacia la izquierda de la imagen) y las áreas pedemontanas (hacia la derecha de la imagen).

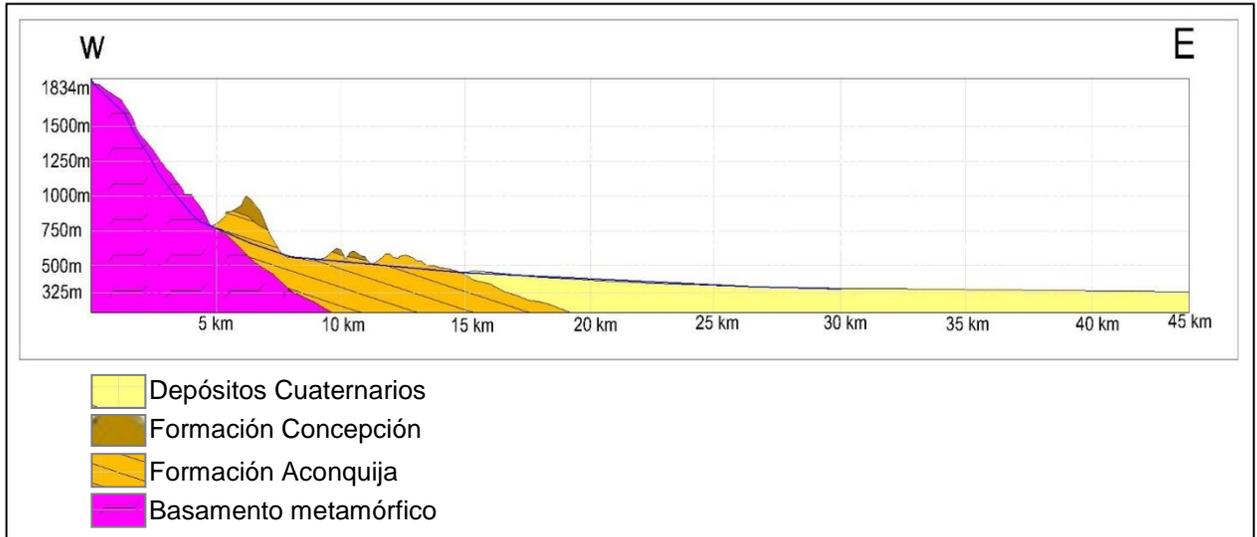
Asimismo, es posible ver en la figura 34 las pendientes medias de la cuenca del arroyo Matazambi interactuando con las distintas cuencas del área de estudio resultado un valor de pendiente media de 4%. La figura 35 que nos muestra el perfil longitudinal del cauce del arroyo Matazambi observándose la variación del relieve.



**Figura 33.** Mapa de pendientes para el área de estudio. Se observa las características del terreno, en lo que se refiere al relieve, destacando las áreas de mayor y menor altitud.



**Figura 34.** Cálculo de pendiente medias para las cuencas del área de estudio.



**Figura 35.** Perfil de elevación de la cuenca del arroyo Matazambi donde se puede observar la variación de la pendiente.

**Factor de forma (Kf):** Según el cálculo realizado, el valor del factor de forma (Kf) para el arroyo Matazambi es igual a 0,27, esto significa, que cuando Kf toma valores menores o iguales a 1 se trata de cuencas alargadas con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

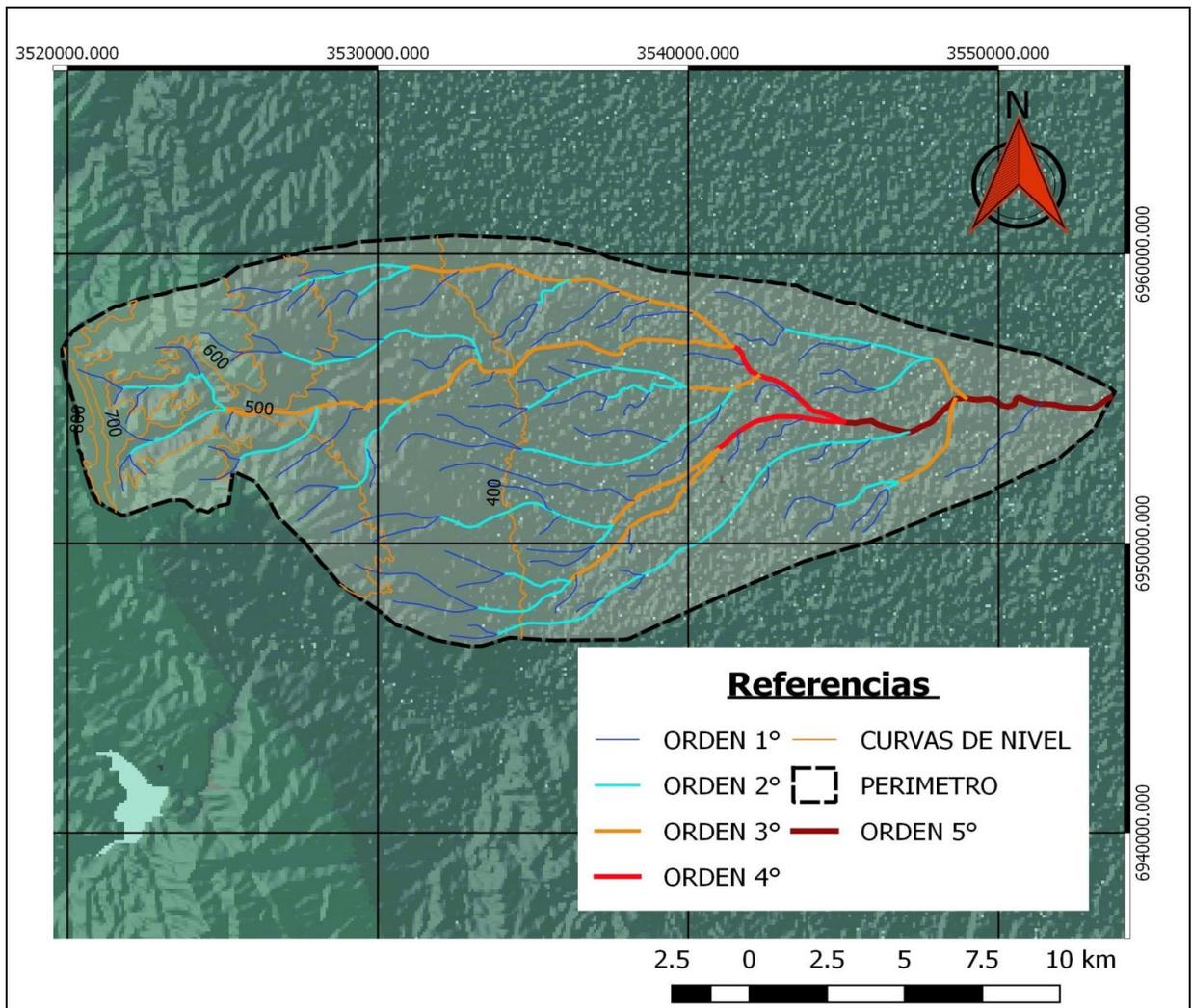
**Coficiente de compacidad (Kc):** Kc para este caso tiene un valor de 1,31, este se ubica en el rango de una cuenca ovalada. Ver tabla 4.

Índice de compacidad Kc	Forma
1,00 a 1,25	Redonda o circular
1,25 a 1,50	ovalada
1,50 a 1,75	oblonga

**Tabla 4.** Forma de la cuenca en relación con el valor del coeficiente de compacidad.

**Relación de elongación (Re):** El valor de relación de elongación (Re) en la cuenca del Arroyo Matazambi es de 0,67, valor que indica que se trata de cuencas planas con variaciones locales en el relieve.

**Orden de los cauces:** De la aplicación del método descrito precedentemente, la cuenca del Arroyo Matazambi corresponde a un orden 5, lo cual implica que se trata de una cuenca jerarquizada respecto de la red de drenaje (Figura 36).



**Figura 36.** Figura en la que es posible observar, de acuerdo con el método propuesto por Horton, el orden de la cuenca del arroyo Matazambi.

**Relaciones de bifurcación (Rb):** Este factor fue calculado en base a el complemento SAGA del SIG (QGIS) donde, partiendo de la generación del Digital Elevation Model (DEM), se pudo generar la red de drenaje, y a partir de ella definir el número de orden de los cauces, la cantidad de cauces con ese número de orden como sigue:

Orden del cauce	Resultados QGIS.	Total
Orden 1	82	1,95
Orden 2	42	1,90
Orden 3	22	3,14
Orden 4	7	1,75
Orden 5	4	

*Tabla 5. Relación de bifurcación dato generados por Qgis.*

De la aplicación de la fórmula correspondiente el Coeficiente de bifurcación es de 2,18. Este valor indica que se trata de una cuenca con baja densidad de drenaje.

**Densidad de drenaje (Dd):** El valor de  $D_d$  para la cuenca es de 0,09 km/km<sup>2</sup>, corresponde al rango **menor a 0,44 km/km<sup>2</sup>**, lo que significa que es una cuenca mal drenada con materiales resistentes a la erosión, suelos muy poco permeables y pendientes suaves.

**Porcentaje de longitud de ríos de cada orden (LnO):** los valores de longitud de los ríos de la cuenca del arroyo Matazambi son:

Orden de cauce	Longitud de ríos para cada orden (%)
Orden 1	0,18
Orden 2	0,41
Orden 3	0,47
Orden 4	0,10
Orden 5	0,26

*Tabla 6. Se indican los valores de longitudes ríos para cada orden.*

**Frecuencia de ríos (Fr):** El número total de los cauces de la cuenca es de 157, divididos en 315,917 Km<sup>2</sup> que corresponde al área de la cuenca, se obtiene una frecuencia de río de 0,49 cauces/Km<sup>2</sup>.

**Relación de longitud (RI):** La relación de longitud para el área de estudio corresponde a un valor de 1,28. Este factor fue calculado en base al complemento SAGA en el SIG. (QGIS) donde, partiendo de la generación del Digital Elevation Model (DEM), se pudo generar la red de drenaje, y a partir de ella se pudo definir las longitudes de cada orden para poder ser aplicadas en fórmulas que se emplearan a continuación (Tabla 7).

Orden	Longitud media de orden	Relación de longitud
Orden 1	1,95	
Orden 2	3,54	1,81
Orden 3	6,85	1,23
Orden 4	3	0,43
Orden 5	5	1,66

**Tabla 7.** Valores de la relación de longitud.

**Coefficiente de almacenamiento hídrico (RHO):** para el área de estudio es de 0,586 lo que indica una cuenca con pobre almacenamiento de agua de lluvias.

Relación de bifurcación	Relación de longitud	Coefficiente de almacenamiento
2,18	1,28	0,586

**Coefficiente de torrencialidad (Ct):** El valor de la cuenca del arroyo Matazambi es de 0,50 indicando una baja tolerancia y por consiguiente poca erosión.

**Longitud media de los ríos de Orden 1 (Lm1):** El valor obtenido de Lm1 es de 11,71, lo cual indica el alto grado de capacidad de captación de agua en un menor tiempo y el mayor tiempo de duración del escurrimiento directo, también llamado tiempo base.

**Tiempo de concentración (Tc):** El tiempo de concentración de la cuenca en estudio, es de 2 horas desde la generación del escurrimiento hasta el punto de salida (cota menor).

Cota mayor	Cota menor	Longitud del cauce
830 msnm	328msnm	38,10 km

#### 4. 4 ACTIVIDAD ANTROPICA

En los últimos 20 años de manera periódica, el área de estudio ha estado expuesta a inundaciones que afectaron distintas zonas urbanas. Atendiendo a esta problemática es que se evalúan datos desde el año 1992 al 2017, proponiéndose el análisis de las relaciones entre los procesos naturales y las acciones sociales que influyen en la problemática hídrica, para determinar las posibles causas de los mismos (Figura 37).

A continuación, se mencionan las posibles causas de inundaciones en el departamento Juan B. Alberdi:

- La gran expansión agrario en el cultivo de cítricos, caña de azúcar y tabaco de las zonas del piedemonte de la subcuenca de arroyo Matazambi, que implica desmonte,

nivelación, aperturas de vías internas de conducción y traslado de maquinaria, produjo la alteración y metamorfosis de la dinámica hidrogeomorfológica de esta subcuenca.

- El crecimiento antrópico en las periferias del casco urbano central y la apertura de nuevos accesos han dejado vulnerables algunas zonas de la ciudad, produciendo la saturación de los canales, a lo que sumado a la falta y/o ineficiente mantenimiento de estas obras, son frecuentes los desbordamientos que implica el ingreso de aguas en diferentes barrios de la ciudad y que se produzcan anegamientos de variada intensidad, en algunos casos deja a la población sin sus viviendas.
- Por último, no se puede dejar de mencionar la geología y los eventos climáticos naturales que azotaron en distintos periodos en las épocas de lluvia de febrero-abril al departamento y que han sobrepasado al promedio. La falta de datos constituye un problema a la hora de tratar de registrar valores puntuales extraordinarios en algunos casos, definir más exactamente el impacto del evento climático y predecir con mayor exactitud la respuesta ante estos eventos futuros.



**Figura 37.** Fotografía aérea del Barrio Belgrano, Ciudad de Alberdi, abril de 2017.

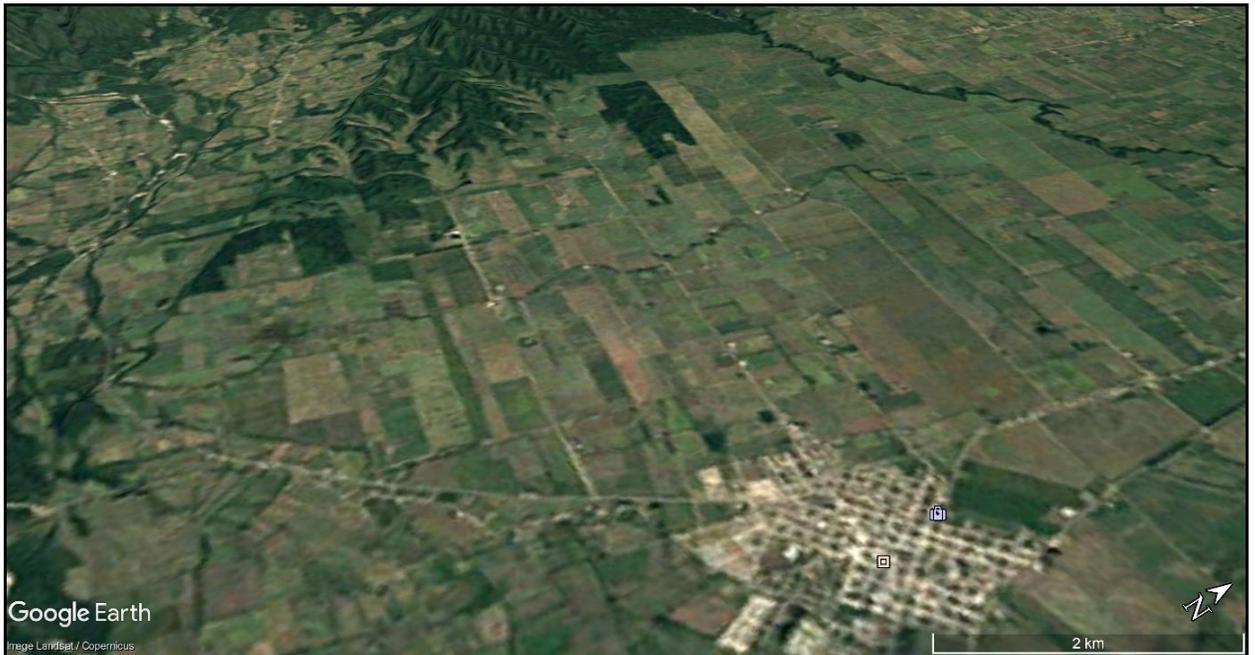
#### **4. 4. 1 Expansión agraria y uso del suelo en el área de estudio**

Si bien en este trabajo se ha centrado en definir la influencia de la actividad antrópica en el uso del suelo, y no en el estudio de las propiedades físicas de los suelos en la zona de estudio, no se puede dejar de mencionar que existen condiciones particulares que han permitido la evolución casi normal de los tres horizontes edáficos, que por las características climáticas suelen tener una capa orgánica muy desarrollada, resultante además de la existencia de formaciones vegetales bien desarrolladas, Y de acuerdo con Zuccardi y Fadda (1985) en esta zona predominan los suelos sueltos, con material granular grueso, en parte lavado, ricos en

materias orgánicas y definidos en la clasificación FAO como suelos del orden de Molisoles y de distribución compleja y asociados a los “Hapludoles fluvénticos”, “Hapludoles cumúlicos” y “Hapludoles acuicos”. El origen de estos suelos proviene de la disgregación y alteración de las rocas que forman el sistema del Aconquija y que han sido transportados por los ríos.

En el análisis del cambio de la propiedad del suelo de la zona de estudio, se enfatiza en la gran problemática de desmonte generados por expansión antrópica-agraria sobre ecosistemas naturales existentes en el área. Con ayuda del análisis de imágenes satelitales se pudo analizar la zona en los años 1994-2006 y 2012-2017 (Figuras 38 a 41).

Gasparri et al. (2010), Volante et al. (2012) indicaban que la transformación territorial está vinculada con la expansión de la agricultura sobre ecosistemas naturales, principalmente en ecosistemas boscosos. Asimismo, en la región del NOA (Noroeste Argentino) se constató la presencia del proceso de deforestación en varios estudios a diferentes escalas donde se destaca la pérdida de masa forestal en manos de la agricultura en las zonas de llanura. La gran problemática que tiene este proceso de expansión agraria es la degradación de los suelos, y pérdida de su cobertura lo que evidencia un aumento la erosión, pudiendo ser una causante de desertificación en un futuro. Es por ello que, el aumento de la degradación y la pérdida de las propiedades físicas del suelo por la expansión agraria es uno de los factores principales a la hora de analizar el riesgo hídrico en el departamento Alberdi.



**Figura 38.** J. B. Alberdi año 1994. Aun no se observan cambios significativos en el piedemonte debido a la expansión agraria por el cultivo de cítricos (señalado en rojo). Casi el 100% de la zona se cultiva caña de azúcar. Imagen extraída del Google Earth.



**Figura 39.** J. B. Alberdi en el año 1994, se puede ver el comienzo de las plantaciones de cítricos es un 20% del total (señalado en rojo). El resto sigue correspondiendo a los cultivos de caña de azúcar, los cambios en el piedemonte no son considerables. Imagen extraída del Google Earth.



**Figura 40.** J. B. Alberdi año 2006. Se puede observar el aumento de la alteración del piedemonte por las plantaciones de cítricos a un 30% (señalado en rojo). Imagen extraída del Google Earth.



**Figura 41.** J. B. Alberdi año 2016. En la imagen puede observarse el avance de la plantación de cítricos hacia zonas de mayores pendientes (señalado en rojo). Imagen extraída del Google Earth.

La expansión agraria por el cultivo de cítricos entre 1994-2016 evidenció el desmonte y la gran pérdida de los bosques nativos de la zona, producido en el piedemonte de la subcuenca del arroyo Matazmbi. Estos cambios están distribuidos espacialmente en la zona de transición entre el piedemonte inferior, con mayores pendientes, y la zona de llanura, en esta se observa mayor pérdida en áreas perfluviales que estaban cubiertas por caña de azúcar en los años 1994-1999. Estas modificaciones por causas de estos cultivos generan una enorme degradación fluvial-pluvial dejando expuesta a las zonas de baja pendiente a problemas de riesgo hídricos acrecentándolos por las canalizaciones no controladas que acompañan al proceso de expansión agraria en el departamento.

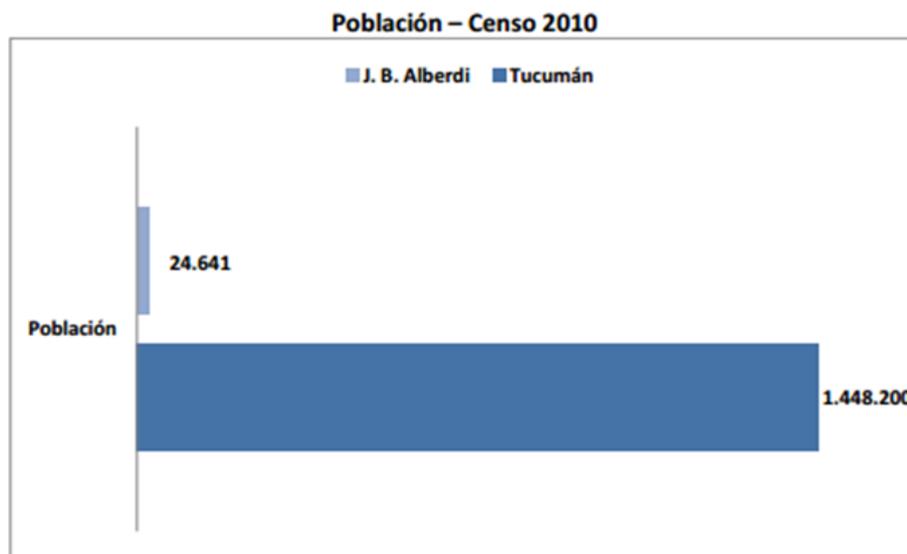
#### **4. 4. 2 Expansión antrópica**

La expansión antrópica o crecimiento demográfico es una problemática no solo en la provincia de Tucumán, sino que es un factor importante a nivel nacional cuando no se toman las normas correspondientes de ordenamiento territorial. Un claro ejemplo, se vio en la capital de la provincia, donde el gran crecimiento antrópico en los últimos 50 años dio como resultado la urbanización en la periferia de la ciudad y municipios que lo integran, dando origen a la denominada Área Metropolitana de San Miguel de Tucumán (AMeT), conglomerado de aproximadamente 870.000 habitantes (65% del total provincial) conformado por los municipios y comunas rurales aledaños (parte del mismo denominado Gran San Miguel de Tucumán GSMT por el INDEC en los censos nacionales) y del que la ciudad de San Miguel de Tucumán constituye el centro geográfico, histórico y funcional.

En definitiva, el crecimiento demográfico es un factor importante a la hora de centrar el estudio en el riesgo hídrico de un área, ya que lleva consigo grandes modificaciones a los ambientes naturales no controladas, como es el caso de la impermeabilización de los suelos, modificación de la cota del suelo, la alteración de los cursos de agua y la construcción de nuevas vías de accesos que actúan como afluentes de la escorrentía cuando son azotadas por eventos climáticos extraordinarios, que significan son una de las amenazas latentes que estimulan a la vulnerabilidad social.

La problemática expansión antrópica o crecimiento demográfico es una amenaza de riesgo hídrico poblacional en torno al recurso superficial como dijo Bertoni (2004). El crecimiento de las ciudades produce una modificación en los ecosistemas naturales modificando su relieve y alterando cursos de agua con obras de rectificación de los cursos, canalización y entubamiento. Estas modificaciones proporcionadas por la expansión urbana y los factores propios de la región pueden contribuir a que se produzcan grandes problemas hídricos, siendo estas uno de los problemas ambientales más frecuentes en una ciudad.

En el departamento Juan Bautista Alberdi, de acuerdo con el último Censo Nacional -2010-, contaba con una población de 24.641 habitantes, lo que representaba un incremento de la misma en un 6,48% con respecto al 2001. Para el año 2010 la población de Juan Bautista Alberdi (centro) representa, un 81,5% de la población total del departamento Juan Bautista Alberdi y también un 1,70% de la población de la provincia de Tucumán, manteniéndose en similares valores que en el año 2001 (Figura 42).



**Figura 42.** Población de J. B. Alberdi en referencia con la población total de la provincia de Tucumán. Datos extraídos Municipalidad de Alberdi en base a del CENSO 2010.

Población proyectada (Departamento Juan Bautista Alberdi) es una estimación de la población, teniendo en cuenta los nacimientos, defunciones y migraciones. Se puede concluir que la proyección del crecimiento de la población total en el periodo 2010-2015 es del 4.5% (Tabla 8).

Ejemplo:

$$Pf = Pi * (1+r)^n$$

$$Pf = 24641 * (1+0.0648)^5$$

Pf= 26258 habitantes aproximadamente proyectados al 2015.

Ciudad	Población 2010	Tasa %	Población 2015	Población 2020	Población 2025	Población 2030
J. B. Alberdi	24.641	6.8	33.728	46.167	63.194	86.500
Yanima el Corralito	1250	6.8	1711,0	2342,01	3205,75	4388,04
Comuna de Villa Belgrano	5000	6.8	6844	9368,07	12823,02	17552,17

**Tabla 8.** Estimación proyectada de la población para el departamento Juan Bautista Alberdi.

Los efectos del crecimiento antrópico junto con los eventos climáticos extraordinarios, benefician al riesgo hídrico, las problemáticas son varias y estas se ven agravadas si la población afectada no tiene la capacidad suficiente de amortiguar o evitar estos efectos. La situación general que deben afrontar los afectados es de un importante deterioro en su calidad de vida.

Atendiendo a la problemática es que se realiza un análisis multitemporal para la ciudad de J.B. Alberdi (Figuras 43 a 46).



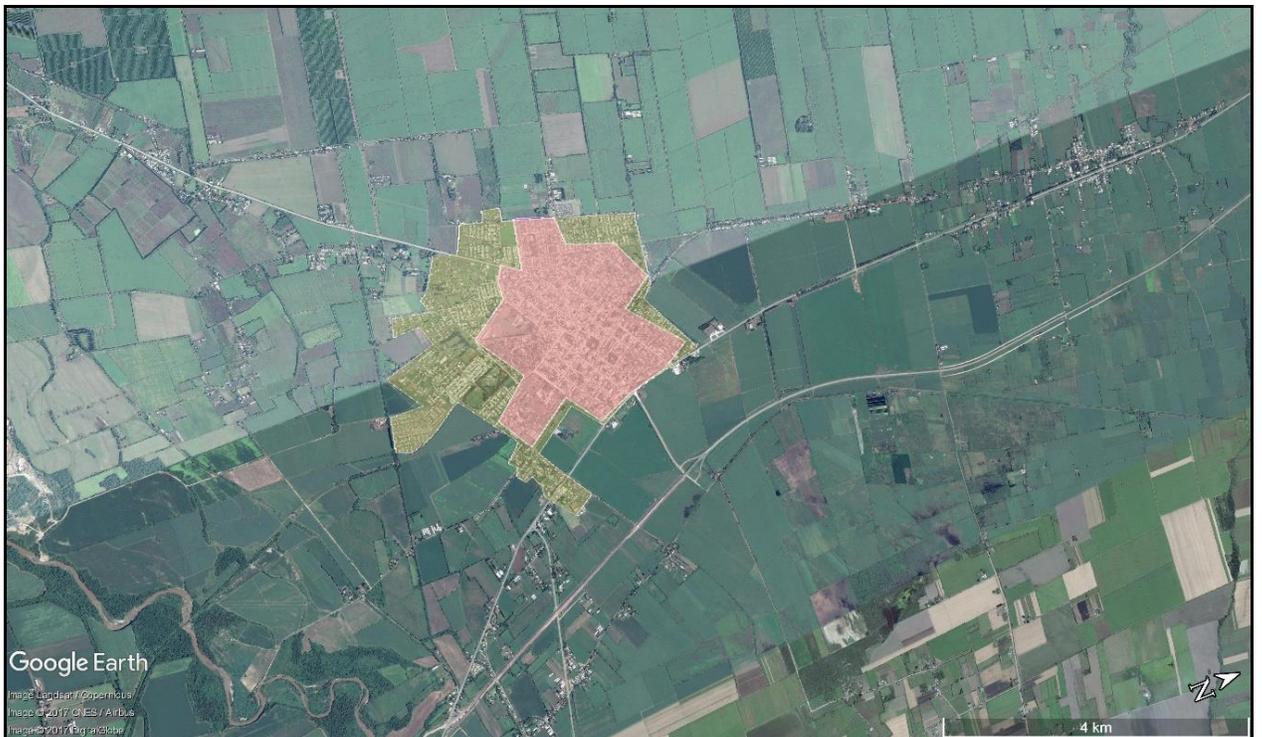
**Figura 43.** Juan B. Alberdi en el año 1984, notándose en color la distribución urbana en ese año.



**Figura 44.** Juan B. Alberdi en los años 1984-1994. Puede observarse el aumento de la densidad y la distribución de la población en el transcurso de 10 años. De color rojo claro población en el año 1984, en amarillo población en el año 1994.



**Figura 45.** Juan B. Alberdi en los años 1994-2008. En este periodo la distribución de la población no ha sido tan significativa como en el periodo 1984-1994. De color amarillo oscuro la población en el año 1994, de amarillo claro población en el año 2008.



**Figura 46.** Juan B. Alberdi en los años 1984-2016. Nótese como se modificó el ambiente desde el año 1984 al 2016 donde se evidencia una gran expansión demográfica de la ciudad.

En este análisis de la evolución, entre los años 1984-2016, se observa el gran crecimiento antrópico de la ciudad, comprobando que la principal problemática no es incremento de la población, sino las actividades que acompañan a este incremento, como por ejemplo la impermeabilización del suelo o la modificación del curso natural de los cauces, en torno del riesgo hídrico las problemáticas más comunes son las inundaciones que afectan a la población. En el departamento Juan B. Alberdi, son diversos los sectores que tienen problemas de inundación, algunos como consecuencia del desborde de los cursos de agua y de los canales de riesgo o por la falta de mantenimiento de infraestructura de estos mismos, (Figura 47), que, en tiempos de mayores caudales de agua, no poseen las dimensiones necesarias para canalizar la gran cantidad de agua que les llega del sector del piedemonte.



**Figura 47.** Barrió Belgrano de la ciudad de J. B. Alberdi afectados por las aguas en abril del 2017 producto del desborde del canal de desagüe a la altura del puente de acceso.

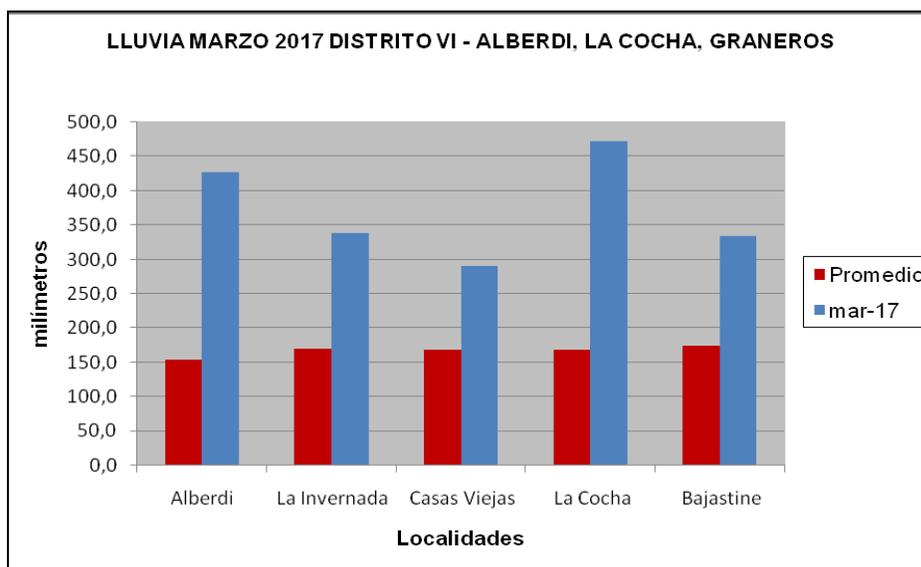
En la figura 47 se observa uno de los barrios afectados, de los tantos que pasan por la misma situación. La problemática se da cuando produce una acumulación en el canal de riego llamado “Canal del Norte” o “Puente del medio”, que surca el piedemonte con dirección S-N, donde este intercepta parte del escurrimiento de los canales naturales de arroyo Matazambi, si bien este canal podría evitar los daños en los centros urbanos (si lo refaccionan), al ser un canal de riego no tiene las dimensiones necesarias para aceptar y conducir la totalidad de los aportes. Este también muestra las características propias de un mal diseño en la construcción de

puentes, debido a que no tiene la luz necesaria para el volumen de agua que se genera en el tiempo de verano, esto provoca la rotura constante del canal, generando riego hídrico en la ciudad de J. B. Alberdi y zonas aledañas.

#### 4. 4. 3 Eventos extraordinarios

A pesar de la inexistencia de un registro climático adecuado, hay constancia de que las lluvias durante marzo y abril han sido superiores al promedio en las cuencas alta y media, registrándose valores puntuales extraordinarios en algunos casos. Como menciona Avellaneda, (2014) en las "Hidrostratigrafía de la Cuenca del Río Marapa" los estudios en esta zona registraron un incremento del promedio anual de precipitaciones en el período considerado entre 1961-1990 con respecto al período anterior 1901-1950 en aproximadamente 230 mm para el este del área de estudio. En el centro, el incremento fue de 272 mm y hacia el piedemonte se observa un crecimiento de 160 a 300 mm. Este fenómeno climático se ha denominado «Salto Climático (SC)» (Minetti y Vargas, 1998) y obedece al crecimiento sostenido de las precipitaciones desde la década de 1950 en adelante, impactando en el rendimiento de los cultivos como la caña de azúcar, soja y maíz.

De acuerdo con datos extraoficiales, hacia fines de marzo del 2017 se presentó un evento extraordinario con una precipitación total de cinco a seis horas del orden de los 270 mm, con sectores donde ésta alcanzó 500 mm. El total de lo precipitado hacia fines de marzo y primeros días de abril ha superado a la media histórica del trimestre Enero-marzo en más de la mitad del total del trimestre (Figura 48).

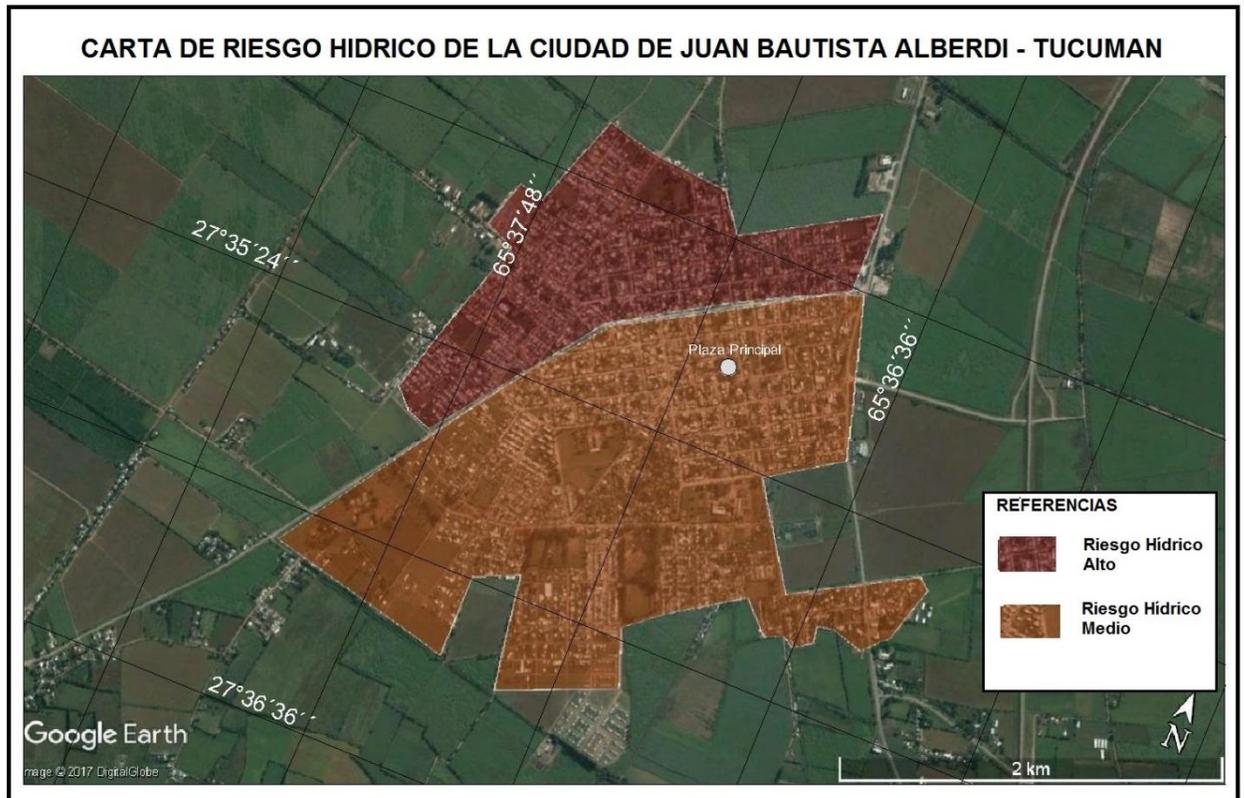


**Figura 48.** Precipitaciones en marzo de 2017 comparado con la precipitación promedio anual del departamento J. B. Alberdi registros de lluvias Ing. Aníbal Comba Dirección de Recursos Hídricos Secretaría de Estado de Medio Ambiente Ministerio de Desarrollo Productivo Provincia de Tucumán. Por lo que se podría atribuir un rol predominante en los eventos de riesgo hídrico en el departamento Alberdi al incremento sistemático de las precipitaciones en los últimos años, lo

que implica carecer de la oportunidad de anticipar estos sucesos, que también están influenciados por la intensa modificación antrópica; falta de obras y escasas y/o ineficiencia en el mantenimiento de las ya existentes, etc., lo cual se puede interpretar como algunos de los factores importantes a la hora de tratar de gestionar el riesgo hídrico del departamento Alberdi.

Realizando la estimación de las áreas afectadas por inundaciones en los últimos tiempos, se confeccionó una carta de riesgo hídrico para el área (Figura 49).

Sin dudas que la ciudad de Juan Bautista Alberdi se encuentra fuertemente afectada por las condiciones climáticas, en especial en verano, sin embargo, en algunas zonas el riesgo hídrico es mayor que en otras, esto está condicionado por la disposición de los asentamientos urbanos de acuerdo con el relieve. Las áreas con riesgo alto se encuentran en zonas más deprimidas y las áreas con riesgo medio se encuentran en zonas ligeramente más elevadas. Esta diferencia en las altitudes se encuentra delimitada por la traza del canal de riego, el que se tomó como referencia para la confección de la cartografía.



**Figura 49.** Se define en forma general las áreas, ante riesgo de tipo hídrico en el departamento Alberdi.

# CAPITULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



## 5. 1 CONCLUSIONES

1. Se ubica en la provincia geológica de Sierras Pampeanas. El basamento está constituido por rocas cristalinas metamórficas e ígneas compactas, que forman un manto casi impermeable, sobre las que se encuentran depósitos de edad Terciaria y Cuaternaria.
2. Desde la perspectiva climática, se caracteriza precipitaciones torrenciales en los meses de verano, y que éstas se han incrementado en volumen e intensidad, potenciados por el cambio climático que se manifiesta en las últimas décadas.
3. De los análisis realizados se desprende que la cuenca responsable de generar las condiciones que conducen al riesgo hídrico en el departamento J.B. Alberdi, es la cuenca del Arroyo Matazambi (realiza aportes directos en el área de estudio). Situación favorecida por las pendientes elevadas que hacen que la escorrentía prevalezca sobre la infiltración del agua de lluvia, al mismo tiempo potenciado por la intensa influencia de la actividad antrópica.
4. En áreas serranas prevalece la escorrentía sobre la infiltración del agua de lluvia, la capacidad de infiltración del agua superficial en áreas pedemontanas posee condiciones favorables del suelo y el subsuelo superficial para transportar y acumular el agua en las primeras napas freáticas, que, luego de reiteradas precipitaciones, se saturan generando inundaciones.
5. Desde el punto de vista geomorfológico, se logró identificar las unidades geomorfológicas: Área Serrana donde se pudo observar la gran influencia estructural, moldeado por la acción fluvial que desarrollo el paisaje. Área Pedemontana donde se identificaron distintas geoformas, entre ellas: glacis cubierto, glacis de erosión Terciario, glacis de erosión Cuaternario, depósitos loésicos suavemente ondulados. Área de llanura: donde se destaca la llanura aluvial, los abanicos y las terrazas fluviales de los cauces principales.
6. Las geoformas muestran el significativo impacto de la acción antrópica, que en la zona de piedemonte contribuyó a la metamorfosis de los cauces, lo cual se demuestra en el estudio multitemporal realizado. Además, la gran problemática que genera el impacto de la actividad antrópica es la degradación de los suelos, y pérdida de su cobertura vegetal natural, lo que repercute en un aumento de la erosión, incrementando el riesgo hídrico.
7. La morfometría ratifica que la cuenca del arroyo Matazambi es una cuenca plana con variaciones locales en el relieve, que existe, además, un marcado contraste entre las pendientes de áreas serranas y áreas de llanura, lo cual genera, en primera instancia, la llegada repentina de la escorrentía y un posterior drenaje lento representado por los valores de coeficiente de almacenamiento hídrico. La relación de longitud de los cauces con valores 1,8 evidencia mayor energía concentrada en un tiempo corto, y que seguramente corresponde a áreas serranas. Asimismo, la cuenca corresponde a una cuenca alargada con valores de relación de bifurcación de 0,27 y valores de coeficiente de compacidad de 1,31, esto la ubica en el rango de una cuenca ovalada, y permite inferir que la misma tiene muy buena capacidad de captación de aguas de lluvia, por lo tanto, es más propensa a tener problemas de crecidas (alto grado de riesgo de

inundaciones), en base a los valores de densidad de drenaje (con valores de 0.09 Km/Km<sup>2</sup>) y el porcentaje de longitud de los ríos, se pudo determinar que se trata de una cuenca baja, mal drenada con materiales resistentes a la erosión y suelos poco permeables.

8. El área de estudio corresponde a una zona que se encuentra expuesta a riesgo hídrico (principalmente en época de verano). Se podría atribuir un rol predominante en los eventos de riesgo hídrico, por un lado, a las modificaciones climáticas con incremento sostenidos de las precipitaciones y, por el otro, a la acción antrópica.
9. El impacto de la actividad antrópica se manifiesta de dos formas: la primera, en la zona del piedemonte, evidenciada por la expansión de la actividad agrícola, que es una de las principales responsables de desmonte y alteración de la dinámica hidrogeomorfológica. Por ejemplo, la gran degradación pluvio-fluvial que generan los cultivos de cítricos en las áreas pedemontanas, dejando expuestas las zonas de llanura a riesgo de inundación; la segunda, se manifiesta a través del crecimiento demográfico en el departamento Alberdi, generándose modificaciones en los ambientes naturales. Por ejemplo, las impermeabilizaciones de suelo o la modificación en los cursos de agua, sin considerar un mínimo marco de ordenamiento territorial, probablemente por la falta de conocimiento de las normas pertinentes por parte de los organismos correspondientes.
10. De acuerdo con la carta de Riesgo Hídrico generada, se puede inferir que el 30% de la población se encuentran en los niveles de riesgo muy alto y alto. El 70 % de población restante se encuentra entre los niveles medios.

## **5. 2 RECOMENDACIONES**

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, se recomienda:

- Realizar estudios generales del área del departamento resaltando la importancia en la investigación de las características hidrológica, climáticas, topográfica, geológica y de teledetección (imágenes satelitales, fotografías aéreas, etc.) para, con ello, generar y/o complementar las bases de datos sobre las que se deben concebir y apoyar los diferentes estudios técnicos sobre el riesgo hídrico. Por ejemplo, confeccionar un mapa de detalle de riesgo hídrico de la ciudad del Juan Bautista Alberdi con el soporte de imágenes satelitales y comprobaciones en campo.
- Realizar mejoras en el Plan de Ordenamiento Territorial del Departamento desde el punto de vista ambiental y uso de suelo. Por ejemplo, realizar capacitaciones que traten advertir a las comunidades locales y rurales, de las actividades que deben realizarse en los diferentes medios y obras a ejecutar en la zona, para enfrentar adecuadamente los peligros de inundaciones y mitigar su impacto.
- Aconsejar restricciones en el uso del suelo desde la perspectiva agrícola, por ejemplo, ejecutar siembra controladas y concentradas en los lugares que presenten bajo riesgo hídrico.

## BIBLIOGRAFIA

- ACEÑOLAZA, F. G. Y TOSELLI A. J. (1981). Geología del Noroeste Argentino. Facultad de Ciencias Naturales, UNT, Publicación 1287, 204 p., San Miguel de Tucumán.
- ACEÑOLAZA, F. G., TOSELLI, A., (1976). Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del noroeste argentino. 2º Congreso Latinoamericano de Geología, Actas, 2, 755-763.
- ACEÑOLAZA, F.G Y DURAN F.R (1986). Upper precámbrían-lower cambrian biota from the northeast of Argentina: geological magazine (123):367-375.
- ACEÑOLAZA, F.G., MILLER, H., TOSELLI, A.J., (2002). Proterozoic-Early Paleozoic evolution in western South America - a discussion: Tectonophysics, 354(1-2), 121-137.
- ACEÑOLAZA, F.G.; ACEÑOLAZA, G. (2005). La Formación Puncoviscana y unidades estratigráficas vinculadas en el Neoproterozoico-Cámbrico Temprano del Noroeste Argentino. Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis 12 (2): 65-87.
- ADLER, F. J. (2006). Los envases y los Recursos Hídricos Superficiales. Revista de Ciencias Exacta e Ingeniería, Extensión, 27: 1-12. Tucumán.
- ALDERETE, M. (1998). Unidades Fisiográficas. En Gianfrancisco, M., Puchulu, M. E., Durango de Cabrera, J. y Aceñolaza, G. (eds) Geología de Tucumán, 2ª edición, Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán: 29-40, Tucumán.
- BALDIS, B., VIRAMONTE, J. Y SALFITY, J. (1975). Geotectónica de la comarca comprendida entre el cratógeno central argentino y el borde austral de la puna. 2º congreso Ibérico-americano de Geología Económica, actas IV:25-44, Bs.As.
- BATTAGLIA, A., (1982). Descripción Geológica de las Hojas 13f, Río Hondo, 13g, Santiago del Estero, 14g, El Alto, 14h, Villa San Martín, 15g, Frías. Servicio Geológico Nacional, Boletín 186: 1-80, Buenos Aires
- BEDER, R., (1928). La Sierra de Guasayán y sus alrededores, una contribución a la Geología e Hidrogeología de la Provincia de Santiago del Estero, Dirección General de Minas, Publicación 39, Buenos Aires.
- BLASCO, G., CAMINOS, R., LAPIDO, O., LIZUAÍN, A., MARTÍNEZ, H., NULLO, F., PANZA, J. y SACOMANI, L., (1994). Hoja Geológica 2966-II, San Fernando del Valle de Catamarca. Secretaría de Minería de La Nación. Boletín Nº 212. Buenos Aires.

- BOSSI, G.E. (1969). Geología y estratigrafía del sector sur del valle de choromoro. Acta geológica lilloana 10(2):17-64.
- BROWN, A. D., GRAU, A.; LOMASCOLO, T. Y GASPARRI, N. (2002). Una estrategia de conservación para las selvas subtropicales de montaña (yungas) de Argentina. Ecotropico 15(2): 147-159.
- BROWN, A.D., PACHECO, S., LOMASCOLO, T. Y MANZILLA, L. (2006). Situación ambiental de los Bosques Andinos Yungueños. En Brown, A., Martínez, U., Acerbi, M. y Corcuera, J. (eds) la Situación Ambiental de Argentina 2005, Fundación vida silvestre Argentina: 53-61, Buenos Aires.
- CAMINOS, R., (1979). Sierras Pampeanas Noroccidentales, Segundo Simposio de Geología Regional Argentina; Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. I: 225-291.
- CAMINOS, R., (1979). Sierras Pampeanas Noroccidentales-Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. 2º Simposio de Geología Regional Argentina, 1: 225-291. Córdoba, Argentina.
- CELLINI, J. (2005). Estado y Propuesta de Manejo de los Recursos Naturales de la Cuenca del Arroyo Grande, Tierra del Fuego. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de La Plata Argentina. 133 p.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill. Santafé de Bogota, Colombia. 575 p.
- CIIFEN, 2013. Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño. <http://www.ciifen.org>.
- DAL MOLIN, C., FERNÁNDEZ, D., ESCOSTEGUY, L., VILLEGAS, D., GONZÁLEZ, O Y MARTÍNEZ L. (2003). Hoja Geológica 2766-IV, Concepción, provincias de Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 342, 41 p. Buenos Aires. Secc, Nº 7. Geológica Argentina. Tomo V. Nº3.
- DALL'ARMELLINA, M. et al. (2010). El Riesgo de Desastres en la Planificación del Territorio: Primer avance. PNUD. Ciudad de Buenos Aires, Argentina.
- DIRECCIÓN DE FLORA, FAUNA SILVESTRE Y SUELO DE TUCUMÁN. (2012). [www.producciontucuman.gov.ar/direcc\\_florafauaysuelo\\_progrmas\\_areasnaturales.aspx](http://www.producciontucuman.gov.ar/direcc_florafauaysuelo_progrmas_areasnaturales.aspx)

- ÉZEK, P., (1990). Análisis Sedimentológico de la Formación Puncoviscana entre Tucumán y Salta. En Aceñolaza, F.G., H. Miller y A.J. Toselli (Eds.), El Ciclo Pampeano en el Noreste Argentino. Serie Correlación Geológica 4:9-36.
- FAIRBRIDGE, R. (1968). The Quaternary Period. In: The Encyclopaedia of Geomorphology. R.W. Fairbridge (Ed.), Reinhold, New York, pp. 912-928.
- GARCÍA, J.W.; C.M. FALCÓN; C.H. D'URSO; G.V. RODRÍGUEZ Y N. ACEVEDO. (2014). Capítulo Hidrogeología. Libro Geología de Tucumán. 3ra Edición. Publicación Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán. Tercera Edición. Edit. S. Moyano, M.E. Puchulu, D.S. Fernández, M.E. Vides, S. Nieva, G.F. Aceñolaza. ISSN 978-987-33-6097-8. Pág. 276-294. San Miguel de Tucumán.
- GASPARI, F. J. (2002). Ordenamiento territorial en cuencas serranas. Aplicación de SIG.
- GASPARI, F. J.; SENISTERRA, G. E.; DELGADO, M. I.; RODRÍGUEZ VAGARÍA, A. Y BESTEIRO, S. (2009). Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Ed. Universidad Nacional de La Plata. La Plata. Argentina. 321 pp.
- GONZÁLEZ BONORINO F. (1972). Descripción Geológica de la hoja 13C, Fiambalá, Provincia de Catamarca. Dirección Nacional de Geología y Minería. 127. Buenos Aires, 73 p.
- GONZÁLEZ BONORINO, (1951-a). Granitos y Migmatitas de la falda occidental del Aconquija. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 6; 137. Buenos Aires.
- GONZÁLEZ BONORINO, F., (1950-a). Descripción Geológica de la Hoja 13e, Villa Alberdi, Provincia de Tucumán. Dirección Nacional de Minería. Boletín 74. Buenos Aires.
- GONZÁLEZ BONORINO, F., (1950-b). Algunos problemas Geológicos de las Sierras Pampeanas. Revista de la Asociación
- GONZÁLEZ BONORINO, F., (1978). Descripción Geológica de la Hoja 14f, San Fernando del Valle de Catamarca, provincias de Catamarca y Tucumán. Boletín Servicio Geológico Nacional 160:84 p. Buenos Aires, Argentina.
- GONZÁLEZ BONORINO, F.,(1950 a). Geología y Petrología de la hoja 12c, Capillitas y 13d Andalgalá, provincia de Catamarca. Dir. Gral. Ind. Min., Bol. 70, Buenos Aires.
- GONZÁLEZ, O., (1999). Hoja Geológica 2766-II San Miguel de Tucumán. IGRM, Segemar Boletín N° 245. Buenos Aires.
- GONZÁLEZ, R. R. Y TOSELLI, A.J. (1974). Radiometric dating of Igneous Rocks from Sierras Pampeanas, Argentina. Revista Brasileira de Geociencias, Sao Paulo 4: 137-141

- GUIDO, E. y BUSNELLI, M. (1993). Criterios morfométricos para la evaluación de la torrencialidad de una cuenca hídrica (Río Las Cañas, Catamarca). 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Mendoza. Argentina. Actas Tomo 4: 112-122.
- GUIDO, ELVIRA Y.; SESMA, PABLO J. (2014). Geografía Física. En: Moyano, S.; Puchulu, M. E.; Fernández, D. S.; Vides, M. E.; Nieva, S.; Aceñolaza, G. (eds) geología de Tucumán. Colegio de Graduados de Ciencias Geológicas de Tucumán, pp. 29-48.
- GUTIERREZ A., MON R., (2008). Macroindicadores cinemáticos en el bloque Ambato, provincias de Tucumán y Catamarca. Revista de la Asociación Geológica Argentina.
- GUTIERREZ, A. A., MON, R. Y VERGARA G. (2003). Neotectónica: captura y decapitación del drenaje, Tucumán-Argentina. Actas del II Congreso Argentino del Cuaternario y Geomorfología. Tucumán, 2003, pp. 293-300.
- GUTIÉRREZ, A.A. (1999). Tectonic geomorphology of the Ambato block, (Northwestern Pampeanas mountain ranges, Argentina). Fourth International Symposium on Andean.
- HALPERN, M., LINARES, E. y LATORRE, C., (1970). Estudio preliminar por el método estroncio-rubidio de rocas metamórficas y graníticas de la provincia de San Luis, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, XXV (3): 293-302.
- HARVEY, A. M. (1992). The occurrence and role of arid zone alluvial fans. In Arid Zone geomorphology, D.S.G. Thomas (Ed.), pp.136-158. London: Belhaven Press.
- HENAOS J. E. (1988). Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomás, Centro de enseñanza desescolarizada. Ed. Usta. Bogotá, Colombia. 396 p.
- HERZER, H. y GUREVICH R. (1996). "Construyendo el riesgo ambiental en la ciudad". En Desastres y Sociedad nº 7. Revista semestral de la Red de Estudios Sociales en prevención de desastres en América Latina
- HORTON, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrological approach to quantitative morphology. Geological Society American Bulletin 56: 275-370.
- INDRI, D. y MEDINA, M., (1989). Nuevas observaciones geológicas y geoquímicas en el granito San Ignacio-Los Pinos, Provincias de Tucumán y Catamarca, Argentina. VI Congreso Geológico Chileno, 1: 294-297. Santiago

- INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM). (2001). Carta Topográfico Hoja 2766-IV concepción, provincia de Tucumán, Santiago del Estero y Catamarca. Escala 1: 250.000. Instituto Geográfico Militar Buenos Aires.
- KEIDEL, J., (1943). El Ordovícico Inferior en Los Andes del norte argentino y sus depósitos.
- KÜHN, F., (1914). Contribución a la fisiografía de la provincia de Catamarca, Informe sobre un viaje. Publ. Inst. Nac. Prof.
- LANGBEIN, W. B. y LEOPOLD, L. B.; (1966). River meanders: theory of minimum variance, United States Geological Survey Professional Paper. USA. 422 pp.
- LARROVERE, M.; DE LOS HOYOS, C.; GROSSE, P. (2012). Los complejos metamórficos del retro-arco Famatiniano (noroeste de Argentina): caracterización geoquímica e isotópica de sus protolitos e implicancias geotectónicas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29 (3): 676-695.
- LEANZA, A.F. AND BALDIS B. (1975). Pliomeridius, nuevo género de trilobites del Llanvirniano del norte argentino. *Ameghiniana* 12 (2): 184–189
- MIRRÉ, J.C. Y F.G. ACEÑOLAZA, (1972). El hallazgo de Oldhamia isp. (traza fósil) y su valor como evidencia de edad cámbrica para el supuesto Precámbrico del borde occidental del Aconquija, Provincia de Catamarca. *Ameghiniana* 9:72-78.
- MON, R. (1976). La tectónica del borde oriental de los Andes en las provincias de Salta, Tucumán y Catamarca, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 31(2): 65-72, Buenos Aires.
- MON, R. y URDANETA, A., (1972). Introducción a la Geología de Tucumán, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 27: 309 -329.
- MORISAWA M. E. (1959). Relation of morphometric properties to runoff in the Little Mill Creek, Ohio, Drainage Basin, Tech. rep. 17. Columbia University, Department of Geology, ONR, New York. USA.
- NACIONES UNIDAS (2009). "Terminología sobre Reducción de Riesgo de desastres". En Estrategias para la Reducción de Desastres de las Naciones (UNISDR). Naciones Unidas, Suiza. [http://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf).
- NULLO, F., 1981. Descripción geológica de la hoja 15f, Hullaipima (provincia de Catamarca). del Servicio Geológico Nacional, Boletín 178. Buenos Aires.

- OMIL, M. y CABRERA, M. (1989). Algunas consideraciones acerca del cuerpo granítico San Ignacio, Sa. del Aconquija, provincia de Tucumán. *Acta Geológica Lilloana*. 17 (1-2): 37-42. Tucumán.
- OMIL, M., (1992). Geología y geomorfología del basamento de la sierra de Guasayán, provincia de Santiago del Estero. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Tucumán. 195p.
- OMIL, M., (2000). Estratigrafía de la Sierra de Guasayán, Santiago del Estero, Argentina. V Congreso Geológico de España. 1 (2): 289-292. Alicante.
- OTAMENDI, J.E., TIBALDI, A.M., VUJOVICH, G.I., VIÑAO, G.A., (2008). Metamorphic evolution of migmatites from the deep Famatinian arc crust exposed in Sierras Valle Fértil-La Huerta, San Juan, Argentina: *Journal of South American Earth Sciences*, 25(3), 313-335.
- PANKHURST, R.J., RAPELA, C.W., FANNING, C.M., (2000). Age and origin of coeval TTG, I- and S-type granites in the Famatinian belt of NW Argentina: *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences*, 91(1-2), 151-168.
- PÉREZ MIRANDA, C. (2003). Tucumán y los recursos naturales: biodiversidad, los recursos silvestres, los ambientes naturales y áreas protegidas, caracterización evolución, situación actual y marco legislativo. Editorial Bifronte. 407 p.
- PIÑAS LLAMAS, A. Y SIMPSON. C. (2006). Deformation for Gondwana margin turbidites during the Pampean Orogeny, north-central Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 118:1270-1279.
- PORTO, J. C. (1992). CUMBRES DE PERIQUILLO. OPERA LILLOANA 39: 57 PP TUCUMÁN. PORTO, J. C Y DANIELI, C. 1992. Geología de las Sierras del Noroeste de la provincia de Tucumán. *Actas Geológicas Lilloana* 17 (2): 45-62.
- PORTO, J.C (1970). Geología de las cumbres de Taficillo, Sierras de San Javier Septentrional, provincia de Tucumán. *Actas Geológicas Lilloana* 11(2): 27-58.
- RAPELA, C. W., CASQUET, C., BALDO, E., DAHLQUIST, J. A., PANKHURST, R. J., GALINDO, C., SAAVEDRA, J. (1998b). La orogénesis del Paleozoico Inferior en el margen protoandino de América del sur, Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Iberian Geology*. 27. 41.
- RAPELA, C.W., CASQUET, C., BALDO, E., DAHALQUIST, J., PANKHURST, R.J., GALINDO, C., SAAVEDRA, J. (2001). Las orogénesis del Paleozoico inferior en el margen Protoandino de América del Sur, Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Iberian Geology* 2001, pag, 23-41.

- RAPELA, C.W., PANKHURST, R.J., CASQUET, C., FANNING, C.M., BALDO, E.G., GONZÁLEZ-CASADO, J.M., GALINDO, C., DAHLQUIST, J. (2007). The Río de la Plata craton and the assembly of SW Gondwana: *Earth-Science Reviews*, 83(1-2), 49-82.
- RASSMUSS, J. (1918). La sierra de Aconquija. 1º Reunión Nacional de la Sociedad Argentina de Ciencias Naturales: 47-69. Tucumán.
- RIBERA MASGRAU, L. (2004). Los Mapas de Riesgo de Inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportaciones de las innovaciones tecnológicas. Documento *Anales de Geografía* 43. España.
- ROSSI, J.M.; WILLNER, A.P.; TOSELLI, A.J., (2002). Ordovician metamorphism of the Sierras Pampeanas, Sistema de Famatina and Cordillera Oriental, Northwestern Argentina. In *Aspects of the Ordovician System in Argentina* (Aceñolaza, F.G.; editor). Instituto Superior.
- SALA, M. y GAY, R. (1981). Algunos datos morfométricos de la cuenca de Isábena, *Notes de Geografía Física*, N° 4, Department de Geografía, Universidad de Barcelona, Barcelona. España. pp. 41-65.
- SANTILLÁN DE ANDRÉS, E. Y T. RICCI. (1980). *Geografía de Tucumán*. Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad nacional de Tucumán. Tucumán.
- SAYAGO, J.; COLLANTES, M. Y TOLEDO. (1998). Geomorfología. En Gianfrancisco, M., Puchulu, M.E., Durango de Cabrera J., y Aceñolaza, G. (eds) *Geología de Tucumán*. 2º edición, Colegio de Graduados de Ciencias Geológicas de Tucumán: 241-258, Tucumán.
- SCHUMM S.A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlans at Perth-Amboy. *New-Jersey. Geo}. Soc. Am. Bull.*, p.p. 597-646.
- SENCIALES GONZÁLEZ, J. M. (1999). *Redes Fluviales, metodología de análisis*. Ed. Universidad de Málaga, Málaga. España. 337 p.
- SENISTERRA, G., RODRÍGUEZ VAGARÍA, A., GASPARI, F. Y MAZZUCHELLI, G. (2014). Aspectos morfométricos de la cuenca alta del Arroyo Napaleofú. Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana Venezuela*. 55 (2): 287-303.
- STELZNER, A., (1873). Comunicaciones al profesor H.B Geinitz *Nehues Jahrbuch für Mineralogie. Geologie und Paläeontologie*, Ibidem: 726-746. Traducido por R. Kittl, 1966, en *Académia Nacional de Ciencias. Boletín* 45:115-150. Buenos Aires.

- STIPANICIC, P. y LINARES, E., (1975). Catálogo de edades radimétricas determinadas para la República Argentina. I. Años 1960-1974. Publicación Especial de la Asociación Geológica Argentina. Serie B, 3.
- STRAHLER A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63: 1117-1142.
- STRAHLER A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*, 38 (6): 913-925.
- STRAHLER, A. N. (1964). Quantative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Te Chow, Ven. (Ed.), *Hand Book of Applied Hydrology*. McGraw Hill Book Company, New York. USA. 439- 476.
- THOMAS, W.A., ASTINI, R.A., (1996). The Argentine Precordillera: A traveler from the Ouachita embayment of North American Laurentia: *Science*, 273(5276), 752-757.
- TOSELLI, A.J., ACEÑOLAZA, F.G. Y ROSSI DE TOSELLI, J.N. (1986). A proposal for the Systematization of the Upper Precambrian - Lower Palaeozoic Basement in the Sierras Pampeanas, Argentina. *Zentralblat für Geologie und Paläontologie, Teil I*, 9 (10), 1227 – 1233.
- TURNER, J. C. (1960). Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacentes. *Boletín Academia Nacional de Ciencias*, 41(2) 163-196. Córdoba.
- VAN ZUIDAM, R. (1976). Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain: processes and landforms related to climatic changes in a large Mediterranean river basin. *International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC)*, The Netherlands, 211 p.
- VELZ, J. y KRELLENBERG, K. (2016). "Vulnerabilidad frente al cambio climático en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: posiciones teóricas versus evidencias empíricas". En *Revista EURE*, Vol. 42. Pp. 251-272. Santiago de Chile. Chile.
- VERDECCHIA, S.O.; BALDO, E.; BENEDETTO, L.; BORGHI, P. (2007). The first shelly faunas from metamorphic rocks of the Sierras Pampeanas (La Cébila Formation, Sierra de Ambato, Argentina): age and paleogeographic implications. *Ameghiniana* 44: 493-498.
- VIERS, G. (1973). *Geomorfología*. Oikos-Tau, 287 p., Barcelona.

- VIRUEL DE RAMÍREZ, M. y BARBER, E., (1994). Granito San Ignacio-Los Pinos. Prospección-Evaluación Preliminar. Secretaría de Minería de la Nación. Tucumán. Inédito (1-51). Ed. Cooperativas. Buenos Aires. Argentina. 116 p.
- WILLNER, A.P., MILLER, H., JEZEK, P., (1990). Composición geoquímica del basamento sedimentario-metamórfico de los Andes del NW Argentino (Precámbrico superior-Cámbrico inferior), en Aceñolaza, F.G., Miller, H., Toselli, A.J. (eds.), El Ciclo Pampeano en el noroeste argentino: San Miguel de Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica, 4, 161-179.
- WOLANSKY, S. y CORZO H., (2003). Las Inundaciones en Santa Fe – Desastres Naturales y Mitigación del Riesgo. Centro Publicaciones UNL. Santa Fe.
- ZUCCARDI, R. Y G. FADDA. (1985). Bosquejo agrologico de la provincia de Tucumán. Misceláneas N° 86. Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán, 63 p. Tucumán.

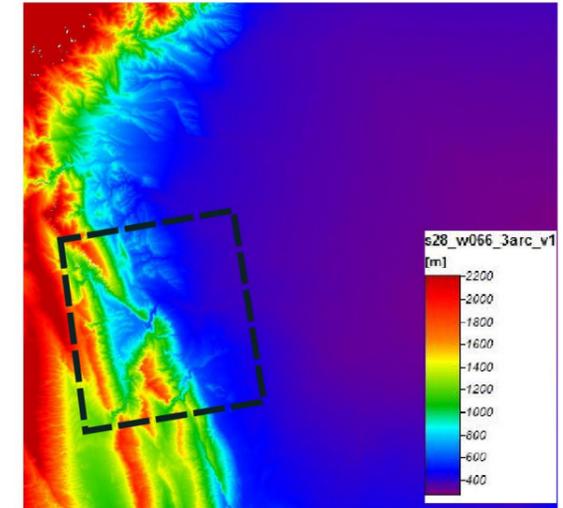
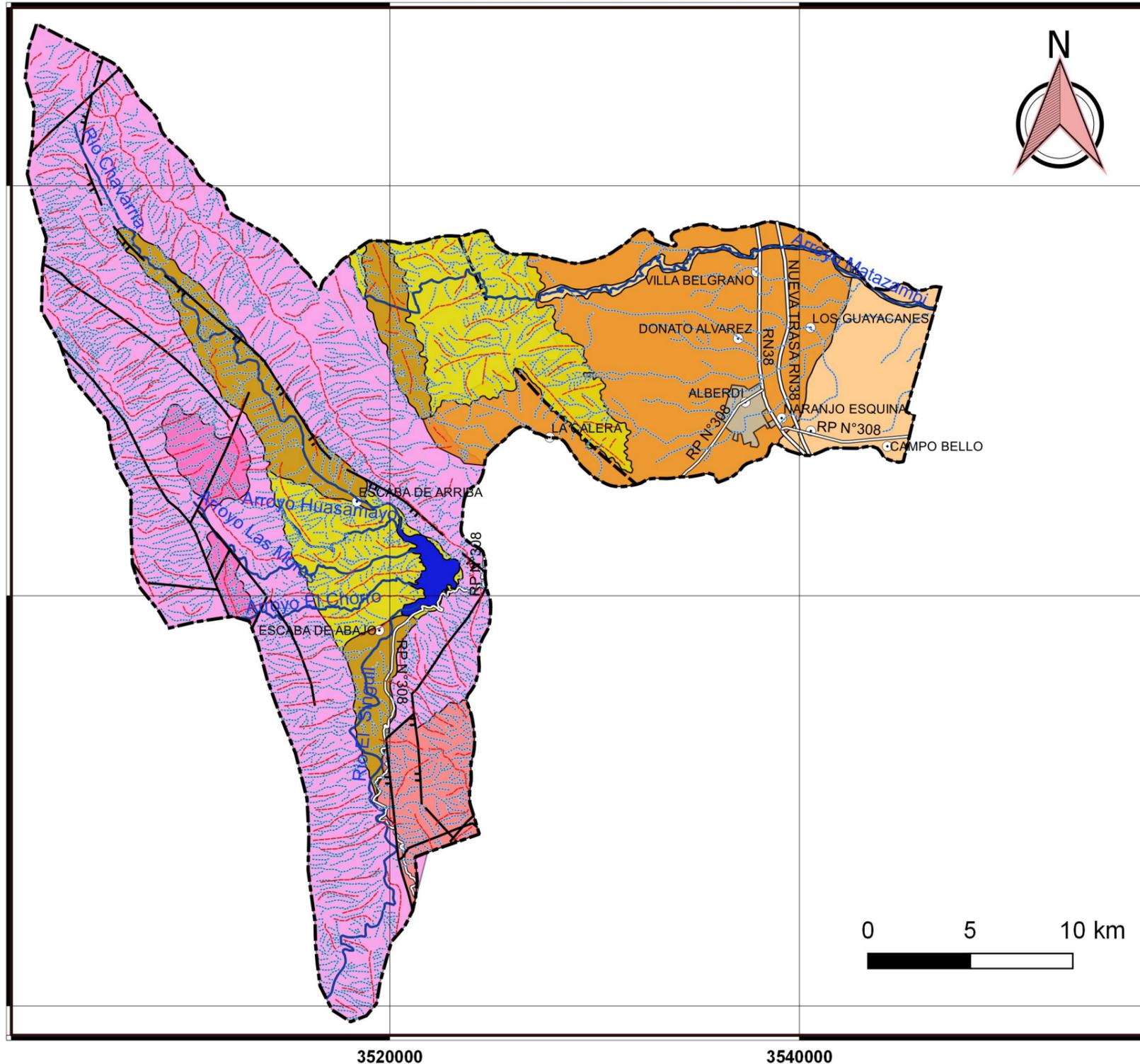
# **ANEXO**

**Tabla de Cálculos Morfometría**

PROPIEDADES FISICAS	CUENCA DEL ARROYO MATAZAMBI	CUENCA DEL RIO MARAPA	CUENCA DEL RIO CHAVARRIA	CUENCA DEL RIO EL SINGUIL
AREA (A)	315,917 Km2	658,675 Km2	197,83 km2	186,973 Km2
PERIMETRO (P)	81 Km	247 Km	119,966 km	95,200 Km
LONG. DE LAS CUENCA (L)	33,78 Km	38,62 Km	25,82 km	20,1 Km
ANCHO DE LA CUENCA (B)	9,35 Km	17,05 Km	7,66 Km	9,88 Km
ORIENTACION	O-E	O-E	NNO-SSE	N-S
PENDIENTE MEDIA (Pm)	3,67%	2,87%	5,90%	6,24%
FACTOR DE FORMA (Kf)	0,27	2,26	0,296	0,522
COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc)	1,31	2,69	2,388	1,94
RELACION DE ENLONGACION (Re)	0,67	1,69	0,61	0,815
ORDEN DE LOS CAUCES	ORDEN 5	ORDEN 4	ORDEN 4	ORDEN 4
RELACION DE BIFUCACION (Rb)	1,75	2,25	2,99	5,59
DESIDAD DE DRENAJE (Dd)	0,09 Km/Km2	0,39 Km/Km2	1,35 Km/Km2	1,15 Km/Km2
PORCENTAJE DE LONG. DE RIOS DE C/A ORDEN (LnO)	ORDEN 1 : 54,4%	ORDEN 1: 60,6 %	ORDEN 1: 55,67 %	ORDEN 1: 57,7 %
	ORDEN 2: 29,8%	ORDEN 2: 25,32 %	ORDEN 2: 30,40 %	ORDEN 2: 32,7 %
	ORDEN 3: 11,6%	ORDEN 3: 5,05 %	ORDEN 3: 11,90%	ORDEN 3: 8,66 %
	ORDEN 4: 1,89%	ORDEN 4: 8,92 %	ORDEN 4: 1,94 %	ORDEN 4: 0,81 %
	ORDEN 5: 1,44%			
FRECUENCIA (Fr)	0,49 Km2	0,16 Km2	12,1 Km2	1,69 Km2
RELACION DE LONG. (RI)	1,66	0,79	1,09	0,91
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO HIDRICO (RHO)	0,586	0,352	0,36	0,16
COEFICIENTE DE TOLERANCIA (Ct)	0,5	0,081	6,94	0,94
LONG. MEDIA DE LOS RIOS DE ORDEN 1 (Lm1)	11,71	2,9	0,26	0,77
TIEMPO DE CONSENTACION (TC)	2 Hs			5,62 Hs

# CARTOGRAFÍA

# CARTA GEOLOGICA DEL DEPARTAMENTO JUAN BAUTISTA ALBERDI-TUCUMAN



## LITOLOGIA

### HOLOCENO

Depósitos Fluviales (Arenas y Gravas)

Depósitos Eolicos (Limos)

Depósitos Pedemonte (Limos, Arcillas y Gravas)

### PLEISTOCENO

Formación Concepción (Conglomerados, Areniscas y Limonitas)

### EOGENO

Formación Aconquija (Areniscas, Limonitas, Arcillitas y Tobas)

### CARBONIFERO

Granito San Ignacio-Los Pinos (Granito adamelliticos)

### CAMBRICO

Formación El Alto (Monzogranito)

### PRECAMBRICO

Basamento ( Rocas Metamórficas )



## TOPOGRAFIA

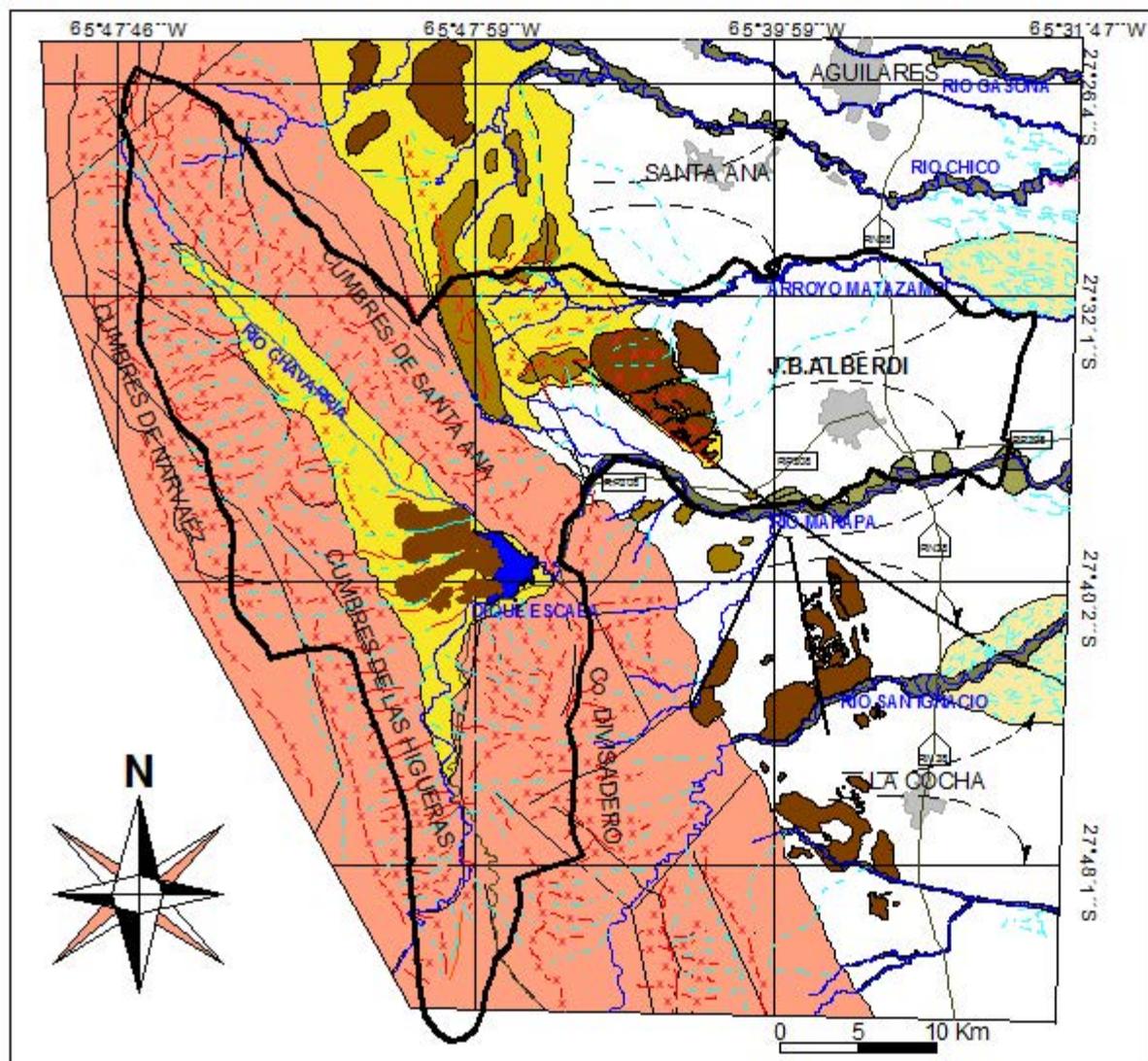
- Ríos Permanentes    - - - Divisorias de agua    — Ruta Nac. N°38    [---] Limite Departamental    ○ Localidades
- Ríos Transitorios    — Fracturas    — Ruta prov. N°308    [■] Embalse Escaba

AUTOR : VALDEZ ANGEL RAMIRO

MATRICULA: 474

GEOLOGIA DE ALBERDI PROV. DE TUCUMAN  
Revisado por: Dra. Niz Adriana

# CARTA GEOMORFOLOGICA DEL DEPARTAMENTO JUAN BAUTISTA ALBERDI-TUCUMAN



## REFERENCIAS

### ÁREAS MONTANA S

Área Montana

### ÁREAS PEDEMONTANA S

Glacis Cubierto

Glacis de Erosión Terciario

Glacis de Erosión Cuaternario

Abanico Aluvial

### ÁREAS DE LLANURA

Primer Nivel de Terraza

Segundo Nivel de Terraza

### ÁREAS ANTROPIZADA S

Llanura Antropizada

### FORMAS FLUVIALES

Río Pemanente

Río Transitorio

Divisorias de Agua

### ESTRUCTURAS

Fracturas

### TOPOGRAFIA

Ciudades

Ruta Nacional N°38

Ruta provincial N°308

Límite Departamental

Autor: Valdez, Angel Ramiro

Matricula: 474

GEOMORFOLOGIA DE ALBERDI-TUCUMAN

Revisado Por: Dra. Adriana Niz