



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA  
Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas



## SEMINARIO

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Subcuenca del río  
Los Ángeles. Dpto. Capayán. Catamarca. R.A.



CARRERA LICENCIATURA EN GEOLOGÍA

ALUMNO: MARÍA LAURA PLAZA

M.U. N° 407

**DIRECTORA:** Mgter. Fátima E. Vilches

**CODIRECTOR:** Lic. Nora Varela

Noviembre - 2017-

**Dedicado a:**

Mi familia, que me acompañó en este camino. En especial a mi esposo que fue el pilar fundamental en este proceso, me apoyó y acompañó en todo momento. A mis hermanos, sobre todo a Jorge quien fue mi guía, compañero, consejero y me ayudó a crecer en esta profesión. A mis hijos que a través de su paciencia y alegría me dieron ánimo y fuerzas; por último a mi madre quien siempre me enseñó a seguir adelante sin importar las dificultades.

**Agradecimientos**

A mi directora de seminario Mgter. Fátima Vilches que me guió en todo momento, a mi codirectora Lic. Nora Varela quien me acompañó a lo largo de todo este trabajo y al Lic. Alfredo Marchioli, por su predisposición en facilitarme los instrumentos de medición de la empresa SMGA, Servicios Mineros y Gestoría Ambiental, empleados en el campo para determinar los diferentes parámetros.

## Contenido

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	
1.1. Planteamiento del problema .....	6
1.2. Objetivos .....	7
1.2.1. Objetivo general.....	7
1.2.2. Objetivos específicos .....	7
1.3. Resultados esperados .....	7
1.4. Marco teórico.....	8
1.4.1. Manejo de cuencas .....	9
1.4.2. Caracterización morfológica de Cuencas .....	10
1.4.3. Composición química de las aguas naturales .....	10
CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	
2.1. Ubicación del área de estudio y vías de acceso. ....	16
2.2. Actividades económicas .....	17
2.3. Usos del agua y del suelo.....	18
2.4. Clima .....	18
2.5. Suelos .....	19
2.6. Vegetación .....	20
2.7. Geología.....	22
2.8. Estratigrafía local.....	22
2.8.1. Precámbrico superior a Ordovícico .....	23
2.8.2. Ordovícico a Carbonífero inferior .....	23
2.8.3. Cuaternario .....	24
2.9. Estructura .....	26
2.10. Geomorfología .....	26
2.11. Hidrología.....	26
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	
3.1. Descripción metodológica general.....	28
3.2. Hidroquímica .....	30
3.3. Muestreo .....	31
CAPÍTULO 4: RESULTADOS .....	
4.1. Balance hidrológico .....	38

4.2.	Hidrometría o medición de caudal .....	45
4.3.	Parámetros morfométricos de la subcuenca .....	47
4.3.1.	Parámetros generales .....	47
4.3.2.	Parámetros de forma.....	49
4.3.3.	Parámetros de relieve .....	52
4.3.4.	Características de la red de drenaje.....	56
4.4.	Resultados hidroquímicos.....	59
4.4.1.	Análisis de laboratorio .....	59
4.4.2.	Determinación de confiabilidad de datos de laboratorio .....	60
4.5.	Caracterización hidroquímica .....	62
4.5.1.	Diagrama de Piper .....	62
4.5.2.	Diagrama de Stiff .....	64
4.5.3.	Diagrama de Schoeller-Berkaloff.....	67
4.6.	pH y temperatura.....	68
4.7.	Conductividad eléctrica.....	69
4.8.	Total de sólidos disueltos (TSD) .....	70
4.9.	Calidad del agua para riego.....	70
4.9.1.	Relación Adsorción Sodio .....	70
4.9.2.	Determinación de la calidad del agua para consumo humano.....	72
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		
Referencias.....		77
Bibliografía.....		78
Anexos.....		

## Índice de figuras

Figura 1:	Estructura jerárquica de una cuenca hidrográfica.....	8
Figura 2:	Ubicación del área de estudio. ....	16
Figura 3:	Vías de acceso y zona de trabajo (croquis sin escala). ....	17
Figura 4:	Clasificación climática según Dauss y García Gache. ....	19
Figura 5:	Ubicación de los puntos de muestreo. ....	31
Figura 6:	Grafica de tendencias, subcuenca del río Los Ángeles. ....	40
Figura 7:	Perfil transversal de la subcuenca. ....	45
Figura 8:	Croquis de la subcuenca del río Los Ángeles. ....	48
Figura 9:	Esquema gráfico de los diferentes tipos de curvas hipsométricas. ....	52



Figura 10: Curva hipsométrica subcuenca del río Los Ángeles. ....	53
Figura 11: Histograma de frecuencias altimétricas de la subcuenca del río Los Ángeles ...	54
Figura 12: Perfil altimétrico del cauce.....	55
Figura 13: Diagrama de Piper, determinación del tipo de agua. ....	63
Figura 14: Diagrama de Stiff, muestra LA1.....	65
Figura 15: Diagrama de Stiff, muestra LA2.....	65
Figura 16: Diagrama de Stiff, muestra LA3.....	66
Figura 17: Diagrama de Stiff, muestra LA4.....	66
Figura 18: Diagrama de Stiff, muestra LA6.....	67
Figura 19: Diagrama de Schoeller-Berkaloff .....	68
Figura 20: Diagrama SAR, obtenido en EASY-QUIM. ....	71

### Índice de mapas.

Mapa 1: Esquema de vegetación, Subcuenca del Río Los Ángeles. ....	22
Mapa 2: Esquema geológico subcuenca del río Los Ángeles. ....	25
Mapa 3: Esquema hidrológico subcuenca del río Los Ángeles. ....	27
Mapa 4: Elevación de la subcuenca. ....	41
Mapa 5: Evapotranspiración potencial.....	42
Mapa 6: Precipitación total. ....	43
Mapa 7: Excedente hídrico.....	44
Mapa 8: Orden de corriente y diseño de drenaje.....	59

### Índice de tablas.

Tabla 1: Sitios monitoreados.....	30
Tabla 2: Planilla de muestreo de campo.....	32
Tabla 3: Estaciones seleccionadas por LocClim.....	38
Tabla 4: Valores fondo de valle. ....	39
Tabla 5: Valores tope de cuenca. ....	39
Tabla 6: Valores de velocidad de flujo obtenidos en la subcuenca. ....	46
Tabla 7: Calculo del caudal. ....	46
Tabla 8: Clasificación propuesta para las cuencas. ....	47
Tabla 9: Valores propuestos para el factor forma de una cuenca. ....	50

---

Tabla 10: Parámetros obtenidos en software IDRISI. ....	51
Tabla 11: Concentración en meq/L.....	61
Tabla 12: Error de balance calculado. ....	61
Tabla 13: Valores de pH, medidos en campo y laboratorio.....	69
Tabla 14: Valores de conductividad medidos en campo.....	70
Tabla 15: Valores de TSD obtenidos para la subcuenca. ....	70
Tabla 16: Comparación de los valores obtenidos con los niveles guía. ....	73

## Índice de fotos.

Foto 1: Panorámica Subcuenca del río Los Ángeles. ....	30
Foto 2: Calibración de los equipos previo a la toma de muestras. ....	33
Foto 3: Registro de coordenadas punto de muestreo LA2 (Villa Norte). ....	33
Foto 4: Punto de muestreo Villa Norte (LA2), medición de pH.....	34
Foto 5: Punto de muestreo Villa Sur (LA3), medición de parámetros físicos.....	34
Foto 6: Punto de muestreo Camping de Miraflores (LA5), medición de parámetros físicos. .....	35
Foto 7: Punto de muestreo Villa Norte (LA2), determinación de alcalinidad.....	35
Foto 8: Punto de muestreo aporte arroyo Los Pinos, titulación con ácido nítrico. ....	36
Foto 9: Punto de muestreo Nacientes, toma de muestra. ....	36
Foto 10: Punto de muestreo aporte arroyo Los Pinos (LA4), toma de muestra.....	37

## Anexo I - Cartografía

Mapa 1: Esquema de vegetación, Subcuenca del Río Los Ángeles.
Mapa 2: Esquema geológico subcuenca del río Los Ángeles.
Mapa 3: Esquema hidrológico subcuenca del río Los Ángeles
Mapa 4: Elevación de la subcuenca.
Mapa 5: Evapotranspiración potencial.
Mapa 6: Precipitación total.
Mapa 7: Excedente hídrico.
Mapa 8: Orden de corriente y diseño de drenaje.

---

## Anexo II - Tablas

Tabla 1: Planilla de muestreo de campo.

Tabla 2: Tabla de análisis químicos y relaciones iónicas, EasyQuim

## RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de cumplimentar con lo estipulado en el Plan de Estudios 2004 de la carrera Licenciatura en Geología, de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, de la Universidad Nacional de Catamarca, para acceder al título de Licenciado en Geología. El estudio realizado se enmarca dentro del Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado "Estudio de la subcuenca del río Los Ángeles, para el manejo y protección del recurso hídrico en la gestión ambiental de cuencas. Departamento Capayán, Catamarca, Argentina" perteneciente al Consejo de Investigación (Secretaría de Ciencia y Tecnología) de la Universidad Nacional de Catamarca.

La subcuenca del río Los Ángeles se encuentra inmersa en la gran cuenca del río del Valle, contiene los recursos de agua para el desarrollo de la superficie comprendida entre las serranías de Ambato y cumbres de Los Ángeles.

El objetivo principal fue caracterizar hidrogeomorfológicamente la subcuenca, mediante la aplicación del análisis morfométrico para evaluar el drenaje y comprender el funcionamiento del sistema. El análisis morfométrico permitió conocer las características físicas de dicha subcuenca, mediante el cálculo numérico de diferentes parámetros generales, de forma, de relieve y de drenaje.

A través del balance hidrológico se determinó que el mayor excedente hídrico, de la relación entre la evapotranspiración potencial y precipitación, se presenta en las zonas bajas de la subcuenca. Lugar que constituye las zonas preferenciales de recarga.

La red de drenaje de la subcuenca del río Los Ángeles define un patrón dendrítico, caracterizado por una ramificación arborescente donde los tributarios se unen al cauce principal formando ángulos agudos, este patrón se ve diferenciado en la vertiente oriental de la subcuenca donde se manifiesta una tendencia al diseño subparalelo.

En relación a los parámetros físicos y químicos del agua superficial obtenidos en terreno y en laboratorio, se concluye que la composición química de las mismas es de tipo bicarbonatada sódica-cálcica, y según las normas de potabilidad es de excelente calidad para el consumo humano y de ganado.

La clasificación de las aguas para riego no presenta un factor de peligro ante la alcalinización del suelo, pertenecen a la Clase I Excelente, sin limitación de uso para prácticamente todos los cultivos y en la mayoría de los suelos.

Los resultados de un estudio de estas características podrán verse reflejados en el cuidado y sostenibilidad de los recursos naturales garantizando la permanencia de los mismos para las futuras generaciones. Éstos son de aplicación directa a la zona de estudio y pueden ser extrapolables a cuencas vecinas. Pudiendo llegar a ser de utilidad a los organismos competentes.

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

Desde el punto de vista científico, son conocidos los beneficios de estudiar una cuenca como un sistema. Cualquier acción que afecte a un sector de la cuenca repercute indefectiblemente aguas abajo de la misma, una alteración en la utilización del territorio en el área de cabecera tarde o temprano se hará sentir en la parte baja o salida de la misma. Son precisamente estas alteraciones en el uso del suelo las responsables en gran parte de que sean más rigurosos los efectos de las crecidas en muchas áreas y que los problemas de contaminación hayan aumentado considerablemente.

En nuestro país, principalmente en zonas áridas y semiáridas el recurso hídrico superficial es un recurso primordial y escaso. Conocer los recursos hídricos existentes y potenciales es fundamental para una proyección adecuada de las actividades que puede realizar una comunidad, en este caso, la población asentada en subcuenca del río Los Ángeles.

Mediante el análisis de la información existente de la zona de estudio, visitas de campo, muestreo de agua superficial y procesamiento de la información en sistemas de información Geográfica (SIG), se obtuvieron los parámetros y la cartografía necesaria, que permitieron caracterizar hidrogeomorfológicamente la subcuenca del río Los Ángeles.

Para este trabajo se definió como área de estudio, el área que conforma la subcuenca hidrográfica del río Los Ángeles definida por la línea de divisoria de aguas, y limitada al Este por el cordón Cumbres de Los Ángeles y al Oeste por el cordón principal de las sierras de Ambato, en la cual se desarrolla todo el sistema hídrico superficial, formando una red de cursos de agua que concentran caudales hasta formar un río principal que lleva sus aguas a desembocar en el río del Valle.

### **1.1. Planteamiento del problema**

La subcuenca del río los Ángeles con una población de 347 habitantes y una superficie aproximadamente de 152.48 km<sup>2</sup>, se encuentra ubicada dentro de la cuenca del río del Valle, en el faldeo oriental del cordón Manchao-Ambato, que refleja fisiográficamente la antigua peneplanicie terciaria. Hacia el sur presenta quebradas profundas, controladas por fallas de rumbo norte-sur. El valle longitudinal de Los Ángeles, corta la ladera y está originado también por una fractura de rumbo N-S. La red de drenaje está regulada por fracturas. Esta subcuenca ha sido estudiada desde varios puntos de vista por diversos investigadores, pero desde el punto de vista hidrológico no es posible determinar con algún nivel de precisión el aporte del mismo. No existen datos con confiabilidad y continuidad en el tiempo que permitan encontrar relaciones entre el dinamismo y comportamiento hídrico de la subcuenca.

La población está ubicada en el área pedemontana. En los últimos años se ha observado una aceleración en los procesos de degradación, siendo la vegetación natural y el suelo los componentes más afectados, por incendios, actividades ganaderas sin manejo, y procesos

de urbanización desordenados, modificando el equilibrio hidrológico de la subcuenca. La población sólo usa agua superficial para cubrir sus necesidades básicas, agricultura y ganadería.

Para el estudio del régimen hídrico en una cuenca, es importante la evaluación de las características físicas y morfométricas. Las características físicas de una cuenca hidrográfica influyen notablemente sobre la respuesta hidrológica de la misma. Las características físicas se relacionan con las componentes físicos-geográficas de la cuenca (localización, estructura geológica, cobertura vegetal y relieve), determinando el régimen hídrico de la misma y en especial, el de los valores extremos de escurrimiento.

Las características morfométricas, son indicadores cuantitativos de los elementos de la cuenca que, de una manera u otra, influyen en la magnitud y variabilidad de los procesos hidrológicos, constituyen una base cuantitativa para predecir la respuesta hidrológica de la cuenca. A partir de la forma, el relieve, la red de drenaje, tipo y uso del suelo, entre otros, se puede calcular el comportamiento de los cuerpos de agua y sus posibles variaciones con respecto al sistema hidrológico.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Caracterizar hidrogeomorfológicamente la subcuenca del río Los Ángeles, mediante la aplicación del análisis morfométrico para evaluar el drenaje y comprender el funcionamiento del sistema.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Describir características físicas de la subcuenca.
- Determinar parámetros morfométricos.
- Determinar parámetros hidrológicos.
- Determinar características físicas y parámetros morfométricos de la subcuenca.
- Definir el comportamiento hidrológico de la subcuenca.
- Tipificar químicamente las aguas superficiales.
- Determinar la calidad química de las aguas.
- Definir el uso potencial del agua según calidad química.

## **1.3. Resultados esperados**

Para el aprovechamiento de un recurso natural, es necesario conocer las distintas variables del sistema, el estudio propuesto en este trabajo fue conocer física e hidrológicamente, la

subcuenca del río Los Ángeles, sentando las bases necesarias para comprender el funcionamiento del sistema.

Con este trabajo se espera proporcionar un estudio de caracterización hídrica de la subcuenca, que permita a las distintas instituciones entender su funcionamiento para una mejor toma de decisiones relacionada con el uso del recurso hídrico superficial. Los resultados son de aplicación directa a la zona de estudio y pueden ser extrapolables a cuencas vecinas. Los beneficios de un estudio de estas características pueden verse reflejadas en la sostenibilidad y permanencia del recurso para las futuras generaciones.

#### 1.4. Marco teórico

Una Cuenca Hidrográfica se define como la unidad territorial natural que capta la precipitación, es por donde transita el escurrimiento hasta un punto de salida en el cauce principal, o sea, es un área delimitada por una divisoria topográfica denominada divisoria-agua que drena a un cauce común (Brooks ,1985; en Umaña Gómez, 2002).

En términos simples, una cuenca hidrográfica es la superficie de terreno definida por el patrón de escurrimiento del agua, es decir, es el área de un territorio que desagua en una quebrada, en un río, en un lago, en un pantano, en el mar o en un acuífero subterráneo. En un valle, toda el agua proveniente de lluvias y riego, que corre por la superficie del suelo (lo que se denomina agua de escurrimiento) desemboca en corrientes fluviales, quebradas y ríos, que fluyen directamente al mar. Maas (2005), la define como una especie de embudo natural, cuyos bordes son los vértices de las montañas y la boca es la salida del río o arroyo. Puede ser tan pequeña como la palma de la mano, o tan grande como un continente completo, (Figura 1).

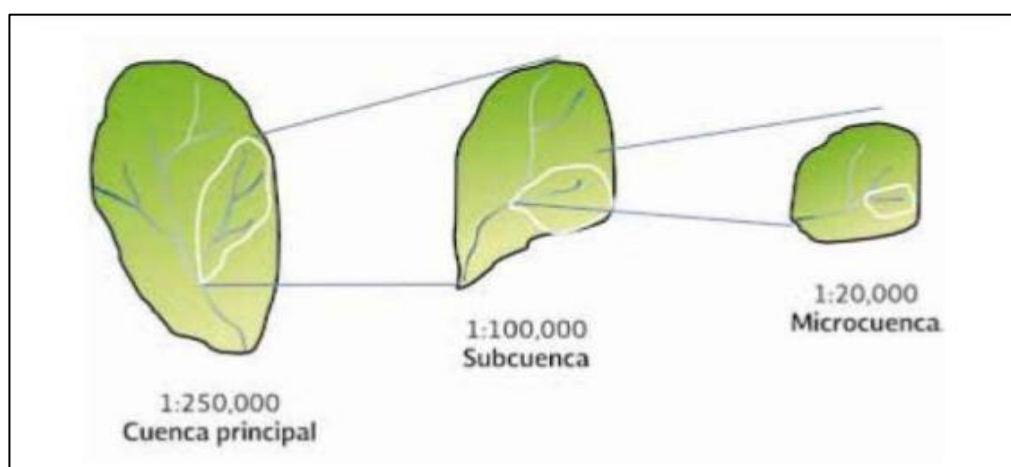


Figura 1: Estructura jerárquica de una cuenca hidrográfica.

Una subcuenca es la división de una cuenca, y usualmente está determinada por puntos donde se unen ríos o puntos como presas, tomas de agua, etc.; de tal manera, que la

cuenca puede estar formada por varias subcuencas dependiendo de la definición de los puntos de interés (Nittler & Barahona, 1993).

Físicamente, la cuenca representa una fuente natural de captación y concentración de agua superficial, y por lo tanto, tiene una connotación esencialmente volumétrica e hidrológica. Al mismo tiempo la cuenca, y sobre todo el agua captada por la misma, es una fuente de vida para el hombre aunque también de riesgo cuando ocurren fenómenos naturales extremos como sequías, inundaciones o el agua se contamina.

En una cuenca se producen relaciones, interacciones e interrelaciones y es un sistema natural dinámico de elementos físicos, biológicos, sociales, económicos y políticos que se relacionan entre sí, evolucionando permanentemente en función de las actividades antrópicas. Constituye el espacio indicado para combinar adecuadamente el manejo forestal con el ordenamiento integral de los recursos naturales donde se hagan compatibles las demandas sociales con las capacidades o soporte de la naturaleza, y en donde el hombre juega un rol principal, ya que con sus decisiones y comportamiento, puede producir cambios positivos o negativos en el sistema.

Como se mencionó anteriormente, las cuencas se conforman por componentes biofísicos como el agua y el suelo, biológicos como la flora y la fauna y antropogénicos que se refieren a las actividades socioeconómicas y culturales que desarrolla el hombre como principal actor.

Todos estos componentes están interrelacionados y deben de estar en equilibrio ya que al afectarse uno de ellos pone en peligro todo el sistema. Esto significa que es necesario estudiar y conocer cada uno de estos componentes y la mejor manera de hacerlo es considerando todo el sistema, que en este caso es la cuenca.

Por otro lado, los recursos naturales de una cuenca, pueden ser renovables (el agua, la biodiversidad, el suelo agrícola) siempre que puedan reemplazarse por vía natural o mediante la intervención humana; pero también pueden ser no renovables cuando no se pueden reemplazar en un período de tiempo significativo, en términos de las actividades humanas a las que están sometidos.

#### **1.4.1. Manejo de cuencas**

El manejo de cuencas se refiere a la gestión que el hombre realiza a nivel de la cuenca para aprovechar, proteger y conservar los recursos naturales que le ofrece, con el fin de obtener una producción óptima y sostenida para lograr una calidad de vida acorde con sus necesidades.

Las actividades que realiza el hombre y sus actitudes, constituyen el eje del manejo de la cuenca es decir, que dependiendo del comportamiento del hombre, una cuenca estará bien o mal manejada.



El agua es el elemento integrador para el manejo de cuencas es por eso que adquiere predominancia el concepto de calidad y cantidad además de que el agua mantiene un rol estratégico cuando se habla de Manejo Sostenible o Manejo Integral de Cuencas.

La teoría de la planificación moderna de cuencas hidrográficas se originó en Europa y Estados Unidos desde finales del siglo pasado como una actividad orientada estrictamente a la planificación de los recursos hidráulicos. Esto es absolutamente lógico por cuanto la cuenca hidrográfica es el escenario natural donde ocurren todos los procesos y transformaciones de la porción terrestre del ciclo hidrológico (Vazques V., 1997).

El manejo integrado de los recursos naturales con un enfoque de cuencas hidrográficas representa una vía favorable para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad a los desastres naturales. Durante años, muchos desastres naturales (terremotos, ciclones tropicales, inundaciones y erupciones volcánicas) han causado la pérdida de muchas vidas humanas, han afectado adicionalmente a millones de personas y han causado pérdidas económicas inmensas producto de los daños.

Actualmente se sabe bastante sobre las causas y la naturaleza de los desastres, así como de las poblaciones en riesgo, y ese conocimiento puede ayudar a prever algunos de los efectos que podría tener un desastre sobre las comunidades afectadas. También es importante señalar que muchos desastres son inducidos por las actividades que realizan los humanos.

A la hora de realizar las planificaciones para el buen manejo de cuencas es necesario conocer profundamente los parámetros físicos, químicos y de forma, que componen el sistema.

#### **1.4.2. Caracterización morfológica de Cuencas**

Las características físicas de una cuenca forman un conjunto que influye profundamente en el comportamiento hidrológico de dicha zona tanto a nivel de las transformaciones como de las respuestas de la cuenca tomada como un sistema.

Así pues, el estudio sistemático de los parámetros físicos de las cuencas es de gran utilidad, ya que con base en ellos se puede lograr una transferencia de información de un sitio a otro, donde exista poca información; bien sea que falten datos, que haya carencia total de información de registros hidrológicos, si existe cierta semejanza geomorfológica y climática de las zonas en cuestión.

#### **1.4.3. Composición química de las aguas naturales**

Las aguas naturales, al estar en contacto con diferentes agentes (aire, suelo, vegetación, subsuelo, etc.), incorporan parte de los mismos por disolución o arrastre, o incluso, en el caso de ciertos gases, por intercambio. A esto es preciso unir la existencia de un gran

número de seres vivos en el medio acuático que interrelacionan con el mismo mediante diferentes procesos biológicos en los que se consumen y desprenden distintas sustancias.

Esto hace que las aguas dulces pueden presentar un elevado número de sustancias en su composición química natural, dependiendo de diversos factores tales como las características de los terrenos atravesados, las concentraciones de gases disueltos, etc. Entre los compuestos más comunes que se pueden encontrar en las aguas dulces están, como constituyentes mayoritarios los carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos. Como constituyentes minoritarios los fosfatos y silicatos, metales como elementos trazas y gases disueltos como oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono.

El agua de lluvia presenta: cationes tales como sodio, potasio, calcio, magnesio ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) y aniones tales como carbonatos, cloruros, bromuros, ioduros, sulfatos, nitratos, fosfatos ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), y gases disueltos como dióxido de carbono, oxígeno, ozono, nitrógeno, argón, etc.

La composición química natural de las aguas puede verse alterada por actividades humanas: agrícolas, ganaderas e industriales, principalmente. La consecuencia es la incorporación de sustancias de diferente naturaleza a través de vertidos de aguas residuales o debido al paso de las aguas por terrenos tratados con productos agroquímicos o contaminados.

Estas incorporaciones ocasionan la degradación de la calidad del agua provocando diferentes efectos negativos como la modificación de los ecosistemas acuáticos, la destrucción de los recursos hidráulicos, riesgos para la salud, incremento del costo del tratamiento del agua para su uso, daño en instalaciones (incrustaciones, corrosiones, etc.) y destrucción de zonas de recreo. Las aguas contaminadas presentan compuestos diversos en función de su procedencia: pesticidas, tensoactivos, fenoles, aceites y grasas, metales pesados, etc.

La composición específica de un agua determinada influye en propiedades físicas tales como densidad, tensión de vapor, viscosidad, conductividad, etc.

### **Los parámetros de control de calidad del agua son:**

Para el control de la calidad del agua se consideran parámetros físicos y químicos, y biológicos, los cuales se especifican a continuación:

**Físicos:** características organolépticas (color, olor, sabor), elementos flotantes, temperatura, sólidos, conductividad, radioactividad.

**Químicos:** pH, materia orgánica (carbono orgánico total, COT), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno y compuestos derivados (amoníaco, nitratos, nitritos, etc.), fósforo y compuestos derivados (fosfatos), aceites y grasas, hidrocarburos, detergentes, cloro y cloruros, fluoruros, sulfatos y sulfuros, fenoles, cianuros, haloformas, metales y pesticidas.

**Gases disueltos:** oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, metano, ácido sulfhídrico.

**Biológicos:** coliformes totales y fecales, estreptococos fecales, salmonellas, enterovirus.

## **Parámetros Físicos**

### **Color**

Es el resultado de la presencia de materiales de origen vegetal tales como ácidos húmicos, turba, plancton, y de ciertos metales como hierro, manganeso, cobre y cromo, disueltos o en suspensión. Constituye un aspecto importante en términos de consideraciones estéticas. Los efectos del color en la vida acuática se centran principalmente en aquellos derivados de la disminución de la transparencia, es decir que, además de entorpecer la visión de los peces, provoca un efecto barrera a la luz solar, traducido en la reducción de los procesos fotosintéticos en el fitoplancton así como una restricción de la zona de crecimiento de las plantas acuáticas.

### **Olor**

Es debido a cloro, fenoles, ácido sulfhídrico, etc. La percepción del olor no constituye una medida, sino una apreciación, y ésta tiene, por lo tanto, un carácter subjetivo. El olor raramente es indicativo de la presencia de sustancias peligrosas en el agua, pero sí puede indicar la existencia de una elevada actividad biológica. Por ello, en el caso de aguas potable, no debería apreciarse olor alguno, no sólo en el momento de tomar la muestra sino a posteriori (10 días en recipiente cerrado y a 20°C).

### **Temperatura**

La temperatura de las aguas residuales y de masas de agua receptora es importante a causa de sus efectos sobre la solubilidad del oxígeno y, en consecuencia, sobre las velocidades en el metabolismo, difusión y reacciones químicas y bioquímicas. Temperaturas elevadas implican aceleración de la putrefacción, con lo que aumenta la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y disminuye el oxígeno disuelto.

### **Sólidos**

De forma genérica se pueden denominar sólidos a todos aquellos elementos o compuestos presentes en el agua que no son agua ni gases. Atendiendo a esta definición se pueden clasificar en dos grupos: disueltos y en suspensión. En cada uno de ellos, a su vez, se pueden diferenciar los sólidos volátiles y los no volátiles.

La medida de Sólidos Totales Disueltos (TDS) es un índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua, y proporciona una indicación general de la calidad química. TDS es definido analíticamente como residuo filtrable total (en mg/l); Los principales aniones inorgánicos disueltos en el agua son carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos. Los principales cationes son calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio, etc.

Por otra parte, el término sólidos en suspensión, es descriptivo de la materia orgánica e inorgánica particulada existente en el agua (aceites, grasas, arcillas, arenas, fangos, etc.). La presencia de sólidos en suspensión participa en el desarrollo de la turbidez y el color del

agua, mientras que la de sólidos disueltos determina la salinidad del medio, y en consecuencia la conductividad del mismo.

Por último, la determinación de sólidos volátiles constituye una medida aproximada de la materia orgánica, ya que a la temperatura del método analítico empleado el único compuesto inorgánico que se descompone es el carbonato magnésico.

### **Conductividad**

La conductividad eléctrica de una solución es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua. Como la contribución de cada especie iónica a la conductividad es diferente, su medida da un valor que no está relacionado de manera sencilla con el número total de iones en solución. Depende también de la temperatura y está relacionada con el residuo fijo por la siguiente expresión:

Conductividad: ( $\mu$  S/cm) x f = residuo fijo (mg/l)

El valor de f varía entre 0.55 y 0.9.

### **Parámetros Químicos**

#### **PH**

Se define como el logaritmo de la inversa de la concentración de protones:

$$\text{PH} = \log 1/ [\text{H}^+] = - \log [\text{H}^+]$$

La medida del pH tiene amplia aplicación en el campo de las aguas naturales y residuales. Es una propiedad básica e importante que afecta a muchas reacciones químicas y biológicas. Valores extremos de pH pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna, reacciones secundarias dañinas (por ejemplo, cambios en la solubilidad de los nutrientes, formación de precipitados, etc.).

#### **Alcalinidad**

La alcalinidad es la suma total de los componentes en el agua que tienden a elevar el pH del agua por encima de un cierto valor (bases fuertes y sales de bases fuertes y ácidos débiles), y, la acidez corresponde a la suma de componentes que implican un descenso de pH (dióxido de carbono, ácidos minerales, ácidos poco disociados, sales de ácidos fuertes y bases débiles). Ambos, alcalinidad y acidez, controlan la capacidad de taponamiento del agua, es decir, su capacidad para neutralizar variaciones de pH provocadas por la adición de ácidos o bases.

El principal sistema regulador del pH en aguas naturales es el sistema carbonato (dióxido de carbono, ion bicarbonato y ácido carbónico).

#### **Oxígeno disuelto**

Es necesario para la vida de los peces y otros organismos acuáticos. El oxígeno es moderadamente soluble en agua, dependiendo la solubilidad de la temperatura, la salinidad, la turbulencia del agua y la presión atmosférica: disminuye cuando aumenta la temperatura y la salinidad, y cuando disminuye la presión atmosférica. La solubilidad del oxígeno atmosférico en aguas dulces, a saturación y al nivel del mar, oscila aproximadamente entre 15 mg/l a 0 °C y 8 mg/l a 25 °C.

### **Cloro y cloruros**

El cloro elemental es un gas amarillo-verdoso altamente soluble en agua. Cuando se disuelve en ausencia de sustancias nitrogenadas (con la materia orgánica nitrogenada forma cloraminas) u otros productos que puedan interferir, el cloro es rápidamente hidrolizado a ácido hipocloroso (HOCl) y ácido clorhídrico (HCl). A su vez el ácido clorhídrico se disocia fácilmente a iones hidrógeno y cloruro, mientras que el ácido hipocloroso, que es un ácido débil, se disocia parcialmente en iones hidrógeno e iones hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ). Las proporciones relativas de  $\text{Cl}_2$ , HOCl y  $\text{OCl}^-$  en equilibrio (especies que en conjunto se denominan cloro libre disponible) se encuentran controladas por el pH, la temperatura y la fuerza iónica.

El cloro en agua reacciona fácilmente con las sustancias nitrogenadas para producir mono-, di- y triaminas, N-cloraminas y otros compuestos N-clorados (conocidos en conjunto como cloro disponible combinado).

Tanto las formas de cloro libre como las de cloro combinado participan en diversas reacciones con compuestos orgánicos para generar productos clorados. El cloro que permanece en agua después de un tratamiento se denomina cloro residual. El conjunto de cloro libre y cloro combinado se nombra como cloro residual total (TRC total residual chlorine). La medida de TRC se considera suficiente para definir la toxicidad sobre los organismos acuáticos de agua dulce.

El ion cloruro se encuentra ampliamente distribuido en el medio ambiente, generalmente en forma de cloruro sódico, potásico o cálcico. El gran inconveniente de los cloruros es el sabor desagradable que comunican al agua. Son también susceptibles de ocasionar una corrosión en las canalizaciones y en los depósitos, en particular para los elementos de acero inoxidable.

### **Fluoruros**

La mayoría de los fluoruros asociados con cationes monovalentes son solubles en agua, pero aquellos formados con cationes divalentes son normalmente insolubles.

### **Sulfatos**

El ion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) es la forma oxidada estable del azufre, siendo muy soluble en agua.

Sin embargo, los sulfatos de plomo, bario y estroncio son insolubles. El sulfato disuelto puede ser reducido a sulfito y volatilizado a la atmósfera como  $\text{H}_2\text{S}$ , precipitado como sales insolubles o incorporado a organismos vivos. Los sulfatos sirven como fuente de oxígeno a las bacterias, en condiciones anaeróbicas, convirtiéndose en sulfuro de hidrógeno. Pueden

ser producidos por oxidación bacteriana de los compuestos azufrados reducidos, incluyendo sulfuros metálicos y compuestos orgánicos.

### **Fenoles**

Los compuestos fenólicos pueden afectar a las especies piscícolas de diversas formas: por toxicidad directa tanto a los peces como a los organismos que les sirven como alimento (son extremadamente tóxicos) y por disminución de la cantidad de oxígeno disponible por la elevada demanda de oxígeno de los compuestos.

### **Cianuros**

Como cianuros se incluyen una serie de diversos compuestos orgánicos caracterizados por el grupo  $C\equiv N$ . Los gérmenes aerobios responsables de la depuración y los peces son sensibles a un contenido de 0,1 mg/l de HCN.



## CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS GENERALES

### 2.1. Ubicación del área de estudio y vías de acceso.

El área de estudio corresponde a una cuenca hidrográfica situada en la provincia de Catamarca, en el departamento Capayán, a unos 20 km de la cabecera departamental del mismo (Huillapima), y a 38 km de San Fernando del Valle de Catamarca, la misma se extiende entre las coordenadas  $28^{\circ} 22' 46''$  -  $28^{\circ} 34' 27''$  de latitud sur y  $65^{\circ} 54' 53''$  -  $66^{\circ} 03' 11''$  longitud oeste, y a una altura de 2391 m.s.n.m, (Figura 2)

El río Los Ángeles nace en las sierras de Ambato-Manchao, tiene una longitud mayor a los 30 km, responde a un marcado control estructural debido a la presencia de fallas de rumbo N-S. Sus aguas son utilizadas para consumo humano, ganadería y riego tanto en las localidades de Los Ángeles como en Miraflores y Coneta.

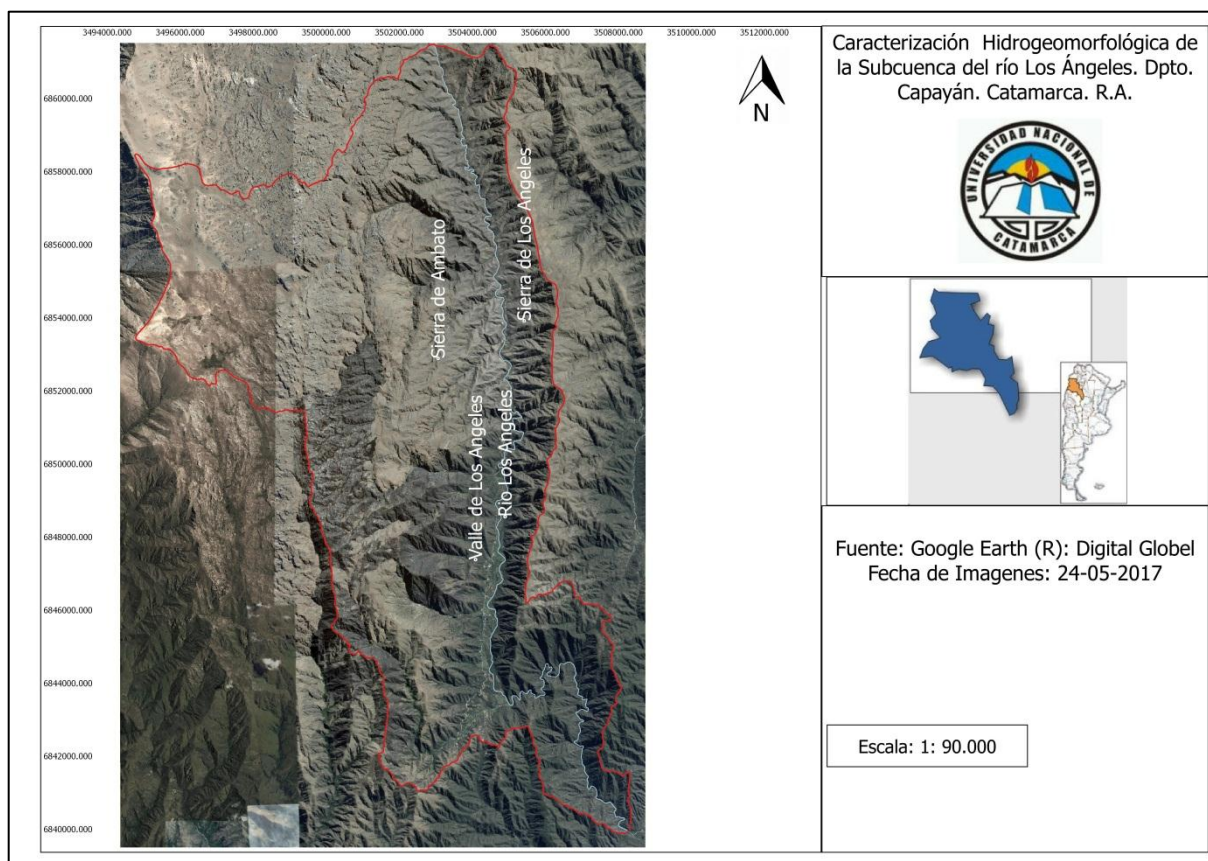


Figura 2: Ubicación del área de estudio.

Para llegar a la zona de estudio desde la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca se debe tomar la Ruta Nacional N° 38 hasta la localidad de Miraflores. Desde la plaza de esa localidad se toma la Ruta Provincial N° 5, sin pavimentar, que se dirige hacia el oeste. A 2 kilómetros de la plaza de Miraflores comienza la cuesta de Los Ángeles, un angosto

camino de cornisa de 12 kilómetros de longitud, que serpenteante, se dirige hacia el valle de Los Ángeles (Figura 3).



Figura 3: Vías de acceso y zona de trabajo (croquis sin escala).

## 2.2. Actividades económicas

Para el desarrollo de las actividades económicas la población utiliza el agua superficial que drena la ladera occidental de la cuenca y que actúan como efluentes del río Los Ángeles, la mayoría de ellos de carácter intermitentes.

Como actividad primaria se desarrolla una zona productiva con importantes emprendimientos, en el cultivo de nogales, olivares, plantas frutales como duraznos, membrillos, perales, vid, ciruelos, entre otros. En cuanto a la ganadería en la cuenca se desarrolla ganado vacuno y caprino principalmente.



Como actividad secundaria se desarrolla la industria artesanal a través de la fabricación de dulces regionales y arropes.

Como actividades terciarias, posee servicio de agua corriente, alumbrado eléctrico, telefonía, correos y telecomunicaciones, transporte automotor diario. Para la asistencia sanitaria cuenta con dos postas sanitarias.

Cuenta con un centro cultural, dos escuelas públicas, una con nivel secundario, una delegación policial con un agente, que depende del Comando de Miraflores.

### **2.3. Usos del agua y del suelo**

En la zona de estudio emplean agua superficial para abastecimiento poblacional, agropecuario y recreativo a través de métodos gravitacionales. Se estima que el 90% de la población tiene acceso al agua potabilizada por medio de sedimentación, filtración y cloración en una planta de tratamiento de agua. El agua, recolectada del río principal, es tratada y proporcionada por la municipalidad.

El uso que se le da al suelo está asociado a la producción agropecuaria de nueces, olivos, vid, manzanos, peral y membrillo. La superficie de suelo ocupada con bosques y montes en la cuenca sobresale, por representar el mayor espacio cubierto por el Distrito del Chaco Serrano, perteneciente a la Provincia Fitogeográfica Chaqueña (Cabrera, 1976; Morlans, 1995).

### **2.4. Clima**

El clima de la región es cálido, semiárido, según la clasificación general de Dauss y García Gache "árido de sierras y bolsones" (Figura 4), pero se comporta como un microclima más húmedo por el efecto de la morfología. Localmente responde a las características subtropicales, con precipitaciones de 350 - 400 mm anuales, las lluvias son orográficas, torrenciales, concentrándose entre los meses de diciembre a febrero, con una temperatura máxima en verano de 36 °C y la mínima 5 °C la que se registra entre mediados de junio y principio de agosto, con una temperatura media de 18 °C.

Según la clasificación de Köppen el clima de la región es del tipo (B W K); donde B es la precipitación media anual inferior al límite de sequía, W es el desierto y K temperatura media anual inferior a 18 °C, pero superior a 18 °C en el mes más caluroso (enero).

Esta situación es el resultado de dos sistemas permanentes de alta presión que gobiernan la circulación atmosférica de América del Sur, localizados aproximadamente a 30° de latitud en los océanos Pacífico y Atlántico, a partir de los cuales se originan vientos en los océanos que se desplazan al área continental. Las masas de aire que alcanzan la costa Pacífica se enfrían evitando de esta manera que absorban vapor de agua y reduciendo las posibilidades de precipitaciones sobre la costa. La Cordillera de los Andes representa una barrera física

que impide el paso de cualquier humedad potencial hacia el Este, reduciendo la probabilidad que las masas de aire húmedo del Pacífico lleguen a la provincia de Catamarca.

En cuanto al régimen eólico, hay preponderancia de los vientos del cuadrante N - NE durante todo el año, le siguen en orden los del cuadrante Sur, con leves picos de frecuencia en los meses de septiembre y octubre. Propenso a incendios forestales, debido a la fuerte insolación y vientos secos.

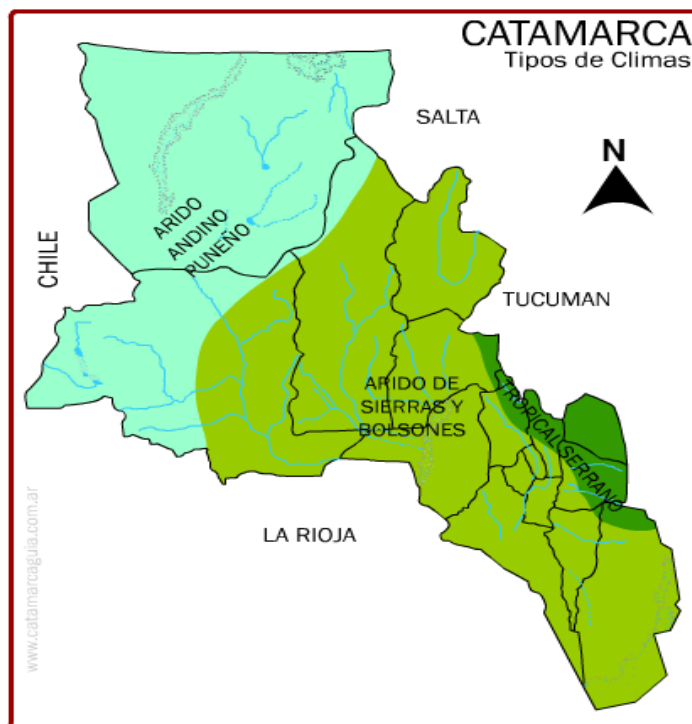


Figura 4: Clasificación climática según Dauss y García Gache.

## 2.5. Suelos

La zona de estudio presenta características de relieve que no permiten el desarrollo de suelos profundos, esto genera un impedimento ante las actividades agrícolas.

Debido a las condiciones climáticas, en aquellos sitios donde es posible la germinación de semillas y su posterior crecimiento, se desarrollan comunidades boscosas que realizan un aporte permanente de materia orgánica al suelo y una efectiva protección al mismo.

Según la clasificación del instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, en esta área se pueden distinguir los siguientes tipos de suelos:

### **EPI Ustortentes líticos (A)**

Estos suelos presentan una secuencia de horizontes A, C, R. No tienen horizontes diagnósticos. Son suelos pedregosos formados en las acumulaciones de regolito o en aglomerados de granulometría variable; el contacto con la roca subyacente es neto.

Se ubican en el relieve de sierras y colinas de la Región Natural de Selva y Pastizales de Altura. Pertenecen a los faldeos cuyo rasgo distintivo es el relieve pronunciado y la abundancia de piedras y fragmentos gruesos. Las condiciones climáticas son favorables para la formación de una capa de mantillo en superficie.

La distribución geográfica es amplia, abarcando las sierras de altura intermedia (debajo de los 2.000 m).

La aptitud natural de estos suelos es ganadera. Los Ustortentes líticos forman parte de la unidad EPli-24 y EPli-25 como componente subordinado.

### **MNli Haplustoles líticos (B)**

Con un horizonte A1 que es un epipedón mólico, luego un B2 cámbico sobre la roca. En todo el perfil abundan fragmentos líticos de variada granulometría y naturaleza litológica.

Se ubican en el ambiente de sierras y colinas en la porción menos húmeda de la región de selva y pastizales de altura. Son suelos de faldeo, situados en áreas de relieve suavizado. Tienen amplia distribución geográfica en las serranías de alturas intermedia.

La aptitud de estos suelos es forestal extractiva (postes, leña, carbón) y ganadera. Los Haplustoles líticos forman parte de las unidades cartográficas EPli-24 y EPli-25 como componentes subordinados.

### **MKli Argiustoles líticos**

La secuencia de horizontes característica de este Subgrupo es: A1, B2, R. El horizonte A1 corresponde a un epipedón mólico y el horizonte B2 a un argílico cuyo límite inferior es abrupto por el contacto con la roca subyacente.

Estos suelos se ubican en el relieve de sierras y colinas en la porción menos húmeda de la región natural de selva y pastizales de altura. El rasgo distintivo del ambiente es un relieve pronunciado y la composición litológica variada. Son suelos de faldeo situados en las áreas de relieve suavizado que tienen amplia distribución geográfica en las serranías de altura intermedia.

La aptitud natural de estos suelos es forestal extractiva y ganadera. Los Argiustoles líticos forman parte de la unidad EPli-25 como componente subordinado (Vargas Gil, 1990).

## **2.6. Vegetación**

Según el enfoque paisajístico de la subcuenca de Los Ángeles la vegetación se desarrolla sobre dos unidades fisiográficas mayores o paisajes (Morlans et al, 1996), que se identifican con la denominación de: “valle del río de Los Ángeles” y “vertiente rocosa superior”.

El “**valle del río de Los Ángeles**” abarcando una superficie de casi 4000 ha, comprende la ladera occidental (900 a 2700 msnm), ladera oriental (800 a 2700 msnm), sedimentos fluvio-aluviales recientes (1200 a 1800 msnm) y áreas cultivadas.

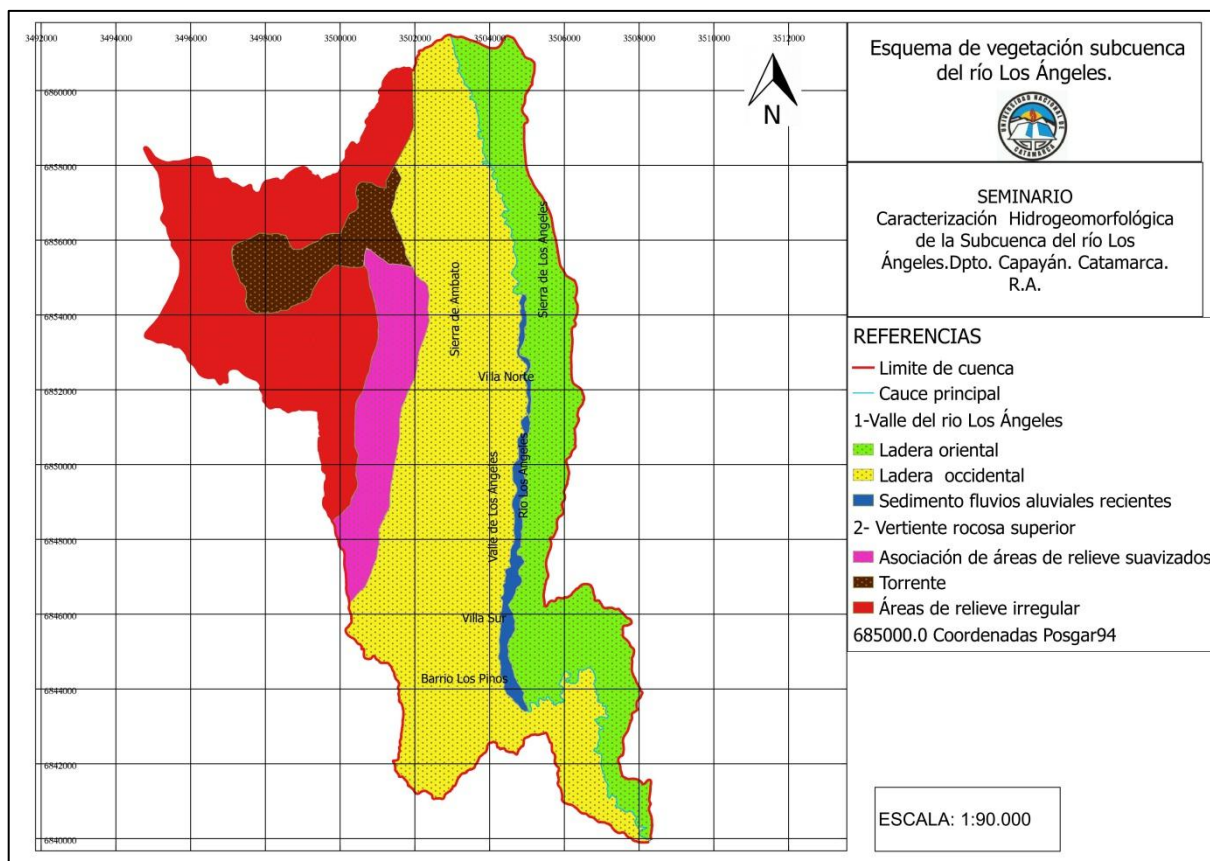
La vegetación se caracteriza por predominio de especies como horco-quebracho, viraró y quebracho blanco, en la ribera del río abundan el mistol, el estrato arbustivo está representado por garabato, tala monte negro y viscote. La unidad contiene un arbustal con predominio de especies espinescentes y caducifolias, de hojas pequeñas y membranosas, entre las matas se observan las gramíneas y se ven algunas especies de las zonas altas y frías como muña muña. Se caracteriza por tener un pastizal de gramínea, fasciculadas y rastreras, el cual es interrumpido cada tanto por grandes espacios de rocas colonizadas por especies de chaguares, también se observan tala chiquito y manzano del campo, palo amarillo cucharero y quebracho blanco.

**Áreas cultivadas:** El área de cultivo de la cuenca de Los Ángeles ocupa una superficie de 2800 ha. La principal actividad agrícola es la fruticultura, fundamentalmente de nogal y en menor escala manzano, cultivándose también peral y membrillo. Por debajo de las copa de los árboles frutales son frecuentes los verdeos invernales usados como pastoreo para engorde de ganado vacuno.

**Vertiente rocosa superior:** comprendida entre los 800 y 4000 msnm, abarca una superficie de 5800 ha. Está delimitada en tres subpaisajes, asociación de áreas de relieve irregular y suavizado (2400 a 2600 msnm), torrente (2300 a 3800 msnm) y área de relieve muy irregular (2600 a 4100 msnm). Consiste en un extenso plano erosivo que desciende desde la cumbre de la sierra de Ambato hasta el borde del paisaje denominado Valle del río de Los Ángeles.

La vegetación está constituida por especies de gramíneas perennes, pastizal discontinuo, lignificado, con espacios entre matas gramíneas o arbustos cubiertos por césped. Posee pequeños manchones de vegetación constituidos por gramíneas perennes cespitosas.

En el Mapa 1 se puede observar el esquema de vegetación resultante de la subcuenca, el mismo puede visualizarse con mayor detalle en el Anexo I.



Mapa 1: Esquema de vegetación, Subcuenca del Río Los Ángeles.

## 2.7. Geología

El área de estudio se enmarca dentro de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas Occidentales, caracterizada por presentar un basamento cristalino constituido por metamorfitas y migmatitas, con una edad de metamorfismo ordovícica que alojan una serie de granitoides calcoalcalinos asociados a diferentes ciclos deformacionales. Este basamento se encuentra en partes cubierto por sedimentitas continentales de edades neopaleozoicas, que registran frecuentes niveles piroclásticos procedentes de la Cordillera Frontal. Tectónicamente, esta provincia geológica está constituida por un sistema de montañas en bloques limitados por fallas inversas de alcance regional, de alto ángulo y rumbo general Norte-Sur (Ramos, 1999).

## 2.8. Estratigrafía local

La estratigrafía que se detalla a continuación está basada en la descripción geológica de la Hoja 2966-II, San Fernando del Valle de Catamarca (Blasco *et. al.*, 1994), relacionando la

misma con las interpretaciones realizadas por González Bonorino (1978) en la Hoja 14f San Fernando del Valle de Catamarca y por Nullo (1981) en la Hoja 15f Huillapima.

### 2.8.1. Precámbrico superior a Ordovícico

#### Basamento Metamórfico

**Formación El Portezuelo (6):** Consiste en un complejo metamórfico-migmatítico que aflora en el flanco nororiental del cordón del Ambato. Sus principales constituyentes son gneises granulados y gneises migmatíticos de textura bandeada o lit-par-lit, así como esquistos gnéisicos o micacitas gnéisicas de tipo venoso, compuestos por cuarzo, plagioclasa, biotita, sillimanita y/o cordierita.

El neosoma consiste en un metatecto granitoideo, de composición tonalítica a granodiorítica, de grano uniforme fino a mediano y color blanquecino, que al mezclarse con el paleosoma determina migmatitas de texturas flebíticas, estromatíticas, oftalmíticas y agmatíticas. Hay además un neosoma pegmatoideo ligeramente rosado, granatífero, que origina migmatitas de texturas estromatíticas y flebíticas. Esta venación produce modificaciones en el paleosoma, donde aumenta el tamaño del grano, se hace más evidente la biotita, el bandeamiento es más acentuado y aparece moscovita en metacristales grandes.

Se suelen observar paquetes de hasta 4 m de bancos inyectados y no inyectados. Los pasajes entre ambos pueden ser rápidos o bien gradacionales. El control parece ser la composición original, la que determina los cambios litológicos posteriores.

Esta unidad corresponde a los “Esquistos inyectados y migmatitas” (González Bonorino, 1978), formación El Portezuelo (Aceñolaza y Toselli, 1971; Aceñolaza *et al.*, 1983) o miembro el Portezuelo de la formación Ancasti (Aceñolaza y Toselli, 1981). Nullo (1981) incluyó estas rocas dentro de la formación Los Divisaderos, junto con los cuerpos leptos o postectónicos de composición granítica.

### 2.8.2. Ordovícico a Carbonífero inferior

#### Plutonitas Postectónicas

Las plutonitas postectónicas comprenden cuerpos intrusivos de contorno subelíptico a subcircular y diámetros de 1 a 2 km hasta dimensiones tipo stock, emplazados discordantemente en rocas esquistosas y gnéisicas en condiciones netamente postcinemáticas, sin producir ningún tipo de efecto migmatizante ni aureola térmica. Los contactos con la roca de caja (principalmente esquistos bandeados, esquistos micáceos y gneises) son netos y discordantes, típicos de una intrusión magmática postectónica. No se observan fenómenos térmicos ni penetraciones sálicas provenientes de las plutonitas, ni en los contactos con la caja ni en los numerosos xenolitos esquistosos que estas incluyen. Por las relaciones entre los granitoides y su caja metamórfica, y por la gran cantidad de xenolitos incluidos, se trata de zonas marginales del plutón (techo o paredes).

Estos cuerpos han sido denominados por González Bonorino (1978) “como cuerpos graníticos leptotectónicos”.

**Granitos biotíticos-muscovíticos y muscovíticos-granatíferos (11):** Se presentan formando cuerpos netamente intrusivos de dimensiones variables, hasta el tamaño de stocks. Son rocas de color rosado a rojizo hasta gris claro, según su grado de alteración, y casi siempre inequigranulares, con variación del tamaño de grano desde fino hasta grueso y pegmatoideo. Son típicas las variedades porfiroideas en las que se destacan megacristales eudrales, prismáticos, de microclino de 2 a 3 cm. Son típicos granitos de dos micas, en general con ligero predominio de la biotita sobre la moscovita. En muchos casos contienen abundante xenolitos de rocas esquistosas de variadas dimensiones, algunos de ellos ligeramente orientados en los que no se observan fenómenos de reacción y sólo ocasionalmente penetración de aisladas venas y venillas graníticas.

En el área de estudio estos cuerpos constituyen los stocks graníticos de las altas cumbres del Ambato.

**Pegmatitas (12):** Cuerpos pegmatíticos tabulares o lenticulares se encuentran instruyendo a las metamorfitas y, en menor medida, a las rocas plutónicas, a las que se asocian como fase póstuma de la intrusión granítica. Son en su mayor parte cuerpos subparalelos concordantes con la estructura regional del basamento de la comarca, si bien en algunos casos son discordantes en otros alternan. Sus contactos con la roca de caja son por lo general netos, bien definidos, si bien en pocos casos son algo difusos y transicionales. En muchos casos suelen emitir apófisis y venas delgadas que inyectan a la roca de caja.

Desde el punto de vista petrográfico son pegmatitas simples, tanto en composición como en estructura interna, diferenciándose a los sumo unas pocas zonas (en general, marginal, externa y núcleo). Mineralógicamente las pegmatitas de las sierras de Ambato se caracterizan por su riqueza en moscovita.

### 2.8.3. Cuaternario

#### Pleistoceno

**Formación Concepción (19):** Esta denominación fue propuesta por Fidalgo (1965; en Nullo, 1981) para referirse a los sedimentos agrupados en el Primer Nivel de Piedemonte.

Los afloramientos de esta unidad se extienden desde la ciudad de Catamarca casi en continuidad hasta el límite sur de la comarca, al pie oriental de la sierra de Ambato, constituyendo retazos adosados al frente de montaña. Se trata de fanglomerados formados por rodados de tamaño grava mediana a gruesa, compuestos por esquistos, migmatitas y rocas graníticas.

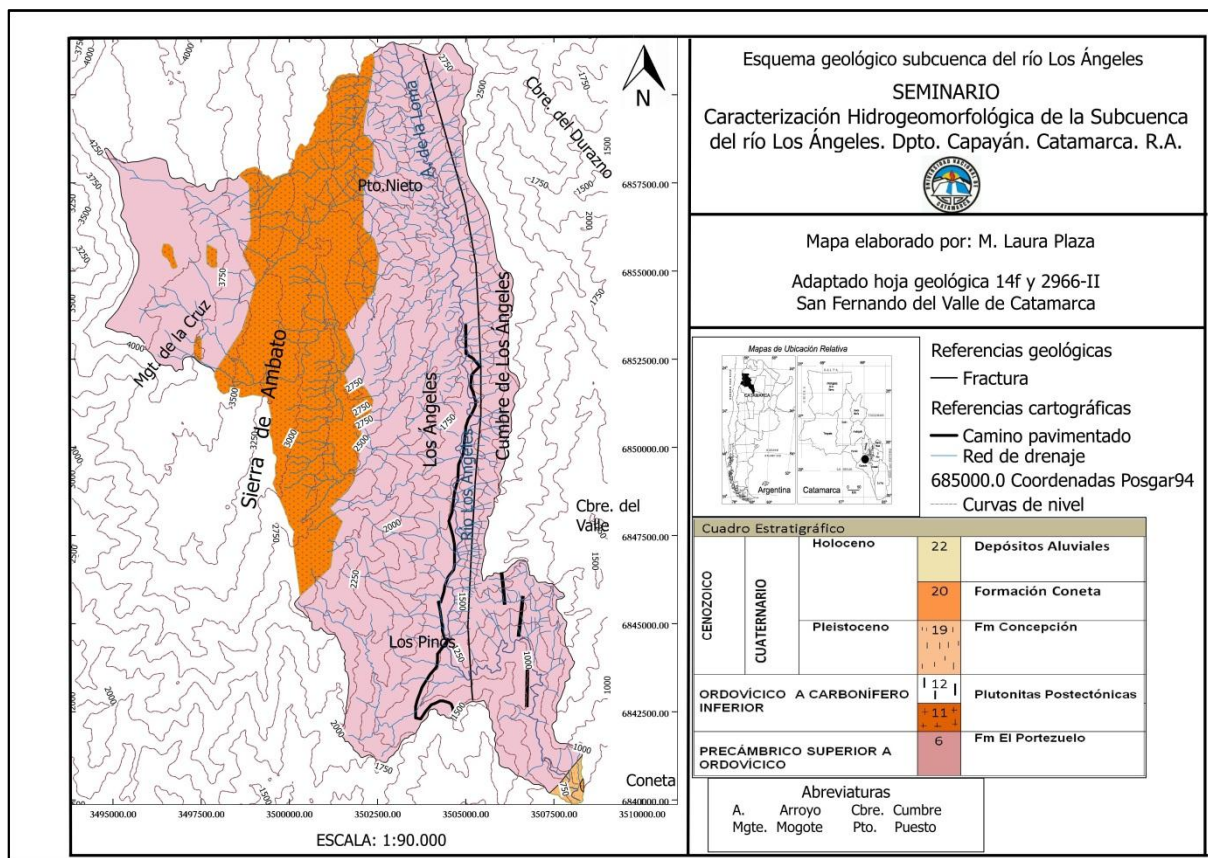


## Holoceno

**Formación Coneta (20):** Se agrupan en esta denominación los sedimentos considerados como Segundo Nivel de Piedemonte, siguiendo a Nullo (1981). Se hallan más extendidos que los de la Formación Concepción, topográficamente a un nivel inferior, bordeando a la misma en los frentes de montaña. Litológicamente se trata de limos arenosos, limos e intercalaciones de fanglomerados; la estratificación es caótica y responde a flujos no encauzados. En la parte alta de la cuenca se pueden distinguir intercalaciones de ceniza volcánica, la cual no es cartografiable a la escala de trabajo.

**Depósitos aluviales (22):** Los depósitos aluviales se extienden en toda la depresión tectónica del valle de Catamarca. En el área de estudio afloran en el extremo sudoriental a la salida de la cuenca. Litológicamente corresponden a arenas finas a gruesas, gravas y rodados tamaño bloque. Depósitos de loess se observan en forma discontinua en el área de estudio, al igual que los depósitos aluviales en el lecho del río Los Ángeles.

En el Mapa 2 se puede observar el esquema geológico resultante de la subcuenca del río Los Ángeles. El mismo puede visualizarse con mayor detalle en el Anexo I.



Mapa 2: Esquema geológico subcuenca del río Los Ángeles.



## 2.9. Estructura

La estructura del área de estudio es relativamente simple, se corresponde con el esquema tectónico regional, que se caracteriza por presentar lineamientos de rumbo general meridional, que definen bloques serranos y valles estructurales. La quebrada de Los Ángeles responde a una fractura de rumbo meridional que nace a la latitud del cerro Crestón, al NW del mismo, y se extiende hacia el Sur por aproximadamente 25 km. La marcada profundidad del valle se debe en parte al rechazo de falla pero fundamentalmente a la erosión fluvial. La quebrada acusa un desnivel de más de 1.000 m entre la cabecera principal y su nivel de base.

## 2.10. Geomorfología

La morfología de la zona de estudio se corresponde con las características geomorfológicas generales de la región, que se definen por un neto control estructural dado por lineamientos de rumbo meridional predominante. Los cordones serranos se corresponden con bloques de basamento y los valles longitudinales con depresiones tectónicas.

El valle intermontano longitudinal de Los Ángeles no escapa a estas características y responde a un control estructural dado por un lineamiento de rumbo N-S. El cordón cumbre de Los Ángeles corresponde a un bloque volcado al Este, muestra una cresta roma y regular.

En contraste, la vertiente oriental del Ambato se extiende hacia el Este más suavemente, con una línea de cumbres pareja pero con un relieve rugoso por el material granítico que las constituye, las formas se suavizan laderas abajo debido al cambio litológico (metamorfitas).

Siendo la estructura tectónica sencilla también lo es la morfología. Los valles longitudinales descienden junto con las sierras interiores, hasta que finalmente coalescen por desaparición de éstas en la amplia depresión del río del Valle.

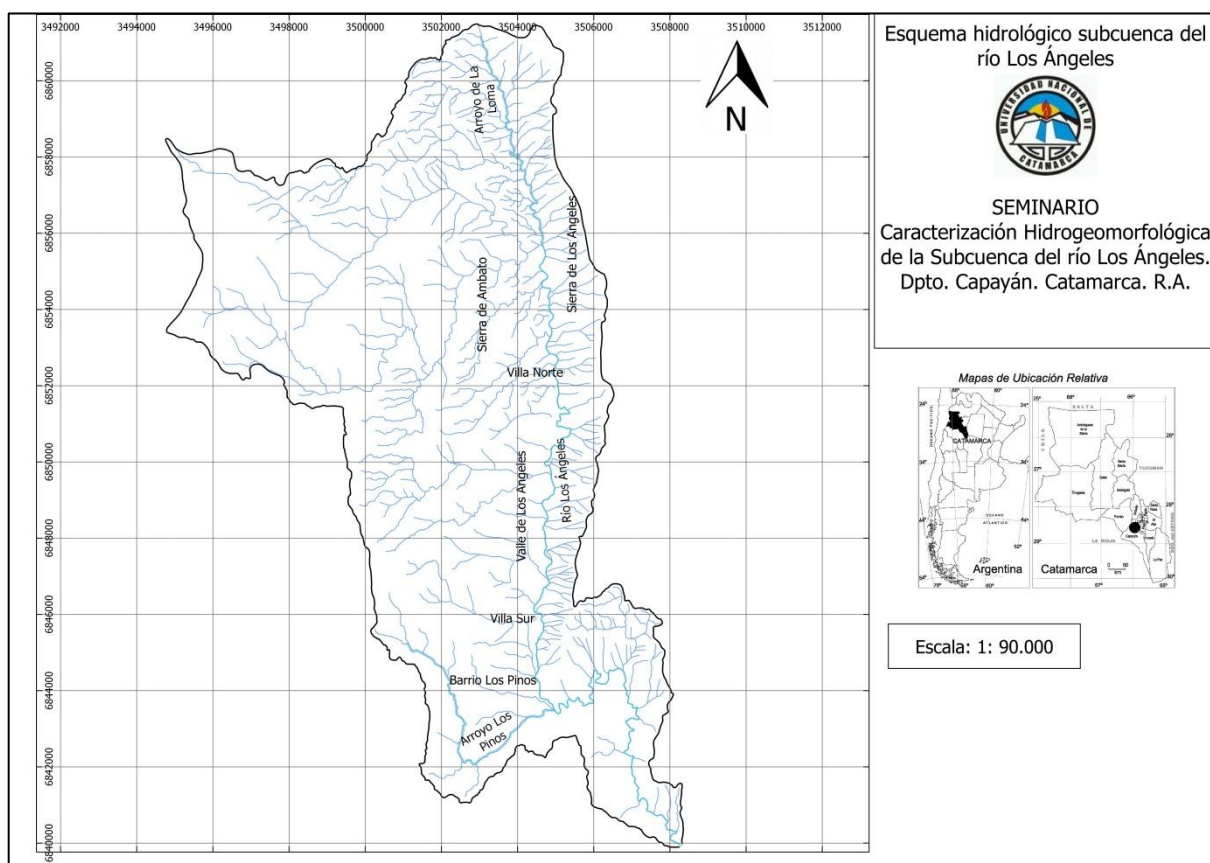
## 2.11. Hidrología

La subcuenca del río Los Ángeles responde al esquema regional de desarrollo de red de drenaje controlada por la estructura. En efecto, el colector principal, el río Los Ángeles, es un río longitudinal que sigue con rumbo submeridional la estructura del valle tectónico, dicho valle se encuentra limitado al este por el cordón Cumbres de Los Ángeles y al oeste por el cordón principal de las sierras de Ambato.

El curso principal tiene su cabecera en el extremo noreste de la subcuenca, nace con el nombre de arroyo de La Loma y cambia aguas abajo por el de río Los Ángeles, dando nombre a la subcuenca. Los afluentes de mayor importancia por constituir un aporte permanente de caudal, tienen sus nacientes en las altas cumbres del Ambato, este cordón actúa como barrera natural para la captación de humedad por lo que las precipitaciones son

más frecuentes, mientras que las quebradas que descienden del cordón de Los Ángeles no presentan un flujo permanente dado su corto recorrido, no obstante muestran una gran pendiente y constituyen un potencial peligro ante precipitaciones torrenciales. En el extremo austral del valle, a la latitud del barrio Los Pinos, el río Los Ángeles recibe el aporte del arroyo Los Pinos, y en respuesta a un cambio estructural, cambia su rumbo hacia el ENE por un corto trayecto hasta retomar nuevamente el rumbo general inicial (Mapa 3).

El caudal de esta subcuenca es empleado para riego y uso doméstico. A la salida de la misma se realiza la captación del fluido remanente para aprovisionamiento de la población de Miraflores.



Mapa 3: Esquema hidrológico subcuenca del río Los Ángeles.

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

### 3.1. Descripción metodológica general

La observación directa actuó como herramienta fundamental a lo largo de todo el trabajo. Esta se realizó a través de salidas de campo, toma de fotografías, relevamiento de puntos de observación (GPS) y búsqueda de imágenes correspondientes al área de estudio. En relación a la observación indirecta, se analizó la compilación de bibliografía específica.

Se utilizó el software IDRISI para calcular los parámetros morfométricos y QGIS, para generar los mapas temáticos.

Para determinar los aspectos socioeconómicos relacionados a la subcuenca se tomó como base la información del Censo 2010.

Las características de la subcuenca de drenaje fueron determinadas utilizando cartografía a escala 1:90.000 y softwares específicos. Y distintos métodos para determinar: área o tamaño de la cuenca, forma, coeficiente de compacidad de H. Gravelius, Relación de elongación de S.A. Schuman, curva hipsométrica o curva de área-elevación sugerida por Langbein y la pendiente según criterio de R. E. Hortón.

Las características de la red de drenaje fueron determinadas según el criterio de R. E. Hortón: tipos de corrientes, modelos de drenaje, orden de corriente y colector principal.

Para el control de caudal en una sección transversal del río se midieron las velocidades empleando un molinete hidráulico. Los métodos que se emplean para aforar el agua están basados en la determinación del área de la sección transversal y la velocidad del agua en dicha sección, para ello se utiliza la fórmula:

$$Q = A \times V$$

Dónde:

Q = caudal o gasto (m<sup>3</sup>/s)

A = área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

V = velocidad media del agua en el punto (m/s)

Para identificar las características físicas y químicas del agua del río Los Ángeles se midieron in situ pH, oxígeno disuelto, alcalinidad total, temperatura, conductividad y sólidos disueltos.

Se han utilizado una serie de diagramas con el objetivo de analizar las principales relaciones iónicas existentes y que condicionan la composición fisicoquímica del agua del río Los Ángeles, los mismos se realizaron empleando la hoja de cálculo EasyQuim y la pagina Hatarichem.

El diagrama de Piper, corresponde a diagramas triangulares que se utilizan para representar la proporción de tres componentes en la composición de una sustancia. La suma de los tres componentes debe presentar el 100 % de la composición de lo que se considera.

En hidroquímica se utiliza un triángulo para los cationes y otro para los aniones, por lo tanto el diagrama de Piper está formado por dos triángulos con un rombo que recibe la información de ambos triángulos. Cada análisis queda representado por tres puntos, en los dos triángulos y el rombo central. En los diagramas triangulares se pueden ver las diferencias o similitudes entre varias aguas, los efectos de mezclas entre dos aguas y la procedencia.

Los diagramas de Schoeller-Berkaloff conocidos como Columnas Verticales, se componen esencialmente de escalas logarítmicas verticales. Cada una de las seis escalas iónicas centrales están graduadas en miligramos por litro y las dos laterales, en meq/l. Los resultados de los análisis, expresados en mg/l se colocan directamente sobre el diagrama, uniéndose después los puntos obtenidos mediante segmentos de rectas, trazando así una línea quebrada representativa de la composición química del agua. La doble graduación lateral en miliequivalentes permite obtener por simple lectura su valor para cada elemento.

En los diagramas de Stiff, los análisis se representan mediante líneas o rectas paralelas equidistantes entre sí cortadas por una perpendicular a ellas. Esta perpendicular constituye el origen de las medidas sobre las semirrectas en que han quedado divididas las paralelas. De la vertical a la derecha se representan los aniones (uno en cada semirrecta y en meq/l), y análogamente los cationes en las semirrectas de la parte izquierda de la vertical. Los diagramas resultantes son muy útiles cuando se desea hacer una rápida comparación cualitativa de muchos análisis químicos.

El RAS, índice de adsorción del sodio, es un parámetro que refleja la posible influencia del ión sodio ( $\text{Na}^+$ ) sobre las propiedades del suelo, ya que tiene efectos dispersantes sobre los coloides del mismo afectando la permeabilidad. Sus efectos no dependen solo de la concentración del sodio sino también del resto de los cationes. Se basa en una fórmula que relaciona los contenidos de cationes calcio, sodio y magnesio ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{++}$ ) y expresa el porcentaje de sodio intercambiable en el suelo en situación de equilibrio. Altos niveles de RAS podrían dañar la estructura del suelo y generar problemas de infiltración de agua, ya que el suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas reduciendo la infiltración de agua y aire, con el consiguiente perjuicio para los cultivos.

Existen diferentes diagramas que se utilizan para la clasificación de las aguas para riego, uno de los más empleados corresponde al elaborado por el US Salinity Laboratory (1954), donde se grafica la razón de adsorción de sodio (RAS) versus la conductividad eléctrica a escala logarítmica.

### 3.2. Hidroquímica

Las tareas de campo realizadas en la subcuenca (Foto 1), durante el desarrollo de este trabajo consistieron en la medición in situ de los parámetros físico-químicos (pH, oxígeno disuelto, alcalinidad total, temperatura, conductividad y sólidos disueltos). Se tomaron cinco muestras de agua superficial y un duplicado a lo largo de todo el cauce, procurando que las mismas fueran captadas en las nacientes del cauce, después de los asentamientos poblacionales y a la salida del mismo, para poder identificar posibles variaciones en las características tanto físicas, como químicas del agua ocasionadas por las actividades antrópicas (Figura 5).



Foto 1: Panorámica Subcuenca del río Los Ángeles.

Los sitios monitoreados corresponden a sectores puntuales de la subcuenca detallados en la Tabla 1.

N° de Orden	Sitio de Muestreo	ID Muestra	Fecha/ hora de recolección		Coordenadas (GK Posgar 94)	
			DD_MM_AA	Hora	X	Y
1	Nacientes	LA1	21-Ago-17	13	3504657	6855671
2	Villa Norte	LA2	21-Ago-17	15:15	3504749	6853013
3	Villa Sur	LA3	21-Ago-17	16:55	3504472	6846259
4	Aporte (Los Pinos )	LA4	21-Ago-17	17:30	3505029	6843405
5	Camping Miraflores	LA5	21-Ago-17	18:50	3508223	6839985

Tabla 1: Sitios monitoreados.



El detalle de los mismos y los respectivos datos de campo, se puede observar en “Planilla de Muestreo” (Tabla 2) y con mayor detalle en el Anexo II.

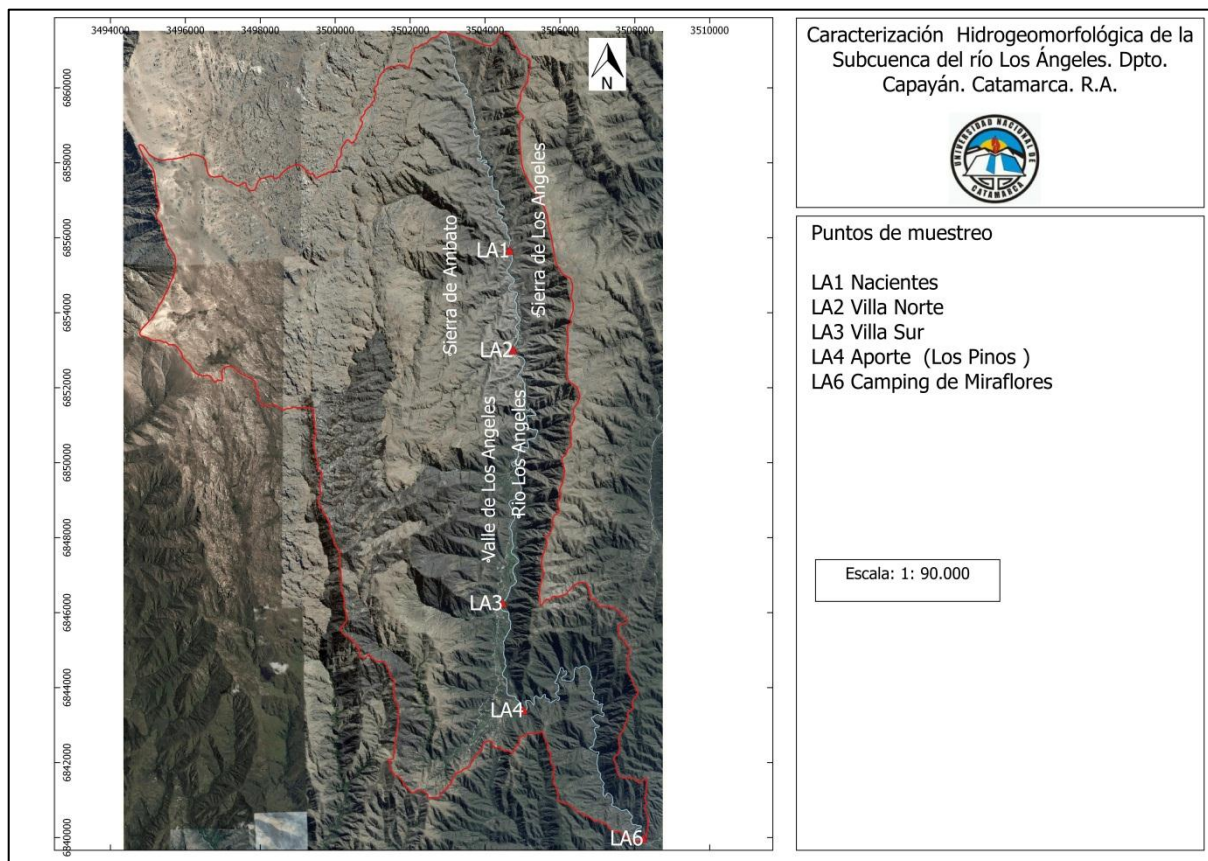


Figura 5: Ubicación de los puntos de muestreo.

### 3.3. Muestreo

El muestreo se realizó coincidiendo con la época seca del año, el día lunes 21 de agosto de 2017, el pH y la temperatura se midieron con un Termo/PHmetro digital, Altronix modelo TPA-IV y la conductividad se midió con Conductímetro Hach Sension5, mientras que el oxígeno disuelto (en mg/l y % de saturación) con un oxímetro Hanna HI 9146, el control de calidad se efectuó mediante la toma de una muestra duplicado, y calibración de equipos al inicio del muestreo (Foto 2), en forma general y para cada sitio de muestreo se realizaron las siguientes tareas:

Primero se procedió a marcar la ubicación georreferenciada en los distintos puntos de monitoreo, mediante el uso de un GPS Garmin Etrex, según el sistema de referencia Gaüss Kruger, Posgar 94 (Foto 3); luego se realizó la medición in situ de los parámetros físico-químicos: pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, sólidos disueltos (Foto 4, 5 y 6) y alcalinidad total la cual se realizó empleando, ácido nítrico al 10% ( $\text{HNO}_3$ ), fenolftaleína

(C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>) y naranja de metilo (C<sub>14</sub>H<sub>14</sub>N<sub>3</sub>NaO<sub>3</sub>S), Foto 7 y 8. Todos los datos obtenidos fueron registrados en la Planilla de Muestreo (Tabla 2) la cual se puede observar con detalle en el Anexo II.

Posteriormente en cada punto de monitoreo se tomaron muestras de agua superficial, las cuales fueron obtenidas directamente del curso de agua, mediante el uso de un recipiente plástico, enjuagando previamente el recipiente y las botellas de muestreo tres veces con la misma agua a muestrear (Fotos 9 y 10), luego se extrajo una botella de 2 l, por cada punto y un duplicado en el punto correspondiente a LA4, cada muestra se colocó en conservadora correctamente refrigerada, manteniendo la misma en condiciones aptas de temperatura (4 °C) en las inmediaciones del cauce, y por último se conservaron en heladera durante 16 horas hasta su despacho al Departamento de Bromatología del laboratorio Lejtman, el cual se encuentra habilitado por normas ISO 9001, y a su vez por el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial).

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Subcuenca del río Los Ángeles, Dpto. Capayán. Catamarca. R.A.														María Laura Plaza MU: 407		
<b>Planilla de Muestreo de Campo</b>																
N° de Orden	ID muestra	Sitio de Muestreo	Fecha/ Hora		Coordenadas		Parámetros de campo								Obs.	
			DD-MM-AA	Hora	Latitud	Longitud	Temp. (°C)	Cond. µs/cm	Sol Dis (mg/l)	PH	Acidez	Alcalinidad mg/l de		OD		
												Fenolf	Total	(mg/l)		%
1	LA1	Nacientes	21-ago-17	13	6855671	3504657	8.5	115.7	55.0	8.20	50		1ml	8.15	78	
2	LA2	Villa Norte	21-ago-17	15:15	6853013	3504749	12	134.4	64.4	8.66		0.1	0.7	8.57	86.9	
3	LA3	Villa Sur	21-ago-17	16:55	6846259	3504472	14.8	199.7	95.6	8.43		0.4	0.6	8.43	88.8	
4	LA4	Aporte (Los Pinos)	21-ago-17	17:30	6843405	3505029	14	295	142.1	8.17			0.8	8.27	86.6	
5	LA4	Aporte (Los Pinos)	21-ago-17	17:30	6843405	3505029	14	295	142.1	8.17			0.8	8.27	86.6	Duplicado
6	LA6	Camping Miraflores	21-ago-17	18:50	6839985	3508223	19.6	309	148.5	8.70		0.2	0.8	8.93	92.8	

Tabla 2: Planilla de muestreo de campo.



Foto 2: Calibración de los equipos previo a la toma de muestras.



Foto 3: Registro de coordenadas punto de muestreo LA2 (Villa Norte).





Foto 4: Punto de muestreo Villa Norte (LA2), medición de pH.



Foto 5: Punto de muestreo Villa Sur (LA3), medición de parámetros físicos.





Foto 6: Punto de muestreo Camping de Miraflores (LA5), medición de parámetros físicos.



Foto 7: Punto de muestreo Villa Norte (LA2), determinación de alcalinidad.





Foto 8: Punto de muestreo aporte arroyo Los Pinos, titulación con ácido nítrico.



Foto 9: Punto de muestreo Nacientes, toma de muestra.



Foto 10: Punto de muestreo aporte arroyo Los Pinos (LA4), toma de muestra.

## CAPÍTULO 4: RESULTADOS

### 4.1. Balance hidrológico

El balance hídrico regional planteado, se basó fundamentalmente en la obtención del Excedente Hídrico Anual (EHA), esta variable permite conocer los volúmenes de agua disponibles para ser distribuidos en el tiempo, la misma es un producto del balance Precipitación/Evapotranspiración, después de saturar la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, su valor es una representación simplificada del ciclo hidrológico local que transmite una idea de la distribución espacial del escurrimiento excedentario, susceptible de transformarse en escorrentía superficial. Dada la limitada disponibilidad de información edafoclimática e hidrológica se utilizó un procedimiento simplificado para obtener una aproximación a la distribución espacial de los déficits y excedentes de agua en la zona de estudio.

- A partir del software LocClim, se obtuvieron los datos de evapotranspiración potencial y precipitación históricos de la zona de estudio, expresado en valores medios anuales. En la siguiente tabla (Tabla 3), se presentan las estaciones seleccionadas en el software LocClim, para la obtención de los datos interpolados.

Station	Long.	Lat.	Elev.	Dist.	Direc.	Direc.	Name	Country
1	-66,31	-27,58	1.072,00	104,76	340,77	N	ANDALGALA	ARGENTINA
2	-67,56	-28,06	1.201,00	163,2	285,84	W	TINOGASTA	ARGENTINA
3	-67,51	-29,16	1.146,00	169,38	242,69	SW	CHILECITO	ARGENTINA
4	-65,36	-26,86	1.388,00	188,53	18,41	N	VILLA-NOUGUES	ARGENTINA
5	-68,65	-28,63	2.600,00	263,34	265,48	W	PUNTA-DEL-AGU	ARGENTINA
6	-68,75	-30,25	1.165,00	335,06	233,12	SW	JACHAL	ARGENTINA
Mean	-67,09	-27,97	1.387,86	226,34	296,36	NW		

Tabla 3: Estaciones seleccionadas por LocClim.

- Posteriormente se seleccionaron las estaciones que se encontraban en un radio no mayor a los 500 km desde el centroide de la subcuenca; se obtuvieron los datos que representarían las variables de evapotranspiración y precipitación tanto del tope de cuenca como del fondo del valle, se realizó esta discriminación porque es sabido que las precipitaciones son variables, que dependen de varios factores, es por ello que muchas de las estaciones sugeridas por el programa no eran representativas del área en estudio. Los datos obtenidos mediante el software LocClim se muestran en las Tablas 4 y 5.



Datos Fondo de Valle					
Elevacion	Mes	Precipitacion	Evapotranspiracion	Excedente h	Recarga preferencial
649	Enero	172,73	177,99	0	0
	Febrero	143,66	135,06	8,6	4,3
	Marzo	114,28	110,73	3,55	1,775
	Abril	56,44	64	0	0
	Mayo	33,62	31,65	1,97	0,985
	Junio	18,98	13,2	5,78	2,89
	Julio	13,77	22,5	0	0
	Agosto	16,2	43,6	0	0
	Septiembre	13,04	88,91	0	0
	Octubre	70,03	131,51	0	0
	Noviembre	99,06	156,56	0	0
	Diciembre	114,8	177,61	0	0
	<b>Anual</b>	<b>866,61</b>	<b>1153,32</b>	<b>19,9</b>	<b>9,95</b>

Tabla 4: Valores fondo de valle.

Datos tope de cuenca					
Elevacion	Mes	Precipitacion	Evapotranspiracion	Excedente H	Recarga Pref.
3400	Enero	127,01	145,85	0	0
	Febrero	122,18	107,97	14,21	7,105
	Marzo	101,47	91,74	9,73	4,865
	Abril	48,03	56,93	0	0
	Mayo	31,65	48,91	0	0
	Junio	17,35	46,81	0	0
	Julio	15,81	45,55	0	0
	Agosto	16,64	59,38	0	0
	Septiembre	13,76	82,11	0	0
	Octubre	62,83	102,62	0	0
	Noviembre	89,16	136,05	0	0
	Diciembre	95,03	154,96	0	0
	<b>Anual</b>	<b>740,92</b>	<b>1078,88</b>	<b>23,94</b>	<b>11,97</b>

Tabla 5: Valores tope de cuenca.

Con los datos de precipitación, evapotranspiración, excedente hídrico y recarga preferencial, presentados en las Tablas 4 y 5, se confeccionaron las gráficas de tendencias que se muestran en la Figura 6.

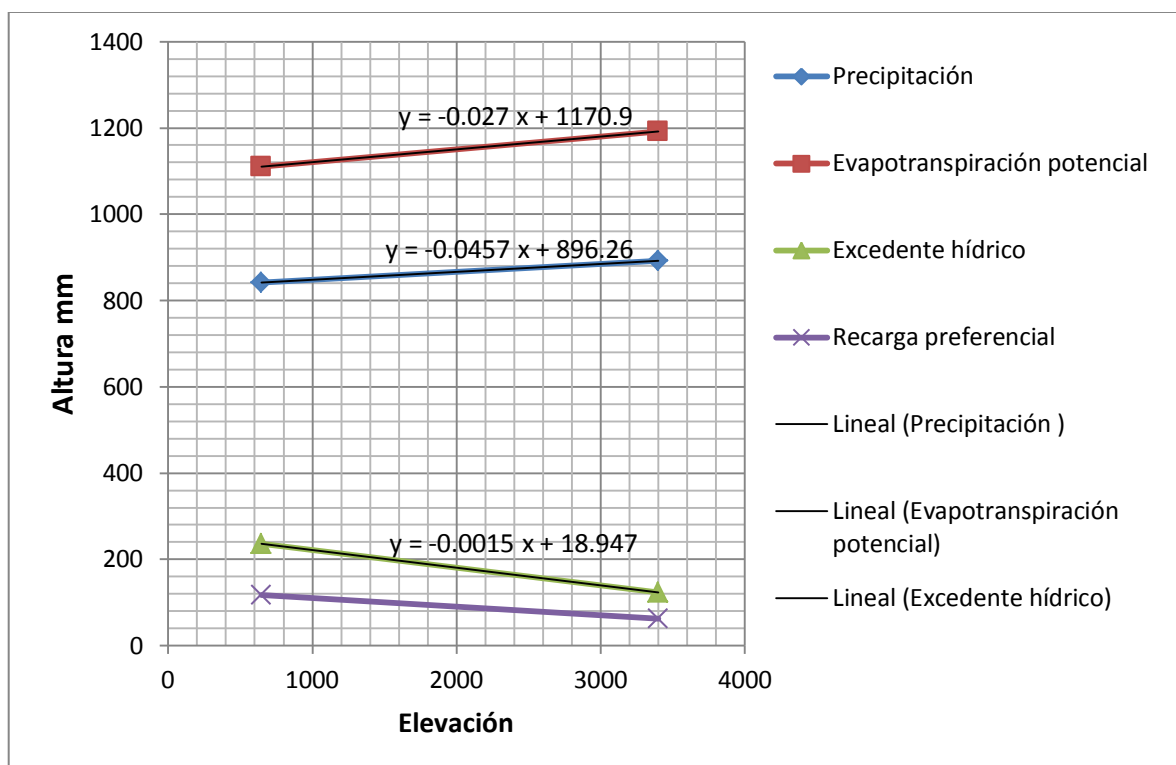


Figura 6: Grafica de tendencias, subcuenca del río Los Ángeles.

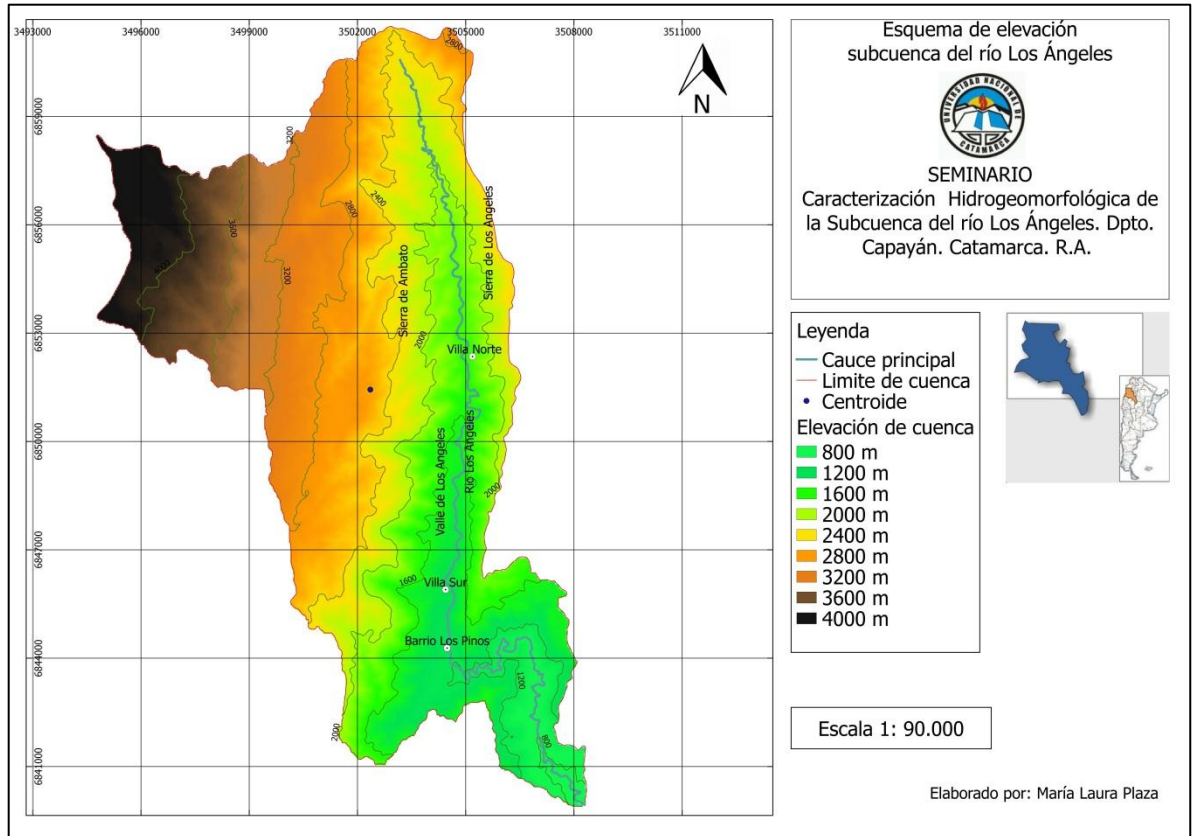
A partir de la gráfica de tendencias se puede observar que la precipitación se incrementa con la altura, esto quiere decir que a mayor elevación son mayores las precipitaciones. En cuanto a la evapotranspiración, ésta es mayor en las partes altas de la subcuenca lo cual hace referencia a que el consumo de agua efectuado por la vegetación es más elevado en las zonas de mayor cota de la subcuenca debido a que es el área que presenta mayor disponibilidad de agua. El excedente hídrico, es decir, todo lo disponible como recarga y como escorrentía es mayor en la parte baja de la subcuenca y la recarga preferencial representa el 50% del excedente hídrico.

Del análisis estadístico de las tendencias se obtuvieron las siguientes formulas:

- Evapotranspiración potencial (  $y = - 0.0271 x \text{ elevación} + 1170.9$ )
- Precipitación (  $y = - 0.0457 x \text{ elevación} + 896.26$ )
- Excedente hídrico (  $y = - 0.0015 x \text{ elevación} + 18.947$ )

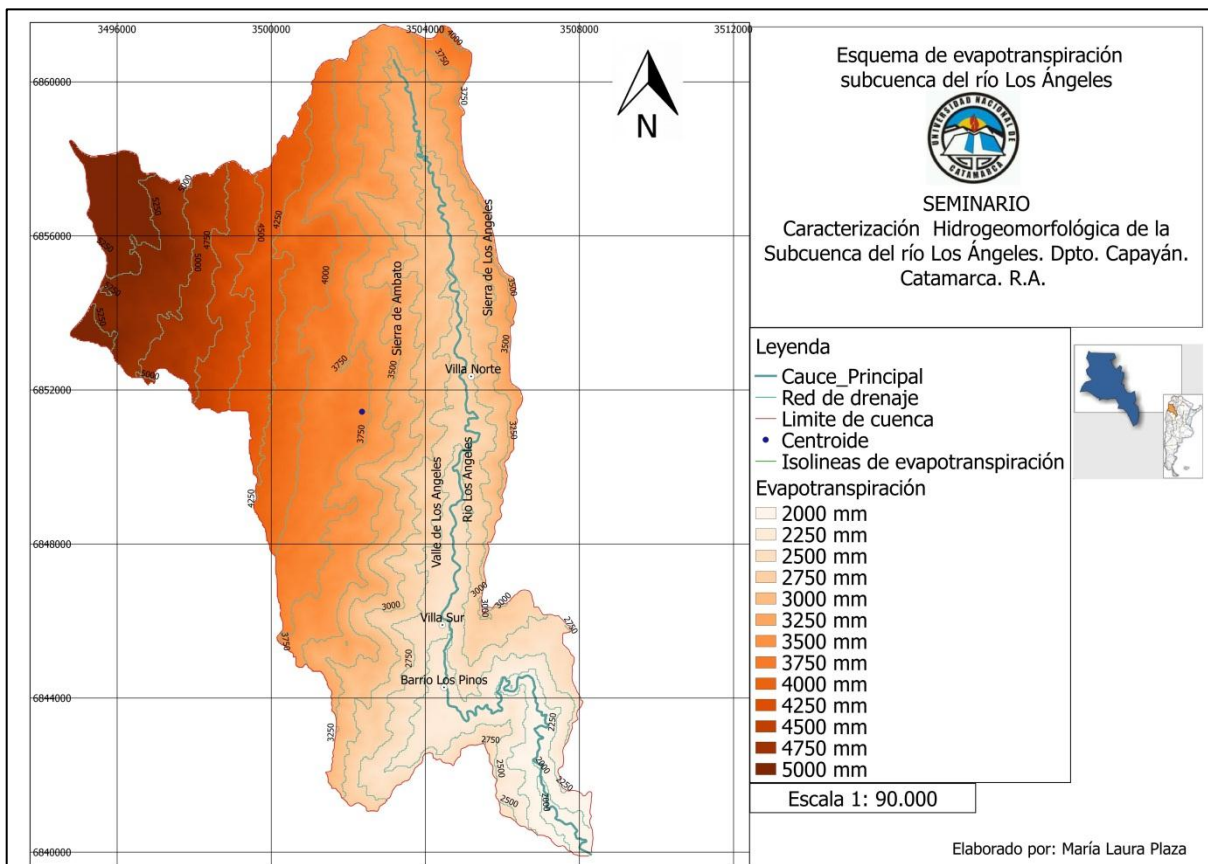
Estas fórmulas nos permiten realizar los diferentes raster en el software QGIS, que nos indica el comportamiento a lo largo de una recta tanto de la evapotranspiración, como de la precipitación y el excedente hídrico.

- El modelo de elevación (MDE), se obtuvo a partir de las gráficas de tendencias para cada una de las variables representadas (Mapa 4). A partir de este modelo y empleando el software QGIS se confeccionaron los mapas de evapotranspiración (Mapa 5), precipitación total (Mapa 6) y excedente hídrico (Mapa 7).



Mapa 4: Elevación de la subcuenca.

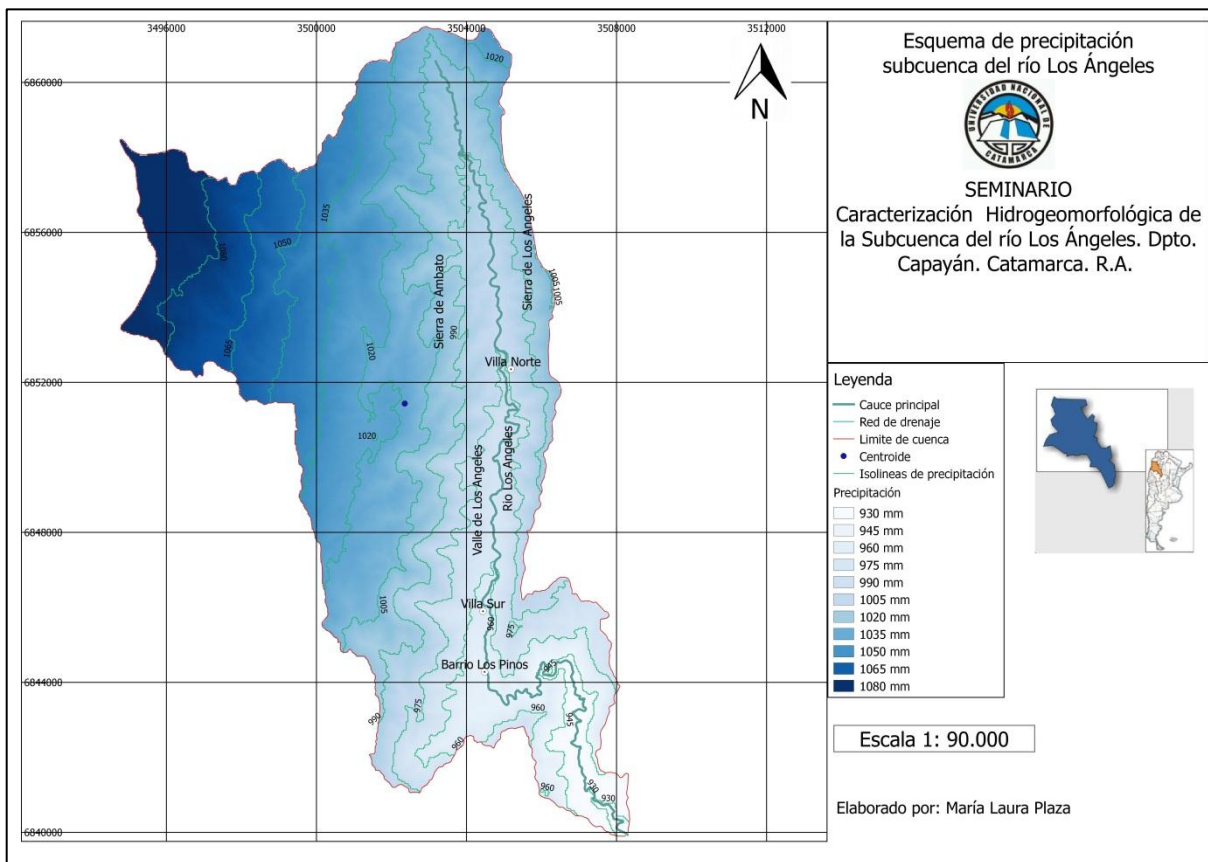




Mapa 5: Evapotranspiración potencial.

A partir de la interpretación del mapa obtenido se puede determinar que la evapotranspiración potencial, es más importante en las zonas de mayor cota de la subcuenca, con el raster de evapotranspiración se deduce que:

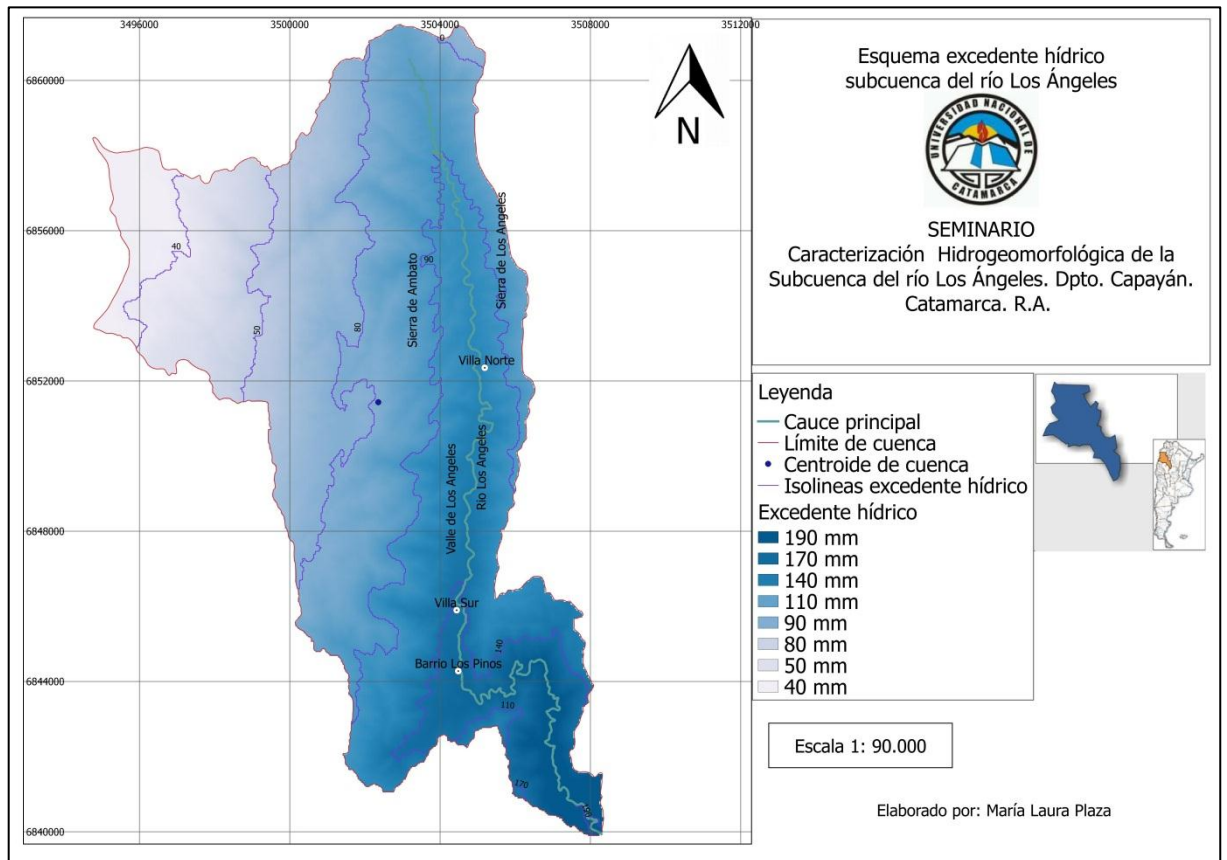
- La evapotranspiración es más importante respecto a la precipitación.
- La evapotranspiración potencial, es menor en las zonas bajas de la subcuenca, debido a que es una zona con menor frecuencia de precipitaciones.



Mapa 6: Precipitación total.

A partir de la interpretación del mapa de precipitación obtenido, se puede concluir que:

- La precipitación es mayor en las zonas altas de la subcuenca, es decir que disminuye con la altura.



Mapa 7: Excedente hídrico.

A partir del mapa de excedente hídrico se pudo determinar que:

- El mayor excedente hídrico, dado por la relación evapotranspiración potencial y precipitación, se presenta en las zonas bajas de la cuenca. Lugar que representa las zonas preferenciales de recarga.

Realizando una aproximación sencilla para obtener el caudal a la salida de la cuenca a partir del dato de excedente hídrico y de la ecuación de balance hídrico para esta subcuenca tendríamos la siguiente expresión (Ecuación 1):

$$\text{Caudal Medio} = \int [P(x,y) - E(x,y)] dA \quad (1)$$

Donde la expresión  $[P(x,y) - E(x,y)] dA$  hace referencia al valor anual de excedente hídrico, que multiplicado por el área de la subcuenca (152.48 Km<sup>2</sup>) da el valor del caudal medio de la misma.

Por lo tanto:

$$\text{Excedente Hídrico Anual} = 23,94 \text{ mm/año} \times 10^{-3} = 0.0239 \text{ m/año}$$

Área de la cuenca =  $152.48 \text{ Km}^2 = 152480000 \text{ m}^2$

Caudal anual =  $0.0239 \text{ m/año} \times 152480000 \text{ m}^2$

**Caudal Anual =  $3.644.272 \text{ m}^3/\text{año}$**

#### 4.2. Hidrometría o medición de caudal

La hidrometría permite medir, calcular y analizar los volúmenes de agua que pasan por una sección transversal de un río, durante una unidad de tiempo. Aporta datos oportunos y veraces que una vez procesados proporcionan información adecuada para lograr una mayor eficiencia en la programación, ejecución y evaluación del agua en un sistema, su principal objetivo es saber la disponibilidad de agua con que se cuenta en un río.

Los métodos que se emplean para aforar el agua están basados en la determinación del área de la sección transversal y la velocidad del agua en dicha sección, para ello se utiliza la Ecuación 2.

$$Q = A \times V \quad (2)$$

Dónde:  $Q$  = caudal o gasto ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  = área de la sección transversal ( $\text{m}^2$ )

$V$  = velocidad media del agua en el punto ( $\text{m/s}$ )

- La estación de aforo empleada en la subcuenca del río Los Ángeles se localizó en el punto extremo de salida de la misma, es decir en el camping de Miraflores.
- Para calcular el área de la sección transversal de la subcuenca, se dividió la sección transversal en 5 subsecciones, como se observa en la Figura 7.

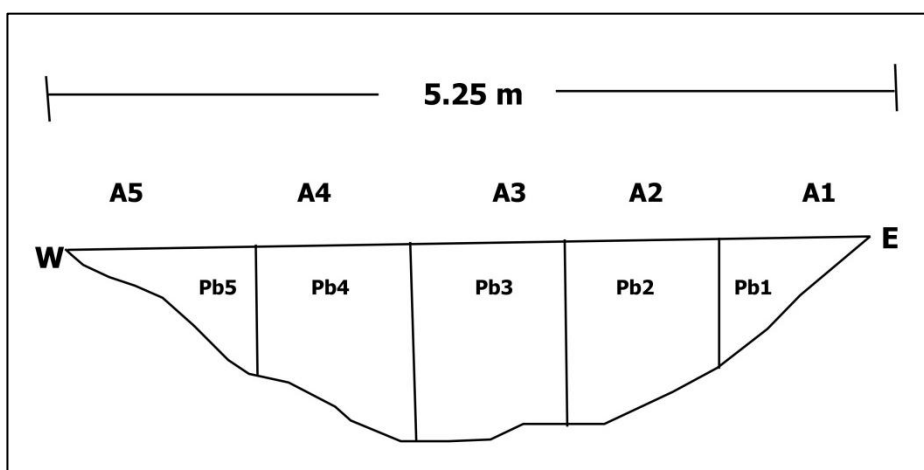


Figura 7: Perfil transversal de la subcuenca.

El ancho de la sección transversal (superficie libre de agua) de la subcuenca medido en el campo es de 5.25 m y cada subsección de 1.05 m, para calcular el área de cada subsección se considera a cada una como un paralelogramo cuya base (ancho del tramo) se multiplica por el promedio de las profundidades que delimitan dicha subsección.

- Las velocidades se midieron empleando un molinete, se realizó una medición para los tirantes Pb 1, Pb 4 y dos mediciones para los tirantes Pb 2, Pb 3 y Pb 5.

Los valores obtenidos pueden observarse en la Tabla 6:

Tirante	Profundidad de la medición (cm)	Velocidad medida (m/s)	Velocidad por tramo media (m/s)
Pb 1	10	0.1	0.1
Pb 2	13	0.3	0.25
	30	0.2	
Pb 3	28	0.2	0.2
	12	0.2	
Pb 4	10	0.1	0.1
Pb 5	25	0.2	0.2
	12	0.2	

Tabla 6: Valores de velocidad de flujo obtenidos en la subcuenca.

- Cálculo del caudal Tabla 7

Sección	Velocidad media (m/s)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1	0.1	0.58	1.05	0.60	0.06
2	0.25	0.67	1.05	0.70	0.175
3	0.2	0.53	1.05	0.55	0.11
4	0.1	0.50	1.05	0.53	0.053
5	0.2	0.28	1.05	0.29	0.058
TOTAL					0.456

Tabla 7: Cálculo del caudal.

El caudal de la sección considerada se determinó multiplicando el área transversal obtenida por la velocidad media del agua en esa sección.

$$Q = A \times V$$

$$Q = 0.456 \text{ m}^3/\text{s}.$$

El valor de caudal correspondiente a la sección transversal es  $Q = 0.456 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 4.3. Parámetros morfométricos de la subcuenca

#### 4.3.1. Parámetros generales

- **Área de la cuenca**

Es el parámetro más importante, siendo determinante de la escala de varios fenómenos hidrológicos tales como, el volumen de agua que ingresa por precipitación, la magnitud de los caudales, etc.

Se define como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce.

Se puede medir directamente a partir del mapa topográfico, y su importancia radica en las siguientes razones:

- Es un valor que se utiliza para muchos cálculos en varios modelos hidrológicos.
- Es una relación directamente proporcional entre el área y el caudal medio, para los casos de regiones con similares características.
- Se relaciona de manera inversa con la relación entre caudales extremos mínimos/máximos.

Desde el punto de vista hidrológico es más importante esta proyección horizontal que la superficie real de la cuenca, el tamaño varía de la siguiente manera (Tabla 8).

Tamaño de la cuenca en (km <sup>2</sup> )	Descripción
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia- pequeña
500 a 2500	Intermedia- grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Tabla 8: Clasificación propuesta para las cuencas.

La subcuenca del río Los Ángeles tiene un área de 152.48 Km<sup>2</sup>, por lo que cae en la clasificación de cuenca pequeña, este tipo de cuenca está condicionada por las características del suelo y cobertura.

- **Perímetro**

El perímetro (P) es la longitud del límite exterior de la cuenca y depende de la superficie y la forma de la cuenca (Figura 8).

El perímetro de la subcuenca es de  $P = 103.89 \text{ Km}$

- **Longitud de la cuenca o longitud directa**

Es la longitud de una línea recta imaginaria con dirección “paralela” al cauce principal.

El valor de la longitud de la subcuenca es de  $L = 22,73 \text{ Km}$

- **Longitud del cauce principal**

Es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento, entre un punto aguas abajo y otro punto aguas arriba, donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la subcuenca.

La longitud del cauce principal de la subcuenca es de  $L_{cp} = 43.26 \text{ Km}$

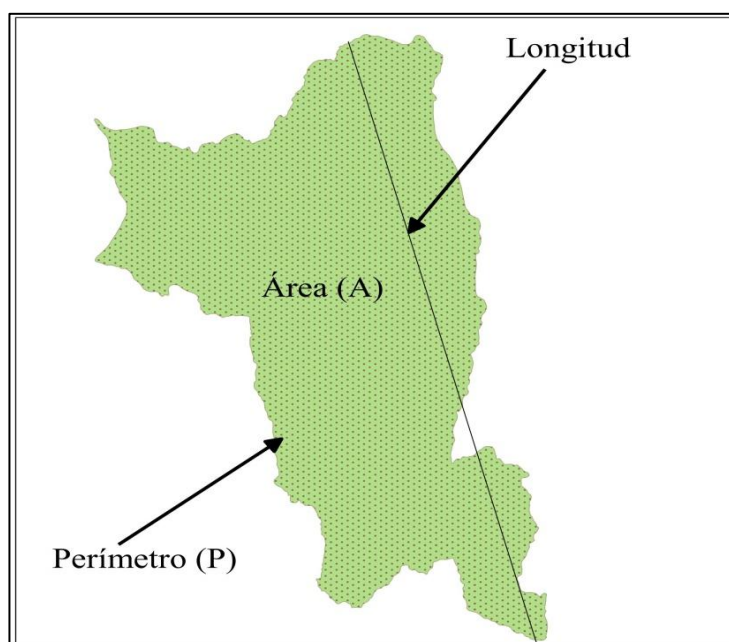


Figura 8: Croquis de la subcuenca del río Los Ángeles.



- **Coefficientes de sinuosidad hidráulica**

El coeficiente de sinuosidad hidráulica (Sh) es el cociente entre la longitud directa (Ld) y la longitud del eje del río. Las longitudes son las proyecciones de los valores reales sobre un plano horizontal.

Coeficiente de sinuosidad hidráulico de la subcuenca es  $Sh = 1.9$

#### 4.3.2. Parámetros de forma

La forma geométrica de una cuenca permite conocer el movimiento del agua y las respuestas de la misma a tal movimiento. Se cuantifica por medio de índices o coeficientes.

- **Índice o coeficiente de compacidad**

El índice o coeficiente de compacidad  $K_c$  o de Gravelius es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca. Llamas (1993) da la siguiente expresión (Ecuación 3).

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Siendo P y A el perímetro y el área de la cuenca respectivamente. En cualquier caso, el coeficiente será mayor que la unidad, tanto más próximo a ella, cuanto la cuenca se aproxime más a la forma circular, pudiendo alcanzar valores próximos a 3 en cuencas muy alargadas.

El valor de coeficiente de compacidad obtenido es  $K_c = 2.37$ , con este valor se deduce que la subcuenca es de tipo alargada.

- **Factor de forma**

El factor de forma  $R_f$  fue definido por Horton, como el cociente entre el área de la cuenca y el cuadrado de su longitud (Ecuación 4).

$$R_f = \frac{A}{L^2} 3 \quad (4)$$

Los valores de este factor varían de la siguiente manera según se muestra en la Tabla 9.

Valores Aproximados	Forma de la Cuenca
<0.22	Muy Alargada
0.22-0.300	Alargada
0.300-0.37	Ligeramente alargada
0.37-0.450	Ni alargada ni ensanchada
0.45-0.60	Ligeramente ensanchada
0.60-0.80	Ensanchada
0.80-1.20	Muy ensanchada
>1.200	Rodeando el desagüe

Tabla 9: Valores propuestos para el factor forma de una cuenca.

La ecuación 4 muestra que las cuencas no son similares en forma, ya que a medida que el área aumenta, el factor de forma disminuye, lo cual indica una tendencia al alargamiento en cuencas grandes. La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales máximos.

El valor del factor forma es  $R_f = 0.29$ , por lo que coincide con la conclusión anterior de que la cuenca corresponde a una cuenca alargada.

- **Radio o relación de elongación**

El radio o la relación de elongación ( $R_e$ ) definido por Schumm, es la relación entre el diámetro de un círculo de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca ( $L$ ). Expresando el diámetro en función del área de la cuenca ( $A$ ) queda definida la Ecuación 5:

$$R_e = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L} \quad (5)$$

Los valores de la relación de elongación ( $R_e$ ) varían entre 0.60 y 1.00. Están relacionados al relieve de la cuenca, ya que valores cercanos a la unidad se corresponden con relieves bajos, mientras que valores entre 0.60 y 0.80 se corresponden con relieves fuertes y pendientes pronunciadas.

El radio o relación de elongación de la subcuenca es  $R_e = 0.61$  y según la clasificación mencionada se corresponde con relieves fuertes y pendientes pronunciadas, lo cual coincide con lo observado en el terreno.

- **Radio o relación de circularidad**

El radio o la relación de circularidad ( $R_{ci}$ ) es el cociente entre el área de la cuenca ( $A$ ) y la de un círculo cuyo perímetro ( $P$ ) es igual al de la cuenca (Ecuación 6).

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (6)$$

La relación de circularidad ( $R_{ci}$ ) para la cuenca en estudio es de  $R_{ci} = 0,18$

Los parámetros obtenidos a partir del software IDRISI, empleando un MDE (modelo digital de elevación) se detallan en la Tabla 10.

Parámetro	Valor obtenido	Observaciones
Área ( km <sup>2</sup> )	152.48	Cuenca pequeña
Perímetro Km	103.89	
Elevación media. M	2428.05	
Pendiente media (grados)	23.21	
Pendiente media (%)	44.87	
Coeficiente de compacidad	2.37	
Relación de circularidad Rd	0,18	
Relación hipsométrica	0.95	
Longitud del eje del río principal. (km)	43.26	
Longitud directa del río principal.	22.73	
Coeficiente de sinuosidad hidráulico.	1.9	
Altitud inicial	4026.29	
Altitud media	512.3	
Pendiente promedio del río principal.	11.28	
Tiempo de concentración Kirpich.	3.16	

Tabla 10: Parámetros obtenidos en software IDRISI.

### 4.3.3. Parámetros de relieve

El relieve y altitud de la cuenca son factores significativos dado que ejercen una importante influencia sobre la respuesta hidrológica. De esta manera resulta que, a mayores pendientes, corresponden mayores velocidades del agua en las corrientes, y menor será el tiempo de concentración en la cuenca.

La altitud media de una cuenca tiene especial interés, sobre todo en las zonas montañosas, ya que permite obtener una idea de sus características climatológicas. La altura promedio está referida al nivel del mar, puede ser encontrada usando una curva hipsométrica.

- **Curva hipsométrica**

La curva hipsométrica sugerida por Langbein et al. (1947), es la representación gráfica de la altura por unidad de superficie, en Km<sup>2</sup> o por porcentaje de superficie total de la cuenca. Dicha curva presenta, en ordenadas, las distintas cotas de altura de la cuenca, y en abscisas la superficie de la cuenca que se halla por encima de dichas cotas (Figura 9).

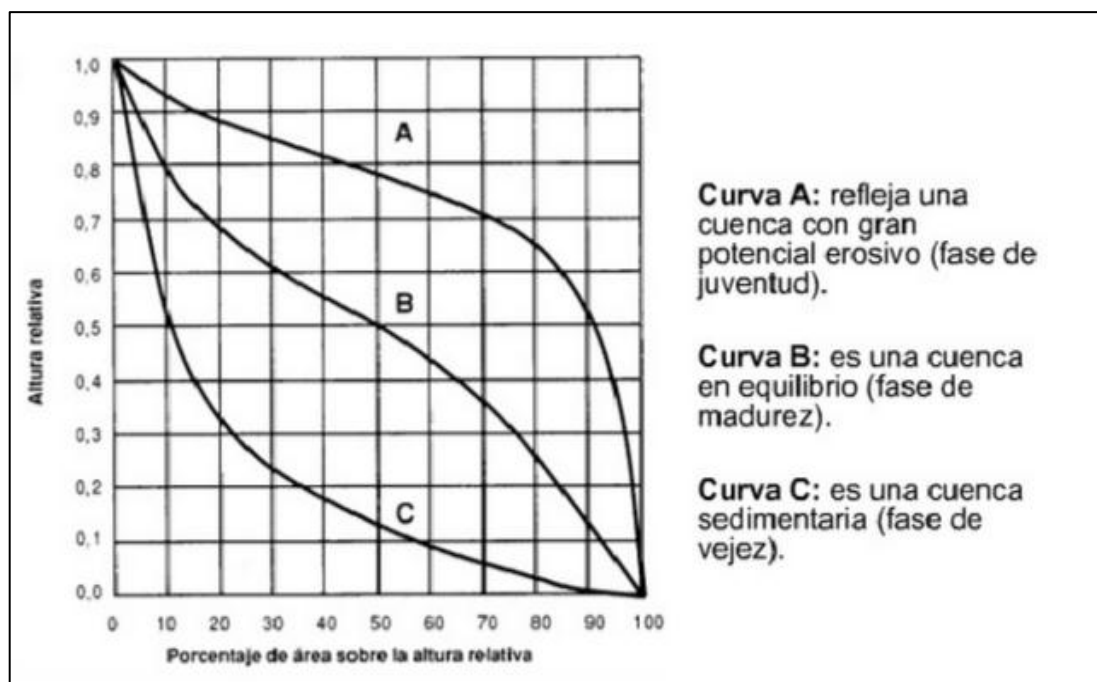


Figura 9: Esquema gráfico de los diferentes tipos de curvas hipsométricas.

De esta curva se puede extraer la relación hipsométrica expresada por la Ecuación 7.

$$R_h = \frac{S_s}{S_i} \quad (7)$$

Donde  $S_s$  y  $S_i$  son, respectivamente, las áreas sobre y bajo la curva hipsométrica. Según Strahler (Llamas, 1993), la importancia de esta relación reside en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca. Así, cuando  $R_h = 1$ , se trata de una cuenca en equilibrio morfológico.

La grafica obtenida para la subcuenca en estudio es:

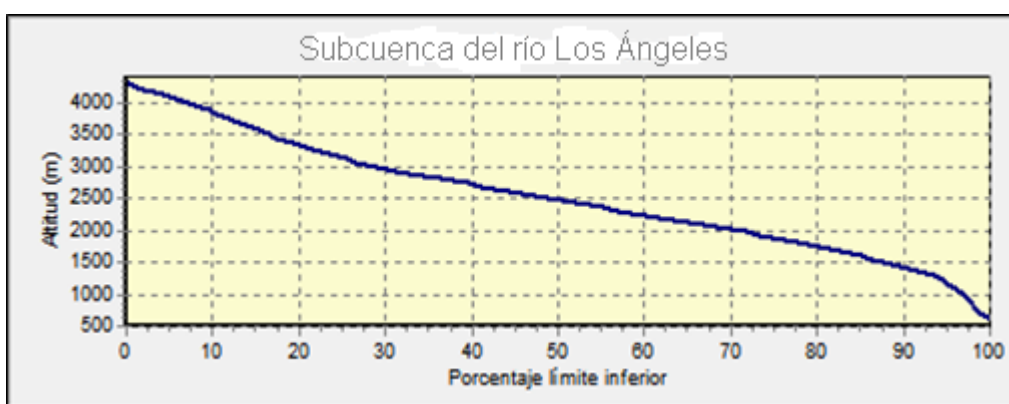


Figura 10: Curva hipsométrica subcuenca del río Los Ángeles.

El punto de mayor altitud de la cuenca es de 4026 msnm (CM) y el de menor altitud es de 620 msnm (Cm) dado por el punto de aforo, y la altitud media obtenida a partir de la curva hipsométrica es de 2400 msnm (Figura 10).

El valor de la relación hipsométrica obtenido es  $R_h = 0.95$ , lo que muestra que se trata de una cuenca en equilibrio morfológico y en su fase de madurez.

- **Histograma de Frecuencias**

Es la representación de la superficie en  $\text{Km}^2$  o en porcentaje de superficie, comprendida entre dos niveles, siendo la marca de clase el promedio de las alturas. El diagrama de barras, que puede ser obtenido a partir de los mismos datos de la curva hipsométrica, proporciona una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca.

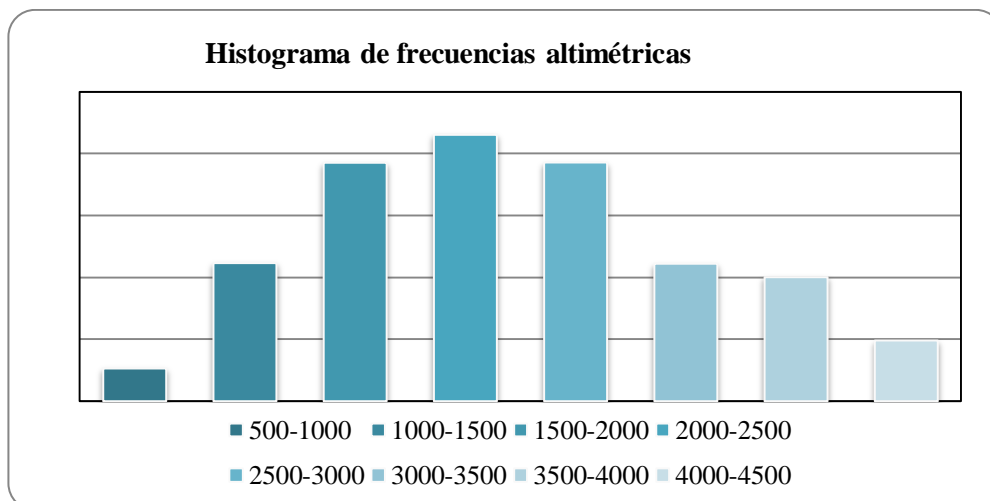


Figura 11: Histograma de frecuencias altimétricas de la subcuenca del río Los Ángeles

En relación a los parámetros de relieve y altitud se observa que el tramo altitudinal de 2000 a 2500 msnm representa la mayor distribución en % de superficie, siendo el de menor distribución el tramo altitudinal comprendido entre 500 y 1000 msnm (Figura 11).

- **La relación de relieve**

Schumm (1956) propone una expresión muy simple para la descripción del relieve, la Relación de Relieve (Rr) en función de la longitud de la cuenca L y de la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca, cuyo valor queda expresado por la (Ecuación 8).

$$Rr = \frac{h}{L} \quad (8)$$

El valor obtenido para la subcuenca en estudio es de **Rr = 78.73**

- **La pendiente media del cauce principal**

La pendiente tiene una gran importancia porque, indirectamente, a través de la velocidad del flujo de agua, influye en el tiempo de respuesta de la cuenca. Se define como pendiente media del cauce a la relación entre las cotas de entrada y salida del cauce y la longitud del mismo cuya expresión está dada por la Ecuación 9.

$$S_c = \frac{(Elevación\_en\_el\_nacimiento - Elevación\_a\_la\_salida)}{Longitud\_de\_la\_corriente} \quad (9)$$

El valor de pendiente media de un cauce se puede expresar en grados o porcentaje, los valores obtenidos en la subcuenca fueron  $S_c = 23.21^\circ$  y  $44.87\%$

- **Perfil del cauce principal**

Es otra variable a tener en cuenta a la hora de analizar las variaciones de pendiente del perfil del cauce principal, para poder correlacionar esta variable con los procesos dinámicos que puedan ocurrir en el sistema, como por ejemplo la erosión.

Conociendo el perfil se pueden inferir rasgos generales de la respuesta hidrológica, como ser la variación del caudal con el tiempo.

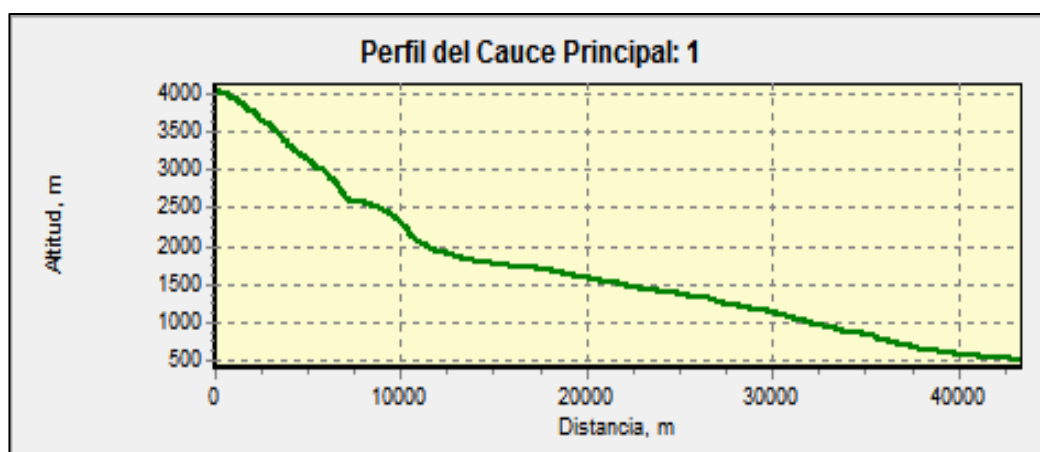


Figura 12: Perfil altimétrico del cauce

A partir del perfil del cauce principal (Figura 12), se puede determinar la pendiente del cauce principal.

- **Pendiente del cauce principal**

Se obtiene a partir de la diferencia en elevación entre el punto más alto y el punto más bajo del perfil del río por la longitud del mismo, entre los dos puntos mencionados, como lo indica la ecuación 10.



$$SC = \frac{h \text{ máx} - h \text{ mín}}{L} \times 100 \quad (10)$$

Resultando la pendiente del cauce principal de la subcuenca igual a 15,3 por ciento,  $Sc = 15,3 \%$

#### 4.3.4. Características de la red de drenaje

Se define como red de drenaje de una cuenca, al sistema de cauces por el que fluyen los escurrimientos superficiales, subsuperficiales y subterráneos, de manera temporal o permanente. Su valor se manifiesta por sus efectos en la formación y celeridad de drenado de los escurrimientos normales o extraordinarios, además de suministrar indicios sobre las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca.

- **Densidad de drenaje**

Horton (1945) definió la densidad de drenaje de una cuenca como el cociente entre la longitud total de los canales de flujo pertenecientes a una red de drenaje y la superficie de la cuenca (Ecuación 11).

$$D = \frac{LT}{A} \quad (11)$$

Este parámetro es, en cierto modo, un reflejo de la dinámica de la cuenca, de la estabilidad de la red de drenaje y del tipo de escorrentía de superficie, así como de la respuesta de la cuenca a un chubasco.

En general, las cuencas con escasa densidad de drenaje se encuentran en áreas de elevada permeabilidad o geología resistente, bajo cubierta vegetal densa y sobre relieves suaves. Por el contrario, cuando la densidad es elevada, la permeabilidad es baja o la geología menos resistente, vegetación escasa y relieve accidentado.

Monsalve (1999), refiere que es usual que la densidad de drenaje tome los siguientes valores: entre  $0.5 \text{ km/km}^2$  para cuencas con drenaje pobre; hasta  $3.5 \text{ km/km}^2$  para cuencas excepcionalmente bien drenadas.

A su vez, los valores de D clasifican a la densidad en:

Baja: menor a 5 km/km<sup>2</sup>

Media: 5.0 - 13.7 km/km<sup>2</sup>

Alta: 13.7 - 155.3 km/km<sup>2</sup>

Muy alta: mayor a 155.3 km/km<sup>2</sup>

El valor de la densidad de drenaje de la subcuenca es  $D = 2.50 \text{ km/km}^2$ , corresponde a baja densidad.

- **Constante de estabilidad del río**

La constante de estabilidad del río definida por Schumm (1956), es el valor inverso de la densidad de drenaje, es el cociente entre el área de la cuenca y la longitud total de los canales de flujo, está representada por la Ecuación 12.

$$C = \frac{A}{L} = \frac{1}{D} \times 20 \quad (12)$$

Representa físicamente la superficie de la cuenca necesaria para mantener condiciones hidrológicas estables en una unidad de longitud del canal. Puede considerarse como una medida de la erodabilidad de la cuenca. Así, en regiones con suelos rocosos muy resistentes o muy permeables, con elevada capacidad de infiltración, o regiones con una densa cobertura vegetal, tienen valores altos de la constante de estabilidad y bajos de densidad de drenaje; por el contrario, una baja constante de estabilidad o elevada densidad de drenaje, es característico de cuencas con rocas débiles, escasa o nula vegetación y baja capacidad de infiltración del suelo.

Los rangos de valores van:

Baja: menores a 0.007

Media: entre 0.07 y 0.007

Alta: entre 0.2 y 0.07

Muy alta: mayores a 0.2

El valor obtenido para la subcuenca de la constante de estabilidad del río es  $C = 0.4$ , es decir que la constante es muy alta debido a que la cuenca se encuentra en un área con suelos rocosos muy resistente.

- **Orden de corriente**

El orden de corriente ( $\omega$ ) es un valor que indica el grado de bifurcación o ramificación de una cuenca. En el presente trabajo se aplicó el método de Horton que se fundamenta en los siguientes criterios: se consideran corrientes de primer orden, a aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se unen, resulta una corriente de orden dos. 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 mayor orden. Por lo tanto el orden de corriente es un indicador de la magnitud de ramificación y de la extensión de la red de drenaje dentro de la cuenca.

El número de orden de corriente determinado en la cuenca en estudio es  $\omega = 5$ , este parámetro hace referencia al grado de bifurcación que presenta.

- **Tiempo de Concentración**

También denominado tiempo de respuesta o de equilibrio, Llamas (1993) lo define como el tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, se alcance el estado estacionario, es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el desagüe. Se atribuye comúnmente al tiempo que tarda una partícula de agua caída en el punto de la cuenca más alejado del desagüe (según el recorrido de drenaje) hasta llegar a éste. Esto no se corresponde con el fenómeno real, pues puede haber puntos de la cuenca en los que el agua caída tarde más en llegar al desagüe desde los más alejados. Además, debe tenerse en claro que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante, depende de diversos factores como por ejemplo la humedad del suelo al momento del inicio del aguacero, la época del año, etc.

La ecuación para el cálculo del tiempo de concentración según lo propuesto por Kirpich, está representada por la Ecuación 13.

$$T_c = 0.066 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad (13)$$

$T_c$ : tiempo de concentración, en horas.

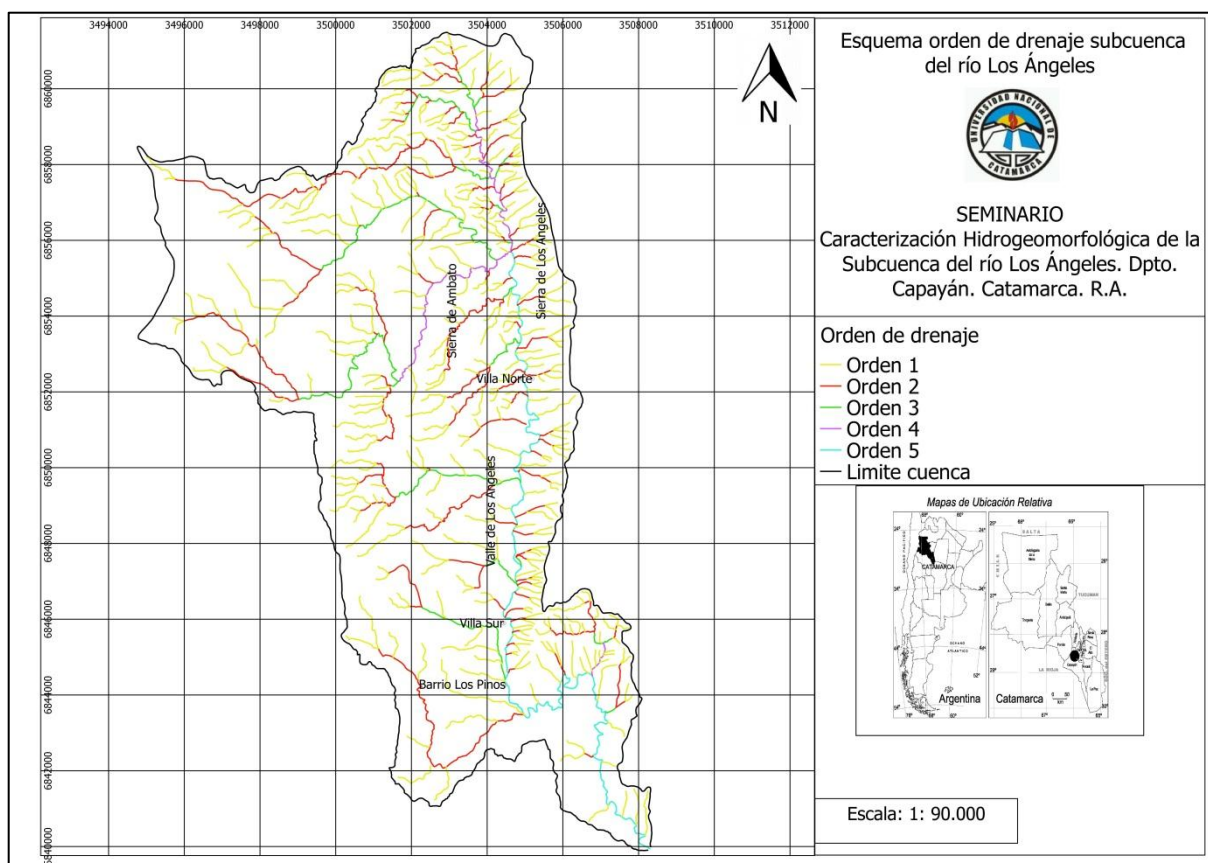
$L$ : longitud desde la estación de aforo hasta la divisoria siguiendo el cauce principal, en kilómetros.

$S$ : diferencia de cotas entre los puntos más extremos de la corriente sobre  $L$  en m/m.

Para la subcuenca el tiempo de concentración es de 3,16 horas  $T_c = 3,16$  h.

• **Diseño de la red de drenaje**

La combinación de los efectos del clima, la geología y la topografía de una cuenca originan un modelo erosional que caracteriza la red de drenaje. La red de drenaje de la subcuenca del río Los Ángeles define un patrón dendrítico, de desarrollo libre, caracterizado por una ramificación arborescente donde los tributarios se unen al cauce principal formando ángulos agudos. Sectores con control estructural (fallas, diaclasas) se ven diferenciado en la vertiente oriental de la subcuenca donde se manifiesta un tendencia al diseño subparalelo (Mapa 8).



Mapa 8: Orden de corriente y diseño de drenaje.

**4.4. Resultados hidroquímicos**

**4.4.1. Análisis de laboratorio**

Las variables consideradas como indicadores específicos de calidad de agua, que se solicitaron ante el laboratorio para su análisis fueron el pH, alcalinidad total, dureza total, sólidos totales disueltos y los contenidos de cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, amonio, arsénico, calcio, sodio, magnesio y fluoruro.

#### 4.4.2. Determinación de confiabilidad de datos de laboratorio

Se controló la calidad del procedimiento del laboratorio mediante el análisis analítico del duplicado.

Para determinar la exactitud de los datos de laboratorio, se calcula el balance de carga entre aniones y cationes de cada solución, basándose en el principio de la electroneutralidad, el cual estipula que toda solución no debe tener carga neta.

El principio de electroneutralidad enuncia que la sumatoria de cargas positivas de las especies presentes en una matriz en equilibrio debe de ser aproximadamente igual a la sumatoria de cargas negativas de las especies en esa matriz dada, y viene dado por la siguiente expresión:

$$E = 100 \times [\text{Cationes} - \text{Aniones}] / [\text{Cationes} + \text{Aniones}]$$

Si el porcentaje de error es menor del 10%, se considera satisfactorio el balance iónico de cargas, si está entre 10 y 15 %, el balance es aceptable y si es mayor al 15 %, las mediciones realizadas en la muestra son inaceptables y deben descartarse (Custodio y Llamas 2001).

Para poder realizar el cálculo se emplearon los valores de cationes y aniones expresados en meq/l, obtenidos a partir de la tabla de análisis químicos y relaciones iónicas (EasyQuim). (Tabla 11), luego se realizó el cálculo de electroneutralidad (Tabla 12), a partir del cual se determinó que los valores otorgados por el laboratorio son confiables.

Muestra	LA1	LA2	LA3	LA4	LA5	LA6
aniones (meq/l)	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,20	1,30	1,88	2,64	2,60	2,80
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,25	0,27	0,44	0,71	0,65	0,71
Cl <sup>-</sup>	0,03	0,06	0,11	0,14	0,14	0,17
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Sumatoria aniones	1.5	1.65	2.45	3.51	3.41	3.7
Na <sup>+</sup>	0,70	0,65	1,13	1,61	1,61	1,65
K <sup>+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca <sup>++</sup>	0,55	0,65	0,90	1,30	1,30	1,30
Mg <sup>++</sup>	0,06	0,12	0,16	0,28	0,24	0,32
Sumatoria cationes	1.31	1.42	2.19	3.19	3.15	3.27

Tabla 11: Concentración en meq/L.

Control Calidad Error Iónico %		
LA1	E =	-6,72802167
LA2	E =	-7,19611087
LA3	E =	-5,50327969
LA4	E =	-4,71168357
LA5	E =	-3,86295686
LA6	E =	-6,02815947

Tabla 12: Error de balance calculado.



## 4.5. Caracterización hidroquímica

Para representar los valores de los distintos cationes y aniones presentes en el agua de la subcuenca se empleó la tabla de análisis químicos y relaciones iónicas EasyQuim, en la elaboración del diagrama de Piper, diagrama de Schoeller-Berkaloff y el diagrama SAR, y la página HatariChem desarrollada por Gidahatari, para los diagramas de Stiff.

### 4.5.1. Diagrama de Piper

La clasificación química del agua analizada se realizó usando el diagrama de Piper (1944), el cual se construye utilizando las proporciones de los elementos mayores (aniones y cationes) representadas en dos diagramas triangulares para luego ser reunidas en un cuadrilátero central.

El diagrama de Piper se confeccionó usando la tabla Excel EasyQuim, tabla de análisis químicos y relaciones iónicas, en la cual se introdujeron las concentraciones en porcentaje de los iones para cada una de las muestras (la misma puede visualizarse en el Anexo II-Tabla 2).

El diagrama resultante, para las muestras tomadas en la subcuenca se detalla en la Figura 13, la gráfica muestra que la mayoría de los datos coinciden con aguas del tipo bicarbonatadas.

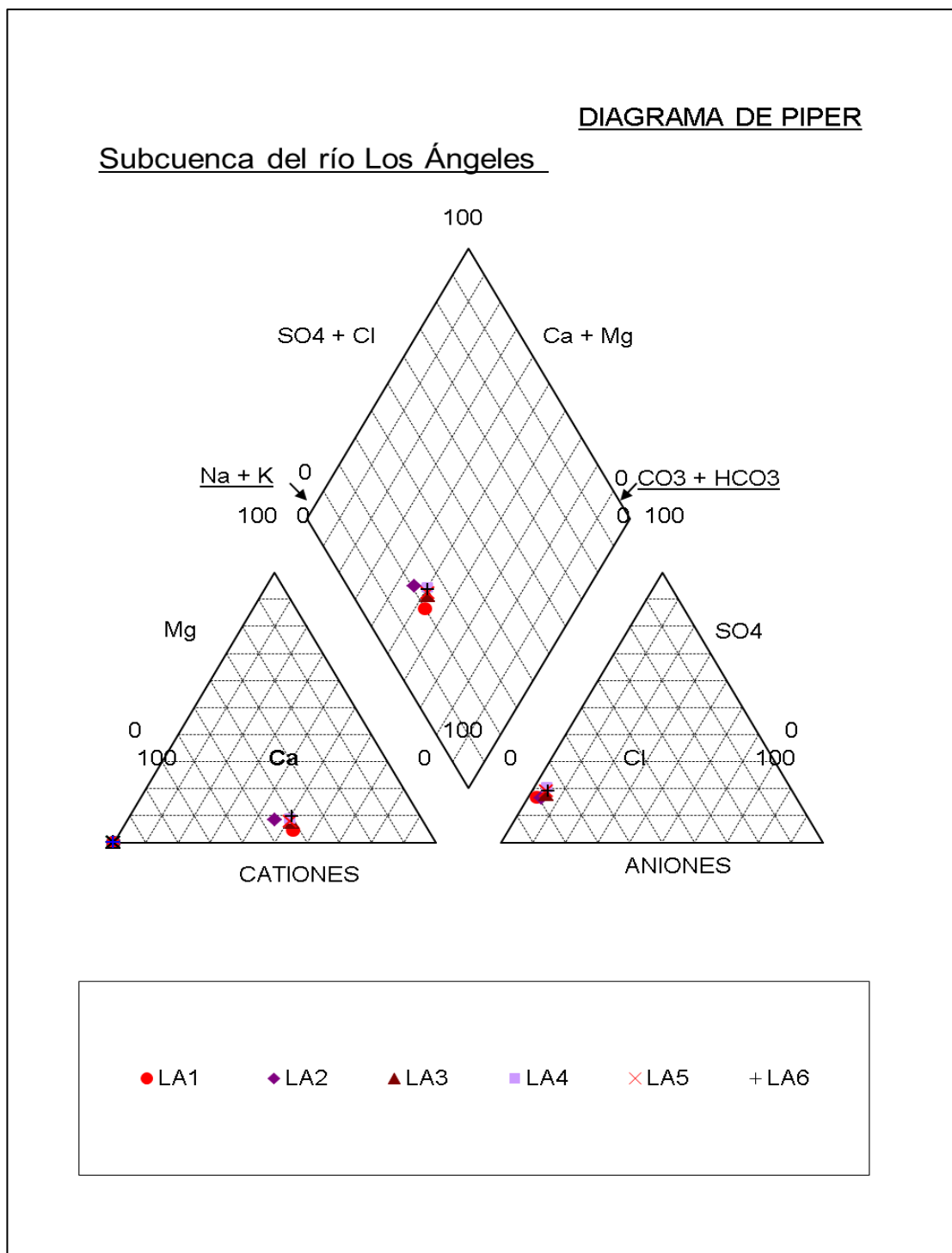


Figura 13: Diagrama de Piper, determinación del tipo de agua.

A partir de la interpretación del diagrama de Piper confeccionado, y observando que las muestras representadas se encuentran muy próximas, cayendo todas ellas en un mismo campo o en campos limítrofes, se determinaron las siguientes tipologías:

- LA1: Bicarbonatada Sódica.
- LA2: Bicarbonatada Cálcica y/o Magnésica.
- LA3: Bicarbonatada Sódica.
- LA4: Bicarbonatada Sódica.
- LA5: Bicarbonatada Sódica - (duplicado).
- LA6: Bicarbonatada Sódica.

#### 4.5.2. Diagrama de Stiff

El diagrama de Stiff consiste en la representación gráfica de los análisis mediante líneas horizontales, cada una de ellas uniendo un catión y un anión. Todos los cationes se disponen en la parte izquierda del diagrama, y los aniones del lado derecho, los ejes horizontales están a la misma escala y las concentraciones están dadas en meq/l, los diagramas resultantes son muy útiles para hacer una rápida comparación cualitativa de las concentraciones iónicas de las diferentes muestras.

Los diagramas se realizaron en la página de internet HatariChem, donde en primer lugar se descargó el modelo de tabla Excel que requiere para procesar los datos, la cual fue rellena con los valores correspondientes a los iones mayoritarios obtenidos por el laboratorio para cada muestra de la subcuenca y por último se cargó nuevamente a la página la cual dio como resultado cinco diagramas, uno por cada muestra.

Los diagramas obtenidos para las diferentes muestras tomadas en la subcuenca pueden visualizarse en las Figuras 14, 15, 16,17 y 18 que se detallan a continuación.

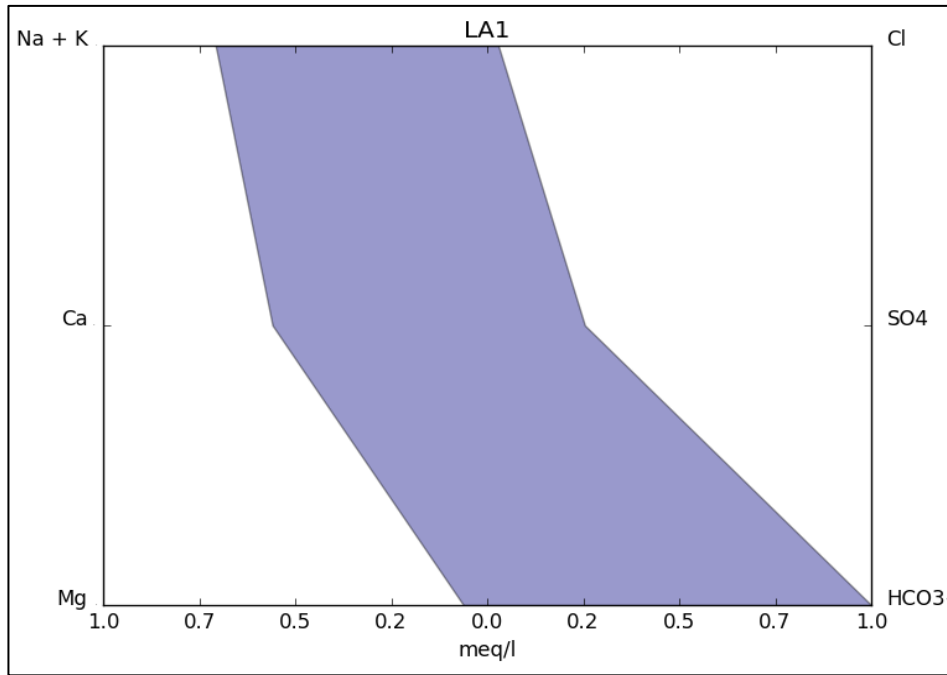


Figura 14: Diagrama de Stiff, muestra LA1.

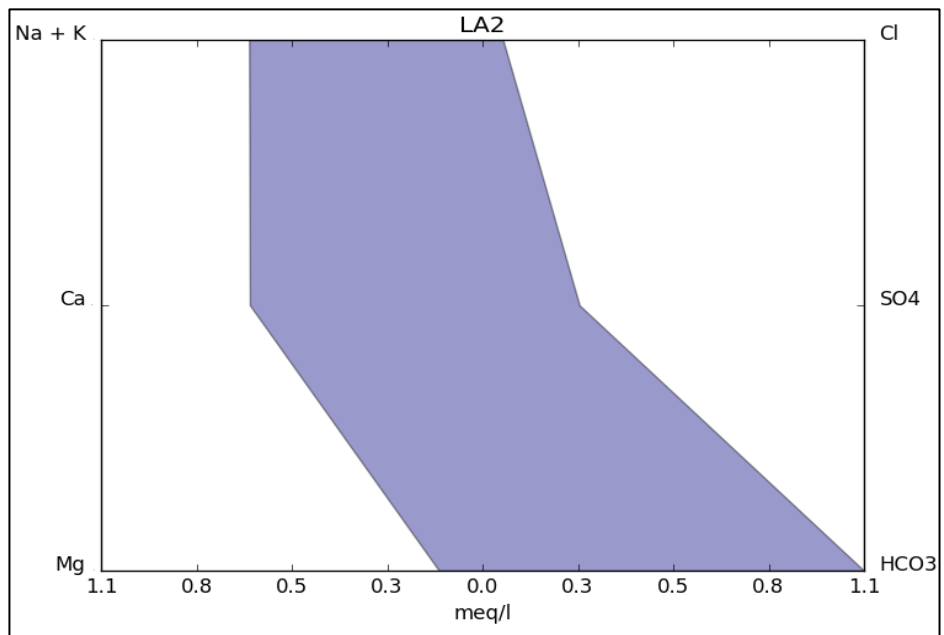


Figura 15: Diagrama de Stiff, muestra LA2.

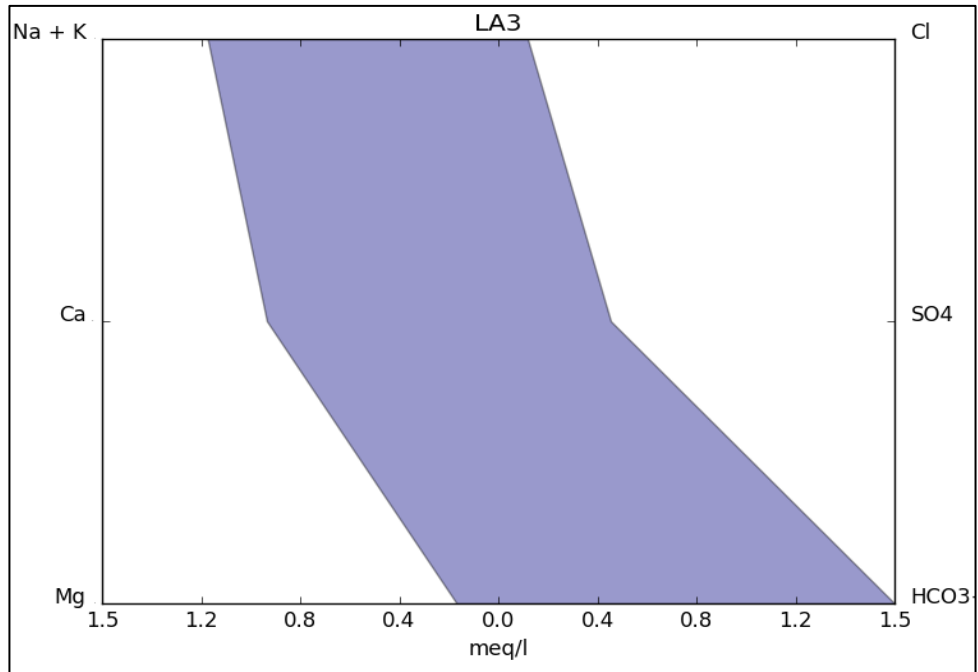


Figura 16: Diagrama de Stiff, muestra LA3.

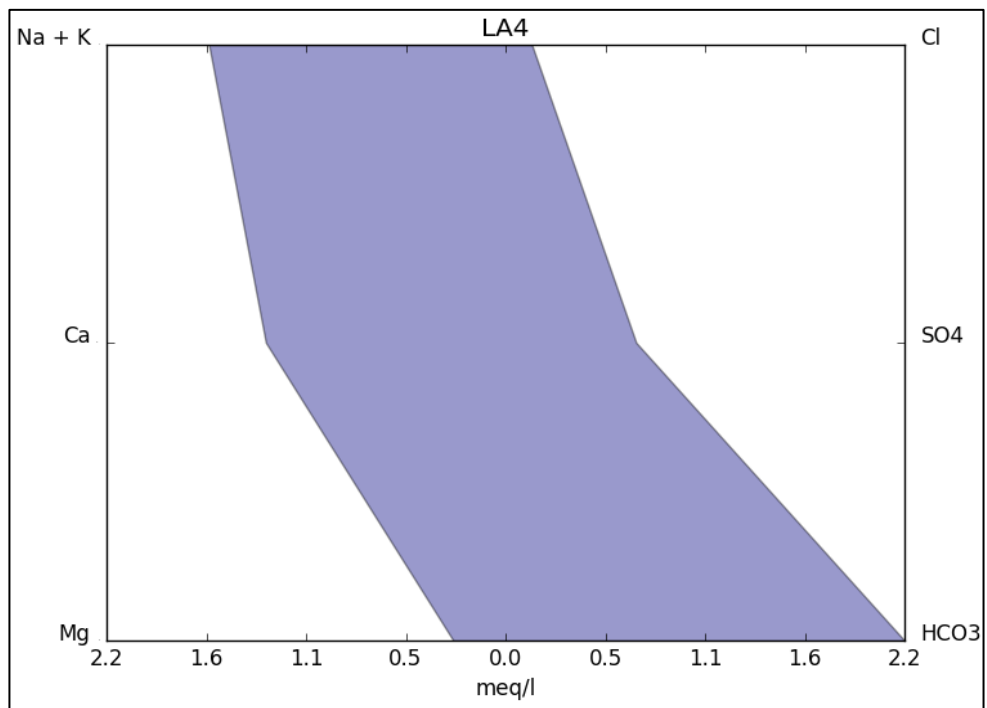


Figura 17: Diagrama de Stiff, muestra LA4.

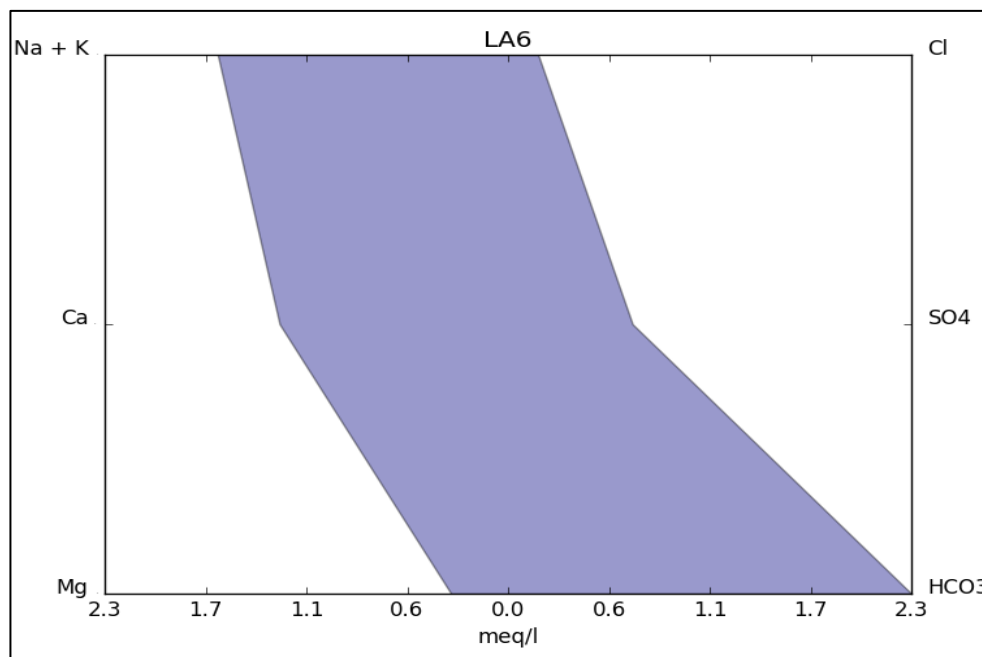


Figura 18: Diagrama de Stiff, muestra LA6.

A partir de la interpretación de los diagramas de Stiff así confeccionados y observando que la representación de las muestras dan por resultado figuras hexagonales irregulares con su vértice inferior derecho más extendido hacia los carbonatos–bicarbonatos, y vértice superior izquierdo, extendido hacia los iones sodio y potasio.

Los diagramas muestran concentraciones elevadas del anión bicarbonato que oscila de 1.20 a 2.80 meq/l, cuyo valor aumenta en dirección al flujo del cauce, por debajo encontramos las concentraciones de los cationes sodio y potasio que varía de 0.70 a 1.65 meq/l, muy abundantes también, el resto de los parámetros, presentan valores comprendidos entre 0.02 a 0.90 meq/l.

#### 4.5.3. Diagrama de Schoeller-Berkaloff

El diagrama de Schoeller-Berkaloff, es un diagrama donde se representan columnas verticales paralelas, igualmente espaciadas y divididas en escala logarítmica. Las escalas iónicas centrales están graduadas en mg/l y las dos laterales en meq/l. Los puntos se unen mediante líneas quebradas permitiendo visualizar con relativa facilidad el quimismo de las aguas representadas y compararlas entre sí.

La gráfica para la subcuenca se obtuvo a partir de la tabla Excel EasyQuim (Anexo II- Tabla 2) y los valores de las proporciones de los distintos iones mayoritarios analizados en laboratorio y representados en meq/l, la gráfica obtenida puede visualizarse en la Figura 19.



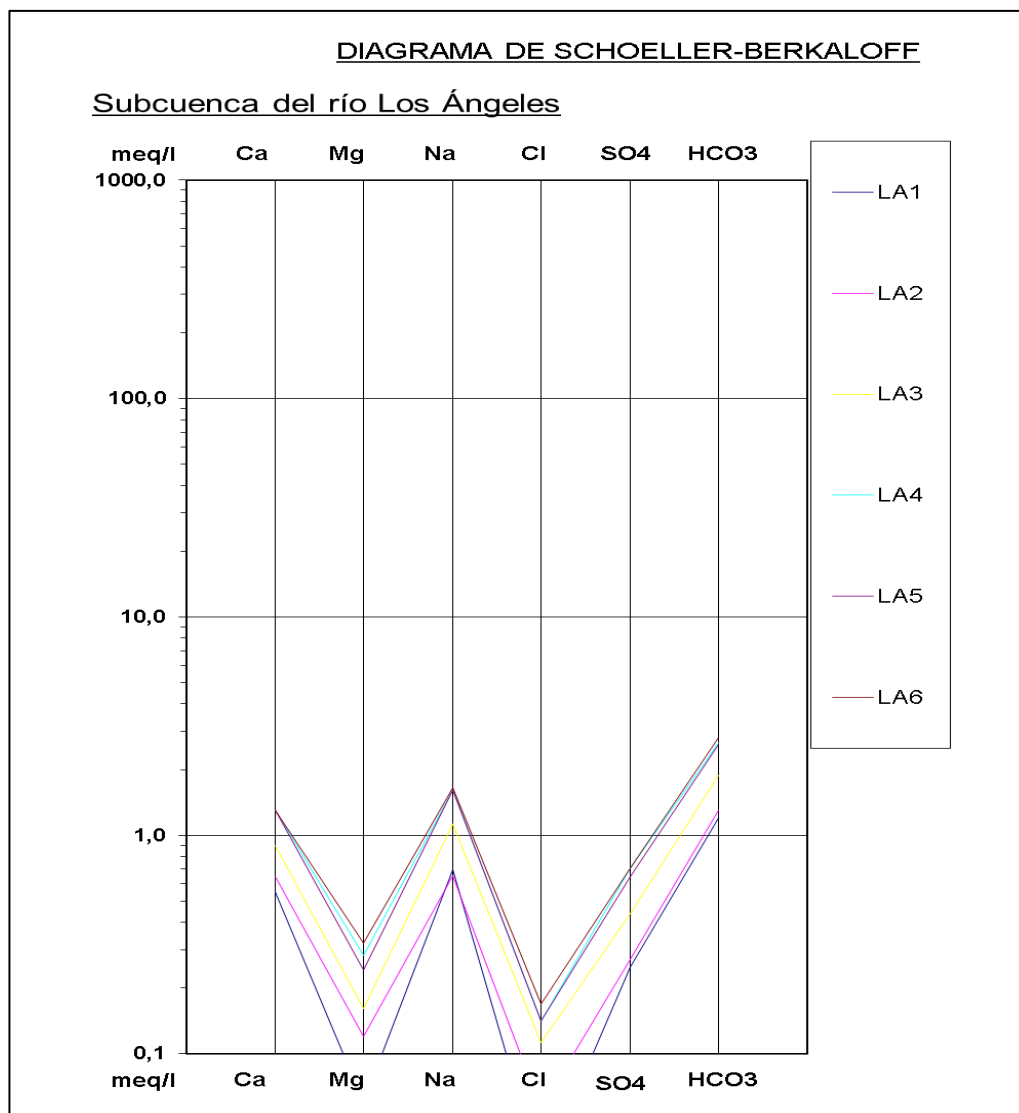


Figura 19: Diagrama de Schoeller-Berkaloff

A partir de la representación de las muestras de aguas superficiales en el diagrama de S-B, puede observarse que todas ellas tienen un mismo comportamiento o tipo químico, correspondiendo a bicarbonatadas sódicas-cálcicas.

Teniendo en cuenta que el muestreo fue realizado desde las nacientes a la desembocadura de la cuenca, puede interpretarse que el carácter carbonatado-bicarbonatado va en aumento a medida que el cauce fluye hacia la cota mínima.

#### 4.6. pH y temperatura

El pH del agua se debe sobre todo al equilibrio carbónico, es decir a la secuencia de equilibrio de disolución de  $\text{CO}_2$  en agua y la subsiguiente disolución de carbonatos e insolubilización de bicarbonatos, que alteran drásticamente el pH de cualquier agua. Además, la actividad fotosintética reduce el contenido de  $\text{CO}_2$  disuelto en agua, mientras

que la respiración de los organismos heterótrofos produce CO<sub>2</sub> causando un efecto contrario con respecto al pH medido. El valor de pH de aguas superficiales se encuentra en el intervalo de 6 a 8.5.

El pH obtenido en los distintos puntos de muestreo (Tabla 13), indica que el agua es levemente alcalina, no presenta ningún cambio brusco en su pH a lo largo de todo el cauce y se encuentra en el rango normal de aguas superficiales.

Muestra	LA1	LA2	LA3	LA4	LA6
Horario de medición	13	15:15	16:55	17:30	18:50
pH medido in situ	8.20	8.66	8.43	8.17	8.70
pH determinado por el laboratorio.	8.39	8.98	8.42	8.46	8.72

Tabla 13: Valores de pH, medidos en campo y laboratorio.

La temperatura de un agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores de un líquido, estando ligada a la energía cinética media de sus moléculas. Las variaciones de temperatura afectan la solubilidad de sales y gases en agua, y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como a su comportamiento microbiológico.

En cuanto a la temperatura del agua del río Los Ángeles, varía en un rango de 8.5 °C a 19.6 °C, el detalle de la misma puede verse en la planilla de muestreo de campo en el Anexo II.

#### 4.7. Conductividad eléctrica

La conductividad es producida por los electrolitos que lleva disuelta un agua y es, muy baja en el agua pura. Además se comprende que exista una relación entre ella y los electrolitos que contiene.

A diferencia del pH, la conductividad eléctrica medida en la subcuenca presenta una mayor variación, se han medido valores entre los 115 y 309  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , (Tabla 14). Al observar los valores se ve que estos aumentan cuando el agua fluye hacia la zona más baja de la cuenca, por lo tanto, la conductividad aumenta en el sentido del movimiento de las aguas, es decir, a lo largo de las líneas de flujo. El punto que presenta los valores más altos corresponde a la muestra LA6, ubicada en el Camping de Miraflores, punto de salida de la subcuenca.

Muestra	LA1	LA2	LA3	LA4	LA6
Conductividad $\mu\text{S/cm}$	115,70	134,40	199,70	295,00	309,00

Tabla 14: Valores de conductividad medidos en campo.

#### 4.8. Total de sólidos disueltos (TSD)

El total de sólidos disueltos se refiere a la cantidad total de compuestos inorgánicos, así como de materias orgánicas de tamaño muy pequeño que contiene un agua. Tanto el total de sólidos disueltos como la conductividad eléctrica brindan información sobre la salinidad del agua. En general, los ríos suelen presentar mayores valores de sólidos disueltos durante la época seca del año a causa de la mayor evaporación experimentada en estos periodos.

Desde el punto de vista del consumo humano, el uso de aguas que contengan más de 1.000 mg/l de sólidos totales en disolución es desaconsejable, tanto por las propias sales como por su sabor salino o salobre.

Los valores medidos en la subcuenca varían desde 65 a 198 mg/l (tabla 15), de acuerdo a los datos otorgados por el laboratorio, este aumento se produce en dirección a las líneas de flujo, podría estar asociado al desarrollo urbano en la parte media y baja de la cuenca y al uso que se le da al suelo en esas áreas, el mayor valor coincide con el punto extremo de salida de la subcuenca y podría asociarse al gran aporte de agua que recibe la cuenca por parte del arroyo Los Pinos.

Muestra	LA1	LA2	LA3	LA4	LA6
TSD (mg/l) medido in situ.	55	64.4	95.6	142.1	148.5
TSD (mg/l) determinado en laboratorio.	65,00	79,00	136,00	188,00	189,00

Tabla 15: Valores de TSD obtenidos para la subcuenca.

#### 4.9. Calidad del agua para riego

##### 4.9.1. Relación Adsorción Sodio

La conductividad eléctrica y el contenido del catión ( $\text{Na}^+$ ) juegan un rol importante en el estudio de las aguas utilizadas para regadío (Marghade et al., 2010). El exceso de salinidad del agua puede afectar las plantas en su crecimiento y rendimiento, producto de efectos en la osmosis (Hanson et al., 1993). Existen diferentes diagramas que se utilizan en la clasificación de las aguas para riego, uno de los más empleados corresponde al elaborado por el US Salinity Laboratory (1954), donde se grafica la Razón de Adsorción de Sodio

(RAS) versus la conductividad eléctrica a escala logarítmica, la cual es utilizada como medida de salinidad.

El diagrama obtenido a partir de las diferentes muestras se puede visualizar en la Figura 20.

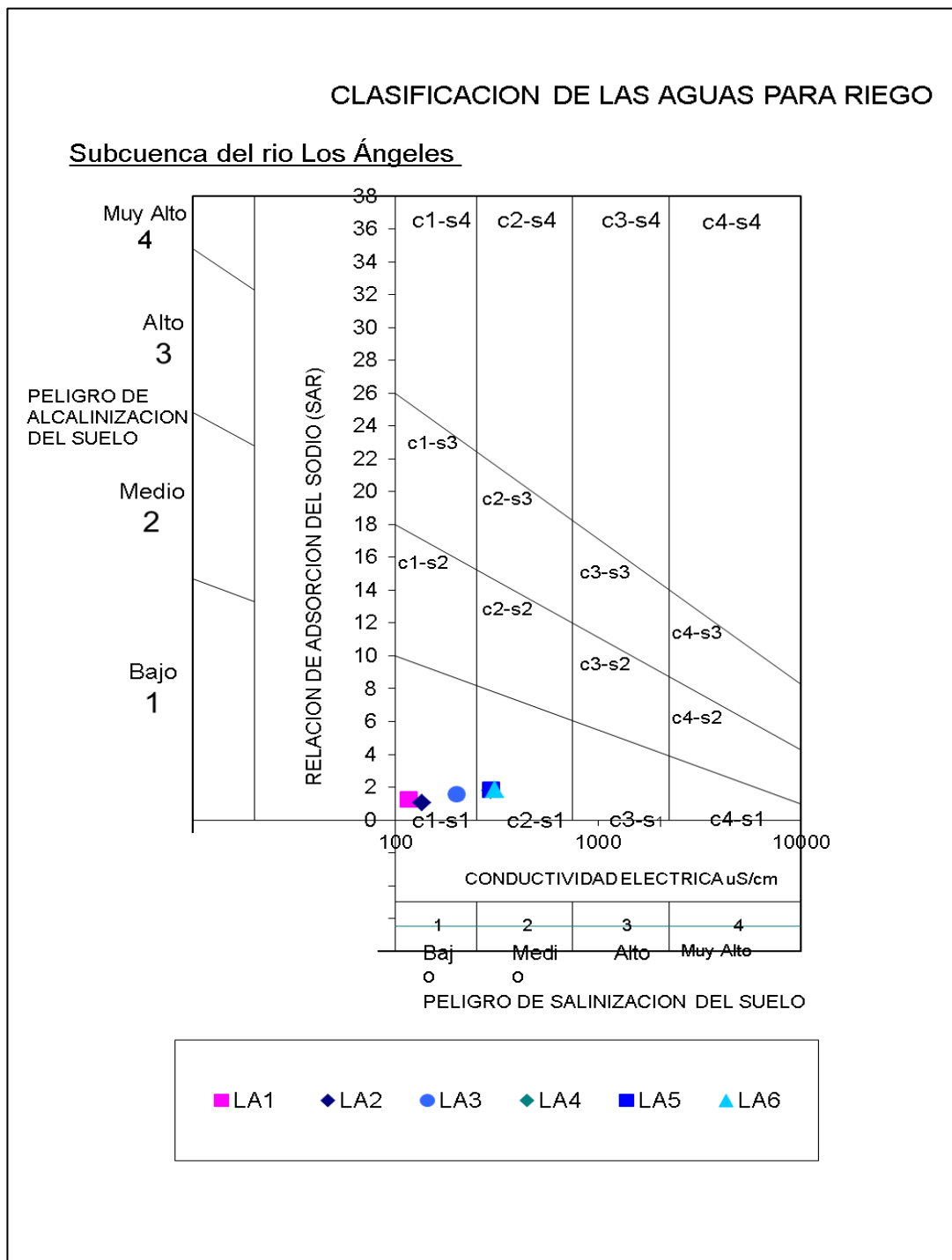


Figura 20: Diagrama SAR, obtenido en EASY-QUIM.

A partir del diagrama confeccionado, puede observarse que el agua de la subcuenca en los puntos de muestreo LA1, LA2 y LA3, pertenece a la Clase I Excelente, agua sin limitaciones de uso, para todos los cultivos prácticamente y en la mayoría de los suelos. Poco probable el desarrollo de pequeñas cubiertas de sales tóxicas. Subgrupo C<sub>1</sub>S<sub>1</sub>, por tanto el agua se puede usar en cualquier tipo de suelo, con muy poca probabilidad que se desarrolle salinidad y niveles peligrosos de sodio intercambiable.

El agua correspondiente a los puntos de muestreo LA4 y LA6 también pertenece a la clase I, agua sin limitaciones, el subgrupo para estos puntos es C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>, puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de lavado, en casi todos los casos pueden cultivarse plantas moderadamente tolerantes a las sales sin necesidad de prácticas especiales de control de salinidad, en el caso del sodio tiene muy poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.

#### 4.9.2. Determinación de la calidad del agua para consumo humano

Para este trabajo se realizó la comparación de los resultados obtenidos en laboratorio con los valores guías propuestos por el Código Alimentario Argentino, (Ley 18284 - Decreto N° 2126/71 - Capítulo XXII), Directrices de la OMS para la calidad del agua potable, establecidas en Génova, 1993 y Ley 24585 para Actividad Minera- Impacto Ambiental, que definen las características que deben cumplir las fuentes de agua para bebida de consumo humano y para consumo de ganado.

Características exigidas para -Agua Potable (según el Código Alimentario Argentino)

Artículo 982 - (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007) Con las denominaciones de Agua potable de suministro público y Agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente. El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios. Ambas deberán cumplir con las características físicas, químicas y microbiológicas determinadas por este artículo.

Características físicas exigidas por el C.A.A son: turbiedad máxima 3 unidades nefelométricas de turbidez (NTU); color máximo 5 escala de platino-cobalto (Pt-Co); olor: sin olores extraños. Las características químicas se detallan en la Tabla 16.

Las características físicas obtenidas en laboratorio para la subcuenca fueron:

Color: No presenta

Olor: No presenta

Turbiedad: No presenta

La Tabla 16 muestra la comparación de los valores obtenidos para las distintas muestras recolectadas a lo largo de la subcuenca con los valores guías propuestos por el C.A.A. la Ley 24585 y los niveles guías pertenecientes a la Organización Mundial de la Salud.

	C.A.A*	Ley 24.585 Agua Potable	Ley 24.585 Niv. Guía Agua Bebida Ganado	Niv. Guía OMS** Agua Potable	LA1	LA2	LA3	LA4	LA6
PH	6.8- 8.5	6.5- 8.5	6.5-8.5	-	8.39	8.98	8.42	8.46	8.72
Dureza total mg/l	Max 400	1000	1000	-	30	38	52	78	82
SDT mg/l	Max 1500	-	-	-	65	79	136	188	189
TAC mg/l		-	-	-	60	65	94	132	140
Cl <sup>-</sup> mg/l	Max 350	-	-	250	1	2	4	5	6
SO <sub>4</sub> mg/l	400	-	-	500	12	13	21	34	34
NO <sub>3</sub> mg/l	Max 45	-	-	50	<1	<1	<1	<1	<1
Ca mg/l	-	-	-		11	13	18	26	26
Mg mg/l	-	-	-	-	0.729	1.458	1.944	3.402	3.888
NO <sub>2</sub> mg/l	Max 0.10	-	-	-	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
NH <sub>4</sub> mg/l	0.20	-	-	-	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	0.06
As mg/l	0.05	0.05	-	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Na mg/l	-	-	-	200	16	15	26	37	38
F mg/l	En fun. Temp.	1.5	1	1.5	0.11	0.14	<0.1	0.21	0.45

\* Código Alimentario Argentino \*\* Organización Mundial de la Salud

Tabla 16: Comparación de los valores obtenidos con los niveles guía.

Según los datos obtenidos en los distintos puntos de muestreo y comparándolos con los valores correspondientes a los niveles guías, el agua de la subcuenca se encuentra apta para el consumo humano, en el caso de los valores de pH de las muestras LA2 y LA6, que corresponden a Villa Norte y Camping de Miraflores respectivamente, las cuales sobrepasan por muy poco el valor recomendado, no sería de gran consideración, y con un tratamiento adecuado de potabilización, esta agua se encuentra dentro de los valores

normales establecidos para agua potable por el Código Alimentario Argentino (C.A.A.), por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y para uso como agua potable y bebida de ganado por la Ley 24585.



## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

En relación al Balance Hidrológico de la subcuenca estudiada, se concluye que:

- La evapotranspiración es más importante con respecto a la precipitación.
- La evapotranspiración potencial, es menor en las zonas bajas de la subcuenca, debido a que es una zona con menor rango de precipitación.
- La precipitación es mayor en las zonas altas de la subcuenca, es decir que disminuye con la altura.
- El mayor excedente hídrico, de la relación a la evapotranspiración potencial y precipitación, se presenta en las zonas bajas de la cuenca. Lugar que representa las zonas preferenciales de recarga.
- El caudal anual de la subcuenca es de 3.644.272 m<sup>3</sup>/año.

El valor del caudal medido en el punto de aforo a la salida de la subcuenca es 0.456 m<sup>3</sup>/seg.

En relación al Análisis Morfométrico de la subcuenca, se determinaron las siguientes características generales:

El área de la subcuenca es 152.48 Km<sup>2</sup>, correspondiendo a una cuenca pequeña, condicionada por las características del suelo y de la cobertura vegetal.

El perímetro de la subcuenca es de 103.89 Km, la longitud total de la subcuenca es de 22.73 Km y la longitud del cauce principal es de 43.26 Km.

El coeficiente de sinuosidad hidráulico de la subcuenca sea de 1.9 lo que le confiere un grado de sinuosidad severa, atribuido principalmente a la forma de la estructura dominante de la cuenca.

La forma geométrica de la subcuenca permitió conocer el movimiento del agua superficial y las respuestas de la misma a tal movimiento, por medio de los siguientes coeficientes o índices, el valor del coeficiente de compacidad obtenido es 2.37, con este valor se deduce que la subcuenca es de tipo alargada; el factor forma es 0.29, por lo que coincide con la conclusión anterior; el radio o relación de elongación de la subcuenca es 0.61 que corresponde a zona de relieves fuertes y pendientes pronunciadas, la relación de circularidad es de 0.18 e indica la elongación de la subcuenca.

El relieve y altitud de la cuenca son factores relevantes dado que ejercen una importante influencia sobre la respuesta hidrológica y el equilibrio dinámico. A través de la curva hipsométrica se determinó que la cuenca se encuentra en equilibrio morfológico y en su fase de madurez.

En relación a los parámetros de relieve y altitud se observa que el tramo altitudinal de 2000 a 2500 msnm representa la mayor distribución en porcentaje de superficie, siendo el de menor distribución el tramo altitudinal comprendido entre 500 y 1000 msnm. La pendiente del cauce principal de la subcuenca es de 15.3 %.

En relación a las características de la Red de Drenaje, se determinaron los siguientes parámetros:

La densidad de drenaje de la subcuenca es igual a 2.50 Km/Km<sup>2</sup>, la constante de estabilidad del río es 0.4, y hace referencia al grado de erodabilidad de la subcuenca. Para esta subcuenca el valor es muy alto debido a que se encuentra en un área con suelos rocosos muy resistentes. El grado de bifurcación representado por el orden de corriente es de 5 y el tiempo de respuesta o de concentración es de 3.16 horas.

La red de drenaje de la subcuenca del río Los Ángeles define un patrón dendrítico, caracterizado por una ramificación arborescente donde los tributarios se unen al cauce principal formando ángulos agudos, este patrón se ve diferenciado en la vertiente oriental de la subcuenca donde se manifiesta una tendencia al diseño subparalelo.

En relación a los parámetros físicos y químicos del agua superficial obtenidos en terreno y en laboratorio, se concluye que las composiciones químicas de las mismas es de tipo bicarbonatada sódica-cálcica, y según las normas de potabilidad es de excelente calidad para el consumo humano y de ganado.

La clasificación de las aguas para riego no presenta un factor de peligro ante la alcalinización del suelo, pertenecen a la Clase I Excelente, sin limitación de uso para prácticamente todos los cultivos y en la mayoría de los suelos.

## **Recomendaciones**

Para mantener la calidad de la subcuenca, ya que es el abastecimiento de la población, alimenta los bosques, las plantas y la vida silvestre, mantiene el suelo fértil y respalda la autosuficiencia de la comunidad, se recomienda:

- No cortar la vegetación circundante a la subcuenca, para evitar la erosión del suelo.
- Cuidar los árboles jóvenes y reforestar las zonas con pocos árboles, en particular en las inmediaciones de la cuenca.
- Evitar quemar los campos, con el objetivo de mejorar los cultivos.
- Respetar los días y horarios de recolección de residuos, para prevenir que se vacíen en el cauce.
- Evitar construir corrales cerca del cauce, ya que ante lluvias torrenciales todo el material fluye hacia el cauce.
- Si la propiedad está en zonas elevadas, construir huertas en las partes bajas, de manera que retengan el agua, escurrimiento superficial, frente a las precipitaciones y así disminuir la erosión del suelo.

## **Referencias**

- Blasco, G.; Caminos, R.; Lapido, O.; Lizuaín, A., Martínez, H.; Nullo, F.; Panza, J y Sacomani, L., Hoja Geológica 2966-II San Fernando del Valle de Catamarca, Provincias de Catamarca, Santiago del Estero y Tucumán, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Boletín 212, Buenos Aires, 1994.
- González Bonorino, F. 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. 1978.
- Nullo, F. Descripción geológica de la hoja 15f, Huillapima (provincia de Catamarca). Boletín del Servicio Geológico Nacional, Buenos Aires, 178 pp. 1981.
- Morlans, M.C.; Guichón, B.A.; de la Orden, E.A; Diaz, N.A. Relevamiento de Vegetación de la cuencas de los Ángeles. Revista de Ciencia y Técnica. VOL.III – N°3. 16 pp. 1996.
- J. Llamas, Hidrología General: principios y aplicaciones, Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao, 1993.
- Horton, R. 1945. Erosional development of streams and drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America, 56. pp 275-370
- Maas, Manuel. 2005. "Principios Generales sobre Manejo de Ecosistemas". Morelia, Mexico : Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM., 2005.
- Umaña Gómez, Edmundo. 2002. EDUCACION AMBIENTAL CON ENFOQUE EN MANEJO CUENCAS Y PREVENCION DE DESASTRES. MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS Y PROTECCIÓN DE FUENTES DE AGUA. San Nicolas, Esteli, Nicaragua : s.n., 2002.
- Vazques V., Guillermo. 1997. Consideraciones ambientales para la planificación de cuencas Hidrográficas en área de influencia cafetera en Colombia. Bogotá : Cenicafé, 1997.
- MORLANS, María Cristina. "Regiones Naturales de Catamarca. Provincias Geológicas y Provincias Fitogeográficas". En Revista de Ciencia y Técnica. Vol. II. N° 2. Año 1. Centro Editor de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Univ. Nacional de Catamarca 1-42 pp.1995.
- Shumm, S. 1956. The fluvial system. A Wiley-interscience Publication. John Wiley and Sons, Inc. New York. 338 pp.
- Monsalve Saenz, German. 1999. "Hidrología en la Ingeniería". Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Custodio Emilio; Llamas, Manuel. 2001. Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, S.A.

## Bibliografía

- Nittler, J.B. y Barahona, R. 1993. EL MANEJO DE CUENCAS EN EL PROYECTO DE DESARROLLO AGRICOLA DE GUATEMALA. Proyecto de Desarrollo Agrícola. S.I., Guatemala: MAGA, 1993.
- López, B. W.; Castro, M. I.; Camas, G. R.; Villar, S. B. López, M. J., 2013. El manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Folleto Técnico Núm.19. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental centro de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. México. 25 p.
- Olga S. Heredia<sup>1</sup>, Romina V. Comese<sup>1</sup>, Marta S. Zubillaga<sup>1</sup>, Johanna D. Chirckes<sup>1</sup>, Ana L.Graziano<sup>1</sup> y Eduardo Pagano<sup>1</sup>. Caracterización físico química de las aguas superficial y subterránea de Pergamino (Bs. As.).
- Oscar A. VIRAMONTES OLIVAS, Carmelo PINEDO ÁLVAREZ, Víctor M. REYES GÓMEZ, Carlos A. MUÑOZ ROBLES y Daniel NUÑEZ LÓPEZ. 2015. CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA E HIDRODINÁMICA DE LA SUBCUENCA SAN PEDRO DENTRO DEL COMPLEJO HIDROLÓGICO DEL RÍO CONCHOS.
- Montserrat Jard. Forma de una cuenca de drenaje. Analisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía, vol. XIX. Barcelona, 1985, pp. 41-68.

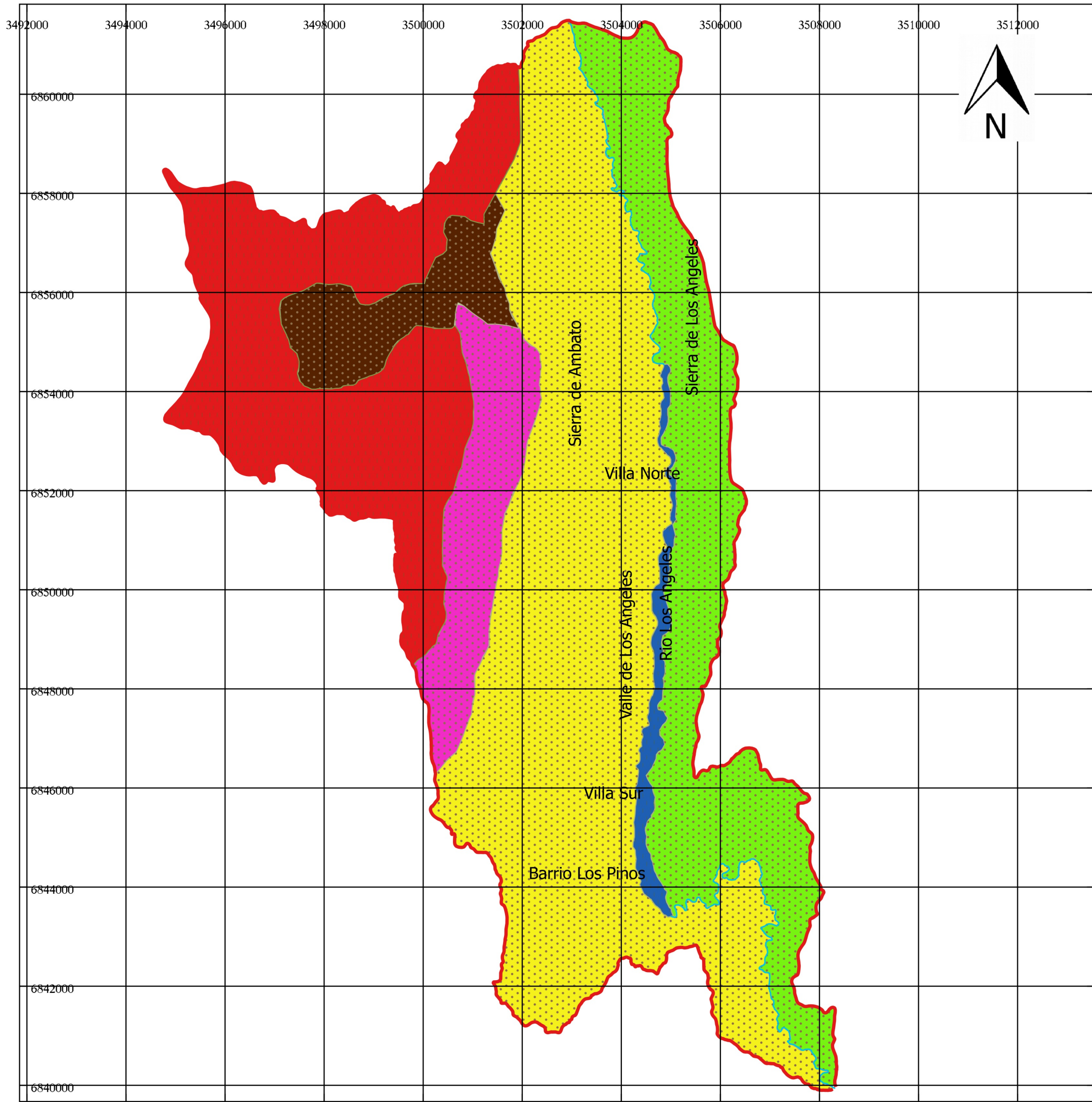
## Páginas web consultadas

- [https://www.upct.es/~minaeees/analisis\\_aguas.pdf](https://www.upct.es/~minaeees/analisis_aguas.pdf).
- <http://gidahatari.com>.
- <http://argentinambiental.com/legislacion/catamarca>.
- <http://naturalezaypaisajesdecatamarca.blogspot.com.ar/2012/01/Miraflores-Capayan.html>.
- <http://www.anmat.gov.ar>.
- <https://www.lenntech.es/estandares-calidad-agua-oms.htm>.
- Imágenes satelitales extraídas de Google Earth.

**Anexos**

# Anexo I





Mapa 1: Esquema de vegetación subcuenca del río Los Ángeles.



SEMINARIO  
 Caracterización Hidrogeomorfológica  
 de la Subcuenca del río Los  
 Ángeles. Dpto. Capayán. Catamarca.  
 R.A.

REFERENCIAS

- Limite de cuenca
  - Cauce principal
  - 1- Valle del rio Los Ángeles
  - Ladera oriental
  - Ladera occidental
  - Sedimento fluvios aluviales recientes
  - 2- Vertiente rocosa superior
  - Asociación de áreas de relieve suavizados
  - Torrente
  - Áreas de relieve irregular
- 685000.0 Coordenadas Posgar94

ESCALA: 1:90.000

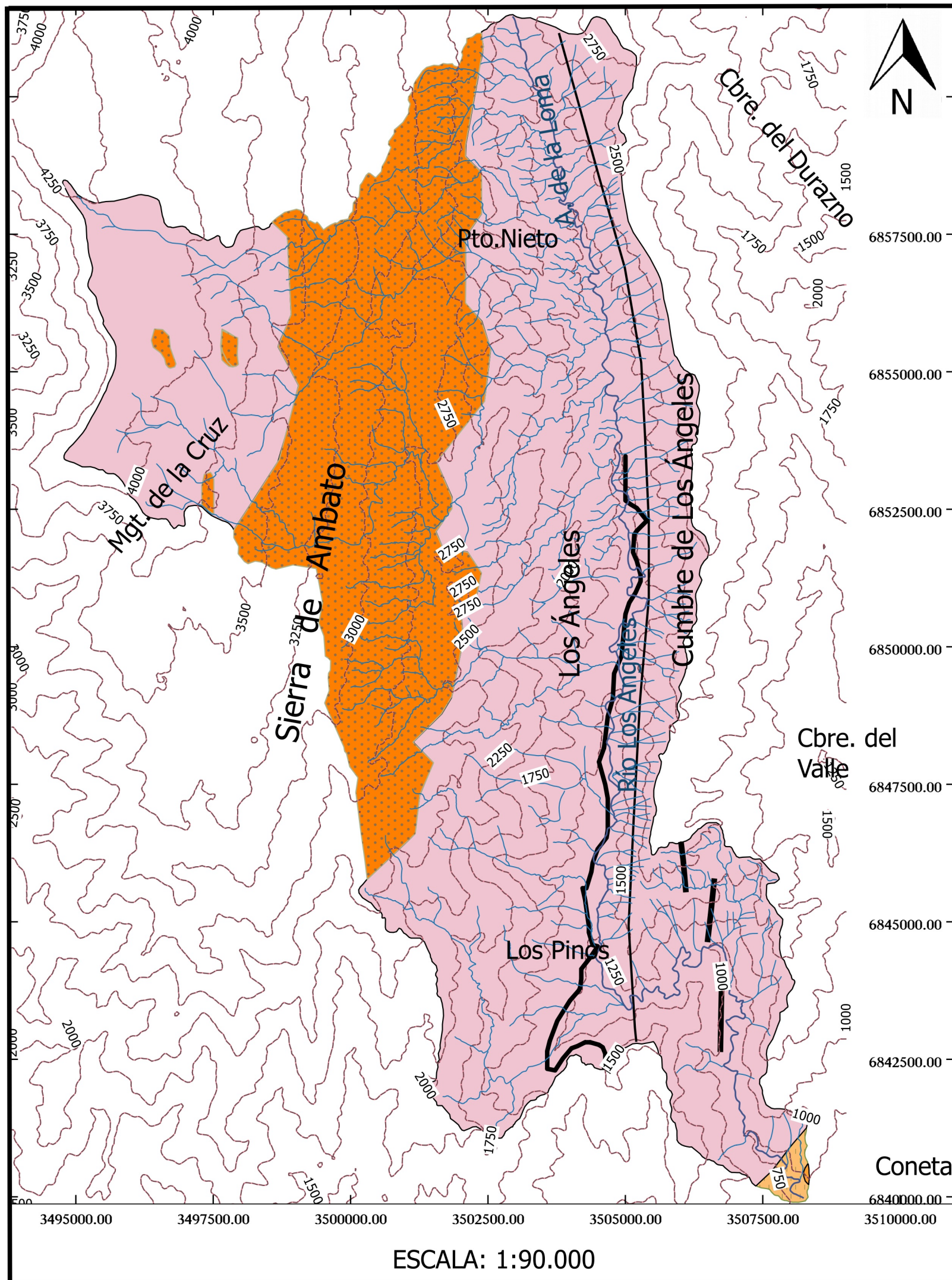


Mapa 2: Esquema geológico subcuenca del río Los Ángeles  
**SEMINARIO**  
 Caracterización Hidrogeomorfológica de la Subcuenca del río Los Ángeles. Dpto. Capayán. Catamarca. R.A.

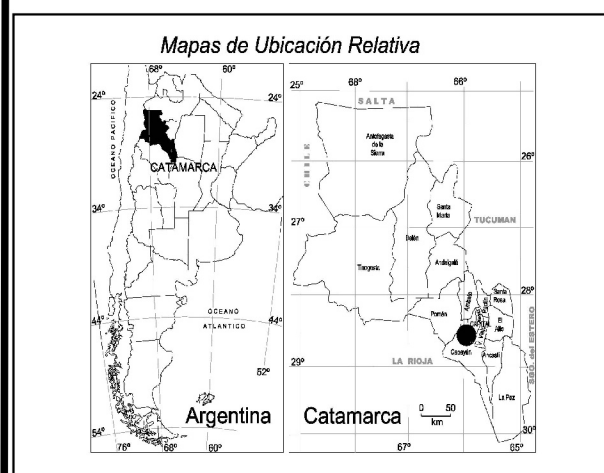


Mapa elaborado por: M. Laura Plaza

Adaptado hoja geológica 14f y 2966-II  
 San Fernando del Valle de Catamarca



6857500.00  
 6855000.00  
 6852500.00  
 6850000.00  
 6847500.00  
 6845000.00  
 6842500.00  
 6840000.00

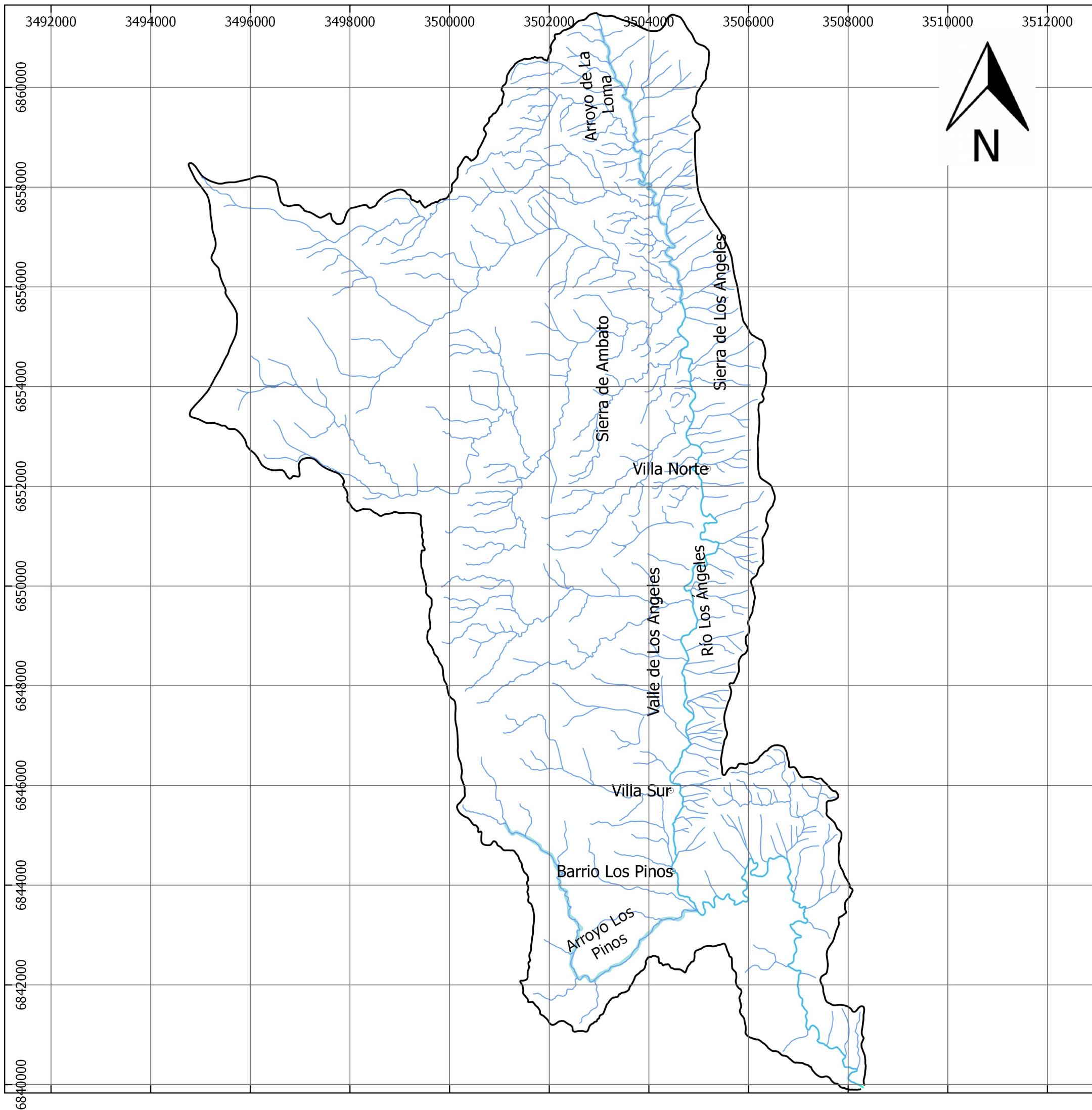


- Referencias geológicas
- Fractura
- Referencias cartográficas
- Camino pavimentado
  - Red de drenaje
  - 685000.0 Coordenadas Posgar94
  - Curvas de nivel

Cuadro Estratigráfico				
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	22	Depósitos Aluviales
			20	Formación Coneta
		Pleistoceno	19	Fm Concepción
ORDOVÍCICO A CARBONÍFERO INFERIOR			12 + 11 + +	Plutonitas Postectónicas
PRECÁMBRICO SUPERIOR A ORDOVÍCICO			6	Fm El Portezuelo

Abreviaturas			
A.	Arroyo	Cbre.	Cumbre
Mgte.	Mogote	Pto.	Puesto



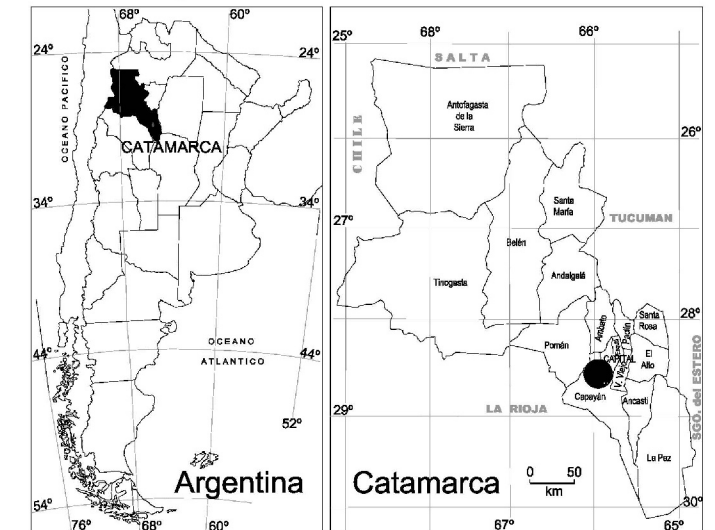


# Mapa 3: Esquema hidrológico subcuenca del río Los Ángeles

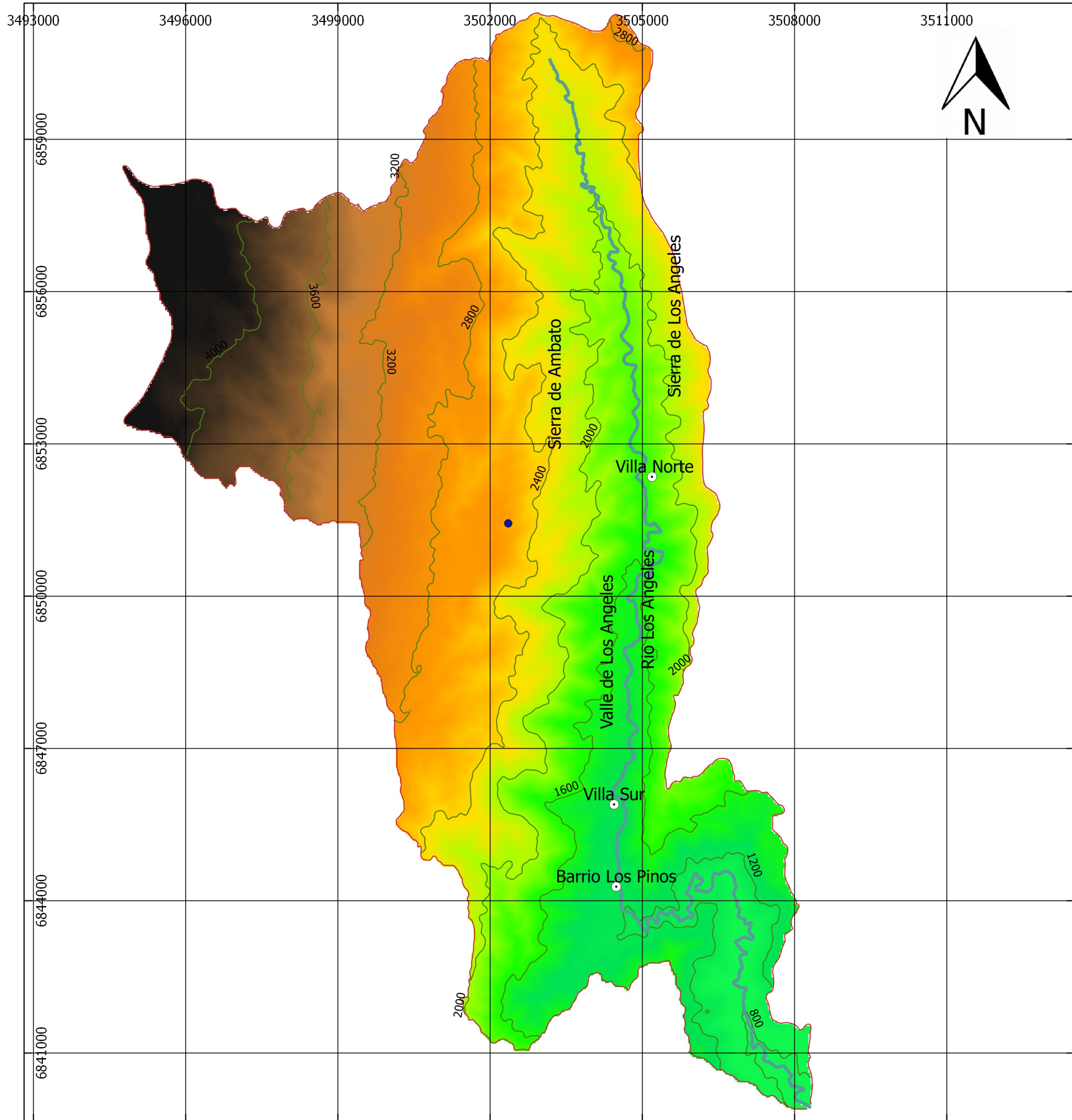


**SEMINARIO**  
 Caracterización Hidrogeomorfológica de la Subcuenca del río Los Ángeles.  
 Dpto. Capayán. Catamarca. R.A.

*Mapas de Ubicación Relativa*



**Escala: 1: 90.000**



Mapa 4: Esquema de elevación subcuenca del río Los Ángeles



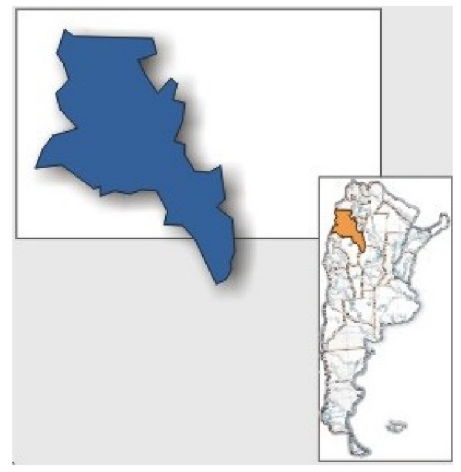
SEMINARIO  
 Caracterización Hidrogeomorfológica de la Subcuenca del río Los Ángeles. Dpto. Capayán. Catamarca. R.A.

Leyenda

- Cauce principal
- Limite de cuenca
- Centroide

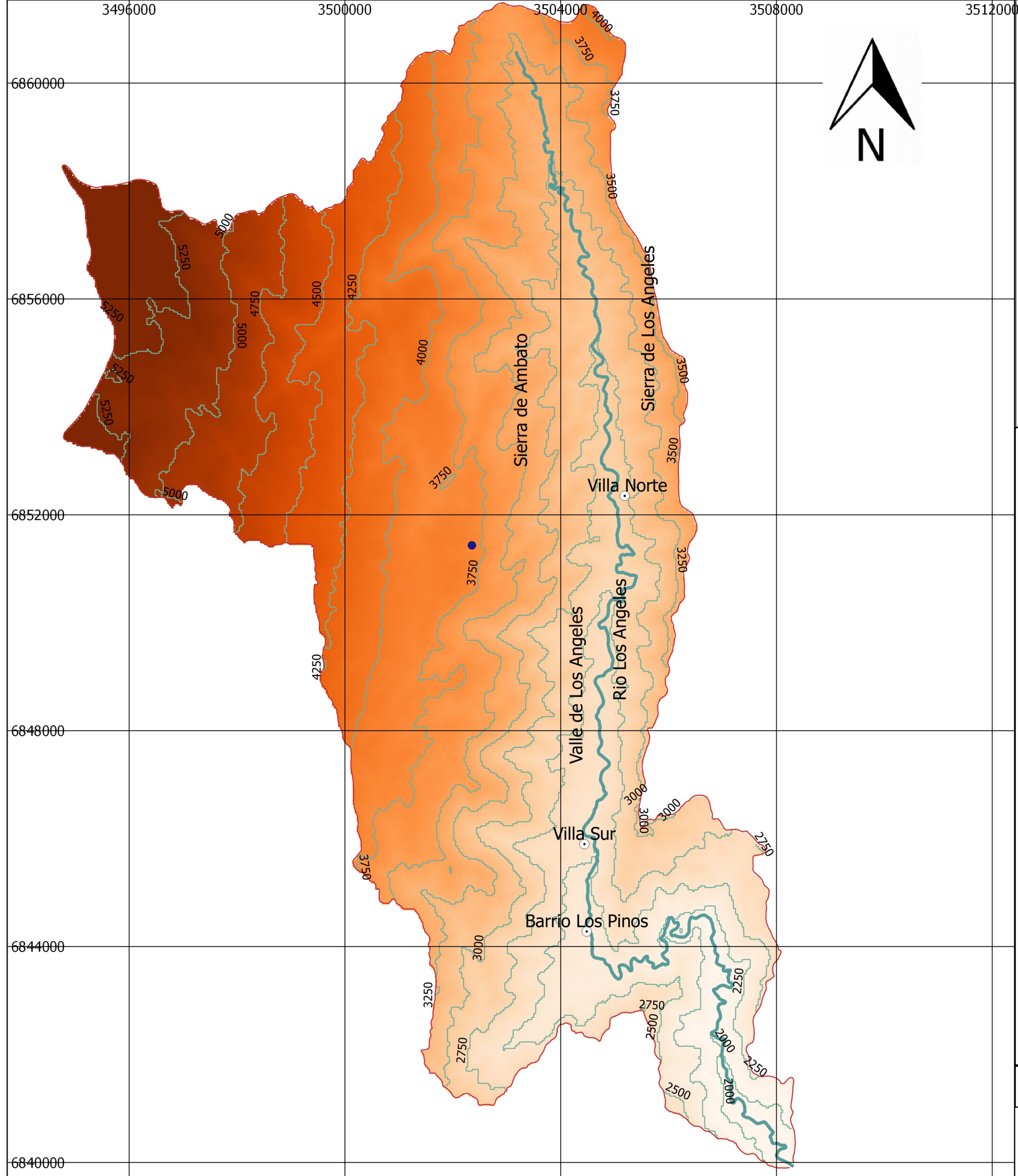
Elevación de cuenca

- 800 m
- 1200 m
- 1600 m
- 2000 m
- 2400 m
- 2800 m
- 3200 m
- 3600 m
- 4000 m



Escala 1: 90.000





Mapa 5: Esquema de evapotranspiración subcuenca del río Los Ángeles



SEMINARIO

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Subcuenca del río Los Ángeles. Dpto. Capayán. Catamarca. R.A.

Leyenda

- Cauce\_Principal
- Red de drenaje
- Limite de cuenca
- Centroide
- Isolineas de evapotranspiración

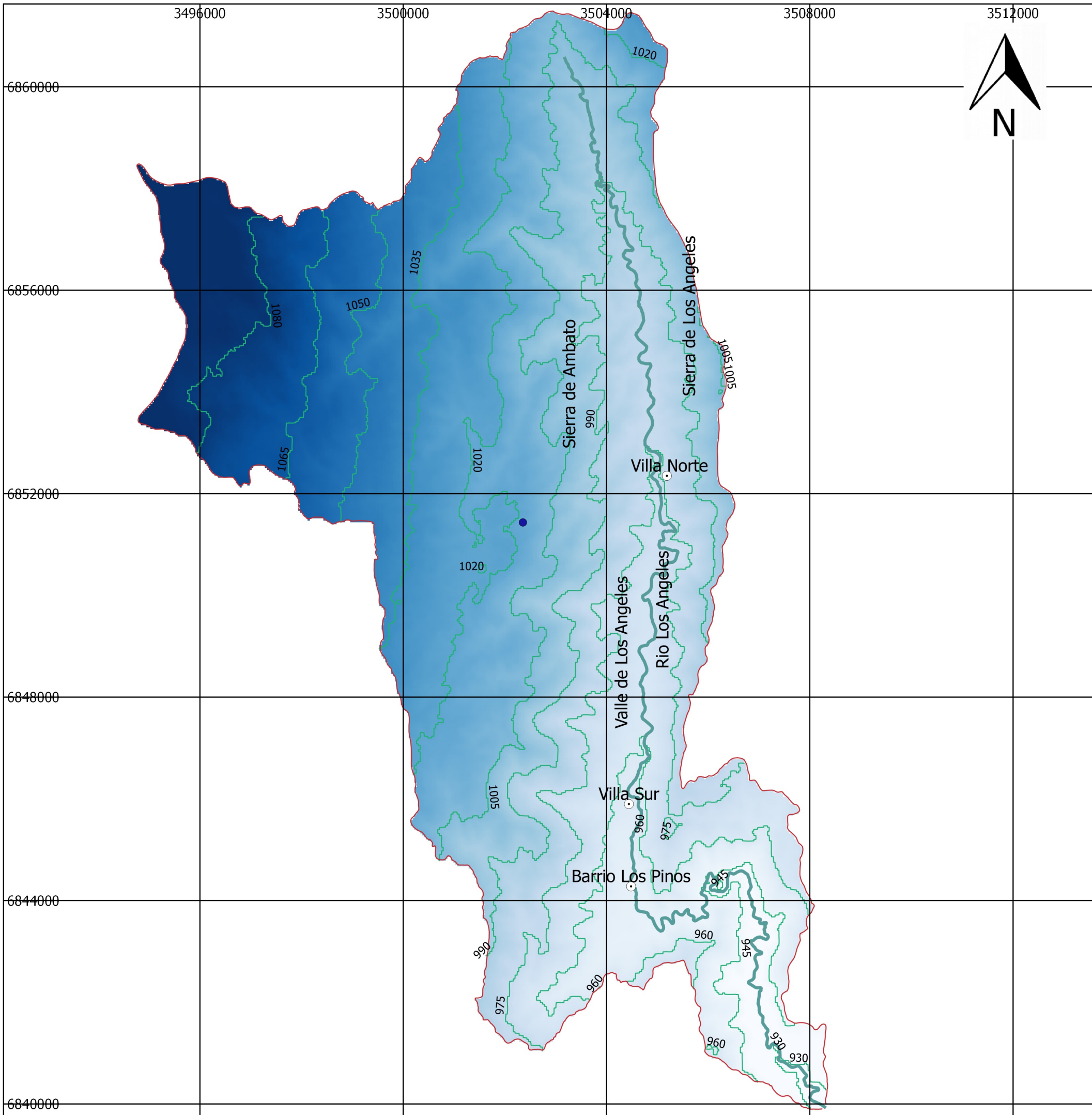
Evapotranspiración

- 2000 mm
- 2250 mm
- 2500 mm
- 2750 mm
- 3000 mm
- 3250 mm
- 3500 mm
- 3750 mm
- 4000 mm
- 4250 mm
- 4500 mm
- 4750 mm
- 5000 mm



Escala 1: 90.000





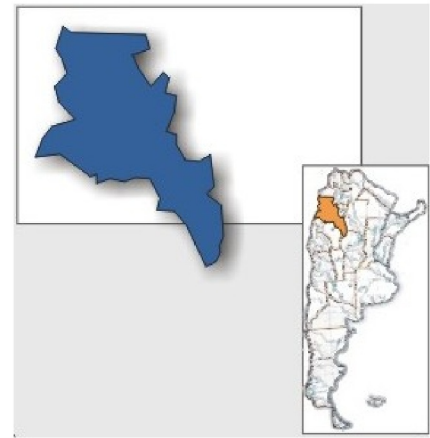
# Mapa 6: Esquema de precipitación subcuenca del río Los Ángeles



**SEMINARIO**  
 Caracterización Hidrogeomorfológica de la Subcuenca del río Los Ángeles. Dpto. Capayán. Catamarca. R.A.

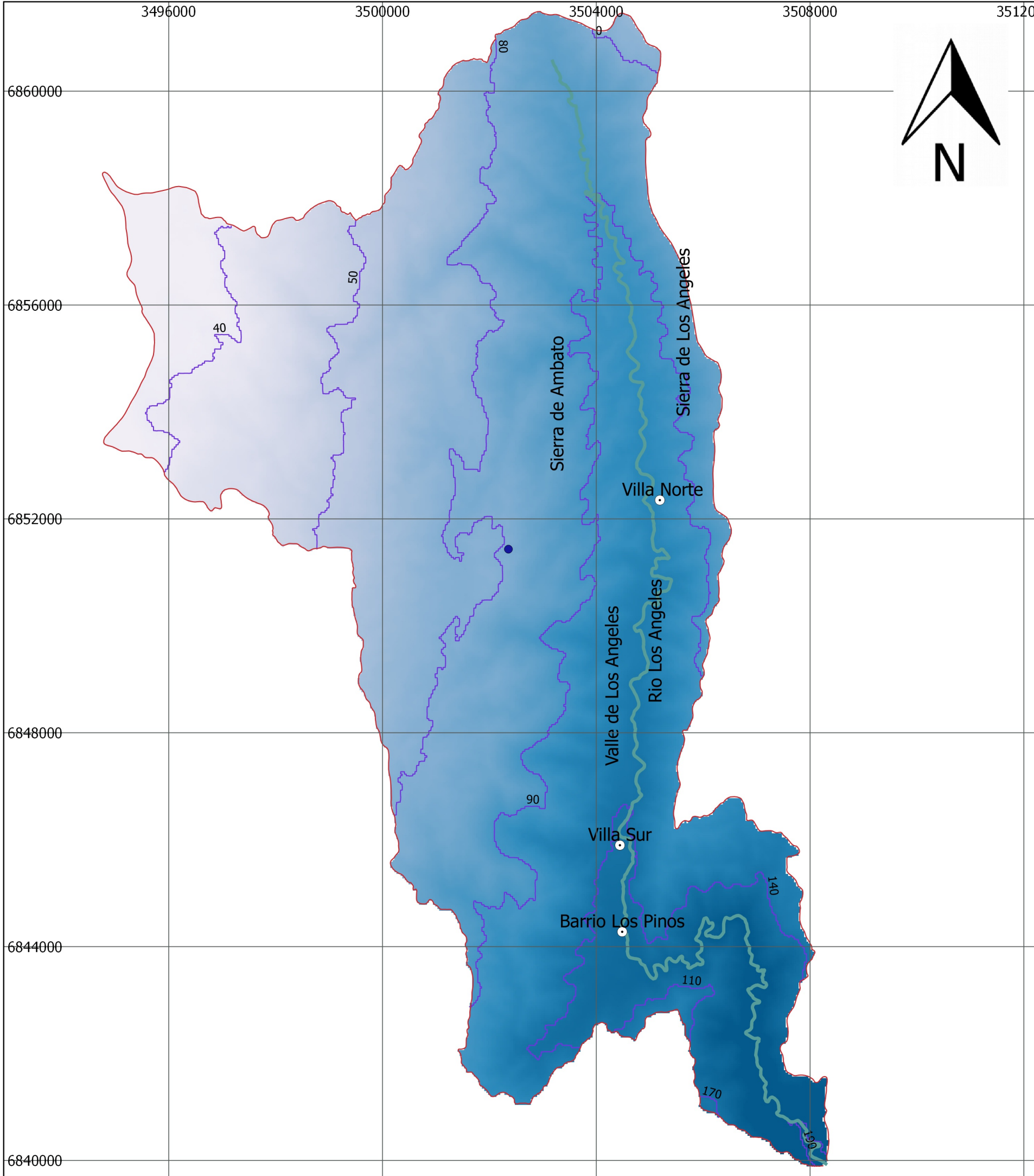
## Leyenda

- Cauce principal
  - Red de drenaje
  - Limite de cuenca
  - Centroide
  - Isolineas de precipitación
- Precipitación
- 930 mm
  - 945 mm
  - 960 mm
  - 975 mm
  - 990 mm
  - 1005 mm
  - 1020 mm
  - 1035 mm
  - 1050 mm
  - 1065 mm
  - 1080 mm



**Escala 1: 90.000**

Elaborado por: María Laura Plaza







Mapa 7: Esquema excedente hídrico subcuenca del río Los Ángeles











SEMINARIO

Caracterización Hidrogeomorfológica de la Subcuenca del río Los Ángeles. Dpto. Capayán. Catamarca. R.A.

Leyenda

-  Cauce principal
-  Límite de cuenca
-  Centroide de cuenca
-  Isolineas excedente hídrico

Excedente hídrico

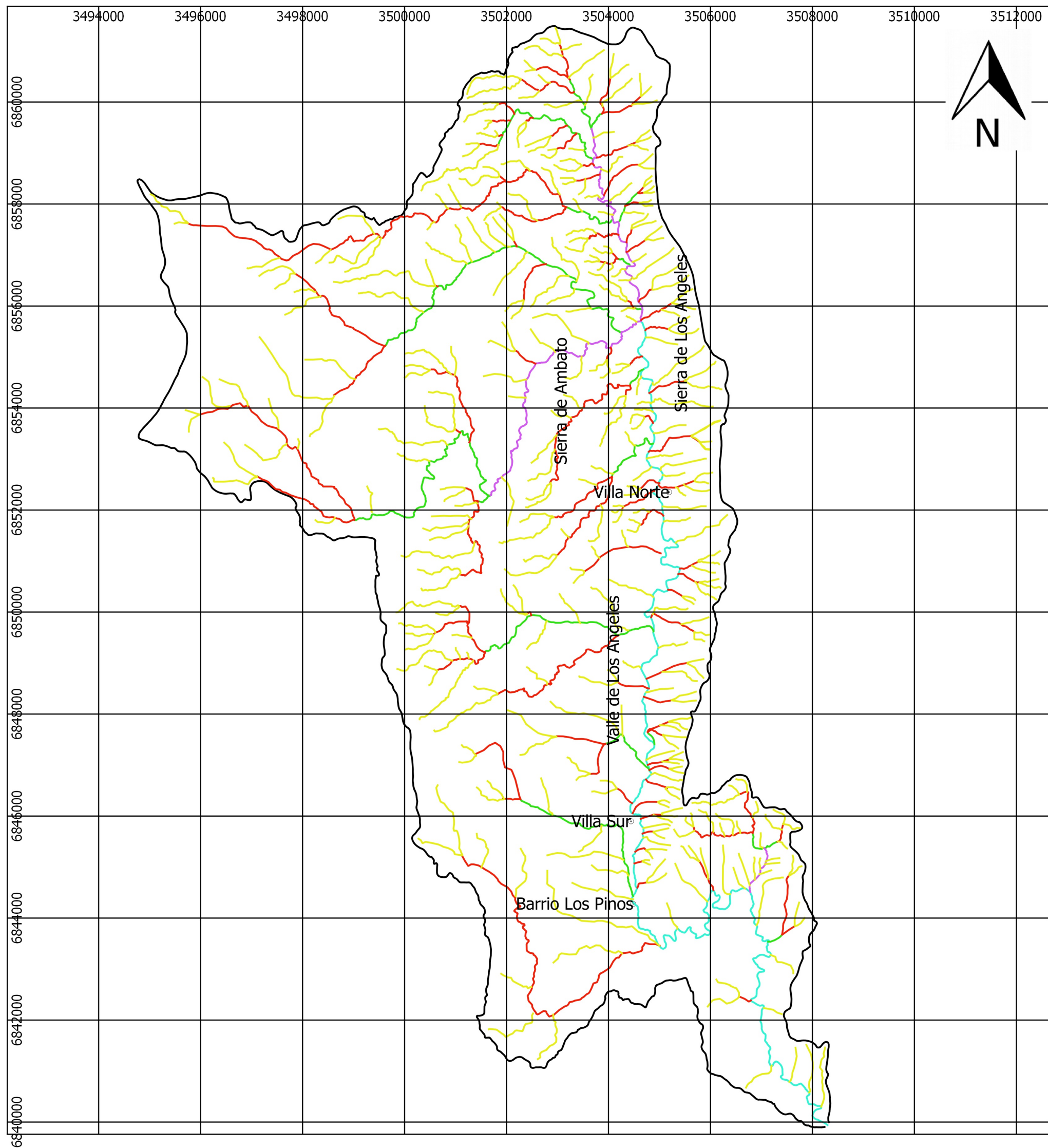
-  190 mm
-  170 mm
-  140 mm
-  110 mm
-  90 mm
-  80 mm
-  50 mm
-  40 mm



Escala 1: 90.000

Elaborado por: María Laura Plaza





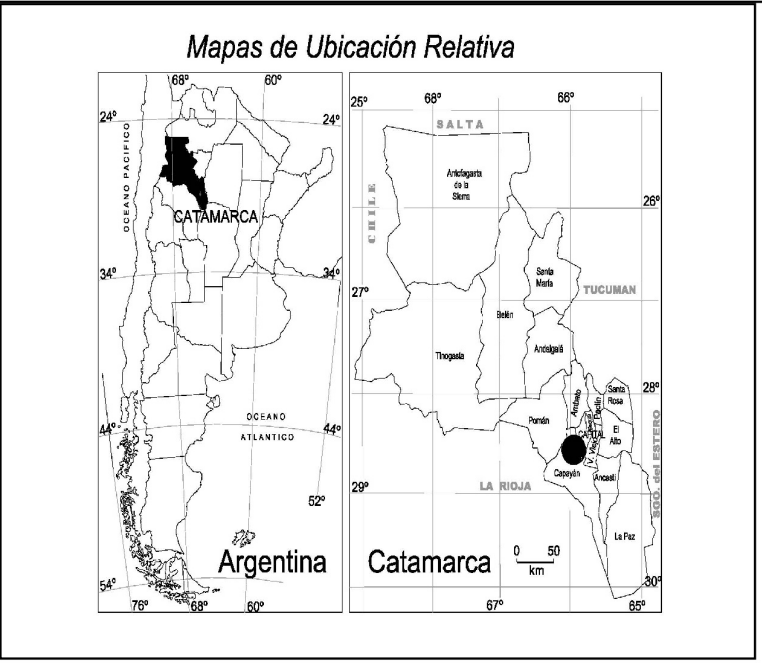
# Mapa 8: Esquema orden de drenaje subcuenca del río Los Ángeles



**SEMINARIO**  
 Caracterización Hidrogeomorfológica de la Subcuenca del río Los Ángeles. Dpto. Capayán. Catamarca. R.A.

## Orden de drenaje

- Orden 1
- Orden 2
- Orden 3
- Orden 4
- Orden 5
- Limite cuenca



Escala: 1: 90.000

# Anexo II

### Planilla de Muestreo de Campo

N° de Orden	ID muestra	Sitio de Muestreo	Fecha/ Hora		Coordenadas		Parámetros de campo								Obs.	
			DD-MM-AA	Hora	Latitud	Longitud	Temp . (°C)	Cond. µs/cm	Sol Dis (mg/l)	PH	Acidez	Alcalinidad mg/l de		OD		
												Fenolf	Total	(mg/l)		%
1	LA1	Nacientes	21-ago-17	13	685567 1	3504657	8.5	115.7	55.0	8.20	50		1ml	8.15	78	
2	LA2	Villa Norte	21-ago-17	15:15	685301 3	3504749	12	134.4	64.4	8.66		0.1	0.7	8.57	86.9	
3	LA3	Villa Sur	21-ago-17	16:55	684625 9	3504472	14.8	199.7	95.6	8.43		0.4	0.6	8.43	88.8	
4	LA4	Aporte (Los Pinos)	21-ago-17	17:30	684340 5	3505029	14	295	142.1	8.17			0.8	8.27	86.6	
5	LA4	Aporte (Los Pinos)	21-ago-17	17:30	684340 5	3505029	14	295	142.1	8.17			0.8	8.27	86.6	Duplicado
6	LA6	Camping Miraflores	21-ago-17	18:50	683998 5	3508223	19.6	309	148.5	8.70		0.2	0.8	8.93	92.8	

Tabla de análisis químicos y relaciones iónicas, EasyQuim.

TABLA DE ANALISIS QUIMICOS Y RELACIONES IONICAS (IONES MAYORITARIOS)						
ACCION	si	si	si	si	si	si
<b>Fecha</b>	21-ago-17	21-ago-17	21-ago-17	21-ago-17	21-ago-17	21-ago-17
<b>subcuenca L</b>	<b>LA1</b>	<b>LA2</b>	<b>LA3</b>	<b>LA4</b>	<b>LA5</b>	<b>LA6</b>
<b>Coord x</b>	3504657	3504749	3504472	3505029	3505029	3508223
<b>Coord y</b>	6855671	6853013	6846259	6843405	6843405	6839985
CE uS/cm	115,70	134,40	199,70	295,00	295,00	309,00
pH	8,39	8,98	8,42	8,46	8,42	8,72
TAC	60,00	65,00	94,00	132,00	130,00	140,00
DUR	30,00	38,00	52,00	78,00	76,00	82,00
TSD	65,00	79,00	136,00	188,00	188,00	189,00
<b>aniones</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>
HCO3-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO4=	12,00	13,00	21,00	34,00	31,00	34,00
Cl-	1,00	2,00	4,00	5,00	5,00	6,00
NO3-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
sum aniones	14	16	26	40	37	41
<b>cationes</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>
Na+	16,00	15,00	26,00	37,00	37,00	38,00
K+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca++	11,00	13,00	18,00	26,00	26,00	26,00
Mg++	0,73	1,46	1,94	3,40	2,92	3,89
sum cationes	27,729	29,458	45,944	66,402	65,916	67,888
	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>
NH4+	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06
Cl+NO3-	2	3	5	6	6	7
Na+ + K+	16	15	26	37	37	38
<b>aniones (meq/l)</b>	<b>meq/l</b>	<b>meq/l</b>	<b>meq/l</b>	<b>meq/l</b>	<b>meq/l</b>	<b>meq/l</b>
HCO3-	1,20	1,30	1,88	2,64	2,60	2,80
SO4=	0,25	0,27	0,44	0,71	0,65	0,71
Cl-	0,03	0,06	0,11	0,14	0,14	0,17
NO3-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Cl+NO3-	0,04	0,07	0,13	0,16	0,16	0,19
sum aniones	1,49	1,64	2,45	3,51	3,40	3,69
<b>cationes (meq/l)</b>	<b>meq/l</b>	<b>meq/l</b>	<b>meq/l</b>	<b>meq/l</b>	<b>meq/l</b>	<b>meq/l</b>
Na+ + K+	0,70	0,65	1,13	1,61	1,61	1,65
Na+	0,70	0,65	1,13	1,61	1,61	1,65
K+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca++	0,55	0,65	0,90	1,30	1,30	1,30
Mg++	0,06	0,12	0,16	0,28	0,24	0,32
sum cationes	1,31	1,42	2,19	3,19	3,15	3,27
<b>aniones(%)</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
HCO3-	80,31	79,11	76,85	75,31	76,41	75,81
SO4=	16,73	16,48	17,88	20,21	18,98	19,18
Cl-	1,89	3,43	4,61	4,02	4,14	4,58
NO3-	1,08	0,98	0,66	0,46	0,47	0,44
Cl+NO3-	2,96	4,41	5,27	4,48	4,61	5,01
sum aniones	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>cations(%)</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
Na+ + K+	53,27	45,84	51,59	50,43	51,07	50,47
Na+	53,27	45,84	51,59	50,43	51,07	50,47
K+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca++	42,12	45,69	41,08	40,75	41,27	39,71
Mg++	4,61	8,47	7,33	8,81	7,65	9,82
sum cationes	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Relaciones iónicas</b>	<b>#iDIV/0!</b>	<b>#iDIV/0!</b>	<b>#iDIV/0!</b>	<b>#iDIV/0!</b>	<b>#iDIV/0!</b>	<b>#iDIV/0!</b>
rNa/rK	0,11	0,19	0,18	0,22	0,19	0,25
rMg/rCa	8,88	4,81	3,88	5,03	4,59	4,19
rSO4/rCl	0,02	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06
rCl/rHCO3	-23,70	-10,58	-9,03	-10,42	-10,42	-8,78
Kr	0,93	1,03	1,47	2,08	2,06	2,17
<b>INDICE SAR</b>	<b>1,3</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>