



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
CARRERA: LICENCIATURA EN GEOLOGÍA



## **TRABAJO FINAL**

# **CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y EVALUACIÓN DEL RIESGO GEOAMBIENTAL DE LA SUBCUENCA ARROYO EL POTRERO –CUENCA DEL RÍO EL TALA – CATAMARCA**

**ALUMNA:**

**CAMILA IRENE ACUÑA LEIVA**

**M.U. N°00586**

**DIRECTORA: DRA. ADRIANA EDIHT NIZ**

**CO DIRECTORA: DRA. ERLINDA DEL VALLE ORTÍZ**

**JULIO 2019**

## INDICE

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN:</b> .....	<b>2</b>
1.2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO .....	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: .....	3
1.4 OBJETIVOS:.....	4
1.4.1 OBJETIVOS GENERALES .....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.5 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y VÍAS DE ACCESO .....	5
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
<b>2. CARÁCTERÍSTICAS GENERALES</b> .....	<b>9</b>
2.1 CLIMA .....	9
2.2 FITO GEOGRAFÍA Y VEGETACIÓN .....	11
2.3 SUELO .....	13
2.4 OROGRAFIA .....	14
2.5 GEOLOGIA REGIONAL .....	16
2.6 GEOMORFOLOGÍA.....	16
2.7 CARÁCTERÍSTICAS ARQUEOLÓGICAS .....	18
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>20</b>
<b>3. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	<b>21</b>
3.1 CONCEPTOS DE CUENCA: .....	21
3.2 DIVISIÓN DE LA CUENCA COMO UNIDAD DE GESTIÓN.....	22
3.3 SISTEMA DE DRENAJE DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA .....	22
3.4 RED DE DRENAJE DE UNA CUENCA .....	23
3.5 GEOMORFOLOGIA FLUVIAL .....	24
3.5.1 CONCEPTOS DE GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL .....	24
3.5.2 CONCEPTO DE GEOFORMAS DE ORIGEN ANTRÓPICO .....	25
3.6 MORFOMETRIA DE UNA CUENCA.....	26
3.6.1 PARÁMETROS GENERALES DE UNA CUENCA .....	26
3.6.2 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA FORMA DE LA CUENCA.....	28
3.6.3 PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE .....	29
3.6.4 PARÁMETROS RELATIVOS AL PERFIL .....	29
3.6.5 PARÁMETROS RELATIVOS AL DRENAJE .....	30
3.7 CONCEPTOS REMOCIÓN EN MASA Y SUS PROCESOS.....	31
3.7.1 REMOCIÓN EN MASA .....	31
3.7.1.1 FACTORES CONDICIONANTES DE GENERACIÓN DE REMOCIONES EN MASA .....	32
3.7.1.2 TIPOS DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	32
3.8 RECONOCIMIENTO DE ÁREAS INESTABLES Y DESLIZAMIENTOS.....	33
3.8.1 OBSERVACIONES A REALIZAR EN UN DESLIZAMIENTO.....	33
3.9 RIESGO NATURAL .....	34
3.9.1 CONCEPTOS SOBRE – AMENAZA - VULNERABILIDAD- RIESGO .....	34

3.10 ANÁLISIS MULTITEMPORAL .....	36
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>37</b>
<b>4. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....</b>	<b>38</b>
4.1 MATERIALES EMPLEADOS .....	38
4.1.1 SOFTWARES DE APLICACIÓN.....	38
4.2 PRIMERA ETAPA.....	40
4.3 SEGUNDA ETAPA.....	41
4.3.1 CARACTERIZACION DE LAS ÁREAS VULNERABLES Y PROPENSAS A AMENAZAS GEOAMBIENTALES PRESENTES EN EL AREA.....	42
4.4 TERCERA ETAPA.....	42
4.4.1 LA CARTOGRAFÍA DE RIESGOS FAVORECE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS .....	43
4.4.2 ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS .....	44
4.4.3 ANÁLISIS MULTITEMPORAL .....	44
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>46</b>
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
5.1 GEOLOGÍA LOCAL.....	47
5.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL .....	49
5.2.1 PROCESOS MORFOGENERADORES .....	51
5.2.2 GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL .....	55
5.2.3 GEOFORMAS GRAVITACIONALES .....	58
5.2.3.1 DESLIZAMIENTOS DE LADERAS .....	58
5.2.3.2 MICRO DESLIZAMIENTOS .....	60
5.2.3.3 CICATRICES DE DESLIZAMIENTO .....	62
5.2.3.4 TALUDES DE DERRUBIOS O DE DETRITOS.....	64
5.2.3.5 SUPERFICIES DE APLANAMIENTO.....	64
5.2.4 INDICADORES DE AREAS AFECTADAS POR PROCESOS DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS .....	64
5.3 HIDROGRAFÍA SUPERFICIAL.....	68
5.4 MICROCUENCAS DE LA SUBCUENCA DEL ARROYO EL POTRERO.....	70
5.4.1 MICROCUENCA N°1.....	75
5.4.2 MICROCUENCA N°2.....	75
5.5 ANALISIS MORFOMETRICO DE LA SUBCUENCA DEL ARROYO EL POTRERO.....	77
5.5.1 PARAMETROS GENERALES DE UNA CUENCA .....	78
5.5.2 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA FORMA DE LA CUENCA.....	80
5.5.2.1 FACTOR DE FORMA ADIMENSIONAL DE HORTON .....	81
5.5.2.2 ÍNDICE DE COMPACIDAD O DE GRAVELIUS .....	82
5.5.2.3 RELACIÓN DE ELONGACIÓN .....	83
5.5.3 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA RED DE DRENAJE .....	83
5.5.3.1 JERARQUIZACION DE LA RED DE CANALES EN LA SUBCUENCA .....	83
5.5.3.2 DENSIDAD DE DRENAJE .....	85
5.5.3.3 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC).....	86
5.5.3.4 COEFICIENTE DE TORRENCIALIDAD.....	87
5.5.3.5 RELACIONES DE BIFURCACIÓN .....	87

5.5.4 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN EL RELIEVE DE LA CUENCA.....	88
5.5.4.1 PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA .....	88
5.5.4.2 CURVA HIPSOMÉTRICA .....	90
5.5.4.3 PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL .....	92
5.5.4.4 PERFIL ALTIMÉTRICO O TOPOGRÁFICO DEL CAUCE PRINCIPAL .....	92
5.6 RIESGOS Y AMENAZAS LOCALES.....	93
5.6.1 RIESGO .....	93
5.6.2 RIESGO NATURAL.....	94
5.6.3 VULNERABILIDAD .....	94
5.7 RIESGO DE ORIGEN HIDRICO EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO EL POTRERO .....	95
5.8 RIESGOS DE ORIGEN DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO EL POTRERO .....	99
5.9 ÁREAS VULNERABLES FRENTE A LAS AMENAZAS GEOAMBIENTALES LOCALES .....	102
5.10 ANALISIS MULTITEMPORAL .....	104
5.10.1 AMENAZAS DEBIDO A LA ACCION ANTRÓPICA .....	104
5.10.1.1 AÑO 2003.....	105
5.10.1.2 AÑO 2010.....	105
5.10.1.3 AÑO 2019.....	106
 <b>CAPÍTULO 6.....</b>	 <b>108</b>
6. CONCLUSIONES GENERALES.....	109
6.1 MORFOMETRÍA DE CUENCAS .....	109
6.2 RIESGO HIDRICO .....	110
6.3 RIESGOS DE TIPO REMOCIÓN EN MASA Y DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS .....	111
6.4 ANALISIS MULTITEMPORAL .....	111
6.5 RECOMENDACIONES.....	111
 <b>CAPÍTULO 7.....</b>	 <b>113</b>
7. REFERENCIAS.....	114
7.1 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....	115
7.2 LINKS CONSULTADOS.....	117
 <b>ANEXO .....</b>	 <b>119</b>
 <b>INDICE DE FIGURAS</b>	
<b>Fig. 1-</b> Croquis de ubicación de la subcuenca del arroyo El Potrero.....	<b>6</b>
<b>Fig. 2.-</b> Vías de acceso a la cuenca del arroyo el potrero.....	<b>7</b>
<b>Fig. 3-</b> Mapa de los climas de la provincia de Catamarca.....	<b>8</b>
<b>Fig. 4-</b> Climatograma del loteo B de La Estancita, ubicado al sur del área de estudio .....	<b>10</b>

<b>Fig. 5-</b> Valores máximos diarios anuales de la estación El Jumeal .....	11
<b>Fig. 6-</b> Vista panorámica de la vegetación en la cuenca baja del arroyo El Potrero.....	12
<b>Fig.7-</b> Típicas plantas espinosas de ladera, empinadas y rocosas.....	13
<b>Fig.8-</b> Representación de los cordones montañosos en la Provincia de Catamarca.....	15
<b>Fig.9-</b> Provincia geomorfológica del área de la cuenca del Arroyo el Potrero.....	18
<b>Fig.10-</b> Restos arqueológicos en la zona de cuenca baja del área de estudio.....	19
<b>Fig.11-</b> Partes de una cuenca hidrográfica.....	21
<b>Fig.12-</b> Elementos que componen una cuenca hidrográfica.....	22
<b>Fig.13-</b> Tipos de diseños de drenajes de una cuenca.....	24
<b>Fig.14-</b> Orden de cauces.....	30
<b>Fig. 15-</b> Mapa geológico de la subcuenca del arroyo El Potrero.....	49
<b>Fig.16-</b> Mapa geomorfológico de la subcuenca del arroyo El Potrero.....	51
<b>Fig.17-</b> Imagen del año 2019 tomada desde Google Earth, donde se muestran las laderas expuestas por el incendio.....	53
<b>Fig.18-</b> Inicio del proceso de empipamiento.....	53
<b>Fig.19-</b> Erosión retrocedente, donde se puede observar el carcavamiento en las laderas....	54
<b>Fig.20-</b> Proceso de empipamiento en superficies de carcavamiento.....	55
<b>Fig.21-</b> Primer nivel de terrazas en la cuenca baja del arroyo El Potrero, donde se observan algunas viviendas.....	55
<b>Fig.22 –</b> Terraza fluvial de 1° nivel en la margen oriental del arroyo El Potrero.....	56
<b>Fig.23 –</b> Terrazas fluviales de menor altura, correspondientes a los asentamientos de las viviendas del sector de La Bandita.....	57
<b>Fig.24-</b> Terrazas fluviales expuestas a erosión lateral del cauce principal.....	57
<b>Fig.25-</b> Dos niveles de terrazas en la sección media de la cuenca en el puesto Las Trancas.....	58
<b>Fig.26-</b> Deslizamiento de laderas ubicado en la cuenca alta del arroyo El Potrero.....	59
<b>Fig.27-</b> Material producto de los microdeslizamientos de las laderas.....	60
<b>Fig.28-</b> Microdeslizamientos identificado en la ladera oriental de la cuenca, que se presentan de forma más abrupta.....	60
<b>Fig.28-</b> Microdeslizamientos presentes en el sector de la cuenca baja del arroyo El Potrero.....	59
<b>Fig.29-</b> Terracillas en las laderas orientales de las márgenes del arroyo El Potrero.....	62

<b>Fig.30-</b> Microdeslizamientos presentes en el sector de la cuenca baja del arroyo El Potrero	62
<b>Fig.31-</b> Cicatriz de deslizamiento activa ubicada en la cuenca alta del arroyo El Potrero. .....	63
<b>Fig.32-</b> Cicatriz de deslizamiento parcialmente inactiva en la sección media de la cuenca, fijada por la vegetación.....	64
<b>Fig.33-</b> Superficies de aplanamiento resultado de procesos de erosión fluvial.....	65
<b>Fig.34-</b> Evidencia de procesos de reptación, se observan arboles inclinados como indicador de estos fenómenos.....	66
<b>Fig.35-</b> Deslizamiento de ladera identificado indicando la dirección que siguió el material arrastrado.....	66
<b>Fig.36-</b> Deslizamientos de tierra próximos a la huella del camino con el material removido .....	67
<b>Fig.37-</b> Avenidas naturales de crecidas en las laderas próximas al camino, también se observa el tipo y el tamaño de material que transporta.....	68
<b>Fig.38-</b> Mapa de hidrología superficial de la subcuenca del arroyo El Potrero.....	69
<b>Fig.39-</b> Diseño de drenaje para cada sección de la subcuenca hidrográfica del arroyo El Potrero .....	70
<b>Fig.40-</b> Microcuencas delimitadas mediante el uso del software Global Mapper.....	71
<b>Fig.41-</b> División de las microcuencas que integran la subcuenca del arroyo El Potrero, obtenidas con el software Google Earth Pro.....	72
<b>Fig.42-</b> Polígono del área de la microcuenca N°1, definido en Global Mapper.....	73
<b>Fig.43-</b> Polígono del área de la microcuenca N°1, definido en Google Earth Pro.....	73
<b>Fig.44-</b> Polígono del área de la microcuenca N°3, definido en Global Mapper.....	74
<b>Fig.45-</b> Polígono del área de la microcuenca N°3, definido en Google Earth Pro.....	74
<b>Fig.46-</b> Representación de las microcuencas que componen la subcuenca del arroyo El Potrero.....	75
<b>Fig.47-</b> Zonas cumbreales de la microcuenca N°2, bloques desprendidos de las laderas.....	76
<b>Fig.48-</b> Estrechamiento a canal único del arroyo El Potrero.....	77
<b>Fig.49-</b> Modelo de Elevación Digital (DEM) de la subcuenca del arroyo El Potrero, a partir del cual se definieron los demás parámetros morfométricos de la cuenca .....	79
<b>Fig.50-</b> Medición del ancho promedio y la longitud de la subcuenca del arroyo El Potrero..	81
<b>Fig.51-</b> Jerarquización de cauces para la subcuenca del arroyo El Potrero.....	84
<b>Fig.52-</b> Mapa hidrológico de la subcuenca del arroyo El Potrero con la jerarquización de los cauces.....	84

<b>Fig.53-</b> Porcentaje de cada orden de jerarquía correspondiente a la subcuenca del arroyo El Potrero.....	85
<b>Fig.54</b> Clasificación de la densidad de drenaje.....	86
<b>Fig.55-</b> Mapa de curvas de nivel de la subcuenca del arroyo El Potrero.....	88
<b>Fig.56-</b> Mapa de pendientes de la subcuenca del arroyo El Potrero.....	89
<b>Fig.57-</b> Mapa de curvas hipsométricas de la subcuenca del arroyo El Potrero.....	90
<b>Fig.58-</b> Clasificación de las curvas hipsométricas de una cuenca.....	91
<b>Fig.59-</b> Curva hipsométrica de la subcuenca del arroyo El Potrero, de clase A.....	92
<b>Fig.60-</b> Perfil altimétrico del cauce principal de la subcuenca del arroyo El Potrero tomado con GoogleEarth Pro.....	93
<b>Fig.61-</b> Material transportado por el cauce principal, depositado en el lecho menor del cauce.....	96
<b>Fig.62-</b> Material depositado en el lecho del cauce, generando taponamiento del canal colector.....	96
<b>Fig.63-</b> Terraza fluvial afectada por la erosión lateral del cauce principal, fijada por vegetación.....	97
<b>Fig.64-</b> Vegetación en las márgenes del cauce principal.....	98
<b>Fig.65-</b> Vegetación acumulada en el cauce principal.....	98
<b>Fig.66</b> Tamaño del material acarreado por el cauce principal.....	99
<b>Fig.67-</b> Micro deslizamientos ubicados en la cuenca baja en las inmediaciones del puesto de La Bandita.....	100
<b>Fig.68-</b> Deslizamiento de ladera, por efectos de la gravedad, en la cuenca baja del arroyo El Potrero.....	101
<b>Fig.69-</b> Procesos de remoción en masa en la cuenca alta del arroyo El Potrero.....	101
<b>Fig.70-</b> Masa de flujo de detritos laderas abajo en la sección media de la cuenca.....	102
<b>Fig.71-</b> Mapa de vulnerabilidad ante amenazas geoambientales.....	103
<b>Fig.72-</b> Ubicación de la Ripiera y del Barrio privado La Estancita.....	104
<b>Fig. 73-</b> Foto del año 2003 de la sección del loteo La Estancita, cuenca baja del arroyo el Potrero.....	105
<b>Fig.74-</b> Foto del año 2010 de la sección del loteo La Estancita, cuenca baja del arroyo el Potrero.....	106
<b>Fig.75-</b> Foto del año 2019 de la sección del loteo La Estancita, cuenca baja del arroyo el Potrero.....	107

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla.1</b> -Valores de índice de compacidad de Gravelius.....	28
<b>Tabla.2</b> – Tipos de remoción en masa según el factor desencadenante.....	32
<b>Tabla.3</b> - Parámetros generales de la subcuenca del arroyo El Potrero.....	76
<b>Tabla.4</b> - Clasificación de acuerdo al tamaño de la cuenca .....	77
<b>Tabla.5</b> - Valores obtenidos para el cálculo del factor de forma.....	78
<b>Tabla.6</b> - Cálculos expresando los valores del factor de forma adimensional de Horton.....	80
<b>Tabla. 7</b> - Valores obtenidos para el cálculo del índice de compacidad de Gravelius.....	80
<b>Tabla.8</b> – Valores obtenidos para el cálculo de la densidad de drenaje.....	83
<b>Tabla.9</b> - Resultados de la densidad de drenaje de la subcuenca del arroyo El Potrero.....	83
<b>Tabla.10</b> – Valores obtenidos para realizar el cálculo del tiempo de concentración de una cuenca.....	84
<b>Tabla.11</b> - Valores utilizados para el cálculo de la pendiente media de la subcuenca del arroyo El Potrero.....	86
<b>Tabla.12</b> -Valores utilizados para la construcción de la curva hipsométrica de la subcuenca .....	89
<b>Tabla.13</b> - Valores obtenidos para el cálculo de la pendiente media del cauce principal.....	90

## RESUMEN

El presente trabajo fue realizado a efectos, de dar cumplimiento con los requisitos para acceder al título de grado de Licenciado en Geología, de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, en la Universidad Nacional de Catamarca. Representa una integración de los conocimientos, destrezas y habilidades adquiridos durante el cursado de la carrera.

La cuenca del arroyo El Potrero ubicada en la Sierra de Ambato, corresponde a la Provincia Geológica denominada Sierras Pampeanas Noroccidentales. Se ubica a occidente del valle de Catamarca, capital de la provincia homónima y constituye un afluente importante del río El Tala, que drena sobre el conoglacís donde se asienta la ciudad.

Corresponde a un área potencialmente vulnerable a los riesgos geo-ambientales ocasionados por crecidas espontáneas y temporales de las subcuencas mayores. Debido a las características topográficas de la cuenca alta, son muy comunes los procesos de remoción en masa, potenciados en algunos sectores de la parte baja, por la interacción con la actividad antrópica. La zona presenta en el área de cuenca alta una sensible predisposición a los deslizamientos de laderas, lo cual proporciona sedimentos al cauce principal, que en algunas secciones de estrechamiento tiene probabilidades de endicamientos temporales. En la cuenca baja de la zona de estudio domina el riesgo hídrico de anegamiento.

Para la confección del presente informe, estructurado en siete capítulos, se programaron tres etapas principales que se siguieron en orden de acuerdo a las tareas específicas para cada una de ellas. Las etapas incluyeron tareas tanto de gabinete como de campo, que son complementarias para la recolección de la información y la correlación con los resultados obtenidos previamente. Para el análisis, representación gráfica e investigación de los procesos ya mencionados se generaron diversos mapas temáticos, tales como geológico, hidrológico, geomorfológico y topográfico, de amenaza y/o de riesgo geoambiental en función de la vulnerabilidad de la cuenca, donde se utilizaron herramientas GIS.

En base a los resultados obtenidos se pudo establecer que la cuenca del arroyo El Potrero es una zona de alta vulnerabilidad ante los procesos de tipo remoción en masa e hídrico, los cuales quedan evidenciados por deslizamientos con movimiento de material de diversos tamaños. En general el material de los derrumbes no ha sido transportado por la corriente, no obstante, dado que forma un amplio valle con algunos emprendimientos agropecuarios, en la actualidad es un fenómeno cuyo riesgo puede mitigarse.

Por otra parte, aguas abajo, se produce un estrechamiento a canal único, lo cual debería ser considerado, ya que podría ocasionar taponamiento temporal, constituyendo un riesgo para el área del valle central donde este arroyo desemboca, y el lugar que ocupa la cantera municipal y el nuevo barrio residencial “La Estancita”. Por esta razón se deben establecer medidas de mitigación y prevención ante los procesos geoambientales que se presentan en la zona de estudio, a fines de reducir los riesgos a los que se encuentran expuestas, algunas zonas de mayor vulnerabilidad ante éstos.

**Palabras Claves:** riesgo geológico, vulnerabilidad, remoción en masa, La Estancita



---

# CAPÍTULO 1

---

INTRODUCCIÓN



## 1. INTRODUCCIÓN:

La cuenca del arroyo El Potrero ubicada en la Sierra de Ambato, corresponde a la Provincia Geológica denominada Sierras Pampeanas Noroccidentales. Se encuentra emplazada a occidente del valle de Catamarca, capital de la provincia homónima y constituye un afluente importante del río El Tala, que drena sobre el conoglacis donde se asienta la ciudad.

El arroyo El Potrero a su vez, es la principal fuente que drena el Dique El Jumeal, que abastece el sector occidental y S de la Capital.

Se trata de una cuenca subredondeada a redondeada en la que la única actividad antrópica se limita a puestos agrícolas, dispersos en la sección baja y media de la cuenca.

Corresponde a un área potencialmente vulnerable a los riesgos geo-ambientales ocasionados por crecidas espontáneas y temporales de las subcuencas mayores. Debido a las características topográficas de la cuenca alta, son muy comunes los procesos de remoción en masa, potenciados en algunos sectores de la parte baja, por la interacción con la actividad antrópica.

Las áreas cumbreales se encuentran cubiertas por depósitos loesoides, que contribuyen a la formación de carcavamientos y deslizamientos de menor magnitud. Se encuentran fuertemente fracturadas y muestran dos juegos principales de fracturas NNO-SSE y E-O, las que comandan el drenaje. Las laderas orientales en general, presentan cabeceras de cuencas semicirculares, evidenciando cicatrices de deslizamientos.

La cuenca exhibe una pendiente que disminuye hacia el S, siendo las zonas de mayor altura las correspondientes a los nacimientos del arroyo, de gran importancia ya que tiene su escorrentía a favor de la pendiente topográfica del terreno, factor de relevancia en cuanto al transporte de sedimentos.

Aguas abajo, dicho cauce muestra estrechamiento a canal único, por lo que debe resaltarse la posibilidad de acumulación de materiales en las zonas bajas de la cuenca.

La red de drenaje presenta un diseño fuertemente controlado por la estructura, por lo que son dominantes los diseños de drenaje rectangular y subangular.

La geomorfología de la zona está dominada por procesos causados por la actividad fluvial, como también de deslizamientos de laderas.

En ambos márgenes del arroyo se evidencia la presencia de terrazas poco desarrolladas, y la formación de pequeños albardones en el lecho del río. En la sección media de la cuenca la topografía disminuye considerablemente, allí yacen pequeños conos aluviales al pie de las laderas.

En algunos sectores de la cuenca se pueden observar microdeslizamientos representados por terracillas y pied de vaches, que posteriormente pueden potenciarse por la combinación de un periodo seco, escasa vegetación, en algunos sectores los incendios forestales, y la meteorización de las rocas aflorantes, lo cual potenciaría los procesos gravitacionales que depositarán los taludes en los afluentes del arroyo.

## 1.2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El presente trabajo se estructura en 7 capítulos que serán detallados a continuación: el primer capítulo contiene la introducción al tema a tratar en el Informe de Trabajo Final, junto con los objetivos planteados para la realización del mismo, además también contiene la ubicación y las vías de acceso al área de estudio. El segundo capítulo describe de manera detallada las características generales más relevantes del área, teniendo en cuenta algunos aspectos tales como: el clima, la vegetación, geomorfología, etc. En el tercer capítulo se muestran los conceptos básicos utilizados en la investigación, aplicados a la temática del mismo. En el cuarto capítulo se organizó el diseño de la investigación, describiendo de manera detallada las etapas en las que se dividieron las tareas aplicadas para la obtención de los resultados planteados, también se describieron los métodos y técnicas, instrumentos de la recolección de datos y las técnicas para el proceso de la información recopilada. En el quinto capítulo se presentan los resultados alcanzados, donde se analizan y desarrollan los objetivos propuestos de acuerdo a la metodología especificada. El sexto capítulo contiene las conclusiones y las recomendaciones pertinentes. El séptimo capítulo detalla la bibliografía y páginas web consultadas para el desarrollo de este informe y por último se encuentran los anexos correspondientes a la cartografía final.

Para el análisis, representación gráfica e investigación de los procesos ya mencionados se generaron diversos mapas temáticos, tales como geológico, hidrológico, geomorfológico y topográfico, de amenaza y/o de riesgo geoambiental en función de la vulnerabilidad de la cuenca, donde se utilizaron herramientas GIS.

Para cartografía topográfica representada mediante curvas de nivel y los modelos de elevación digital (DEM), se utilizaron los softwares Global Mapper y ArcMap. Posteriormente se realizó la correlación y el control a nivel de detalle con el Software libre Google Earth Pro de los modelos obtenidos, que permitió una rápida visualización e interpretación y además son herramientas útiles en la actualidad para la generación de cartografía relevante en el estudio de las diferentes zonas vulnerables de riesgos geoambientales, y a su vez proporciona información acerca del ordenamiento y distribución de las mismas.

## 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

La zona presenta en el área de cuenca alta una sensible predisposición a los deslizamientos de laderas, lo cual proporciona sedimentos al cauce principal, que en algunas secciones de estrechamiento tiene probabilidades de endicamientos temporales. En la cuenca baja de la zona de estudio domina el riesgo hídrico de anegamiento.

Se establece que el sistema de drenaje de la cuenca del Arroyo el Potrero, está dominado por la estructura de la sierra, donde el fracturamiento de la misma es un factor importante para la formación de procesos de características de riesgo hídrico.

La escorrentía del arroyo presenta una pendiente topográfica media-alta lo que aporta velocidad en el transporte de los materiales. Cabe destacar, que el área de la cuenca mencionada manifiesta ciclos de congelamiento-descongelamiento, que en épocas de

deshielo aporta gran caudal extraordinario al arroyo, y a su vez incrementa la energía de transporte de los materiales resultantes de procesos de remoción.

La cuenca es una zona de alta vulnerabilidad ante los procesos de tipo remoción en masa e hídrico, los cuales quedan evidenciados a lo largo de esta, donde se pueden observar, deslizamientos con movimiento de material de diversos tamaños, en general el material de los derrumbes no ha sido transportado por la corriente, no obstante, dado que forma un amplio valle con algunos emprendimientos agropecuarios, en la actualidad es un fenómeno cuyo riesgo puede mitigarse.

Estos procesos, como se dijo anteriormente, actúan en mayor porcentaje del lado oriental de las laderas donde se observan taludes abruptos de gran importancia donde se ubican cicatrices de deslizamientos de gran porte que en muchas ocasiones son generadoras de depósitos de materiales y acumulación en las zonas pedomontanas cercanas al área de aporte del arroyo.

En algunos sectores el arroyo acarrió los sedimentos producto de estos deslizamientos. En cicatrices antiguas se puede observar que el material resultante de los desprendimientos de tierra en esa zona, perduran al pie de la sierra.

Por otra parte, aguas abajo, se produce un estrechamiento a canal único, lo cual debería ser considerado, ya que podría ocasionar algún taponamiento temporal, en donde constituye un riesgo para el área del valle central donde este arroyo desemboca. Principalmente donde se encuentra la cantera municipal y el nuevo barrio residencial “La Estancita”.

## **1.4 OBJETIVOS:**

### **1.4.1 OBJETIVOS GENERALES**

- Determinar las características geológicas - geomorfológicas de la cuenca hidrográfica del Arroyo el Potrero, para definir los diversos procesos que actuaron y actúan en el modelado de su relieve y establecer de qué forma los procesos naturales y las actividades antrópicas que actúan en ella, pueden generar o potenciar la vulnerabilidad geoambiental, y a partir de allí, definir las amenazas/riesgos para la comunidad que mora en ella.
- Contribuir al desarrollo sustentable de la cuenca definiendo y proporcionando medidas y pautas para realizar monitoreo, recuperación y puesta en valor de las áreas sujetas a actividad antrópica para aportar a la comunidad y a los organismos pertinentes las herramientas para la toma de decisiones, al momento de elaborar medidas preventivas que tiendan a disminuir o evitar los daños producidos como consecuencias de amenaza y/o riesgo geoambiental, tanto en la cuenca en sí misma, como a la zona de influencia del arroyo.

#### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el ambiente desde el punto de vista: climático, geográfico, geológico, geomorfológico e hidrológico.
- Delimitar la cuenca hidrográfica del Arroyo el Potrero e identificar los procesos geológicos y antrópicos dominantes.
- Realizar el estudio morfométrico, cálculos y mediciones de cada una de las subcuencas, para definir la red de drenaje superficial y caracterizar el comportamiento hidrográfico e hidrogeológico.
- Elaborar la cartografía temática a escala de detalle de tipo: geológica, geomorfológica, hídrica y de vulnerabilidad frente a los riesgos de origen hídrico y antrópico. La escala se definirá acabadamente cuando se ejecuten las actividades de campo.
- Realizar una correlación entre dos softwares que determinan las características morfométricas y del relieve poniendo de manifiesto las diferencias entre Global Mapper y el software libre Google Earth.
- Realizar el análisis multitemporal de los cambios ocasionados por los procesos de remoción en masa e hídricos en la zona de estudio.
- Definir los tipos de riesgo geoambientales presentes en la subcuenca.
- Controlar la cartografía e información en el campo y recolectar los datos necesarios para completar y constatar la información generada en gabinete.
- Establecer la relación existente entre los procesos naturales y la actividad del hombre en la génesis y/o potenciación del riesgo geoambiental.
- Redactar el informe final, que logre los objetivos planificados, y presentarlo para su evaluación y posterior defensa.

#### 1.5 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y VÍAS DE ACCESO

La cuenca del Arroyo el Potrero se encuentra ubicada en la ladera oriental de la Sierra de Ambato, al O de San Fernando del Valle de Catamarca siendo parte de la gran cuenca del Rio del Valle. El área de estudio está involucrada a su vez dentro de la subcuenca del rio de El Tala donde funciona como principal afluente. (Fig.1)

Tiene sus nacientes en el sector centro de la Cumbre del Durazno, que se encuentra entre la cumbre de Los Ángeles al O y sierra del Colorado al E. Recorre la cuenca en sentido N-S con una pendiente topográfica media-alta, que aumenta en el mismo sentido de la escorrentía.

Dista aproximadamente 5 kilómetros partiendo desde el centro de la capital de la provincia.

Para acceder al arroyo El Potrero, se parte desde la plaza “La Alameda”, donde tiene inicio la Ruta Provincial N°4, se continua por calle Camilo Mellet hasta conectar con la Avda. Enrique Ocampo unos 2,5 km hasta la desembocadura de la Quebrada de El Tala. Siguiendo por esta se llega a las inmediaciones de la zona de El Calvario, que se encuentra en el kilómetro 5 de la de la Ruta Provincial N°4 mencionada anteriormente. A partir de este punto antes del puente ubicado sobre el Arroyo El Potrero, se accede por calle secundaria del barrio residencial La Estancita hasta la zona de estudio. (Fig. 2)

Se ha considerado como extremo oriental de la cuenca del arroyo El Potrero, el punto de salida del torrente del tronco de montaña, a fin de permitir la determinación de parámetros morfométricos de la misma. En el análisis multitemporal y de riesgos, se ha tenido en cuenta el cono de deyección formado por este arroyo, ya que sobre él se asienta la actividad antrópica más importante de la zona y sobre la cual pueden repercutir las amenazas geológicas identificadas aguas arriba.

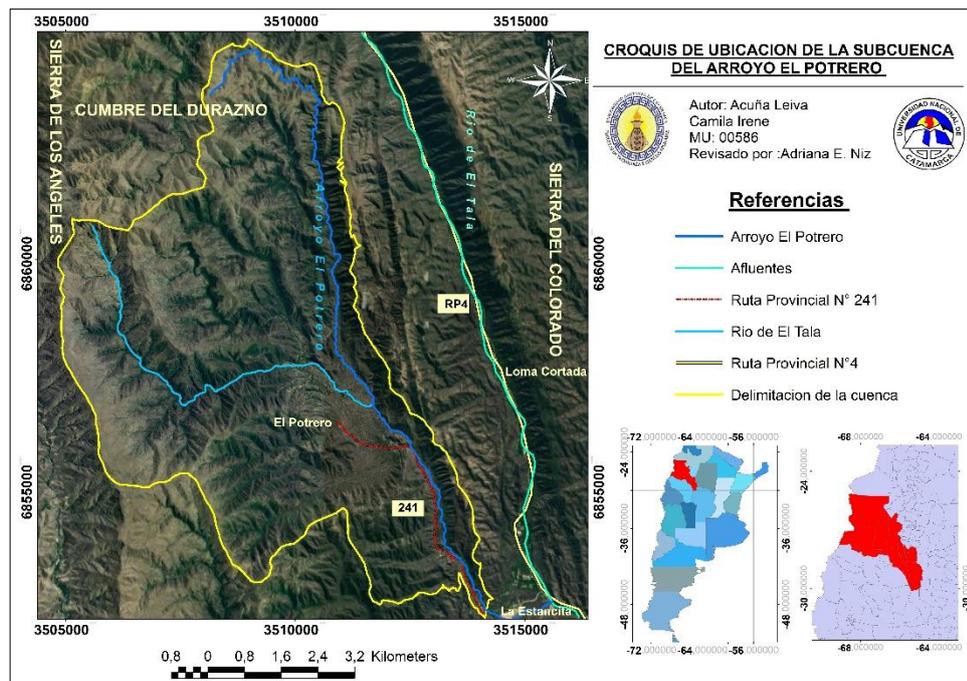


Fig. 1- Croquis de ubicación de la subcuenca del arroyo El Potrero

La Ruta Provincial N°241 comprende un camino sin pavimentar de aproximadamente 10 kilómetros. Este camino es especialmente conocido ya que conduce a una cuesta sin pavimento tipo huella, que asciende por la Sierra de Los Ángeles y culmina en la localidad de que lleva el mismo nombre, perteneciente al departamento Capayán. Esta ruta provincial vincula algunos puestos en las márgenes del arroyo como La Estancita, La Bandita y El Potrero.

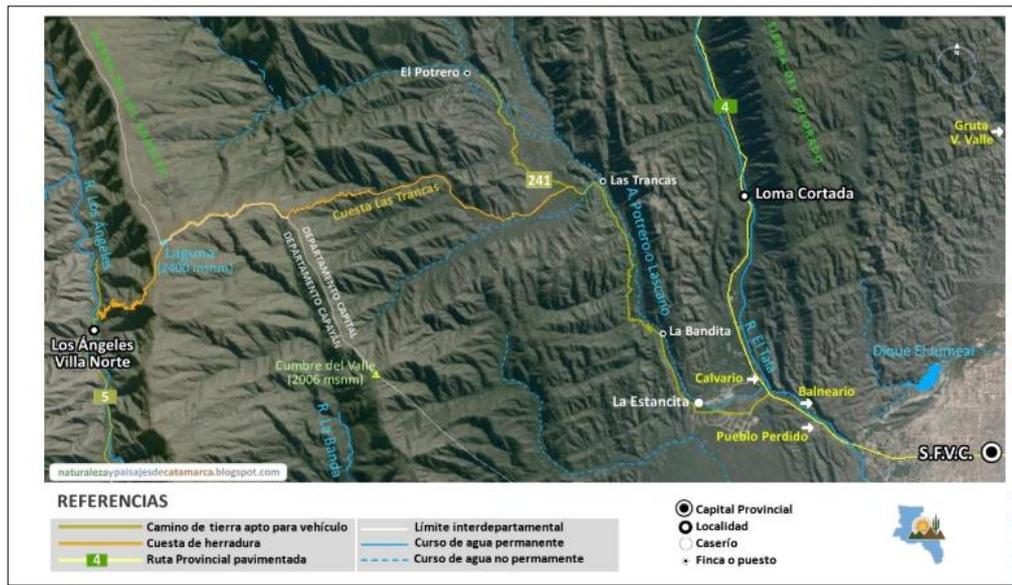


Fig. 2.- Vías de acceso a la cuenca del arroyo El Potrero. Tomado de: [naturalezaypaisajesdecatamarca.blogspot.com](http://naturalezaypaisajesdecatamarca.blogspot.com)



# CAPÍTULO 2

## CARACTERÍSTICAS GENERALES



## 2. CARÁCTERÍSTICAS GENERALES

### 2.1 CLIMA

Desde la perspectiva climática la Provincia de Catamarca integra la región semiárida argentina con un clima del tipo árido, el cual se subdivide en: andino puneño, de sierras y bolsones y del tipo tropical serrano. (Fig.3) Esta característica está determinada por dos factores de gran relevancia como son la orografía y el relieve, que están fuertemente relacionados con el ingreso de humedad desde los océanos. Otra característica de gran importancia es la presencia de microclimas formados por variaciones en el tipo de relieve: llanos, bolsones y cordones montañosos.

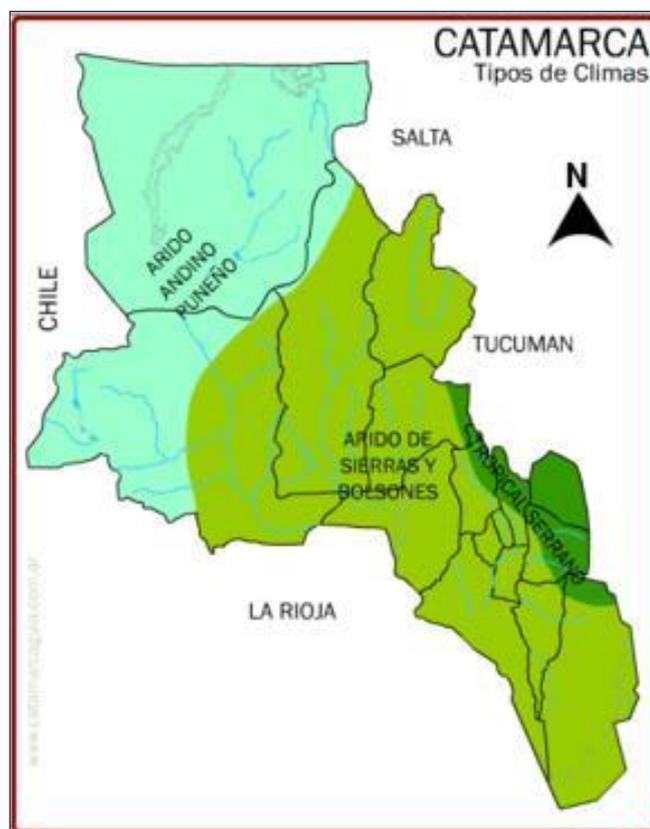
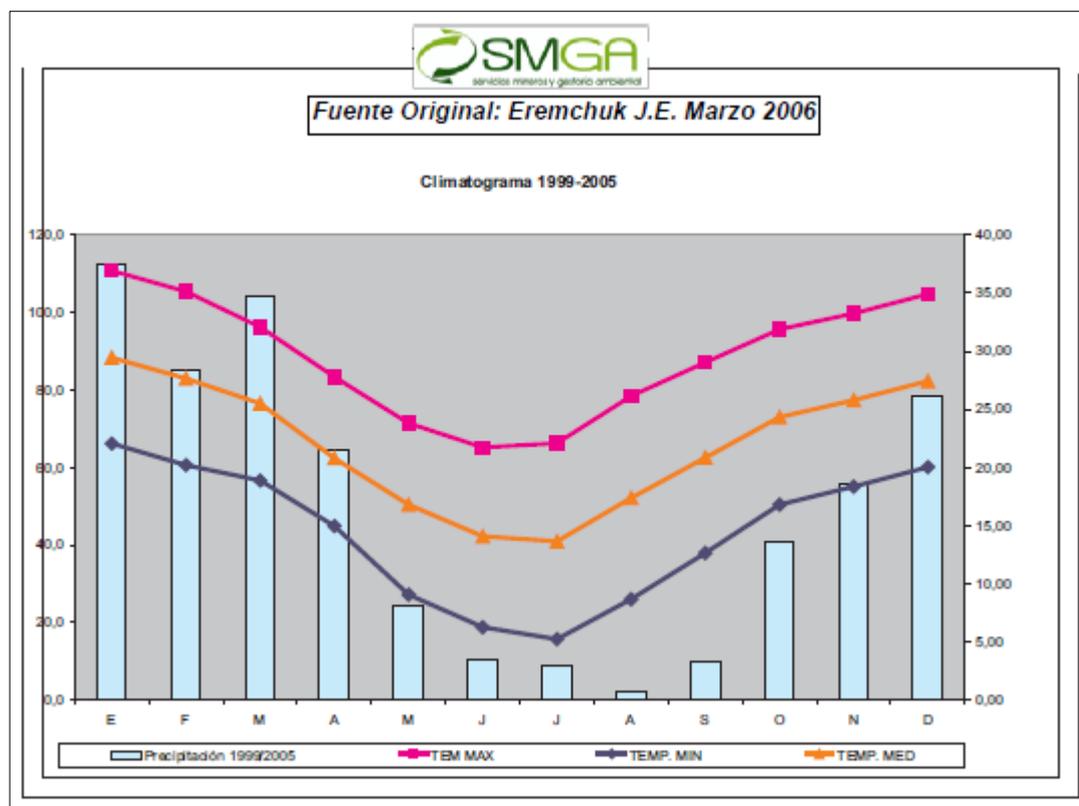


Fig. 3-Mapa de los climas de la provincia de Catamarca. Tomado de : Atlas catamarca

El área de estudio forma parte de la denominada región de **Clima Árido de Sierras y Bolsones**, que ocupa la mayor parte de la provincia. Allí se presentan escasas lluvias, aire seco y fuertes vientos del NE, E y SE tanto en primavera como en verano. La precipitación media anual varía entre los 500 y 700 mm en el Este (en algunos sectores las precipitaciones superan los 1000 mm), pero con marcada disminución hacia el O (Puna Cordillerana con menos de 150 mm), compensada parcialmente por nieve.

Las temperaturas medias anuales son de 25°C en el E y Centro de la provincia, registrándose marcas de hasta 45°C en el verano. A continuación, se muestra el climatograma del sector del loteo B de La Estancita realizado por Eremchuck, 2006, que se encuentra ubicado al S de

la subcuenca del arroyo El potrero, donde se desarrolló el trabajo. El mismo, abarca desde el año 1995 hasta el año 2005 (Fig. 4). Las precipitaciones alcanzan un valor aproximado de 120 mm desde enero a marzo, que corresponden a la estación más lluviosa en la provincia, disminuyendo considerablemente en el invierno alcanzando valores de 5 mm aproximadamente.



**Fig. 4-**Climatograma del loteo B de La Estancita, ubicado al sur del área de estudio. Tomado de: (Eremchuck, 2016)

En el área que corresponde a la zona de estudio no se encuentran registros completos de datos de precipitaciones, las estaciones cercanas carecen de información reciente, y los registros tomados por la estación El Jumeal se registran hasta el año 2006, los cuales no representan fidedignamente las condiciones de precipitación en las subcuencas. Se muestran en la (Fig.5) datos de precipitaciones de la estación 160 (El Jumeal) obtenidas en un periodo que abarca desde 1979 a 2006, los datos fueron tomados de la Secretaría del Agua y del Ambiente Provincia de Catamarca -Dirección de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos

ESTACION PRED160		EL JUMEAL	
Dpto. CAPITAL			
Ubicación:			
Índice		Máximos Diarios Anuales	
Hoja	Año	Año	mm
1	1979/1980	1979/1980	-
2	1980/1981	1980/1981	-
3	1981/1982	1981/1982	33
4	1982/1983	1982/1983	86
5	1983/1984	1983/1984	73
6	1984/1985	1984/1985	44
7	1985/1986	1985/1986	58
8	1986/1987	1986/1987	-
9	1987/1988	1987/1988	-
10	1988/1989	1988/1989	-
11	1989/1990	1989/1990	35
12	1990/1991	1990/1991	-
13	1991/1992	1991/1992	71
14	1992/1993	1992/1993	-
15	1993/1994	1993/1994	65
16	1994/1995	1994/1995	39
17	1995/1996	1995/1996	31
18	1996/1997	1996/1997	58
19	1997/1998	1997/1998	-
20	1998/1999	1998/1999	49
21	1999/2000	1999/2000	-
22	2000/2001	2000/2001	-
23	2001/2002	2001/2002	-
24	2002/2003	2002/2003	-
25	2003/2004	2003/2004	-
26	2004/2005	2004/2005	-
27	2005/2006	2005/2006	-

Fig.5- Valores máximos diarios anuales de la estación El Jumeal. Tomado de: Secretaría del Agua y del Ambiente Provincia de Catamarca -Dirección de Hidrología y Evaluación de Recursos Hídricos

## 2.2 FITOGEOGRAFÍA Y VEGETACIÓN

Dentro de la Provincia de Catamarca se describen diferentes regiones fitogeográficas teniendo en cuenta la tipología del clima y los diversos factores que este involucra, y que varían de acuerdo a la región. En el Este y centro de la provincia, se encuentran las zonas más húmedas, con predominio de montes de Algarrobos, juncos y pastos.

Para nuestra provincia se clasificaron las siguientes regiones fitogeográficas: *Provincia Puneña y Altoandina*, *Provincia del Monte y Prepuneña* y *Provincia Fitogeográfica Chaqueña* que a su vez se subdivide en Distritos: Chaco Serrano; Chaco Árido de Llanura y Chaco Semiárido.

Según la distribución de las regiones fitogeográficas del Valle de Catamarca, la subcuenca del arroyo El Potrero se encuentra clasificada dentro de la *Provincia fitogeográfica chaqueña*.

En Catamarca la Provincia Chaqueña ocupa las regiones Centro y Este, desde la vertiente oriental del Ambato hasta el límite interprovincial, hacia el E, con Santiago del Estero y con Córdoba y La Rioja al S.

De acuerdo a la división efectuada por Cabrera (1976), estarían representados en Catamarca dos distritos: el Chaqueño Occidental y el Chaqueño Serrano. La Provincia Chaqueña es, en su mayor parte, una vasta planicie (perteneciente a la Llanura Chaco- Pampeana) cuyo rasgo más característico es la uniformidad de su relieve.

Se trata de una llanura de acumulación, con áreas deprimidas (reflejo de grandes depresiones u hondonadas del subsuelo, separadas entre sí por altos o dorsales), las cuales representan cuencas sedimentarias distintas (Russo et al., 1979).

El área de la subcuenca del arroyo el Potrero presenta la vegetación correspondiente a las especies de piedemonte de las laderas del Ambato.

Para el sector austral del Ambato, Paredes (1980) describe un bosque de Orco Quebracho acompañado por Viscote, Coco, Yuchán y Quebracho Blanco, junto con árboles de menor altura como Viraro, Peje y *Maytenus viscifolia*.

Según las localizaciones, Paredes distingue diversas variantes: Bosque de Orco Quebracho con Cardones en la parte más alta de las laderas; con Palo Borracho en la ladera media y alta; con Visco en la parte baja; con Quebracho Blanco o con Molle de Beber en las laderas bajas y parte del piedemonte. (Fig.6)



**Fig. 6-** Vista panorámica de la vegetación en la cuenca baja del arroyo El Potrero

En el sector de la cuenca baja del arroyo se pueden apreciar especies como las plantas de Chaguar (*Dyckia floribunda*), típicas plantas espinosas que crecen en las laderas empinadas y rocosas como así también Palos borrachos (*Ceiba insignis*) al costado del camino. (Fig.7)



**Fig.7-** *Típicas plantas espinosas de ladera, empinadas y rocosas.*

En los sectores de las laderas orientales que corresponden a la escarpa, se observa una cubierta de un gran número de ejemplares de Achuma (*Trichocereus terscheckii*), los cardones columnares más altos de porte arbóreo.

En las bandas del cauce principal, dentro de la especie arbustiva se pueden reconocer los de la especie Sauce criollo (*Salix humboldtiana*).

Se destacan en los sectores en donde la cuenca se ensancha, Viscotes (*Acacia visco*), donde se desarrolla el típico "bosque en galería" gracias a la humedad que aporta el arroyo la cual se mantiene y se conserva en la base de la quebrada. Así, la variedad florística es mayor y el bosque se torna mucho más cerrado que un Chaco serrano normal.

## 2.3 SUELO

Los tipos de suelos de Catamarca se encuentran fuertemente vinculados a la topografía del valle. Este presenta una pendiente general en sentido N-S y recibe sedimentos provenientes tanto del río del Valle y río Paclín, como de los cursos de agua que descienden del piedemonte occidental de la sierra de Ambato y, en menor medida, del piedemonte oriental, cuya bajada

es de fuerte pendiente y poca extensión, siendo poco desarrollada su red de drenaje (Morlans 1995). Además, existe aporte eólico con depósitos de médanos y material limoso.

La zona norte del Valle Central es la más húmeda y como consecuencia de ello presenta los suelos de mayor desarrollo en el área conocida como el Gran Catamarca. En esta zona se desarrollan suelos pertenecientes al Orden Molisol, que en el sector de Fray Mamerto Esquiú presentan elevada salinidad. Son suelos aluviales jóvenes, desarrollados sobre sedimentos cuaternarios, con presencia de concreciones de calcio en los horizontes subsuperficiales (Roca y Pazos 2007).

## 2.4 OROGRAFIA

Desde el punto de vista macroscópico, el rasgo más destacado del paisaje catamarqueño es lo accidentado de su relieve, donde áreas relativamente planas y hundidas (valles, bolsones) alternan con cordones montañosos, determinando altitudes que en el SE de la Provincia no alcanzan los 200 msm (Salinas Grandes) y que sobrepasan los 6.000 msm en el límite occidental de la misma.

El factor orográfico en Catamarca -donde representa cerca del 55 % de su superficie- es el más determinante de los factores físicos, ya que condiciona en gran medida la manifestación de otros factores como: distribución de los aportes pluviales, control en el desarrollo de las redes de drenaje, control secundario a través de la geomorfología y distribución de humedad en el desarrollo, maduración de los suelos y control secundario sobre el tipo de flora y de vegetación. Por otra parte, la orografía impone fuertes restricciones al desarrollo de la infraestructura vial y energética, a las comunicaciones y al uso agrícola de las tierras. Todo ello condiciona la distribución de los asentamientos humanos.

Los cordones montañosos de O a E son las serranías del Ambato que se continúan hacia el N con la serranía del Manchao, seguido por la sierra del Colorado, luego la serranía del Alto o de Ancasti y por último la Sierra de Guasayan. La dirección general de las elevaciones tiene una dirección predominante N-S, entre ellas se interponen valles como el del río de Las Juntas, río de El Tala, el río del Valle que hacia el S de la capital queda limitado por las sierras de Ancasti y Ambato, ensanchándose notablemente, según la descripción de la carta geológica 14 f de San Fernando del Valle de Catamarca (González Bonorino, 1978). (Fig.8)

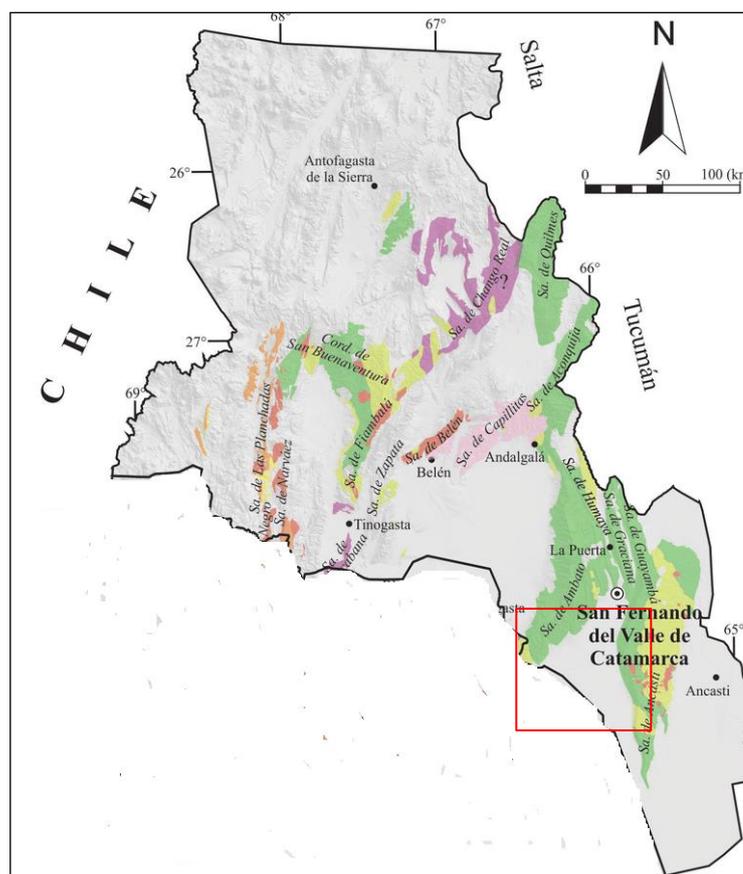
El relieve adquiere una característica propia según el estilo geomorfológico - estructural y morfológico de acuerdo a las provincias geológicas, por lo que el relieve del área de estudio presenta características muy marcadas de Sierras Pampeanas.

Las Sierras Pampeanas Noroccidentales ocupan el centro y S de la provincia de Catamarca; es la región geológica de mayor importancia, tanto por su extensión areal como por su influencia ambiental. Se caracterizan por presentar estrechos valles y amplios bolsones alternando con bloques o cordones elevados que típicamente tienen muy tendida su falda oriental, siendo abrupta o escarpada la occidental. Geológicamente están compuestas por un basamento Precámbrico de metamorfitas y granitos como elementos principales, con depósitos Terciarios y Cuaternarios que se conservan mayormente en valles y bolsones y en las áreas proximales al pie de monte, respectivamente.

Las sierras de Ancasti, Ambato y Guasayán son bloques de basamento, fracturados y elevados, que se extienden con rumbo meridiano. La escarpa oriental abrupta contrasta con la suave vertiente oriental que se prolonga en extensas y escalonadas llanuras.

El factor orográfico es el condicionante del ambiente en general, es el más determinante de los factores físicos, ya que condiciona en gran medida la manifestación de otros factores como: distribución de los aportes pluviales, control en el desarrollo de las redes de drenaje a través de la geomorfología, un control secundario sobre el tipo de vegetación y lógicamente el desarrollo de los suelos.

La subcuenca del Arroyo el Potrero, es una zona serrana que se eleva desde los 825 metros sobre el nivel del mar hasta los 2700 metros aproximadamente. Desde su nacimiento siguiendo en dirección hacia el S de la cuenca, al pasar por el puesto de El Potrero, se abre en un valle más amplio donde se pueden observar asentamientos y parcelas de cultivos en pertenecientes a las fincas. Continuando hacia el S el valle se interna en una profunda quebrada, donde se encuentra asentada la población del puesto de La Estancita. La subcuenca mencionada anteriormente se encuentra surcada por la Cumbre de Los Ángeles hacia el O, la serranía del Ambato hacia el N y la Sierra del Colorado hacia el E, representando los cordones de mayor elevación en la zona.



**Fig.8-** Representación de los cordones montañosos en la Provincia de Catamarca. Tomado de: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Mapa-geologico-composicional-simplificado-basado-en-la-peraluminosidad-de-las\\_fig4\\_322398355](https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Mapa-geologico-composicional-simplificado-basado-en-la-peraluminosidad-de-las_fig4_322398355)

## 2.5 GEOLOGIA REGIONAL

El área de estudio se encuentra emplazada dentro de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas Noroccidentales, y posee características morfoestructurales propias de la relación existente entre la topografía y las características geológicas de esta provincia.

Las Sierras Pampeanas es una provincia geológica, cuyo término fue usado por primera vez por Stelzner (1885), para referirse a las montañas del centro del país. En el transcurso del tiempo y con las sucesivas investigaciones el nombre fue extendiéndose hacia el N incluyendo a muchos valles serranos de la Provincia de Tucumán y Catamarca. Principalmente en razón de la similar conformación geológica y morfológica actualmente se divide en dos provincias, las *Sierras Pampeanas orientales* integradas por Córdoba y San Luis y las *Sierras Pampeanas Noroccidentales* que involucra el Oeste de la provincia de Tucumán, el centro y Sur de Catamarca, gran parte de la Rioja y el este de la provincia de San Juan. Las Sierras Pampeanas Noroccidentales con respecto a los sistemas orográficos y a las provincias geológicas limitan, al N con las Sierras Subandinas y la Puna, al E con la llanura chaco bonaerense y las Sierras de Santiago del Estero y Córdoba, con las Sierras de San Luis hacia el S y hacia el O con la Precordillera.

Las Sierras Pampeanas Noroccidentales se caracterizan por presentar estrechos valles y amplios bolsones alternando con bloques o cordones elevados que típicamente tienen muy tendida su falda oriental, siendo abrupta o escarpada la occidental. Los valles y bolsones se destacan, como elementos estructurales negativos, una serie de valles intermontanos, longitudinales y angostos (que suelen ser asiento de las principales actividades agrícolas), así como amplios bolsones o "campos", generalmente intermontanos también, que suelen contener salinas y/o formaciones medanosas.

Geológicamente su basamento corresponde a un orógeno Precámbrico- Paleozoico inferior. Está caracterizado por metamorfitas, que alojan una serie de granitoides calcoalcalinos. La composición de estos intrusivos varía de gabros tholeíticos, a tonalitas y granodioritas asociadas a subducción, de edad cámbrica a ordovícico superior a devónica basal. Granitos apotectónicos se emplazan en el carbonífero inferior. Sobre una amplia superficie de erosión, tallada sobre el basamento cristalino, se disponen sedimentitas continentales de edad terciaria cubiertas por depósitos de edad cuaternaria, que se conservan mayormente en valles y bolsones y en las áreas proximales del piedemonte, respectivamente.

## 2.6 GEOMORFOLOGÍA

Las características geomorfológicas están controladas principalmente por las manifestaciones estructurales de las provincias geológicas, para el caso del área que abarca la cuenca de este estudio corresponden las siguientes denominaciones geomorfológicas:

### **Provincia geomorfológica de las Sierras Pampeanas Noroccidentales**

Denominación acuñada por Stelzner (1.873), englobando así una serie de sierras formadas por esquistos metamórficos o cristalinos que sobresalían de las pampas adyacentes; estudios posteriores detectaron diferencias dentro de esta provincia, por lo que en la actualidad está subdividida en dos, las Sierras Pampeanas Orientales y las Sierras Pampeanas Occidentales.

Esta última incluye las sierras pampeanas de Tucumán, La Rioja, San Juan, el sector occidental de San Luis y Catamarca (Ramos 1.988). La morfología actual es el resultado del levantamiento a lo largo de fallas inversas de alto ángulo, generadas por la orogenia andina durante el Terciario superior, lo que define la particularidad de que la mayoría de estos cordones montañosos presentan una asimetría morfológica, en la que, las laderas occidentales muestran pendientes bastante más abruptas que las laderas orientales. Esta condición contribuye a que en las laderas occidentales presenten una morfología más abrupta mientras que muchas de las laderas orientales están más suavizadas. (Fig.9)

### **Región Geomorfológica de las Sierras Pampeanas Noroccidentales**

Algunas características de estructura y morfología son comunes en el relieve de las Sierras Pampeanas, donde los macizos montañosos son bloques elongados en dirección predominante N-S, elevados y basculados, sus estribaciones se exhondan gradualmente en los materiales cuaternarios producto de la erosión, tanto de sus propios materiales como de áreas circundantes. Las principales características morfológicas de las sierras se vinculan con su estructura, donde los juegos de fracturas han dado origen a taludes elevados que delimitan los bloques, en cuyos niveles superiores se encuentran antiguas superficies de aplanamiento. Las laderas orientales en general, muestran un relieve escarpado en el que se labran cuencas fluviales, predominantemente elongadas a subredondeadas, son muy frecuentes también las cumbres contorneadas, evidencias de paleodeslizamientos.

### **Asociación Geomorfológica de Sierras Pampeanas Noroccidentales**

Las sierras que enmarcan el Valle de Catamarca, están conformadas por rocas Precámbricas, reactivadas en el Terciario, debido al ascenso de bloques a través de fracturas de rumbo N-S. La Sierra de Ambato y Ancasti en general tienen una disposición N-S, no obstante, la Sierra de Ancasti, aproximadamente en las coordenadas 28°45'12.90"S y 65°42'52.22"O, gira hacia el sudeste. La cuenca tiene una forma triangular, a la latitud donde se asienta la capital de la provincia, San Fernando del Valle de Catamarca.

La Sierra de Ambato-Manchao, tiene una forma alargada en sentido meridional. Posee una morfología asimétrica típica de su origen estructural, presentando una ladera occidental empinada (escarpe de falla) y una ladera oriental con pendiente un poco más suave, pero, aun así, de relieve abrupto.

La ladera oriental se encuentra disectada por ríos y torrentes que generan subcuencas con un facetado trapezoidal o triangular en su frente, con algunas acumulaciones de conos aluviales al pie de talud. Los cauces muestran un importante control estructural, de manera que son comunes los diseños de drenaje rectangular, subangular, localmente se generan diseños dendríticos en los sectores con cierta homogeneidad en las características de la roca.

También son comunes las geoformas relacionadas con procesos de remoción en masa, tanto de deslizamientos rápidos como lentos. Se observan deslizamientos planares, la caída de rocas y solifluxión en general en las áreas cumbrales y deslizamientos de flujo (reptación y flujo de tierra), demostrados por las cicatrices de deslizamientos y la presencia de pied de vaches y terracillas. Otra característica frecuente en esta unidad, es el carcavamiento presente en la parte cumbral, donde se emplazan los depósitos loésicos.

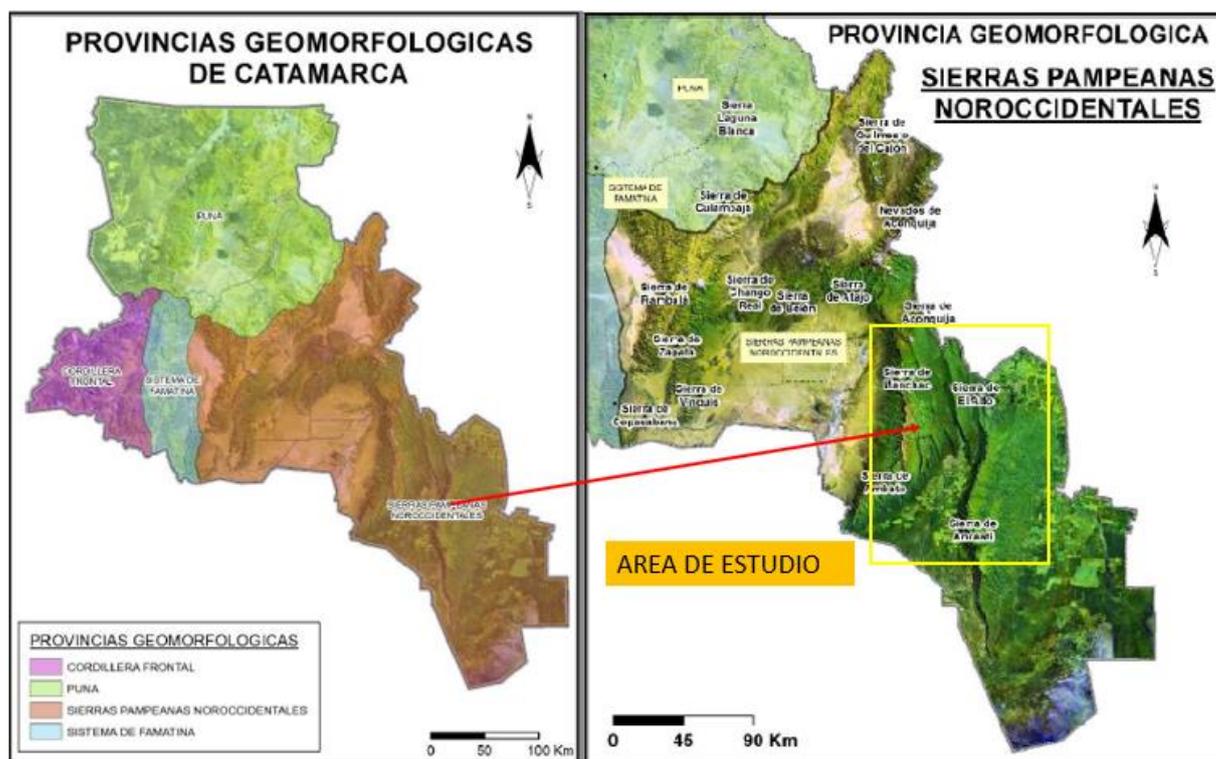


Fig.9- Provincia geomorfológica del área de la cuenca del Arroyo el Potrero. Tomado de: (Niz. A, Savio M, 2017)

## 2.7 CARÁCTERÍSTICAS ARQUEOLÓGICAS

Las primeras menciones sobre restos arqueológicos en el Valle Central, se encuentran en un trabajo de Larrouy (1914); transcurren 10 años hasta que Quiroga (1924) menciona nuevamente la existencia de estructuras indígenas. Las investigaciones arqueológicas se intensifican a partir de 1981 con una serie de prospecciones realizadas por Kriscautzky en los departamentos Capayán, Ambato y Capital en proximidades de la ciudad de San Fernando; en las que detecta la presencia de numerosos yacimientos de gran importancia.

Años más tarde, Quiroga (1929) comenta, respecto a lo observado durante la visita que realiza a la zona, que las evidencias “consisten en pircas atravesadas en las quebraditas de rápido declive, donde la tierra vegetal arrastrada por las aguas pluviales, se detenían, contenida por el atajadizo de piedra. Obtenían así, múltiples y diminutos espacios llanos (...) donde crecían abundantísimos pastizales...” (Quiroga 1929). Menciona además que habría existido una alta densidad de población indígena, centrandose su atención sobre el número de andenes, asignándole una funcionalidad asociada con regulación de escorrentías y/o espacios de producción de siembra de pastura para alimentar el ganado.

En 1995 Kriscautzky publica los resultados de la ampliación de las prospecciones en el cerro Ambato, seleccionando los sitios Aguada más significativos en los que observa recurrencia en cuanto a la planificación, materia prima, arquitectura y adaptación a la configuración

general del terreno. También, determina que las estructuras existentes en el valle son contemporáneas, asignándolas a la cultura La Aguada con fechados entre 1770 A.P. (Antes del presente y el 1480 A.P. (Kriscautzky, 1995)

De acuerdo con la bibliografía consultada, existen varios sitios circundantes al área de estudio que presentan restos arqueológicos y forman parte del patrimonio cultural de la provincia. Se pudo observar en un recorrido realizado como parte del levantamiento de datos para caracterizar la subcuenca del arroyo El Potrero, restos de una construcción perteneciente a las culturas que habitaron el sector. (Fig.10)



**Fig.10-** Restos arqueológicos en la zona de cuenca baja del área de estudio



---

# CAPÍTULO 3

---

## MARCO TEÓRICO



### 3. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se definen los conceptos utilizados en la elaboración del informe de trabajo final, basados en la revisión y análisis de la bibliografía de distintos autores, obteniendo una recopilación de las principales terminologías a considerar en el contexto del presente trabajo.

#### 3.1 CONCEPTOS DE CUENCA:

Se define como cuenca a una depresión natural limitada por elementos topográficos altos a los que se designa como divisoria de agua. Existen distintos tipos de cuencas, entre los que se destacan: cuenca hidrográfica, cuenca hidrológica y cuenca sedimentaria.

**Cuenca Hidrográfica:** es un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico o se infiltra, en lo que se denomina nivel de base local. (Fig.11)

**Divisoria de aguas:** La divisoria de aguas es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica y serranías circundantes y que une la cima de las sierras, definiendo el límite entre las diferentes cuencas adyacentes, la pendiente debajo de las divisorias de agua se define como laderas (Barbieri, Herrera, 2018). En la cuenca hidrográfica se producen interacciones entre sus elementos, por ejemplo, si se deforesta irracionalmente en la parte alta, es posible que en épocas lluviosas se produzcan inundaciones en las partes bajas; también la degradación de un recurso como el agua, está en relación con la falta de educación ambiental, con la falta de aplicación de leyes, con las tecnologías inapropiadas, etc.

**Cuenca alta:** Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.

**Cuenca media:** Zona donde confluyen las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.

**Cuenca baja o zonas transicionales:** Área donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales.

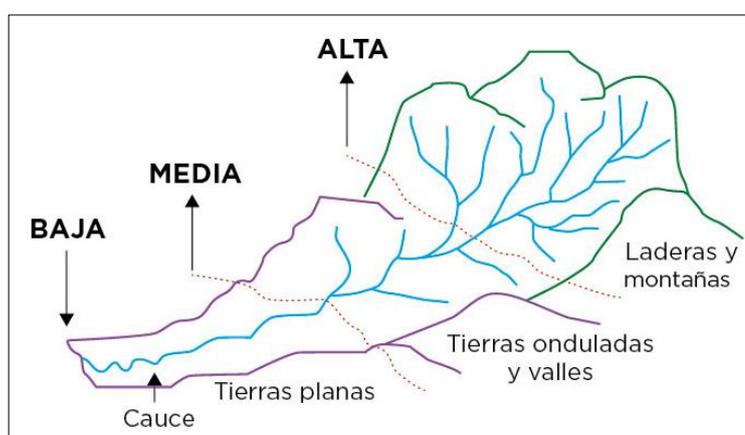


Fig.11- Partes de una cuenca hidrográfica. Tomado de: [http://aquabook.agua.gob.ar/378\\_0](http://aquabook.agua.gob.ar/378_0)

### 3.2 DIVISIÓN DE LA CUENCA COMO UNIDAD DE GESTIÓN

Las cuencas hidrográficas, debido a que constituyen la unidad física en la cual tienen lugar todos los procesos naturales, son también la unidad natural y lógica para el desarrollo ambiental, agrícola y socioeconómico de una región. Teniendo en consideración el crecimiento demográfico y el incremento de las necesidades de urbanización, industrialización y producción de alimentos, los efectos de la actividad antropogénica ya no se limitan solo a zonas pequeñas ni a una comunidad en particular. Deben examinarse en el contexto más amplio en el que ocurren ya que, de un modo u otro, de forma directa o indirectamente afectan a los asentamientos y cuencas vecinas. (Fig.12)

**Subcuenca:** Es toda área que descarga su drenaje directamente al curso principal de la cuenca. Varias subcuencas pueden conformar una cuenca.

**Microcuenca:** Es toda área que descarga su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca. Varias microcuencas pueden conformar una subcuenca.

**Quebrada:** Es toda área que vierte su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca. Varias quebradas pueden conformar una microcuenca.



**Fig.12-** Elementos que componen una cuenca hidrográfica. Tomado de:  
<http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3680>

### 3.3 SISTEMA DE DRENAJE DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

La distribución de los cauces en la cuenca determina lo que se designa como el sistema de drenaje de la misma, se definen a continuación los aspectos conceptuales relacionados:

**Río principal o canal colector:** suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud o mayor área de drenaje. Tanto el concepto de río principal como el de nacimiento del río son arbitrarios, como también lo es la distinción entre río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de las cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura. Cada afluente que se une al río principal recibe el nombre de tributario. (Niz, 2014)

En el recorrido de un río se distinguen tres partes:

- **Curso superior:** Ubicado en lo más elevado del relieve, en donde la erosión de las aguas del río es vertical. Su resultado: la profundización del cauce (el cauce exhonda, cava, erosiona- área de erosión).
- **Curso medio:** En donde el río empieza a zigzaguear, ensanchando el valle (es un área de erosión y transporte).
- **Curso inferior:** Situado en la región más baja de la cuenca. Allí, el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos que lleva se depositan, formando las llanuras aluviales (es el área de acumulación). Otros términos importantes que distinguir en un río son:

**Cauce:** Cauce o lecho de los ríos y arroyos. Conducto descubierto o acequia por donde corren las aguas para riego u otros usos.

**Talweg:** Línea que une los puntos de mayor profundidad a lo largo de un curso de agua.

**Margen derecha:** Orientado río abajo, en sentido de la corriente fluvial es la margen que se encuentra a la derecha.

**Margen izquierda:** Orientado río abajo, en sentido de la corriente fluvial es la margen que se encuentra a la izquierda.

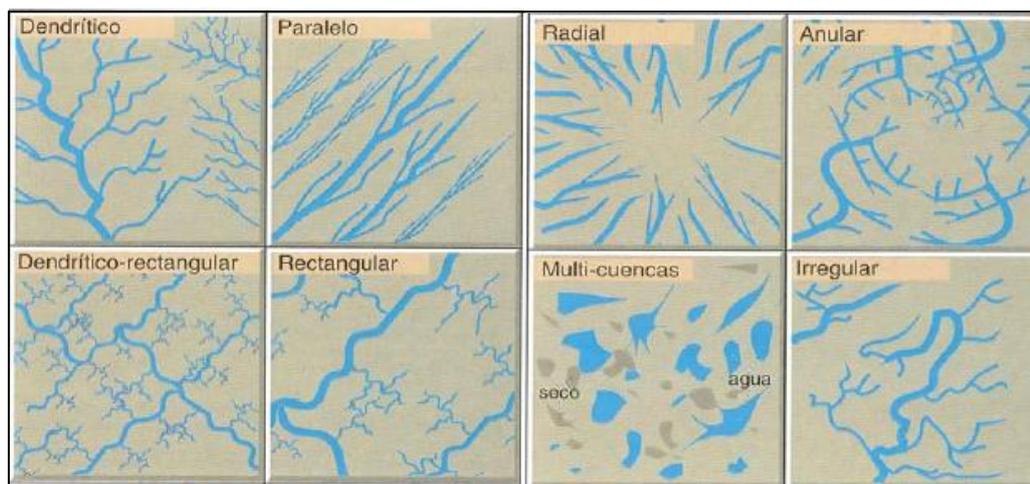
**Aguas abajo:** Con relación a una sección de un curso de agua, sea principal o afluente, se dice que un punto está aguas abajo, si se sitúa después de la sección considerada, avanzando en el sentido de la corriente

**Aguas arriba:** Observando en el sentido contrario de la corriente.

### 3.4 RED DE DRENAJE DE UNA CUENCA

El conjunto de cursos de agua que circulan vertiente abajo desde el punto donde empezaron a fluir sobre la superficie terrestre se conoce como sistema de drenaje. Este se compone de una red ramificada de canales fluviales que recogen el agua superficial y de las vertientes que tributan en ellos. Todo el sistema está delimitado por la divisoria de aguas que contornea la cuenca hidrográfica.

La red de drenaje puede tener distintas morfologías, dependiendo de distintos patrones como la litología, la pendiente, el tipo de suelo, el clima. (Fig.13)



**Fig.13-** Tipos de diseños de drenajes de una cuenca. Tomado de:  
[http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_itop/](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/)

**Nivel de base de un río:** Aquel por debajo del cual la corriente fluvial no erosiona su cauce. Normalmente corresponde al nivel de la desembocadura del río en un océano, un lago, otro río. Se considera un nivel de base general, que corresponde al nivel del mar, y un nivel de base local o temporal. Cualquier cambio en el nivel de base provocará un reajuste en las actividades de la corriente para ajustar un nuevo perfil de equilibrio; un aumento en el nivel de base causará la deposición de material, y una reducción del nivel de base causará erosión.

### 3.5 GEOMORFOLOGIA FLUVIAL

El agua es el agente geológico más importante en la erosión, transporte y depósito de sedimentos. Casi cualquier paisaje terrestre muestra los resultados del trabajo geológico de las corrientes de agua. Los relieves modelados por la acción de las aguas corrientes se denominan relieves fluviales, para distinguirlos de los originados por los otros agentes modeladores (hielo, olas, viento). En el momento actual, los relieves y procesos fluviales son los elementos dominantes en las superficies continentales.

#### 3.5.1 CONCEPTOS DE GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL

**Cauce:** El flujo superficial, hipodérmico y subterráneo tributa, con el tiempo, a un torrente o curso fluvial, una forma de escorrentía más rápida y que concentra una mayor cantidad de agua. Se refiere a una estrecha y larga depresión o canal por donde el agua se desplaza pendiente abajo bajo la influencia de la gravedad. Las corrientes fluviales abarcan desde un pequeño arroyo a un gran río. (

**Lecho fluvial:** Dependiendo del sustrato en el que se desarrolla, el cauce de un río genera formas de artesa que contienen las aguas de escurrimiento. Cuando el río está en período de estiaje, el agua sólo escurre por el *lecho menor*, encausado en el canal de estiaje. En cambio,

en los períodos de crecida, el agua inunda el *lecho mayor*. En períodos extraordinarios de grandes avenidas, el río ocupa el lecho mayor excepcional.

De acuerdo a su patrón de escurrimiento, los ríos pueden tener lechos con canales con meandros, lechos con canales anastomosados, o bien, lechos rectilíneos.

**Llanura aluvial:** La llanura aluvial de un río corresponde desde el punto de vista morfodinámico a las áreas cubiertas por el agua durante incrementos de caudales y/o crecidas que se producen luego de precipitaciones pluviales de alta intensidad y duración.

**Llanura de inundación:** geomorfológicamente, es una forma de terreno compuesto primariamente de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río en cuestión; hidrológicamente, está mejor definida como una forma de terreno sujeta a inundaciones periódicas por un río padre. Una combinación de estas características posiblemente cubre los criterios esenciales para definir una llanura de inundaciones" (Schmudde, 1968).

**Terrazas:** En general se trata de depósitos aluviales que se han erosionado formando superficies planas, generalmente escalonadas debido a la ocurrencia de dos o más niveles de terrazas, ubicadas en los márgenes de los ríos originadas al encajarse el cauce fluvial en la llanura aluvional que ha generado el río en etapas anteriores. Si existen varios niveles de terrazas indica que el valle ha tenido más de un episodio de encajamiento, las terrazas más antiguas son las más altas topográficamente. (Barbieri, Herrera, 2018).

**Cárcavas:** La cárcava es una zanja producto de la erosión que generalmente sigue la pendiente máxima del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas del suelo. Las cárcavas se inician cuando el suelo ha sido removido por el flujo superficial formando pequeños surcos considerado como zanjeado incipiente y a medida que aumenta el escurrimiento se forman pequeños canalillos que van creciendo en ancho y en profundidad hasta formar secciones transversales de diferentes formas que se agrandan con la presencia de las avenidas máximas.

Consecuentemente, las cárcavas se originan por la concentración de los escurrimientos superficiales en determinados puntos críticos del terreno.

### 3.5.2 CONCEPTO DE GEOFORMAS DE ORIGEN ANTRÓPICO

Cuando se habla de geoformas de origen antrópico se hace referencia a cualquier tipo de intervención directa o indirecta del hombre sobre el terreno. La erosión antrópica es la erosión del suelo, se produce cuando éste impacta sobre el equilibrio entre el suelo, la vegetación, el agua o viento. El hombre favorece a la acción erosiva del agua y el viento, especialmente en los terrenos de pendiente, al usar sistemas o herramientas inadecuadas en los cultivos, al talar bosques, o quemar vegetación, al construir obras o vías de comunicación, realización de cultivos en terrenos empinados, etc.

Por lo general el cambio de uso del suelo en áreas urbanas, mientras se realicen las obras de infraestructura de manera adecuada favorece el desarrollo y ordenamiento de un territorio, de

lo contrario, si no se tienen en cuenta medidas de prevención y mitigación, se verá incrementada la vulnerabilidad de la zona, así como de la comunidad ya que es posible la generación de procesos de inestabilidad.

En nuestra zona de estudio se han observado diversas áreas en las cuales la acción antrópica genera modificaciones continuas del relieve para la realización de obras relacionadas a construcción de rutas y edificaciones. El hombre puede modificar la cobertura vegetal natural creando de esta manera condiciones biológicas nuevas que ocasionan un sistema de erosión antrópico, el cual es producido al romperse el equilibrio natural, con fines urbanísticos.

Las áreas se describen como:

- Áreas de movimientos de suelos en proceso.
- Áreas de desmonte.
- Áreas inundables.
- Áreas de movimientos de suelos con construcciones.
- Áreas afectadas por incendios.

### **3.6 MORFOMETRIA DE UNA CUENCA**

La morfometría de una cuenca resulta de gran utilidad, ya que permite el estudio de la semejanza de los flujos de diferentes tamaños (Ruiz, 2001) con el propósito de aplicar los resultados de los modelos elaborados en pequeña escala a prototipos de gran escala.

Se trata de la determinación de los parámetros físicos de una cuenca. Da idea de las condiciones generales de la misma y permite inferir el comportamiento ante diversos fenómenos climáticos y geográficos.

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella; sin embargo, la poca información cartográfica de la que se dispone, hace que el encontrar esa relación no sea fácil y que por lo tanto su uso en estudios hidrológicos sea limitado, por otra parte no se puede garantizar que toda la información morfométrica de las cuencas utilizadas para el estudio se pueda obtener en una misma escala, lo cual aumenta el grado de incertidumbre sobre la confiabilidad de los parámetros.

#### **3.6.1 PARÁMETROS GENERALES DE UNA CUENCA**

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente, particularmente en los eventos de avenidas máximas, en particular, las cuencas de igual área, pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes. Parece claro que existe una fuerte componente probabilística en la determinación de una cuenca mediante sus parámetros y las características de la red de drenaje. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con esas de otras cuencas.

La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente. La medición de los factores de forma de una cuenca se realiza por medio de una metodología que permite cubrir dos objetivos. El primero, es que permite comparar la forma de la cuenca con figuras geométricas conocidas; el segundo, es que permite comparar los resultados de las mediciones, los cuales son adimensionales, con los obtenidos en otras cuencas en las que se puede tener mayor información histórica de su comportamiento hidrológico.

Constituyen la información mínima que se debe conocer para formar una primera idea de la naturaleza y comportamiento de una cuenca. Son el área, longitud, perímetro, ancho y desnivel altitudinal.

#### **Área (A):**

Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en  $\text{km}^2$ . Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para tener total confianza en este valor.

El área de la cuenca sirve de base para la determinación de otros elementos; por lo general los caudales crecen a medida que aumenta el área de la cuenca; el crecimiento del área actúa como un factor de compensación de modo que es más común detectar crecientes instantáneos y de respuesta inmediata en cuencas pequeñas que en las grandes cuencas.

**Longitud (L):** La longitud de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba, donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

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

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

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

**El desnivel altitudinal (DA):** Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja ( $DA = H_{\text{Máx}} - H_{\text{Mín}}$ ).

**Perfil longitudinal de un río:** comienza en la zona montañosa de fuerte pendiente, fluyendo a través de una llanura suave hasta el mar. La cabecera es la zona más alta, cerca de las montañas. La desembocadura es el punto en que el río afluye al mar, a un lago, o a un río mayor.

### 3.6.2 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA FORMA DE LA CUENCA

La forma de una cuenca es determinante al momento de evaluar su comportamiento hidrológico, y en particular para el análisis de la dinámica de la hidrología superficial de la cuenca.

#### Factor de Forma de Horton (Kf):

Es la relación entre el área (A) y el cuadrado de la longitud de la cuenca (L). Horton, ha sugerido un factor adimensional de forma designado como “k<sub>f</sub>” que puede deducirse a partir de la siguiente ecuación

$$k_f = \frac{A}{L^2}$$

Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

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

**Coefficiente de compacidad (kc):** Propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas o divisoria que la encierra y el perímetro de la circunferencia. Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. (Tabla.1)

Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua.

$$K = 0.282 P / \sqrt{A}$$

Donde, P es el perímetro de la cuenca (longitud de la línea parteaguas), (A) el área de la cuenca y P<sub>c</sub> es el perímetro de la circunferencia y equivale a 0,282. Se han establecido tres categorías para la clasificación de acuerdo con este parámetro.

Valores de k <sub>c</sub>	Forma
1,00-1,25	Redonda a oval redonda
1,25-1,50	De oval redonda a oval oblonga
1,50-1,75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Tabla.1 -Valores de índice de compacidad de Gravelius

La razón para usar la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo es porque una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir avenidas superiores dadas su simetría. Sin embargo, este índice de forma ha sido criticado pues las cuencas en general tienden a tener la forma de pera.

#### **Relación de elongación (Re):**

Se define como la relación entre el diámetro de un círculo que posea la misma área de la cuenca y cuyo diámetro sea igual la longitud de la cuenca y su formulación matemática es la siguiente:

$$R_e = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

Cuanto más cercano esté el índice a la unidad, se considera que la cuenca tiene una forma más circular y que por tanto es más compacta, y va aumentando conforme disminuye la compacidad.

### **3.6.3 PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE**

**Altura y elevación:** Es uno de los parámetros más determinantes de la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo de la cuenca. De ella dependen en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas de un territorio. A continuación, se describen los elementos más representativos de las cuencas, derivados de la elevación.

*Cota mayor de la cuenca (CM):* Es la mayor altura a la cual se encuentra la divisoria de la cuenca (msnm.).

*Cota menor de la cuenca (Cm):* Es la cota sobre la cual la cuenca entrega sus aguas a un cauce superior (msnm.).

*Elevación promedio del relieve:* Es la elevación promedio de la cuenca referida al nivel del mar.

#### **Pendiente:**

*Pendiente media de la cuenca (S):* es el valor medio del declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la cuenca.

**Curva Hipsométrica:** Es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca, por medio de una curva tal, que a cada altura le corresponde un respectivo porcentaje del área ubicada por encima de esa altura.

### **3.6.4 PARÁMETROS RELATIVOS AL PERFIL**

*Cota mayor de cauce (CMc):* Elevación del punto más alto del cauce (msnm.).

*Cota menor de cauce (Cmc):* Coincide con la cota menor de la cuenca (msnm.).

**Perfil altimétrico o topográfico del cauce principal:** El perfil altimétrico es simplemente el gráfico de altura en función de la longitud a lo largo del río principal. Para este caso se

ha tomado un perfil que respete la dirección principal del cauce, desde el punto más alto hasta la desembocadura

### 3.6.5 PARÁMETROS RELATIVOS AL DRENAJE

**Orden de los cauces:** El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos para realizar tal clasificación. En este caso se optó por el método de Horton, el cual se fundamenta en los siguientes criterios: Se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se une, 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. (Fig.14)

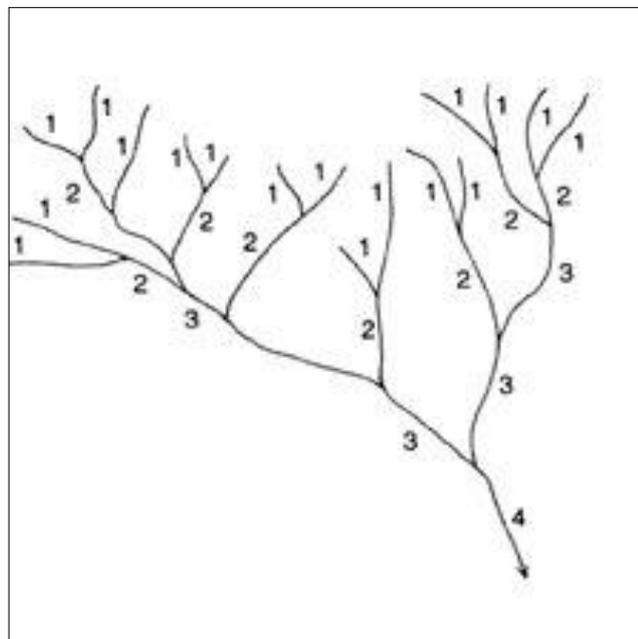


Fig.14- Orden de cauces (Strahler, 1957)

**Densidad de drenaje (Dd):** Este índice relaciona la longitud de la red de drenaje y el área de la cuenca sobre la cual drenan las corrientes hídricas.

$$D_d = \frac{\text{Longitud corrientes (km)}}{\text{Área cuenca (km}^2\text{)}}$$

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

$$C_t = \frac{\text{Cauces orden 1}}{\text{Área cuenca (km}^2\text{)}}$$

La descripción de las características morfológicas, fisiográficas, hidrológicas e hidráulicas entre otros, permite un mejor entendimiento del comportamiento del flujo de agua en la cuenca.

**Relaciones de Bifurcación (Rb):** Utilizando la jerarquización de Horton, Strahler (1969) propuso las razones de bifurcación.  $N_u$  corresponde al número de corrientes (o cauces) de orden uno.

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

### Tiempo de concentración (Tc)

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

$$Tc = 13,548 * (L_2/H)^{0,77}$$

## 3.7 CONCEPTOS REMOCIÓN EN MASA Y SUS PROCESOS

### 3.7.1 REMOCIÓN EN MASA

Los fenómenos de remoción en masa son procesos de transporte de material definidos como procesos de 'movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores' (Hauser, 1993). Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (Cruden, 1991).

Estos procesos, detonados por factores tanto naturales como antrópicos, causan daños importantes en lugares de altas pendientes. Las zonas montañosas son muy susceptibles a sufrir este tipo de problemas, debido a que generalmente se conjugan cuatro elementos fundamentales para la generación de fenómenos de remoción en masa: gradiente topográfico, sismicidad, meteorización de la roca parental y lluvias intensas.

La remoción en masa, es el desplazamiento de grandes volúmenes de material superficial a favor de la pendiente por acción directa de la fuerza de la gravedad, hasta volver a encontrar un nuevo punto de reposo.

Normalmente el terreno, en su parte superficial, presenta rocas fragmentadas por acción de la meteorización física, química o biológica, sola o combinada, así como también puede presentar un estrato superficial de suelo grueso o delgado con o sin vegetación. Entre los factores principales que influyen en el movimiento se puede mencionar: el grado de pendiente, la naturaleza del terreno y el clima de la zona.

### 3.7.1.1 FACTORES CONDICIONANTES DE GENERACIÓN DE REMOCIONES EN MASA

Existen ciertos factores que serán condicionantes para la generación de los diferentes tipos de remoción en masa (Tabla.2) (Hauser, 1993). Los factores condicionantes corresponden a aquéllos que generan una situación potencialmente inestable, como: las características geomorfológicas, geológicas, geotécnicas y la vegetación, que actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de remoción en masa, considerando la susceptibilidad como la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica a ser afectada por un proceso geológico determinado (Sepúlveda, 1998). Cada uno de los distintos procesos de remoción en masa tiene génesis y comportamientos distintos, por lo cual cada uno podrá ser influenciado por diversos factores de maneras y grados diferentes. Este capítulo presenta los diferentes factores a considerar para la determinación de la susceptibilidad o amenaza de cada evento de remoción en masa en una zona determinada. Los estudios presentados permitirán conformar metodologías específicas, para definir cuáles son las zonas críticas vulnerables frente a estos eventos.

Tipos de remoción en masa	Caídas	Deslizamientos	Toppling	Flujos	Extensiones laterales
Factores condicionantes					
<b>Geología y Geotecnia</b>	X	x	X	x	X
<b>Geomorfología</b>	X	X	X	X	X
<b>Hidrología e Hidrogeología</b>	X	X	X	X	X
<b>Vegetación y Clima</b>		X		X	X
<b>Actividad Antrópica</b>	x	X	x	X	

Tabla.2 – Tipos de remoción en masa según el factor desencadenante (Hauser, 1993)

### 3.7.1.2 TIPOS DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

Los procesos de remoción en masa se pueden dividir en tres tipos de movimientos principales, diferenciados por el mecanismo que domina a cada uno, en relación al transporte del material, dando como resultado diferentes geoformas producto de estos mecanismos de transporte: 1) flujo, 2) deslizamiento y 3) caída (o desprendimiento). Tomado de (Barbieri, Herrera, 2018)

–Durante el **flujo**, un detrito suelto e inconsolidado se mueve como un fluido viscoso sobre una superficie. El flujo puede ser muy lento y tranquilo; algunas pendientes fluyen a velocidades cercanas a 1 cm por año, incluso a veces menores. En otras ocasiones, el detrito mezclado con grandes cantidades de agua puede fluir tan rápidamente como lo haría el agua sola cuesta abajo en la misma pendiente. Normalmente se mueven siguiendo una forma de lengua o lóbulo.

–El **deslizamiento** involucra el movimiento de un bloque rocoso, a lo largo de una superficie que puede ser plana o curva. Es en general más rápido e instantáneo que el flujo, pero le demandará al bloque algunos segundos deslizarse por el frente de la ladera. Cuando se

desliza un faldeo montañoso, los bloques desplazados permanecen intactos y los árboles de su superficie pueden llegar a inclinarse, pero en general no se rompen.

–La **caída** es el tipo de movimiento más rápido e instantáneo de la remoción en masa. Aquí bloques de rocas meteorizados en una pendiente se mueven hacia posiciones topográficas de menor altura. En algunos casos extremos las rocas pueden caer a una velocidad limitada únicamente por la fuerza de la gravedad y la pequeña resistencia que el aire puede oponer a ese movimiento. Pueden en su movimiento no tener contacto con el plano de la pendiente y bajar en caída libre o en cambio moverse mediante una serie de saltos y rebotes sobre otras rocas a lo largo del trayecto.

### 3.8 RECONOCIMIENTO DE ÁREAS INESTABLES Y DESLIZAMIENTOS

A continuación, se indican, según Abramson et al. 2002, las siguientes son algunas guías útiles para el reconocimiento de áreas inestables.

**Escarpes y afloramientos de roca:** Los escarpes se reconocen por su pendiente y por la falta de vegetación. La roca sin vegetación aparece en las fotografías con un tono claro. Los afloramientos de roca tienen una apariencia de topografía rugosa. Debe tenerse en cuenta que en ocasiones la vegetación es muy alta y no permite ver los bloques de roca.

**Taludes cubiertos con bloques de roca o suelo suelto:** Las zonas de bloques de roca se reconocen como manchas moteadas de colores claro o gris.

**Coluviones:** Los coluviones se identifican por la textura más suave que el terreno montañoso alrededor y es común que presenten manchas moteadas de bloque de roca.

**Abanicos aluviales:** Los abanicos aluviales se reconocen por la forma de abanico y tienden a estar situados en el fondo de áreas donde la pendiente del talud cambia lateralmente en forma brusca. Profundización del relieve por ríos, corrientes de agua o cárcavas. Las incisiones profundas en corrientes de agua son generalmente elementos que afectan la susceptibilidad a los deslizamientos y estas pueden identificarse por los tonos claros en la cabeza de las corrientes donde la roca expuesta puede observarse.

**Zonas de humedad:** Las zonas de humedad se identifican por cambios repentinos a tonos más oscuros y por cambios fuertes en la tonalidad de la vegetación. Como se indicó anteriormente los tonos oscuros son típicos de zonas de humedad.

**Cárcavas:** Las cárcavas son generalmente cortas y con forma de flecha en colores claros donde el suelo o roca ha sido expuesto.

#### 3.8.1 OBSERVACIONES A REALIZAR EN UN DESLIZAMIENTO

Las condiciones de inestabilidad de un sitio no son necesariamente obvias en la investigación de campo. En ocasiones hay evidencias claras de la inestabilidad, pero es común que una amenaza de movimiento no sea detectada a simple vista.

Parkhurst (2000) propuso una metodología para la identificación de sitios inestables. Este procedimiento consiste en darle una calificación a una serie de factores o indicadores de estabilidad, en forma similar a como se elaboran los mapas de amenaza a los deslizamientos y de acuerdo a la calificación se investigan a detalle los sitios con más alta calificación de amenaza.

Factores indicadores de inestabilidad:

- ◊ *Levantamientos, hundimientos o fisuras.*
- ◊ *Árboles o cercas inclinadas.*
- ◊ *Existencia de estructuras de contención anteriores y su estado.*
- ◊ *Grietas de tensión.*
- ◊ *Drenajes nuevos.*
- ◊ *Cárcavas de erosión.*
- ◊ *Remoción de vegetación.*
- ◊ *Sistema de drenaje irregular.*
- ◊ *Afloramientos de agua.*

### 3.9 RIESGO NATURAL

Se entiende el riesgo natural, como la probabilidad de ocurrencia en un lugar determinado y en un momento dado, de un evento natural potencialmente peligroso para la comunidad y susceptible de causar daño a las personas y a sus bienes, más específicamente, la O.N.U. ( Organización de las Naciones Unidas) (Ayala-Carcedo, 1993) lo define como el producto de la probabilidad de ocurrencia de una amenaza o peligro natural, por la vulnerabilidad en tanto por uno y la exposición.

Un desastre natural de tipo geomorfológico se genera cuando los factores que regulan el estado morfogenético de un lugar, franquean en cascada los umbrales de estabilidad (Anguita y Moreno, 1994). El umbral correspondería a una situación límite en torno a la cual los factores o variables que controlan el proceso geomorfológico se modifican, superan valores críticos de ritmo, de intensidad, de sentido o de naturaleza.

#### 3.9.1 CONCEPTOS SOBRE – AMENAZA - VULNERABILIDAD- RIESGO

##### AMENAZA

De acuerdo a H. Herzer, C. Rodríguez, A. Celis, M. Bartolomé y G. Caputo, 2002 una amenaza es entendida como un peligro latente debido a la probable manifestación de un fenómeno físico que puede producir efectos adversos en las personas, la actividad económica, la infraestructura, los bienes y los servicios. Es un factor externo a un elemento o grupo de

elementos expuestos, que se expresa como la probabilidad de que un fenómeno se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definido.

Las amenazas pueden clasificarse en base a su origen, pueden ser naturales, socio-naturales y antrópicas. Cada una de estas categorías comprende a su vez varios tipos. En realidad, la clasificación no puede ser tan rigurosa, porque muchas veces las amenazas son el resultado de una combinación de fenómenos. Las amenazas de origen natural pueden ser terremotos, maremotos, vulcanismos, lluvias intensas, huracanes, ciclones, tornados, tormentas de nieve, tsunamis, sequías e inundaciones, es decir ocurren espontáneamente por acción de la naturaleza. Las amenazas socio-naturales son eventos de origen natural, en los que la acción humana incide sobre su intensidad o manifestación. Es decir, fenómenos de la naturaleza que se agravan por la intervención del hombre, tales como deslizamientos causados por deforestación o incendios forestales, avalanchas y crecidas torrenciales, deslizamientos, desertificación, erosión, agotamiento de acuíferos, derrumbes, erosión de tierras y algunos tipos de inundaciones. Las amenazas antrópicas son aquellas atribuibles a la acción humana sobre la comunidad, que ponen en peligro la integridad física o la calidad de vida de la población. Algunos ejemplos para la zona de estudio son: la instalación de viviendas arbitrariamente ubicadas sin un estudio previo, sobre las exiguas terrazas, o al pie de las laderas generando inestabilidad debido a la nivelación de terreno para la construcción, entre otras.

#### *VULNERABILIDAD*

La vulnerabilidad (Cardona, O., 2001) es la predisposición que tiene una comunidad para ser afectada, o sufrir efectos adversos, en caso de que se manifieste una amenaza. Es entonces, un factor interno de un elemento, o grupo de elementos, expuestos a la misma. Representa también las condiciones que imposibilitan o dificultan la recuperación autónoma posterior al impacto de una amenaza, lo que se conoce como resiliencia. La vulnerabilidad puede provenir de una serie de condiciones, tales como edificaciones en lugares inapropiados, falta de mantenimiento de obras de protección, escasa información, falencias en la educación y concientización de la población respecto de los peligros a los que está expuesta, falta de organización institucional y social para enfrentarlos, pobreza, marginalidad o desarrollo urbano no planificado, entre otros, todos aspectos presentes en la zona de estudio.

En síntesis, la vulnerabilidad puede ser de índole física, económica, institucional, política, cultural, educativa; dándose generalmente una combinación de varias de ellas. Esta visión de la vulnerabilidad se ha plasmado en una enunciación, que es la más aceptada en la actualidad, y que afirma que los desastres son construcciones sociales. En este sentido, un desastre puede ser definido como: una situación o proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antrópico que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población y en su estructura productiva e infraestructura, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento del país, región, zona, o comunidad afectada.

#### *RIESGO*

El riesgo (H. Herzer et al, 2002) puede ser entendido como “una condición latente o potencial y su nivel o grado depende de la intensidad probable del evento desencadenante y de los

niveles de vulnerabilidad existentes. Así, el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un desastre. Para que exista un riesgo, debe haber tanto “elementos detonadores (sean de orden natural, socio natural o antrópico) como una población vulnerable a sus impactos”. Puede decirse también que es la probabilidad de que se presente un nivel de consecuencias económicas y sociales adversas en un sitio particular y durante un tiempo definido, que exceden niveles aceptables, a tal grado que la sociedad, o un componente de la sociedad afectada, encuentre severamente interrumpido su funcionamiento rutinario y no pueda recuperarse de forma autónoma, requiriendo de ayuda y asistencia externa. Tal como lo manifiesta la Estrategia y Plan de Acción de Yokohama para un mundo más seguro, “la evaluación del riesgo es un paso indispensable para la adopción de una política y de medidas apropiadas y positivas para la reducción de desastres”. Para evaluar el riesgo, se deben integrar todos los elementos que lo configuran. Es decir, se deben mensurar tanto las amenazas como las vulnerabilidades, elementos básicos que lo definen.

### 3.10 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Un análisis multitemporal implica una correlación digital de dos o más imágenes satelitales capturadas en distintos periodos de tiempos, que previamente han sido clasificadas y que necesariamente guardan similitud en la toma y su leyenda, área, escala y proyección cartográfica utilizadas, de esta forma al compararlas digitalmente permite detectar los cambios que han tenido, en cada cobertura los objetos de estudio; y cuantificar esas variaciones, esto se conoce como dinámica de cambio, ya que supone que la pérdida de área para una determinada toma corresponde a la sustitución de la misma por otra cobertura cuya toma se encuentra reconocida al momento de la clasificación.

Es un análisis de tipo espacial, que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos o más imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar, en diferentes fechas, y que permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas. Como los meses del año y los años entre si difieren en sus características climáticas, un análisis multitemporal es mucho más amplio que el análisis de una sola imagen (Scanterra, 2015).



# CAPÍTULO 4

## METODOLOGÍA



## 4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En este capítulo, se describen las técnicas, métodos utilizados y materiales de apoyo que se utilizaron para la confección del Informe de Trabajo Final. Se describe de manera detallada los procedimientos involucrados en la elaboración de los resultados.

Para el informe final se programaron tres etapas que se siguieron en orden de acuerdo a las tareas específicas para cada una de ellas. Las etapas incluyeron tareas tanto de gabinete como de campo, que son complementarias para la recolección de la información y la correlación con los resultados obtenidos previamente.

En la primera etapa se desarrollaron tareas de gabinete de distinta complejidad que consistieron en actividades de recopilación de antecedentes, casos problemáticos de la zona de investigación, con respecto a las amenazas geoambientales de carácter hídrico y de procesos de remoción en masa del área de interés. Las actividades de la segunda etapa consistieron en el control de campo donde se realizaron reiteradas visitas al área de estudio, llevándose a cabo el control y corrección de la cartografía base y las unidades identificadas en la primera etapa de búsqueda. En la tercera y última etapa se efectuó el procesamiento e interpretación de la información obtenida en las actividades previas para la confección de la cartografía final donde se determinaron las áreas o sectores que son vulnerables ante los procesos hídricos y de remoción en masa como amenazas geoambientales principales, que podrían implicar un riesgo para la población circundante a la cuenca del arroyo El Potrero.

A continuación, se describe de manera detallada cada una de las etapas desarrolladas para obtener los resultados en base a los objetivos planteados previamente.

### 4.1 MATERIALES EMPLEADOS

En las tareas de gabinete se utilizó la Hoja Geológica de San Fernando del Valle de Catamarca 14 f que corresponde a la más antigua y la Hoja Geológica nueva de San Fernando del Valle de Catamarca 2966-II, la bibliografía recopilada de antecedentes y problemáticas relacionadas al tema de interés, diferentes softwares tipo GIS como lo son Global Mapper, Arcgis 10.3, software de libre acceso como es Google Earth. Estos softwares fueron utilizados y ejecutados en forma conjunta para los procesamientos sobre las imágenes satelitales y la generación de la cartografía base y final del área de estudio.

En las actividades de campo se utilizaron las hojas geológicas mencionadas anteriormente, imágenes satelitales LandSat 7 cedida por CONAE, tabla de GSI (Geological StrenchIndex), GPS (eTrex vista H), Brújula Brunton, máquinas fotográficas, GPS Garmin, cinta métrica, entre otros.

#### 4.1.1 SOFTWARES DE APLICACIÓN

##### **Global Mapper**

Global Mapper es una aplicación GIS asequible y fácil de usar que ofrece acceso a una variedad de conjuntos de datos espaciales y proporciona el nivel adecuado de funcionalidad. En este trabajo se utilizó para la realización los cálculos auxiliares para los parámetros que comprende el análisis morfométrico de la subcuenca del arroyo El Potrero.

### **Google Earth Pro (Free)**

Google Earth es un programa informático de uso libre que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base satelital. El mapa de Google Earth está compuesto por una superposición de imágenes obtenidas por imágenes satelitales, fotografías aéreas, información geográfica proveniente de modelos de datos SIG de todo el mundo y modelos creados por computadora.

Se utilizó como herramienta de apoyo para la descarga de imágenes de la zona de estudio y la realización de las primeras delimitaciones del área de la cuenca, perfiles altimétricos del cauce principal, identificación de estructuras y geoformas ya que permite una visualización de gran detalle, entre otros. Proporciona herramientas muy útiles para la diferenciación de estructuras y geoformas, y para un primer análisis temporal de la evolución geomorfológica del área. Este software se usó para la comparación del nivel de error que por defecto puede producirse a la hora del geoprocesamiento teniendo en cuenta que permite un mayor detalle a la hora de digitalizar. En el análisis morfométrico de la cuenca, se manejó para la medición de algunos parámetros referidos al cauce principal, estableciendo la comparación con los resultados obtenidos en el software antes mencionado Global Mapper.

### **SAS.Planet**

Este software ruso fue diseñado para ver y descargar imágenes satelitales de alta resolución. El programa permite ver imágenes y mapas convencionales como los presentados por los servicios de Google Earth, Google Maps, Digital Globe, Yahoo Maps, OpenStreetMaps, eAtlas, entre otros. Además de los mapas satelitales, permite trabajar con mapas políticos, hidrológicos, entre otros de manera combinada.

SAS.Planet permite descargar las imágenes en archivos: JPG, JPG2, TAB, KMZ, y ECW.

Estas últimas ya están georreferenciadas dando la posibilidad de ser trabajadas en cualquier programa SIG/GIS y posee una opción que permite al usuario establecer el zoom y la escala más acorde para el mosaico de trabajo a su libre albedrío.

Para el presente trabajo se realizó la descarga de una imagen (Google Maps Satellite) en formato ECW (georreferenciada) con zoom 20 y en coordenadas geográficas, que luego fue utilizada, por su alta resolución espacial, para la delimitación de geoformas de la zona de estudio, también se descargaron las imágenes que luego fueron utilizadas en el análisis multitemporal de la zona, ya que permite realizar la descarga de imágenes de alta resolución del año que se desea.

### **ArcMap 10.3**

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el

mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier lugar a través de navegadores Web y dispositivos móviles.

ArcGIS permite crear una amplia variedad de mapas, entre ellos, mapas Web accesibles en navegadores y dispositivos móviles, diseños de mapa impresos de gran formato, mapas incluidos en informes y presentaciones, libros de mapa, atlas, mapas integrados en aplicaciones, etc. Independientemente de cómo se publica, un mapa de ArcGIS es un mapa inteligente que muestra, integra y sintetiza completas capas de información geográfica y descriptiva de diversas fuentes. Permite sintetizar datos de diversas fuentes en una misma vista geográfica unificada. Estas fuentes de datos incluyen información de bases de datos geográficas, datos tabulares de sistemas de administración de bases de datos (DBMS) y otros sistemas empresariales, archivos, hojas de cálculo, vídeos y fotos con geotiquetas, KML, CAD Data, fuentes en directo de sensores, imágenes aéreas y de satélite, etc. De hecho, cualquier registro de información con una referencia geográfica, como una dirección de calle, el nombre de una ciudad, un identificador de parcela de tierra, coordenadas GPS, etc., puede localizarse y estar disponible en un mapa. También se pueden incluir datos geográficos fidedignos proporcionados por ESRI, proveedores de datos y miles de agencias y organizaciones de SIG de todo el mundo.

El análisis espacial es uno de los aspectos más interesantes y destacables de SIG. El objetivo que persigue es derivar nueva información de los datos existentes para permitir una mejor toma de decisiones. En el presente trabajo el ArcMap fue utilizado para la confección edición y diseño de la cartografía base, como así también en todos los procesamientos que tienen como base el ráster del área de estudio para la obtención de todos los parámetros referidos el relieve y el sistema de drenaje de la cuenca.

## 4.2 PRIMERA ETAPA

En la primera etapa se llevaron a cabo tareas de búsqueda de antecedentes de la problemática planteada en el área de estudio como así también en cuencas vecinas que puedan proporcionar información acerca de la dinámica de los procesos geoambientales predominantes en cada sector. Se realizó la recopilación de información estadística relacionada con variables meteorológicas, que permitieron establecer el clima en la región que ocupa la subcuenca del arroyo El Potrero, precipitaciones y diversos aspectos referidos al factor climático, ya que estos son aceleradores de los procesos de deslizamientos de laderas y condicionantes de la dinámica fluvial de las cuencas. Se consultó información cartográfica y bibliográfica sobre el área de estudio, y además bibliografía relacionada con los conceptos principales de la temática abordada.

Para su ejecución se consultaron diferentes, informes técnicos, publicaciones, investigaciones, cartas y hojas geológicas obtenidas en múltiples instituciones como el instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCODEG) de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Servicio Meteorológico Nacional, Dirección Provincial de

Recursos Hídricos y sitios web oficiales (SEGEMAR, INA, INTA, SCIELO, entre otros). En base a esto se efectuó:

Una base de datos que permitió correlacionar la información previa con la generada en esta etapa de trabajo.

El procesamiento de imágenes en formato Raster utilizando el software Arcgis 10.3 para la delimitación de cuencas hidrográficas y determinación de las redes de drenaje principales y secundarias.

Un mapa base geológico, hidrológico, geomorfológico y topográfico a escala de detalle 1:60.000, utilizando herramientas GIS, software ArcGis 10.3, digitalizando sobre un mosaico de la Provincia generado por el ETISIG provincial (Equipo de Trabajo Interinstitucional de Sistemas de Información Geográfica), a partir de imágenes satelitales Landsat 5-TM5 y Landsat 7 ETM+.

La cartografía topográfica e hidrológica se realizó mediante Modelos de Elevación Digital (DEM), los mismos se confeccionaron utilizando los softwares Global Mapper y ArcMap sobre base de una imagen SRTM, con resolución de 30 metros, este tipo de imagen tiene datos referidos a la coordenada Z (altura) que permiten recrear con exactitud el relieve de una superficie.

Los softwares utilizados para este estudio, son herramientas de rápida visualización y organización, de esta manera los mapas preliminares, como el geológico e hídrico, se realizaron con ArcGis 10.3, que permite la digitalización fácil de polígonos y rectas para la confección de mapas. Previamente se analizaron imágenes satelitales del área de estudio, que fueron proporcionadas por la USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) y del software libre SASPLANET, que permite la descarga gratuita de estas imágenes georreferenciadas con resolución y escala definidos por el usuario. Una vez obtenidas las imágenes se realizó la digitalización de la información necesaria teniendo como una herramienta de apoyo la carta geológica 14 f de San Fernando del Valle de Catamarca para identificar las unidades geológicas existentes en la zona de estudio. Global Mapper es un software útil para la visualización de imágenes, y también, permite convertir los datos en diversos formatos en los que se desea trabajar.

Se realizó la recolección de puntos estratégicos preliminares con observación en campo de los sectores vulnerables a los riesgos hídricos y de deslizamiento de terreno para el área definida.

#### **4.3 SEGUNDA ETAPA**

Una vez obtenida cartografía preliminar que se utilizó como base, se realizaron visitas al terreno programadas para efectuar el control de los datos obtenidos. Se recorrió el área de trabajo constatando, correlacionando, ajustando y corrigiendo los mapas confeccionados previamente, a partir de la observación directa en campo. Se tomaron puntos estratégicos representativos de las diversas geoformas presentes y áreas de riesgo, y de todas las características del relieve, con navegador GPS, para facilitar el posicionamiento del terreno en la cartografía final y mejor distribución de la información recolectada.

Para la confección y edición de la cartografía temática que compone el mapa geológico, geomorfológico, de riesgos hídricos y deslizamientos de tierra, vulnerabilidad entre otros, se procuró que la información sea concreta, sistemática, de rápida visualización y accesible para organismos públicos y privados, como así mismo, se constituya en información de base útil para los organismos de gestión, a efectos de generar medidas de prevención por parte de las instituciones que correspondan. En las tareas de campo se han extremado las medidas de control para lograr que la cartografía resultante represente lo más fidedignamente posible las características del área en estudio.

Las visitas al campo se dividieron con el fin de lograr una representación organizada y bien detallada de cada uno de los tramos que comprende la cuenca, estableciendo una división y sectorización de las unidades que la componen, identificado cada agente morfogenético y el impacto sobre el medio.

#### **4.3.1 CARACTERIZACION DE LAS ÁREAS VULNERABLES Y PROPENSAS A AMENAZAS GEOAMBIENTALES PRESENTES EN EL AREA**

Como inicio de las actividades en el terreno, se identificaron en el área de estudio, los principales agentes morfogenéticos del relieve que actúan en ella, definiéndose así, como procesos dominantes los debidos a la erosión fluvial, la inestabilidad del terreno y los procesos relacionados a los deslizamientos de laderas.

Posteriormente, se discriminaron y delimitaron, para la investigación de las características morfodinámicas, las áreas afectadas por procesos hídricos, las sujetas a la actividad fluvial, y aquellas en las que actúan ambos procesos alternativamente, acorde al periodo climático, de manera de determinar: cómo actúa el agente, las geoformas de erosión y de acumulación que origina y el grado de vulnerabilidad del terreno ante sus efectos. Entendiéndose como “grado de vulnerabilidad a la mayor o menor susceptibilidad del área analizada de ser afectada por estos agentes.

Teniendo las áreas ya definidas, se realizó un relevamiento y toma de puntos de control de las áreas pobladas, áreas destinadas al cultivo, áreas afectadas por la actividad antrópica y puntos de asentamientos de viviendas, para establecer una relación con la vulnerabilidad y la actividad antrópica, y poder así, generar el mapa de riesgo ante los procesos hídricos y de remoción en masa.

Una vez definidas las áreas, y considerando el relevamiento de campo, se identificó las áreas afectadas por actividad antrópica, se vinculó la vulnerabilidad y la actividad antrópica para realizar el mapa de riesgo ante los procesos fluviales, teniendo en cuenta las características y los factores desencadenantes en la dinámica del cauce principal.

#### **4.4 TERCERA ETAPA**

En esta etapa se realizaron las tareas de gabinete, basadas en la corrección y elaboración final de la cartografía. La escala de la cartografía obtenida, se definió a fines de poder representar de manera detalla todas las características generales que definen la morfología

de la subcuenca del arroyo El Potrero. Para los mapas temáticos, se ajustó la representación a una escala de 1: 60000, que permite una rápida visualización de los componentes del mapa.

Para el análisis de los procesos morfogeneradores del relieve del área de estudio, fue necesario establecer diferentes parámetros y variables que actuaban en conjunto en la dinámica de la cuenca.

Se estableció como cartografía base principal el mapa geológico, geomorfológico, hidrología superficial, para representar el comportamiento de cada uno de los sectores de la cuenca, entendiendo que la litología, la geomorfología del área y la dinámica fluvial actúan en conjunto para definir el modelado del relieve, y representa características puntuales en cuanto a su morfología.

A fin de obtener una representación de los parámetros que componen la morfometría de la cuenca, se realizó cartografía temática que sirvió como una herramienta de apoyo para poder establecer los fenómenos a los que estaba sujeta el área de estudio. Entre ella se encuentra el mapa de pendientes de la subcuenca del arroyo el potrero, la representación de curvas de nivel, la jerarquización de la red de drenaje y la representación de las curvas hipsométricas presentes en la cuenca. La cartografía está representada a una escala de 1:60000 ya que permite una visualización clara de la información que se precisa mostrar.

#### **4.4.1 LA CARTOGRAFÍA DE RIESGOS FAVORECE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS**

La elaboración de mapas de riesgos es fundamental para hacer una correcta planificación del territorio y para preparar las medidas que permitan reducir los efectos de los riesgos.

Se pueden construir diversos tipos de mapas de riesgos. Para este estudio se realizó un mapa de vulnerabilidad para visualizar las zonas propensas a verse afectadas por las amenazas geoambientales presentes en el área, y un mapa de riesgo que se utilizó para representar los puntos o zonas sujetos a el impacto de estos procesos, definiendo dos tipos de riesgo: Zonas de riesgo hídrico o de anegamiento y zonas de riesgo de procesos de tipo remoción en masa, definidos en una escala de 1:60000, como se describió anteriormente.

La cartografía generada se elaboró usando los programas detallados anteriormente, utilizando como soporte la información preexistente de mapas, hojas geológicas que componen el área de estudio. Debido a que se obtuvieron imágenes georreferenciadas en el sistema de referencia WGS 84, se hizo transformación geográfica para trabajar con un sistema proyectado. En este caso de este informe se partió de un sistema de referencia WGS 84 al sistema de referencia POSGAR 94 con una proyección Gauss Kruger en faja 3 (en Arcmap) se encuentra la proyección como POSGAR 94 zona 3 Argentina respectivamente) que es la normativa recomendada por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) para la República Argentina. La faja se selecciona en

función de la zona en que se encuentra el área de estudio dentro de la República Argentina, en este caso San Fernando del Valle de Catamarca, capital de la Provincia se encuentra en la faja 3.

En el presente informe final se encuentran insertas en el texto y en formato A3 en el ítem ANEXOS, para su mejor visualización.

#### 4.4.2 ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS

Para la obtención de estos parámetros se partió del geoprocesamiento de la imagen Raster del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la cuenca, que mediante herramientas nos permite obtener la delimitación precisa de la cuenca por medio del análisis de las direcciones y acumulaciones de los flujos de corrientes de agua que están comprendidas en el DEM. Previamente se establece el sistema de referencia en el cual se va a trabajar, este paso es sumamente importante ya que da la certeza de que toda la información nueva que se agregue al raster, no dificultara la proyección y no se identificaran distorsiones en la representación, siguiendo el procedimiento mencionado anteriormente.

Las herramientas de análisis se pueden ejecutar en los DEM para producir nuevas superficies como pendientes, orientaciones y datos referidos a la coordenada Z (altura). Los modelos de elevación digital también se pueden usar para estudiar propiedades de la superficie, como la visibilidad y el flujo de agua que da como resultado la red de drenaje que posteriormente se utilizaran para caracterizar su sistema y diseño de drenaje.

Los parámetros morfométricos se analizan mediante cálculos realizados a partir de una imagen satelital ASTERM GDEM2 con resolución de 30 metros del terreno. Se obtuvieron parámetros tales como: los generales, los que caracterizan la forma de una cuenca, la red de drenaje y el relieve. Se necesita el apoyo de varios parámetros que se calculan externos al software que se realizaron con Google Earth Pro, que permite la visualización en detalle de algunos parámetros referidos a las características del cauce principal, que fueron necesarios para la interpretación y análisis de la dinámica de la totalidad de la cuenca, que fueron descriptos a partir de los resultados obtenidos del análisis morfométrico.

#### 4.4.3 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

El análisis multitemporal de la subcuenca del arroyo El Potrero, se efectuó teniendo en cuenta el periodo comprendido entre 2000- 2019. Para ello, se realizó el estudio del área a una escala de detalle con el fin de describir las distintas características que presenta la zona en la desembocadura del arroyo, que son las zonas de alta vulnerabilidad frente a las amenazas de origen hídrico, resultado de la dinámica fluvial del cauce, utilizando como herramienta principal el software Google Earth, las imágenes de alta resolución de Google Earth correspondiente a la cobertura de Digital Globe (Imágenes QUICK BIRD).

La aplicación de esta herramienta permitió el procesamiento de los datos obtenidos para ser tratados en el software ArcGis 10.3 y de esta forma lograr los mapas geomorfológicos de los años 2000, 2010 y 2019 (estos periodos fueron elegidos debido a la falta de material cartográfico de los periodos anteriores a 2000), y por qué en ese periodo de tiempo se representaba un cambio significativo de la dinámica de la cuenca. Este software proporciona

la posibilidad de almacenar la información obtenida en planillas o como base de datos, que posteriormente son utilizados en las representaciones cartográficas.

El análisis multitemporal consistió en el estudio de las áreas donde se podían observar cicatrices de deslizamientos de gran tamaño, pudo establecer en el transcurso de tiempo si se trataba de eventos actuales o si fueron ocasionados debido a procesos anteriores y como se iba observando el avance, y cómo fue su avance hacia la población en este periodo de tiempo. Otro elemento de gran relevancia en el análisis multitemporal fue observar cómo se fue modificando la dinámica fluvial a lo largo del tiempo que factores fueron los que condicionaron estos procesos. Para poder describir el comportamiento de la cuenca baja donde el cauce tiene su descarga.

Con respecto a las geoformas de origen fluvial, de deflación, denudación y acumulación en el sector de El Potrero se realizó el estudio de la dinámica de la subcuenca baja para poder interpretar su comportamiento y determinar las áreas de vulnerabilidad que afectan a la población.

A partir del estudio de las áreas de vulnerabilidad del área que se identificaron en el análisis multitemporal, y teniendo en cuenta los factores climáticos que actúan sobre ella, es posible describir los riesgos ambientales que afectan a la población.

El área de la desembocadura del arroyo es una zona susceptible a el impacto de las amenazas geoambientales mencionadas anteriormente, ya que, en el último año, se realizó la construcción del nuevo barrio residencial la Estancita.

Toda la cartografía final temática, se encuentra en formato A3 en el capítulo de ANEXOS para una mejor visualización.



# CAPÍTULO 5

## RESULTADOS



## 5. RESULTADOS

### 5.1 GEOLOGIA LOCAL

Como resultado de la cartografía final representativa de la geología local en la subcuenca del arroyo El Potrero (Fig.15), se definieron las unidades geológicas presentes, tomando como base fundamental la información plasmada en las cartas geológicas correspondientes a la zona. Para este trabajo la Hoja Geológica auxiliar es la 14 f de San Fernando del Valle de Catamarca. Las unidades geológicas del área de estudio se encuentran dentro de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas y representa las características litológicas y estructurales distintivas de esta provincia. A continuación, se describe la geología local que abarca la subcuenca:

#### **Precámbrico-Paleozoico Inferior**

##### *Complejo metamórfico La Cébila (CMLC)*

Corresponde a una de las unidades metamórficas de baja presión de Sierras Pampeanas, denominada Formación La Cébila por (González Bonorino, 1951) y luego redefinida como Complejo Metamórfico La Cébila (CMLC) por (Verdecchia, 2009).

Esta unidad aflora al O del departamento Capital, ocupando los faldeos occidentales de la cuenca del río El Tala y las serranías que conforman la cuenca del arroyo El Potrero. Su contacto oriental con la Formación El Portezuelo, (Aceñolaza et al. 1981) es tectónico, por medio de la falla que se extiende a lo largo de la quebrada de El Tala. Al O, fuera de los límites del departamento, sus afloramientos continúan en las serranías vecinas.

**Litología:** Sus principales componentes varían de esquistos bandeados a filitas bandeadas, con abundancia de micas y cristales de cuarzo, poseen rumbos N-S, con inclinaciones promedio de unos 30° hacia el cuadrante oriental. Los afloramientos de esta unidad muestran un aspecto bandado que varía en rangos de milímetros a centímetros. Alternan bandas leucocráticas cuarzo feldespáticas con otras oscuras predominantemente biotíticas. Un mesoplegamiento de las bandas, asociado a un aporte importante de venas cuarzosas es ocasionalmente otro de sus rasgos destacables.

El metamorfismo regional de temperatura y presión moderada, determinado por Nullo (1981), se encuadra en la asociación albita – epidoto anfibolita.

**Edad:** Nullo (1981), a partir de estudios de Aceñolaza y Toselli (1977), ubica a esta unidad entre el Precámbrico al Paleozoico inferior.

#### **Cuaternario- Pleistoceno**

##### *Formación Concepción*

Se utiliza la denominación propuesta por Fidalgo (en Nullo, 1981) para referirse a sedimentos agrupados en el primer nivel de Piedemonte. Los afloramientos de esta unidad se extienden, de O a E, al pie oriental de la sierra de Ambato; al pie occidental de las sierras de Graciana y de Ancasti, en el pie oriental del Ancasti y a ambos lados de la sierra de Guasayán.

Generalmente constituyen retazos adosados en parte al frente de montaña; los del Ambato se extienden desde la ciudad de Catamarca casi hasta el límite sur de la comarca. En el pie occidental del Ancasti son escasos y saltuarios desde Huaycama hacia el S, en cambio son prácticamente continuos desde la localidad mencionada hacia el N.

**Litología:** Los dispuestos en el pie del Ambato son fanglomerados, con rodados de gran tamaño grava mediana a gruesa, compuestos por esquistos, migmatitas y rocas graníticas.

Una de las características de estos depósitos es la alteración de sus rodados, los esquistos lo hacen aprovechando sus planos de esquistosidad y foliación, mientras que los rodados de migmatitas y granitoides lo hacen en forma catafilar. Esta característica es una constante de estos depósitos en la Sierras Pampeanas de Catamarca y estaría indicando un clima árido con importantes amplitudes térmicas diarias al momento de su depositación.

**Edad:** Estos depósitos fueron asignados al Pleistoceno sup. por Nullo (1981).

#### *Formación Coneta*

La Formación Coneta, se desarrolla a partir de la desembocadura de los principales cursos de aguas que bajan de la Cumbre del Durazno, del río El Tala y arroyo San Lorenzo. Los depósitos generados por El Tala son los de mayor importancia y donde históricamente se asentó la ciudad de Catamarca.

**Litología:** La característica de los depósitos es el predominio de fanglomerados en la parte media y apical de las geoformas, su parte distal corresponden a arenas finas limosas y limos arenosos. La fracción gruesa está compuesta por elementos provenientes de las rocas metamórficas del área de aporte; Formación La Cébila (Nullo 1981) al S del río El Tala y Formación El Portezuelo (Aceñolaza y Toselli 1977), cuencas del faldeo oriental de la sierra del Colorado.

**Edad:** Blasco et al. (1994) la ubica en el Holoceno y de acuerdo con la interpretación regional, por parte de Sayago (1999) como Holoceno medio.

#### *Formación Paclín*

Los afloramientos de esta unidad en el Departamento Capital, corresponden a los depósitos de fondo de la depresión de la cuenca del Fariñango, que se extienden sobre los bordes serranos y hacia el S continúan, en una franja, hasta la desembocadura del arroyo Fariñango en el río del Valle. Estos depósitos fueron descritos Merea Llanos (1981).

**Litología:** Depósitos tipo Loessicos, sedimentos limosos, arenas finas, limos arenosos, fanglomerados gruesos.

El mapa geológico del área de estudio se encuentra en el capítulo de ANEXO, formato A3, a fines de poder apreciarse con mayor detalle.

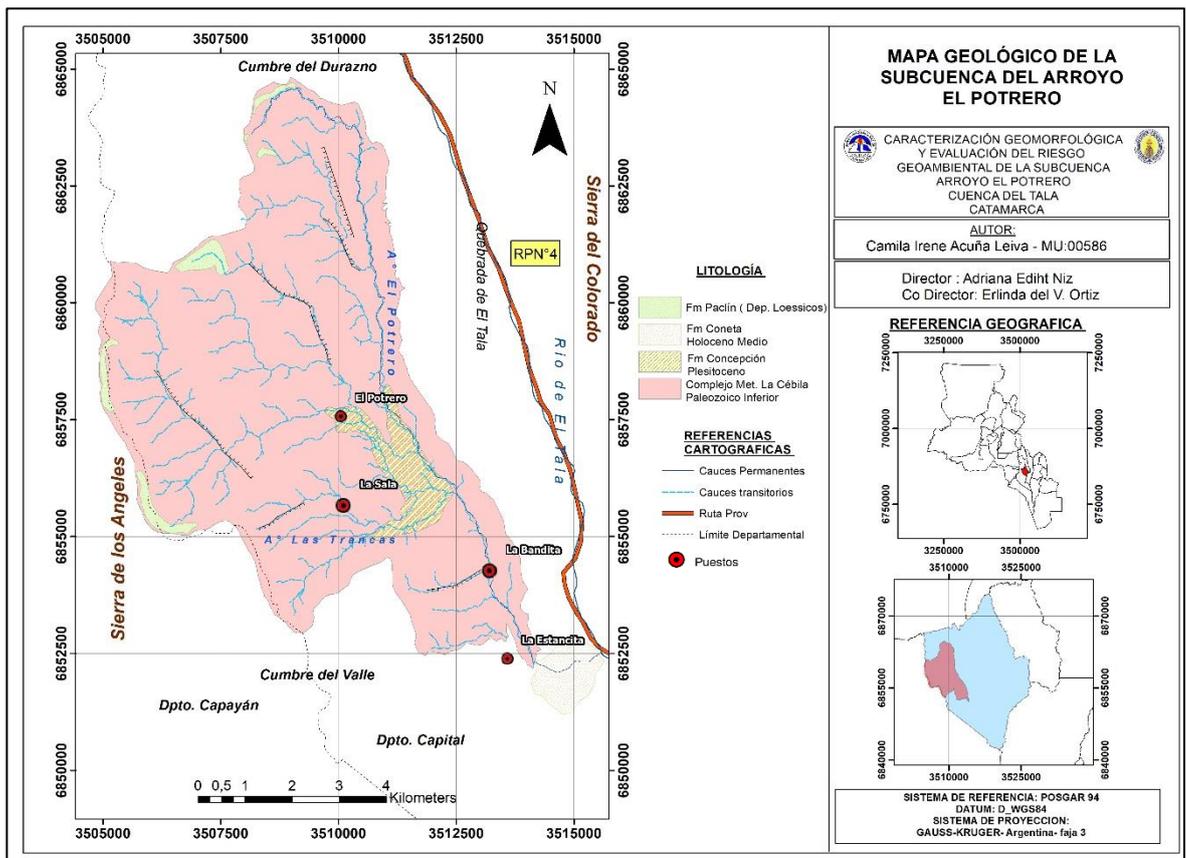


Fig. 15-Mapa geológico de la subcuenca del arroyo El Potrero

## 5.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Sierra denominada Cumbre del Durazno, donde tiene las nacientes de su cauce principal, emplazada entre las Sierras de Ambato y Sierra del Colorado. Constituye una depresión tectónica, que, en su cuenca alta, producto de la erosión, ha generado un valle aplanado en el cual se deposita material, tanto de origen fluvial como eólico transportado desde las áreas cumbrales y sector media de la cuenca.

La subcuenca alta muestra un relieve escarpado en su zona cumbre, debido a la presencia de afloramientos rocosos altamente meteorizados con depósitos de regolito en las zonas deprimidas.

Corresponde a un área potencialmente vulnerable a los riesgos geo-ambientales, ocasionados por crecidas espontáneas y temporales en las subcuencas mayores en periodos de lluvias torrenciales. Debido a las características topográficas de la cuenca alta, son muy comunes los procesos de remoción en masa, incrementados en algunos sectores de la parte baja, por la interacción con la actividad antrópica.

Las áreas cumbrales se encuentran cubiertas por depósitos loesoides (Fm Paclín), que contribuyen a la génesis de carcavamientos y deslizamientos de menor magnitud. Se encuentran fuertemente fracturadas y muestran dos juegos principales de fracturas NNO-SSE

y E-O, que comandan el drenaje. Las laderas orientales en general, presentan cabeceras de cuencas semicirculares, evidenciando cicatrices de deslizamientos

La geomorfología de la zona está dominada por procesos causados por la actividad fluvial, como también de deslizamientos de laderas ya sean de tipo seco (en los cuales ha intervenido específicamente la acción de la gravedad sobre materiales sensibles a ser transportados) y húmedo (cuando el desplazamiento de materiales esta auxiliado por la acción fluvial y pluvial). (Fig.16)

En ambas márgenes del arroyo se evidencia la presencia de terrazas poco desarrolladas, como así también, la formación de pequeños albardones en el lecho del río, que se encuentran fijados por vegetación arbustiva. En la sección media de la cuenca, la topografía disminuye considerablemente, debido a lo cual también se produce una disminución en la pendiente del cauce generando así, una modificación de diseño interno del cauce, que pasa de canal único ha anastomosado en el cauce principal.

En las laderas de algunos sectores de la cuenca se pueden observar microdeslizamientos representados por terracillas y pied de vaches, que posteriormente pueden derivar en deslizamientos de diversa magnitud, por la combinación de un periodo seco, escasa vegetación, en algunos sectores los incendios forestales, y la meteorización de las rocas aflorantes, lo cual potenciaría los procesos gravitacionales que depositarán los taludes en los afluentes del arroyo.

Aguas abajo, el cauce muestra estrechamiento a canal único, por lo que debe considerarse como un factor importante la posibilidad de acumulación de materiales en las zonas bajas de la cuenca, que, en un evento de incremento en el régimen de las precipitaciones, pueden derivar en endicamientos temporales.

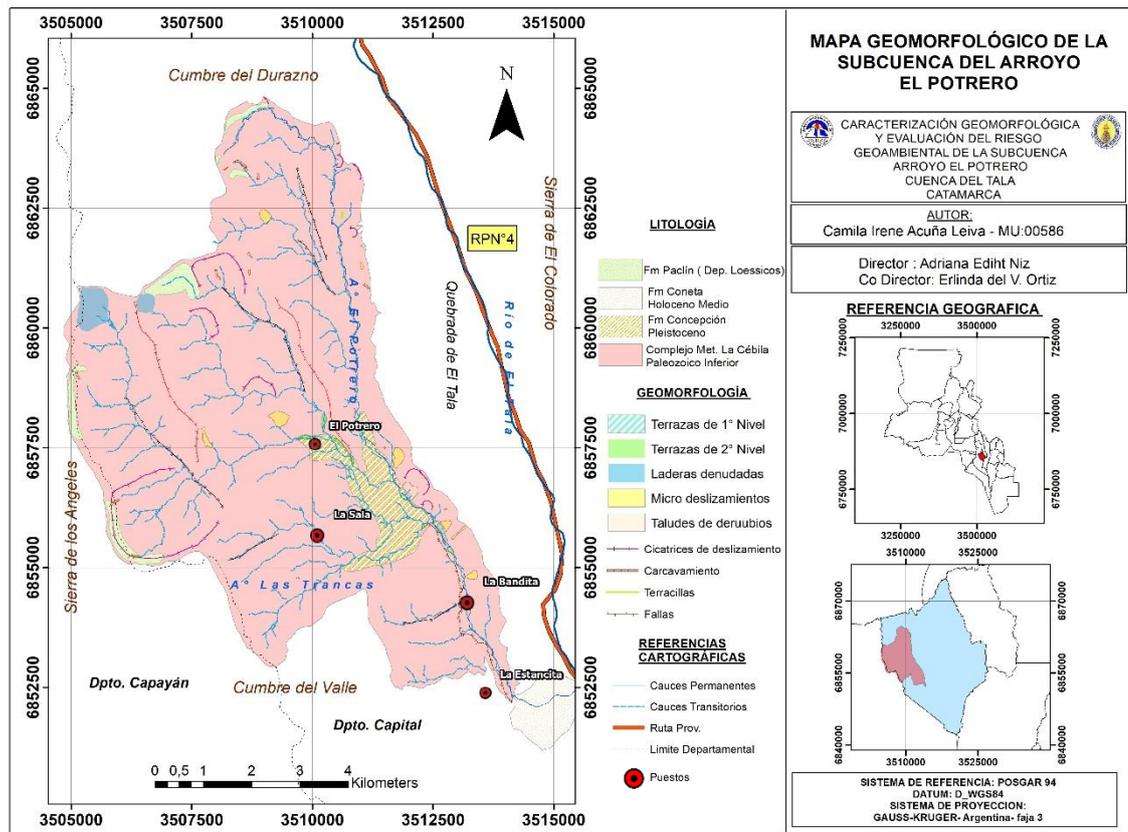


Fig.16- Mapa geomorfológico de la subcuenca del arroyo El Potrero

### 5.2.1 PROCESOS MORFOGENERADORES

Para comprender la morfología del relieve de la subcuenca del arroyo El Potrero y todos los factores que involucran estos procesos, se analizaron y vincularon entre sí, parámetros tales como: topografía, drenaje, erosión, fenómenos de remoción en masa y aspectos antrópicos, tomando en consideración solamente los procesos geomorfológicos que, tanto individualmente como en conjunto, contribuyen a la estabilidad o inestabilidad de un sector.

Se realizó a lo largo de la zona de estudio el análisis de los procesos de remoción en masa y deslizamientos de laderas y la determinación de áreas de mayor o menor vulnerabilidad ante estos; definiendo y caracterizando diferentes geoformas que manifiestan que la subcuenca es altamente vulnerable a los eventos de riesgos, debidos a causas naturales y antrópicas.

Los movimientos de las laderas se ven afectados esencialmente por el tipo de litología, donde se destaca que las áreas cumbreales se encuentran cubiertas por depósitos de tipo loessoides que operan como factor desencadenante y proporcionan inestabilidad a las laderas. La meteorización y erosión de la roca en conjunto con la estructura y la presencia de escorrentía con estaciones de caudal extraordinario, son factores aceleradores de la actividad de estos procesos.

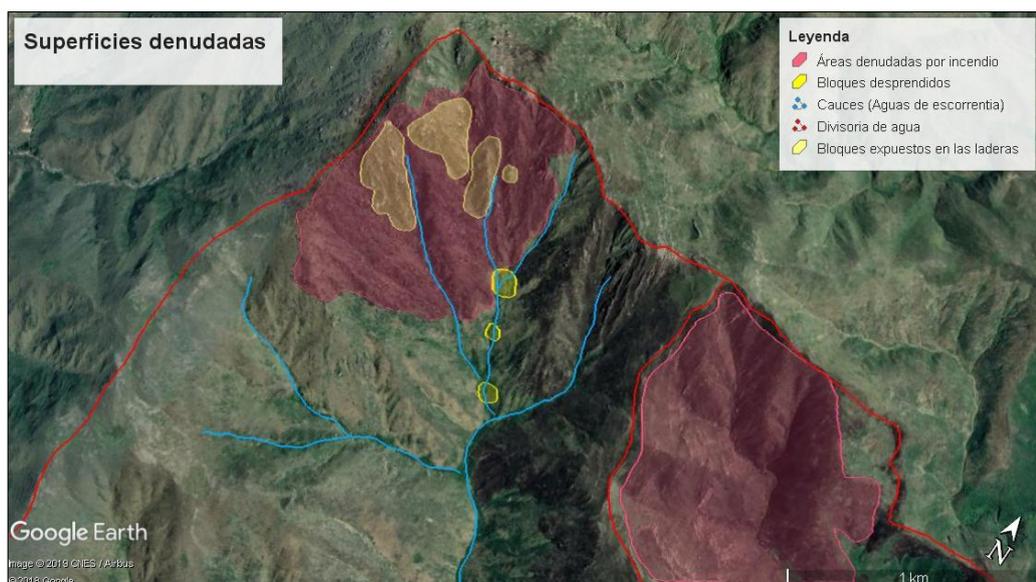
El modelado general del relieve de la cuenca, es el resultado de diversos agentes morfogenéticos y morfoestructurales que definen que definen el modelado del relieve. El agua

de escorrentía comprende diferentes procesos de erosión y desgaste, a esto debe añadirse que la cuenca presenta épocas de congelamiento- descongelamiento que acrecientan el caudal del arroyo, incrementando la acción de este agente, dejando las laderas expuestas.

**Aguas de escorrentía:** Se define como escorrentía (o escurrimiento) a la lámina de agua que circula sobre la superficie de un terreno bajo la acción de la gravedad, la escorrentía es generada principalmente por la precipitación y alimenta las corrientes superficiales, continuas o intermitentes, de una cuenca. La subcuenca del arroyo El Potrero presenta una época de congelamiento- descongelamiento debido a que los suelos de las áreas cumbreales se congelan en el periodo invernal y, posteriormente, en el verano, por las elevadas temperaturas, a capa superficial se descongela. Este fenómeno incrementa el caudal en la cuenca contribuyendo a las aguas de escorrentía que aporta a los afluentes de las microcuencas. Cuando este incremento se conjuga con lluvias torrenciales, genera un régimen extraordinario de caudal que magnifica los procesos de erosión fluvial, provocando nuevas geoformas que van modelando las laderas.

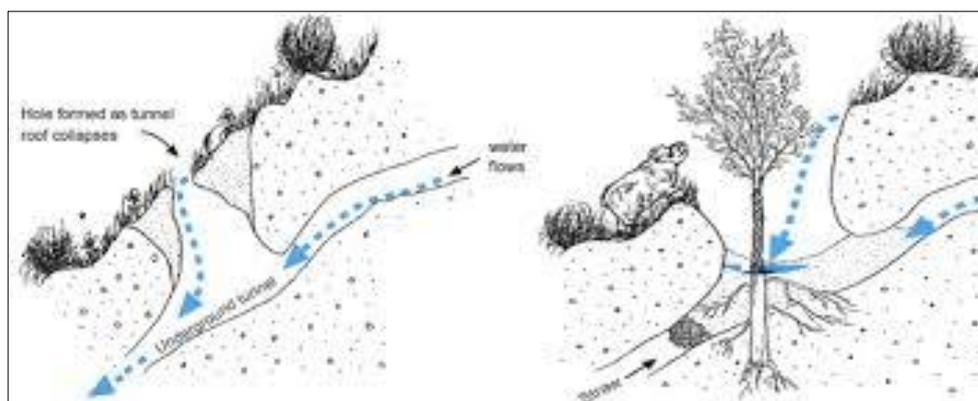
La acción de las aguas de escorrentía puede manifestarse mediante los siguientes procesos:

**Denudación:** Definida como el desprendimiento de la parte más externa de la corteza terrestre, provocada por la acción erosiva de los agentes geológicos externos, que con mayor frecuencia se observa en las laderas de las cuencas y pueden ser considerados como precursores de los flujos torrenciales. La denudación superficial arrastra el material más fino, la tierra o lodo y la arena, mientras que el más grueso queda sin desplazar y es favorecida por la falta de cubierta vegetal protectora del terreno y por la pendiente (Siegfred, 1931). En el último año las zonas cumbreales de la subcuenca se vieron afectadas por un incendio de gran magnitud, que tuvo impacto sobre la cubierta vegetal presente en las laderas, esto afectó de manera significativa la superficie ya que incrementó los procesos de erosión, al dejar desprovistas de vegetación las laderas, cuyo material expuesto contribuye para generar diversos procesos de deslizamientos. (Fig.17)



**Fig.17-** Imagen del año 2019 tomada desde Google Earth, donde se muestran las laderas expuestas por el incendio. (28°23'8.58"S, 65°56'46.45"O)

**Empipamiento:** El proceso de empipamiento (también llamado sufusión, piping o tubificación) es la primera etapa del carcavamiento, (Fig.18), se refiere a una oquedad generada por infiltración del agua, según una raíz de una planta u otra debilidad estructural del suelo, que inicia la formación de un socavamiento del terreno y puede evolucionar a cárcava. En las laderas de la subcuenca del arroyo El Potrero es muy común la generación de estos procesos. Se denomina de esta manera, ya que presenta una forma de pipa desde el inicio de la erosión hasta donde al cauce vuelve a re aparecer en la superficie.

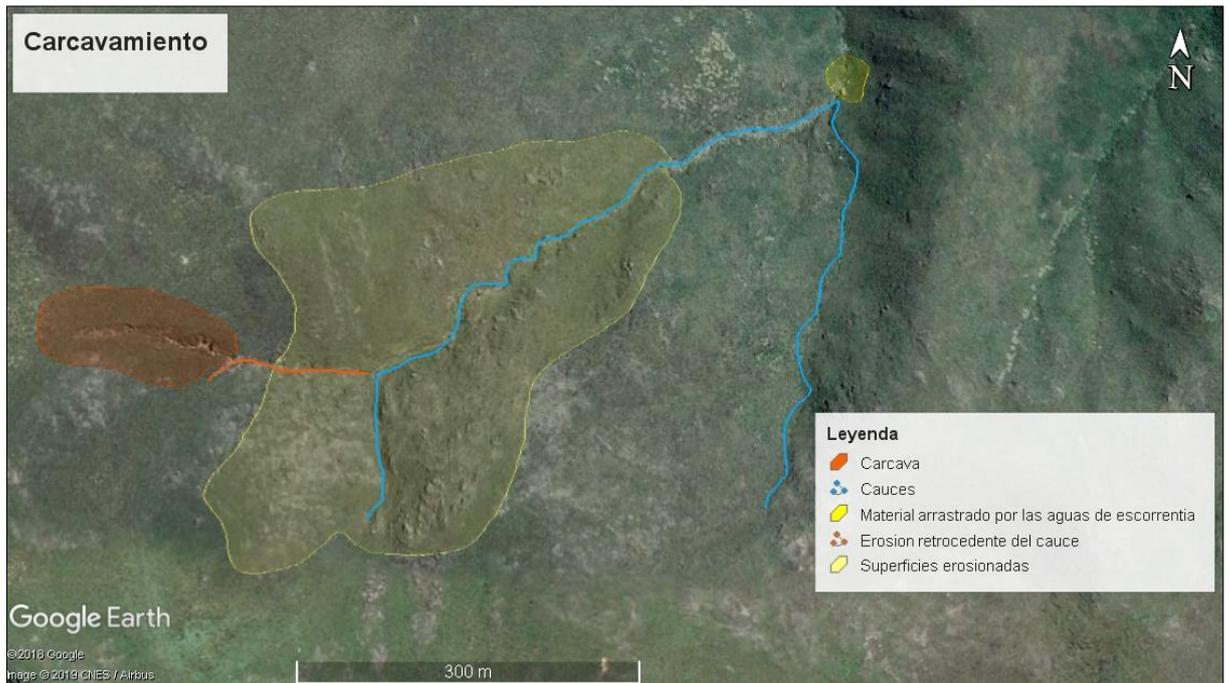


**Fig.18-** Inicio del proceso de empipamiento. Tomado de Ibáñez, 2013

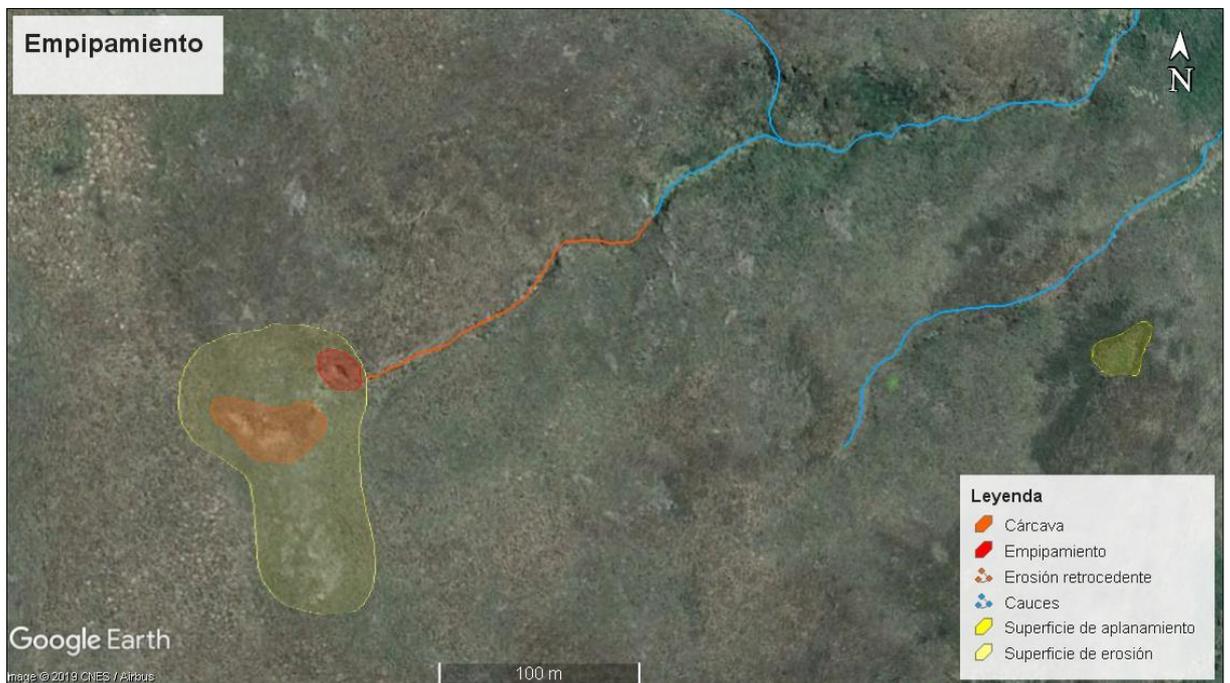
**Carcavamiento:** se definen como zanjas más o menos profundas originadas por socavamientos repetidos sobre el terreno, debido al flujo incontrolado del agua que escurre ladera abajo (agua de escorrentía) y son originados por la erosión retrocedente (o erosión en cabeceras) que producen las aguas que circulan sobre las laderas en sedimentos finos.

Sobre una ladera, las cárcavas constituyen el estado más avanzado de erosión y se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de pendiente alta que conforman el perímetro de la cárcava. Estas superficies de erosión inicialmente tienen una sección en “V” pero al encontrar un material más resistente o interceptar el nivel freático se extienden lateralmente, tomando forma en “U”. (Fig.19)

Este proceso se repite en mayoría de las laderas de la cuenca, en los sectores donde dominan los depósitos sedimentarios finos, presentando un proceso similar de erosión y carcavamiento. Por una cuestión de escala en el mapa, el tamaño de estas geoformas no se aprecia con claridad, por lo que se las describen a una escala de mayor detalle en el informe.



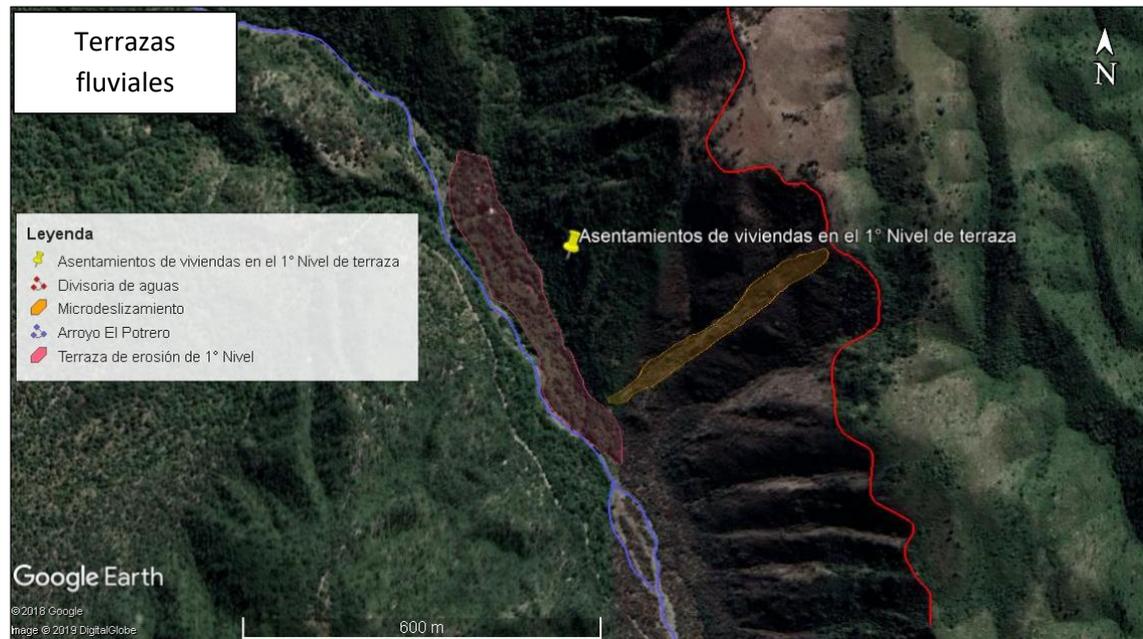
**Fig.19-** Erosión retrocedente, donde se puede observar el carcavamiento en las laderas. (28°26'8.49"S, 65°56'7.95"O)



**Fig.20-**Proceso de empipamiento en superficies de carcavamiento. (28°25'27.30"S, 65°56'17.52"O)

## 5.2.2 GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL

**Terrazas fluviales:** Las terrazas corresponden a una superficie erosional, excavada sobre depósitos aluviales. Una terraza corresponde a una antigua llanura de inundación, es una forma del relieve.

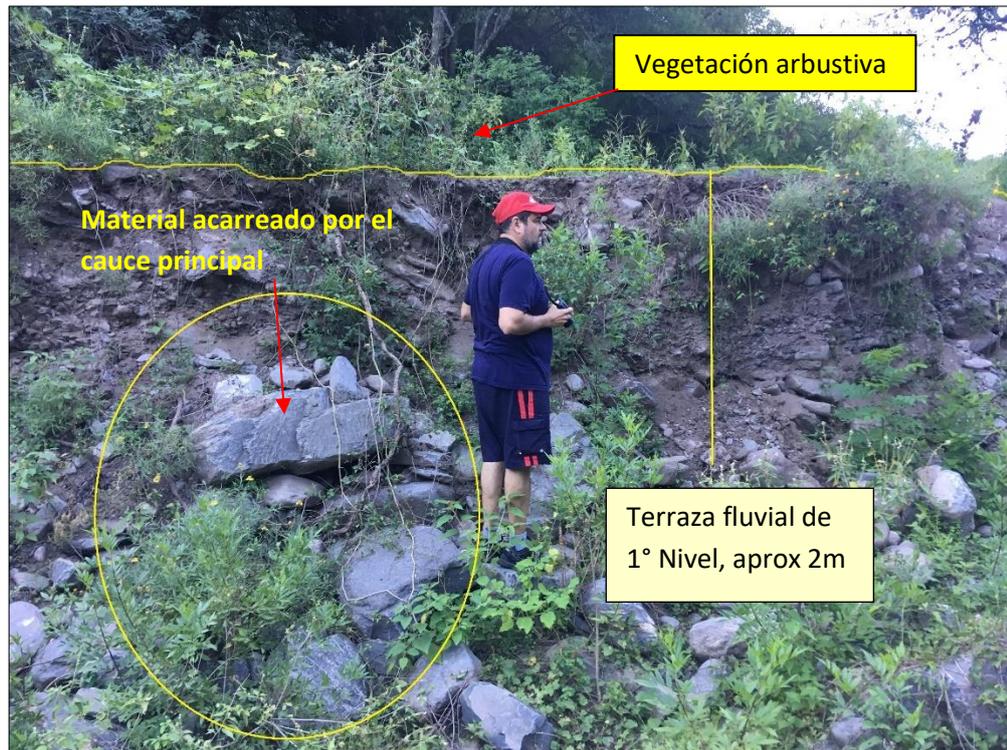


**Fig.21-** Primer nivel de terrazas en la cuenca baja del arroyo El Potrero, donde se observan algunas viviendas. (28°25'52.07"S, 65°52'0.59"O)

Se observa un único nivel de terraza en la cuenca baja (Fig.21) donde se asientan algunos puestos, y se utilizaron algunas áreas para la práctica del cultivo. Los puestos se encuentran en la margen oriental del arroyo y aprovechan el recurso para el riego de los cultivos. La formación de las terrazas va ligada a la alternancia entre períodos de depositación y períodos de erosión. En el área de estudio el primer nivel de terraza identificado es resultado de la depositación del material transportado por el cauce principal y sobre la cual se han edificado las viviendas.

En la margen oriental del arroyo el potrero se pueden observar terrazas fluviales que alcanzan una altura de aproximadamente dos metros. (Fig.22) El tamaño del material que transporto el río, evidencia un régimen de alta energía y poder de erosión alto, ya que se encuentran sectores en los que depositó clastos de hasta 2.00 m y en algunos casos arranco la vegetación de las márgenes.

La altura de las terrazas no es continua, a medida que se avanza aguas arriba se incrementa su potencia, también se encuentran terrazas de menor potencia (0.50 m.), en las inmediaciones del puesto La Bandita, que corresponde con las terrazas fluviales donde se encuentran asentadas las viviendas. (Fig.23)



**Fig.22** – Terraza fluvial de 1° nivel en la margen oriental del arroyo El Potrero



**Fig.23** – Terrazas fluviales de menor altura, correspondientes a los asentamientos de las viviendas del sector de La Bandita

Se observan sectores donde el cauce ocasionó erosión lateral, provocando inestabilidad en las terrazas, dejando expuestas raíces de la vegetación que se encuentra asentada en las mismas. (Fig.24)



**Fig.24-** Terrazas fluviales expuestas a erosión lateral del cauce principal

En la sección media de la cuenca, en las inmediaciones del puesto de Las Trancas, se pueden distinguir dos niveles de terrazas, donde se aprovecha para el asentamiento de las viviendas en el primero y un segundo nivel utilizado como terrazas de cultivo (Fig.25)



**Fig.25-** Dos niveles de terrazas en la sección media de la cuenca en el puesto Las Trancas (28°24'42.92"S, 65°53'49.76"O)

### 5.2.3 GEOFORMAS GRAVITACIONALES

En las laderas de los interfluvios ocurren procesos derivados exclusivamente de la gravedad (movimientos en seco) y procesos gravitacionales auxiliados por la acción de las aguas pluviales que embeben las rocas (movimientos en húmedo).

Dependiendo de su morfografía y su litológica, que condiciona su estructura, las laderas reaccionan de diversa forma ante la gravedad. Estas se encuentran afectadas por dos componentes: el componente vertical, asociado a energía cinética y acciones de erosión, y el componente horizontal asociado a energía potencial y acciones de transporte y sedimentación.

Los materiales que resultan de la meteorización de las rocas están sometidos a la acción de la gravedad por lo que hay una tendencia a que se deslicen hacia lugares más bajos. En las laderas pueden ocurrir movimientos casi imperceptibles o bien, movimientos descendentes de mayor magnitud que desplazan un volumen considerable de materiales.

En el área de estudio las áreas cumbreales se encuentran cubiertas por depósitos loesoides, que contribuyen a la formación de carcavamientos y deslizamientos de menor magnitud. Se encuentran fuertemente fracturadas y presentan dos juegos principales de fracturas con rumbo NNO-SSE y E-O, las que comandan el drenaje. Las laderas orientales en general, presentan cabeceras de cuencas semicirculares, evidenciando cicatrices de deslizamientos.

Estos procesos, como se dijo anteriormente, actúan en mayor proporción del lado oriental de las laderas, allí se observan taludes abruptos donde existen cicatrices de deslizamientos de gran porte, que en muchas ocasiones son generadoras de depósitos de materiales y acumulación en las zonas pedomontanas cercanas al área de aporte del arroyo.

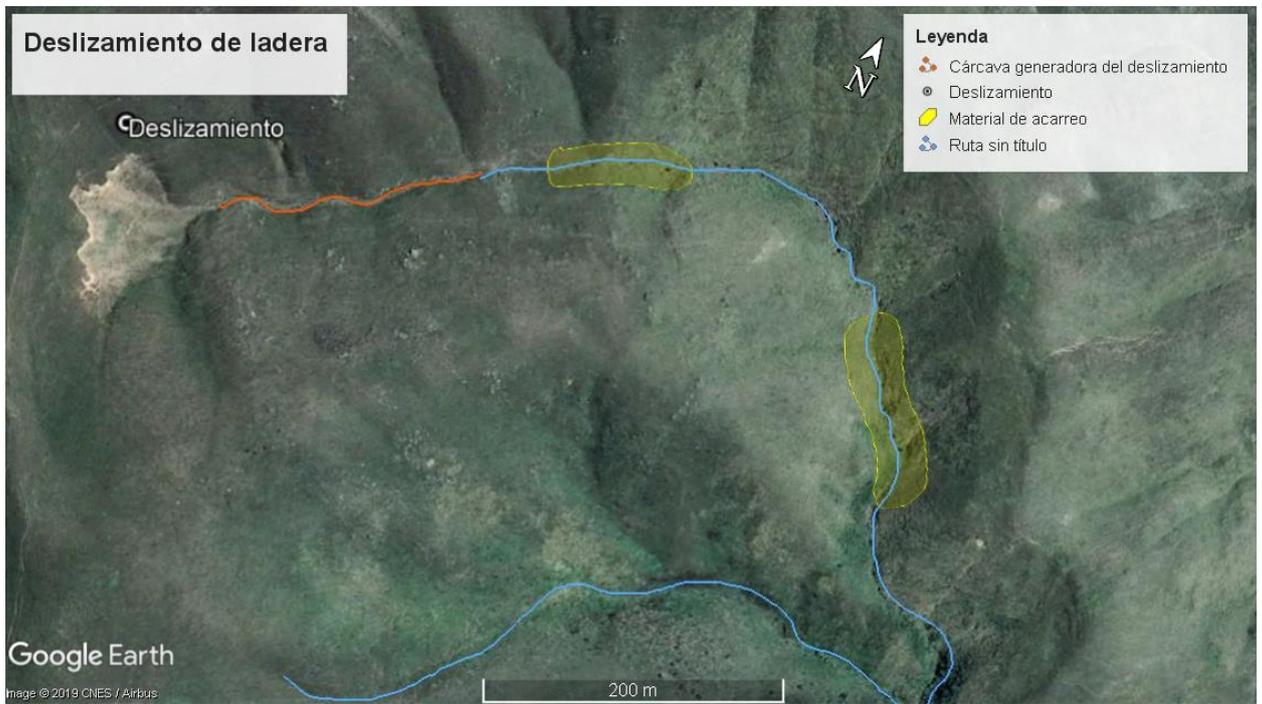
En algunos sectores, el arroyo acarrió los sedimentos producto de estos deslizamientos. En cicatrices antiguas se puede observar que el material resultante de los desprendimientos de tierra en esa zona, perduran al pie de la sierra.

En la subcuenca del arroyo El Potrero se distinguieron diferentes geoformas vinculadas a los procesos de remoción en masa que algunas veces terminan en deslizamientos de laderas.

#### 5.2.3.1 DESLIZAMIENTOS DE LADERAS

En la sección de la cuenca alta se identificaron diversos deslizamientos (Fig.26), que fueron originados a partir de carcavamientos que actuaron como desencadenantes del colapso del material, como se mencionó anteriormente un factor que se suma a la generación de estas geoformas son los depósitos loessicos presentes en las áreas cumbreales.

Se puede observar que el material producto de deslizamiento ha sido transportado laderas abajo (Fig.27). Como resultado de la acción del proceso de movimiento de suelos en laderas (remoción en masa), se generan geoformas características; por un lado, las debidas a movimientos lentos (reptación) tales como: microdeslizamientos evidenciados por terracillas, pied de vaches (pie de vaca); y los resultantes de movimientos rápidos, como: las cicatrices de deslizamiento, taludes de derrubios o de detritos, superficies de aplanamiento.



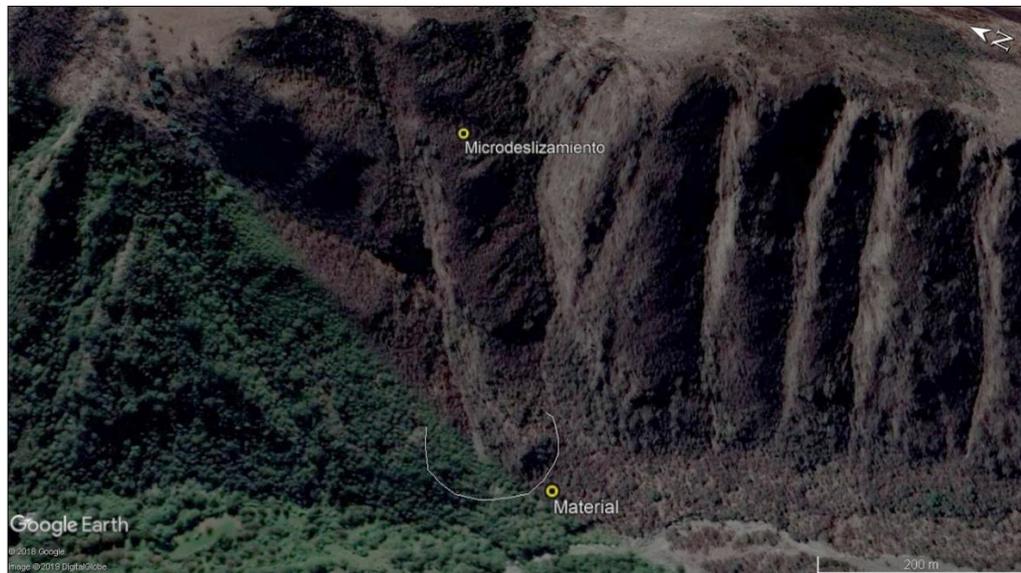
**Fig.26-** Deslizamiento de laderas ubicado en la cuenca alta del arroyo El potrero. ( $28^{\circ}21'47.73''S$ ,  $65^{\circ}55'1.12''O$ )



**Fig.27-** Material producto de los microdeslizamientos de las laderas

### 5.2.3.2 MICRO DESLIZAMIENTOS

Se realizó un análisis de las geoformas presentes a lo largo del tramo del cauce principal, donde se identificaron sectores sujetos a pequeños deslizamientos de laderas (Fig.28).



**Fig.28-** *Microdeslizamientos identificado en la ladera oriental de la cuenca, que se presentan de forma más abrupta*

Estos microdeslizamientos se encuentran generalmente en las zonas de la cuenca baja, donde las laderas muestran una pendiente abrupta, combinadas con un juego de fracturas que potencian la inestabilidad de las mismas.

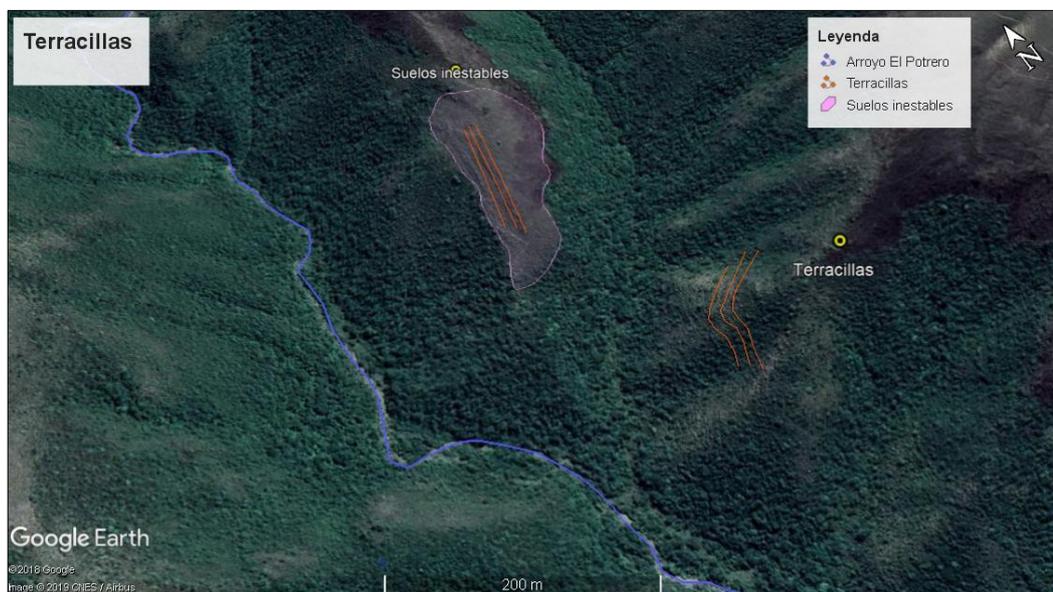
La reptación es un movimiento muy lento que se da en capas superiores de laderas arcillo-limosas, está relacionado con procesos de variación de humedad estacionales en el suelo, ya que el agua favorece este fenómeno actuando como lubricante además del incremento del peso resultante. A menudo la reptación no es el único proceso que ocasiona la inestabilidad de las pendientes.

La reptación es un fenómeno típico de meteorización ya que los materiales involucrados suelen alterarse in situ o con un ligero desplazamiento por gravedad. Sin embargo, también puede desencadenar procesos erosivos en pendiente, en algunos casos, puede llegar a ser muy violento y hasta catastrófico, formando grandes deslaves o procesos aluvionales.

En el proceso de reptación se manifiestan pequeñas ondulaciones, una especie de pequeñas terracillas, y suelen ser signo de una posible futura inestabilidad. Esto se debe a que las superficies de las laderas en el área de estudio se encuentran cubiertas por loes, el cual al hidratarse forma un lodo más o menos fluido, generando variaciones en la humedad de los suelos, que se ve afectada por los fenómenos de congelamiento- descongelamiento en las zonas cumbreales denominada crioturación, lo que aporta mayor humedad en los suelos finos y un aumento del peso de los mismo, dejando estas superficies propensas a procesos de reptación.

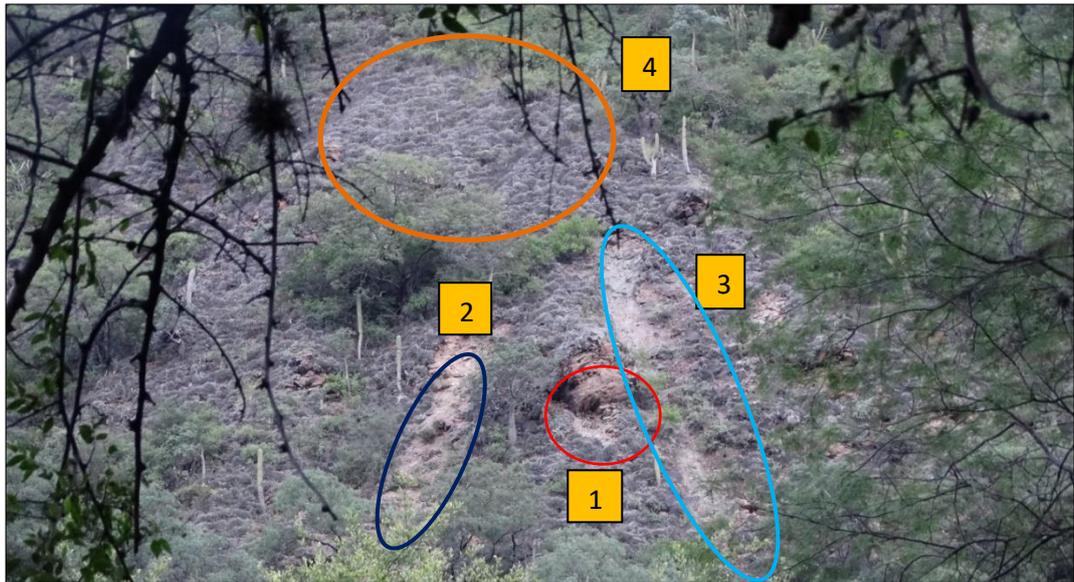
La manifestación de los movimientos lentos se da de dos formas principales: las terracillas y los pie de vaches, las terracillas se producen por un desplazamiento escalonado del material suelto de la superficie de la ladera, siguiendo líneas de debilidad estructural del suelo, generando un aspecto exterior de terrazas sucesivas; en las pie de vaches, el desplazamiento se produce según matas de vegetación, por lo que el aspecto que se observa superficialmente es un diseño de panal de abeja.

Ambas, terracillas (Fig.29) y pie de vaches (Fig.30) se encuentran en los sectores de las laderas orientales, y en algunos sectores, el material fino y la acción de las aguas de escorrentía no es el único factor que actúa en la inestabilidad de los suelos, sino que también interviene el factor antrópico, debido a que son áreas que están destinadas al pastoreo de ganado, el mismo genera perturbación en la estabilidad de los suelos y se debe considerar como un factor importante de la inestabilidad de laderas.



**Fig.29-** Terracillas en las laderas orientales de las márgenes del arroyo El Potrero. (28°22'14.53"S, 65°53'18.77"O)

Se puede observar que se presentan microdeslizamientos en las laderas orientales (Fig.30), el sector donde se identificaron estos se ubica en las laderas circundantes al emplazamiento de las construcciones de los puestos, aumentando la vulnerabilidad frente a estos procesos. En esta zona hay evidencias de deslizamientos en seco que transportó un importante volumen de material hacia las partes más bajas.



**Fig.30-** Microdeslizamientos presentes en el sector de la cuenca baja del arroyo El Potrero. 1-roca desnuda debido al desprendimiento, 2: material de deslizamiento, 3 deslizamiento por transporte del material de los microdeslizamientos, 4 pied de vaches o pié de vaca

### 5.2.3.3 CICATRICES DE DESLIZAMIENTO

Las cicatrices de deslizamientos, se muestran como lineamientos semicirculares, donde existe inestabilidad de los materiales expuesto, muchas veces indican el comienzo de los procesos de deslizamientos. En algunos casos las cicatrices se muestran activas lo que implica que los materiales más inconsistentes presentes en las laderas están sujetos a desprendimiento, que incluso podría afectar completamente el frente expuesto. En otros casos se presentan cicatrices de deslizamiento antiguas perteneciente a algún evento anterior donde ya ceso su actividad, a veces son removidas dando lugar a un nuevo deslizamiento.

De acuerdo con estas características se pueden clasificar en cicatrices de deslizamiento activas que hacen referencia a eventos en desarrollo y cicatrices de deslizamiento parcialmente inactivas que corresponden a eventos finalizados. Las parcialmente inactivas no quedan del todo exentas ya que pueden ser reactivadas por una variación de alguno de los factores disparadores, incrementando los volúmenes del material a ser removido en algunos casos.

Las cicatrices de deslizamiento están presentes en la totalidad del área que ocupa la cuenca, encontrándose zonas donde hay mayor densidad de estas cicatrices. Como se mencionó en el párrafo anterior, se observan cicatrices activas en los sectores de la cuenca alta (Fig.31), las cicatrices demuestran debilidades en las áreas cumbreles de las laderas, donde se puede observar que el proceso de remoción se está desarrollando.



**Fig.31-** Cicatriz de deslizamiento activa ubicada en la cuenca alta del arroyo El Potrero. (28°24'10.82"S, 65°55'53.43"O)

En la sección media de la cuenca se pueden identificar cicatrices de deslizamientos que se encuentran inactivas, el proceso de remoción ha cesado y quedaron cubiertas por vegetación que fijo los materiales, proporcionándoles una mayor estabilidad. (Fig.32), aunque de igual manera esas cabeceras están expuestas a erosión generadas por el agua de escorrentía, que aporta humedad al sustrato rocoso y pueden afectarlos incrementando su inestabilidad frente a los procesos gravitacionales.



**Fig.32-** Cicatriz de deslizamiento parcialmente inactiva en la sección media de la cuenca, fijada por la vegetación. (28°24'37.40"S, 65°54'25.01"O)

#### 5.2.3.4 TALUDES DE DERRUBIOS O DE DETRITOS

Como resultado del desplazamiento de los sedimentos de diversos tamaños, desde bloque a limos y arcillas, se produce la acumulación al pie de ladera, generando taludes de derrubios o de detritos que se caracterizan por poseer material sin selección, angulosos, con una matriz que varía según el origen de mismo, por lo que puede ser de tamaño de grano muy fino o de guijarros, y su proporción también es variable, pudiendo ser preponderante o escasa.

#### 5.2.3.5 SUPERFICIES DE APLANAMIENTO

Son originadas por procesos de erosión combinada del viento y el agua, a veces también por criofracción, cuya actividad conjunta da origen a un proceso denudativo que erosiona la superficie aplanándola. En la zona de estudio estas superficies están presentes (Fig.33) y son indicios de inestabilidad, donde la cubierta vegetal ha sido removida, quedando expuestos a procesos gravitacionales.



**Fig.33-** Superficies de aplanamiento resultado de procesos de erosión fluvial. (28°22'49.88"S, 65°53'15.56"O)

#### 5.2.4 INDICADORES DE AREAS AFECTADAS POR PROCESOS DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS

En base a la recolección de datos en campo, se identificaron en la zona de estudio indicadores que demuestran que las laderas son propensas a fenómenos de remoción en masa. Para el área se observaron árboles mostrando la curvatura de los troncos debida a la reptación del suelo por la inclinación de la ladera. (Fig.34)

En otros sectores se identificaron zonas en donde la vegetación fue arrancada totalmente junto con el volumen de material circundante (Fig.35), se puede inferir que estos procesos fueron el resultado de caídas gravitacionales en seco, con dominio de la acción de la gravedad ya que los depósitos no se deslizaron en forma de flujos, si no en respuesta a la inestabilidad del terreno provocando caídas repentinas



**Fig.34-** *Evidencia de procesos de reptación, se observan arboles inclinados como indicador de estos fenómenos*



**Fig.35-** *Deslizamiento de ladera identificado indicando la dirección que siguió el material arrastrado*

En el sector de la cuenca baja, en las laderas que se encuentran al costado de la vieja Ruta Provincial 241, (un camino consolidado, que se había trazado para comunicar de forma más directa la Capital con la localidad de Los Ángeles, en el departamento Capayán), se relevaron algunos movimientos de material resultado de pequeños deslizamientos que se encuentran próximos al camino (Fig.36). Se debe prestar atención a estos movimientos de tierra ya que, actualmente la senda es utilizada por los habitantes de la zona como un medio de conexión con los puestos, por deportistas y habitantes del nuevo barrio residencial como un lugar de interés paisajístico para actividades de tracking y mountainbike.

Son sectores en los que predominan procesos de meteorización física que fracturaron el material y lo desprendieron del sustrato rocoso, además, otro factor a tener en cuenta es la estructura propia del macizo, donde los planos de foliación representan las líneas de debilidad de la masa rocosa, este conjunto de factores contribuye dejando mayores volúmenes de material expuestos al arrastre.



**Fig.36-** *Deslizamientos de tierra próximos a la huella del camino con el material removido*

En otros sectores se han identificado avenidas de escurrimiento (Fig.37) drenan directamente hacia la senda, donde deposita todo el material que acarrea. El agua de escurrimiento se mezcla con el material formando un lodo que baja por estas avenidas naturales llevando a su paso mayor cantidad de detritos.

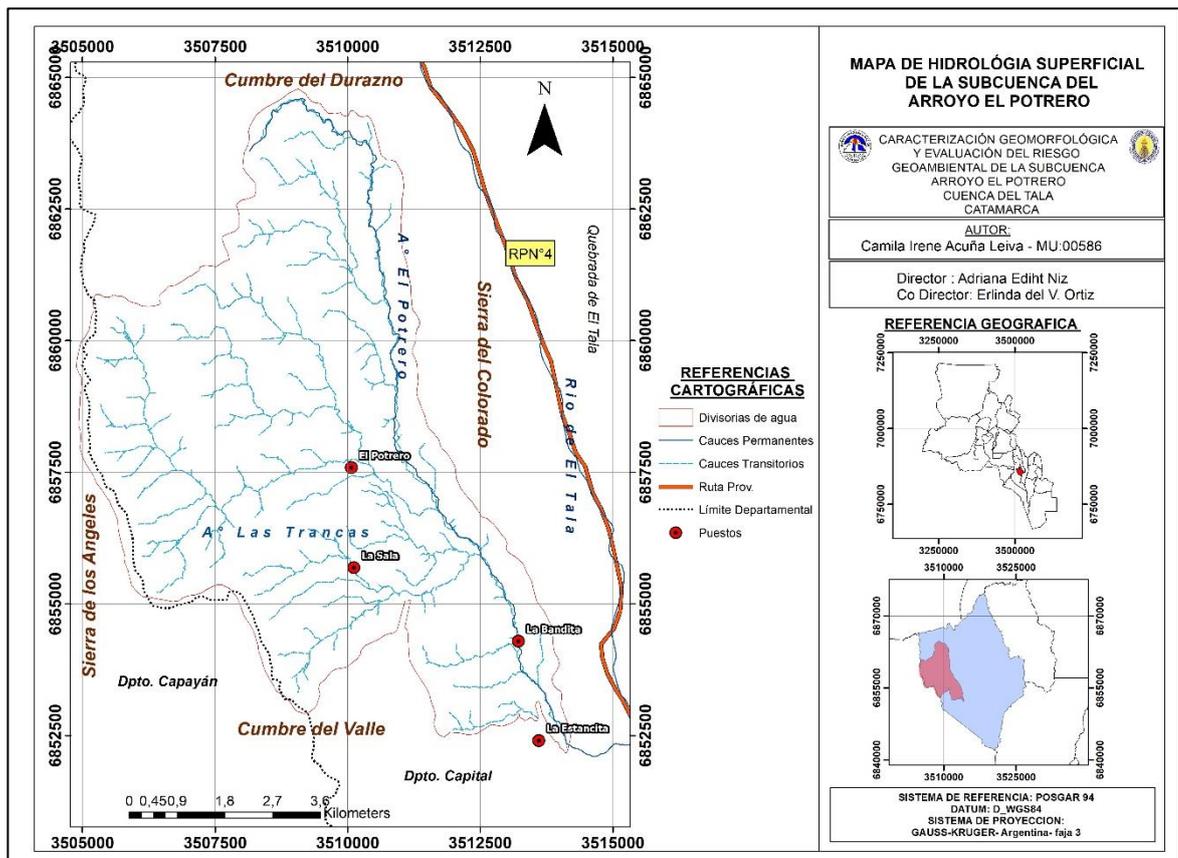


**Fig.37-** Avenidas naturales de crecidas en las laderas próximas al camino, también se observa el tipo y el tamaño de material que transporta

### 5.3 HIDROGRAFÍA SUPERFICIAL

El arroyo el potrero tiene sus nacientes en el sector N de la Cumbre del Durazno, donde tiene un recorrido en sentido N-S, y a su vez recibe aporte de varios tributarios que contribuyen con la definición de la red de drenaje. Constituye un afluente importante para la cuenca baja del río de El Tala. Los principales afluentes del arroyo El Potrero escurren en sentido O-E y son conformados por el arroyo Las Trancas y el tributario que desciende desde el puesto El Potrero, los cuales fluyen al cauce principal. (Fig.38)

El mapa de hidrología superficial del área de estudio se encuentra en el capítulo de ANEXO, formato A3, a fines de poder apreciarse con mayor detalle.

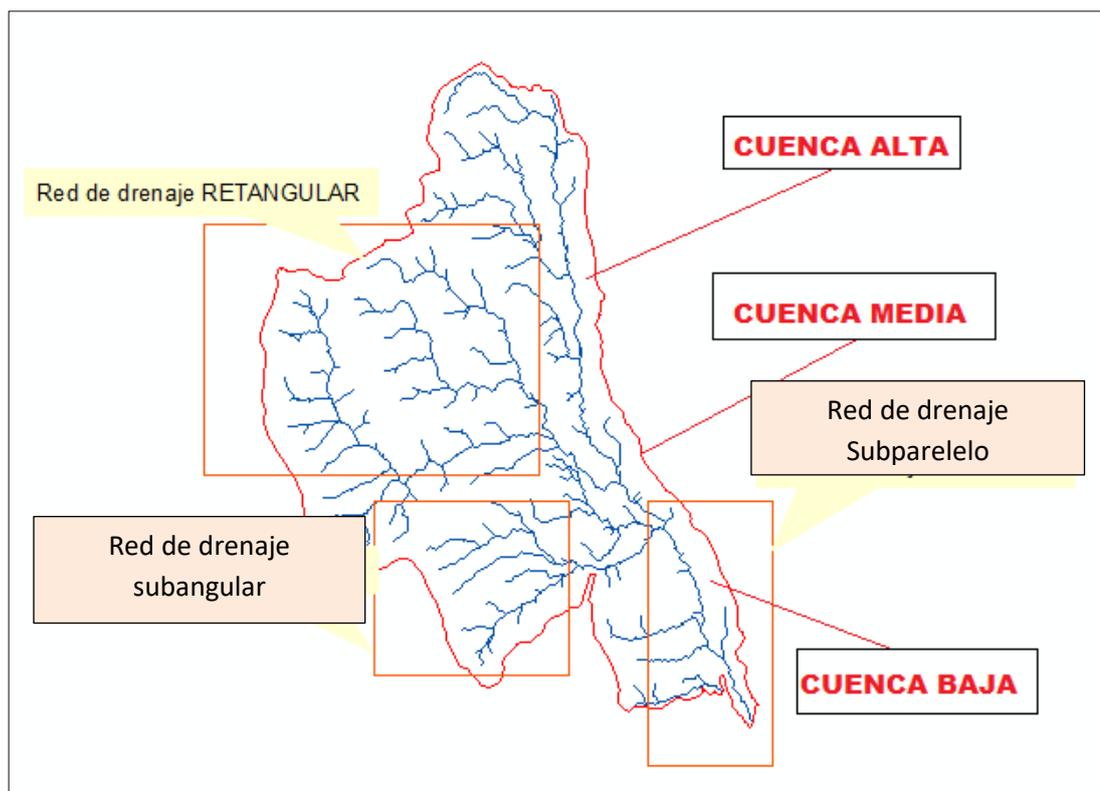


**Fig.38-** Mapa de hidrología superficial de la subcuenca del arroyo El Potrero

Debido a la litología y la geología presente en el área, el diseño de drenaje está fuertemente controlado por la estructura. En la zona de la cuenca alta este dibuja un diseño rectangular que se puede observar con claridad en la distribución de los cauces.

En el sector de la cuenca media el material litológico, cambia a depósitos fluviales acumulados en un valle longitudinal, donde el diseño de la red fluvial es de tipo subangular.

Por último, en el sector de la cuenca baja, el diseño de drenaje del cauce es propio de encajonamiento, drenando como canal único encajonado entre las laderas, formando un estrechamiento. (Fig.39)



**Fig.39-** *Diseño de drenaje para cada sección de la subcuenca hidrográfica del arroyo El Potrero*

#### 5.4 MICROCUENCAS DE LA SUBCUENCA DEL ARROYO EL POTRERO

El cauce principal de la subcuenca del arroyo se encuentra recargado por los afluentes provenientes de tres microcuencas que le aportan el caudal (Fig.41). Como se mencionó anteriormente, el diseño de la red de drenaje se presenta de manera diferente, como así también cada una de las microcuencas poseen una morfología del relieve diferente.

Para la delimitación de las microcuencas que componen la subcuenca del arroyo El Potrero se utilizó el DEM (Modelo de Elevación Digital) de la zona, proporcionado por la base de datos que conecta con estos modelos en el software de aplicación Global Mapper, donde se procesó el modelo. El software proporciona herramientas de análisis que permiten la delimitación de subcuencas y microcuencas inmersas en una cuenca de mayor jerarquía, tomando como base el punto donde el cauce principal desagota. Para el caso de la subcuenca del arroyo El Potrero se estableció la subdivisión de 3 microcuencas, de acuerdo a los datos de alturas proporcionados por el DEM y la distribución de los tributarios que drenan a la cuenca.

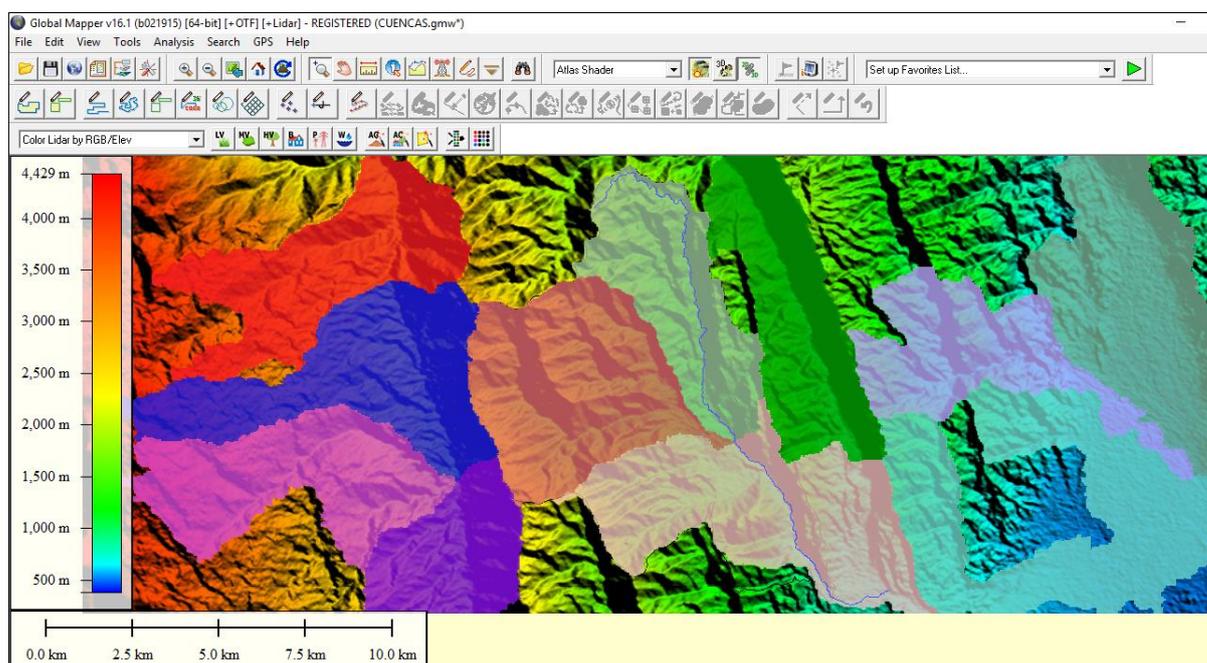
Para este informe se realizó la comparación de datos de procesamiento obtenidos mediante dos softwares diferentes, como lo son Global Mapper y Google Earth Pro, para establecer una correlación entre el grado de precisión y el margen de error al que están sujetos estos programas que se basan en cálculos tomados a partir de la morfología del terreno representado y considerando la componente de elevación.

Mediante el procesamiento en Global Mapper se establecieron 3 microcuencas para la zona de estudio, las cuales fueron analizadas y digitalizadas en Google Earth Pro teniendo como referencia las divisorias de agua que definen los límites de cada microcuenca como así también los tributarios que integran el sistema de drenaje interno.

Se identificó con la numeración 1,2 y 3 a cada microcuenca y se analizaron las características más relevantes de cada una.

Como el resultado final de la representación de las microcuencas y basado en la comparación de datos de dos softwares, se encontraron discrepancias en algunos parámetros que se muestran a continuación.

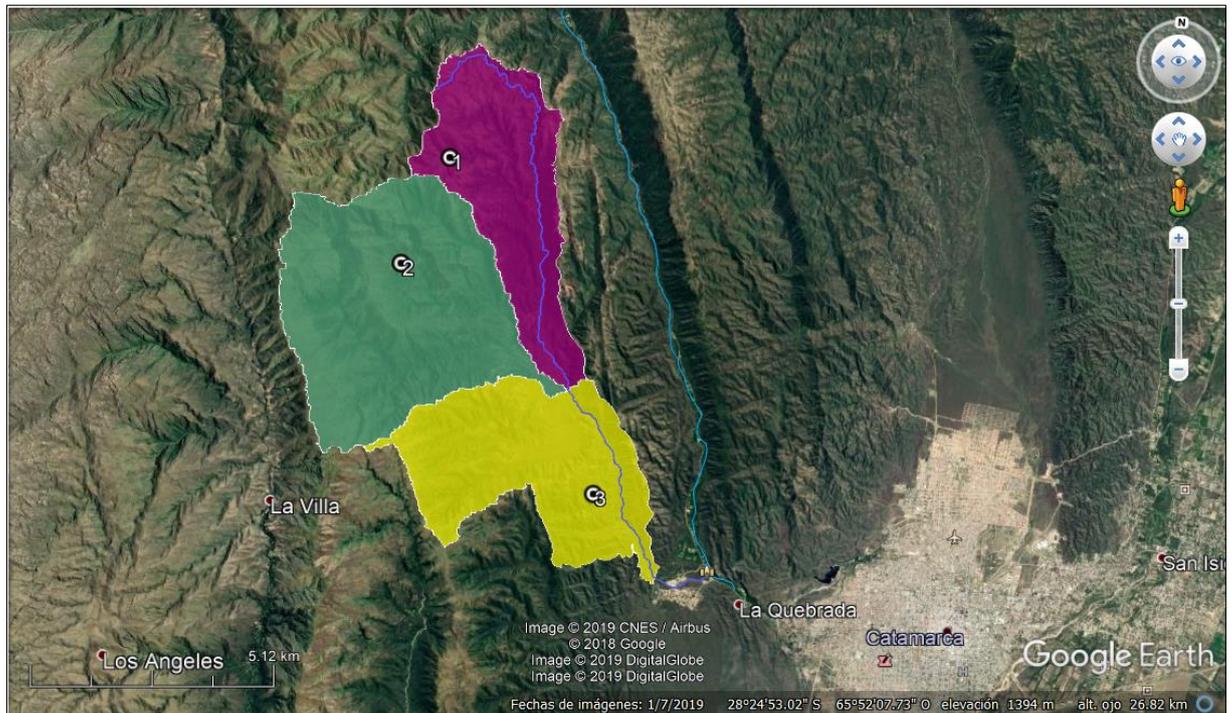
El software Global Mapper delimitó las microcuencas de acuerdo a una codificación en donde se dibujaban las microcuencas correspondientes a cauces con un orden de jerarquía de 5, como es el caso de la subcuenca del arroyo El Potrero. Se puede observar que el software abarco todas las zonas que tenían coincidencia con la condición que se especificó anteriormente, ocupando áreas que se encuentran fuera de los límites definidos para la subcuenca que delimitamos previamente (Fig.40). Este tipo de error produce una variación en la sumatoria de las áreas ocupadas dentro de la subcuenca, que luego puede generar una discordancia a la hora de relacionar estos valores con los parámetros morfométricos de la cuenca.



**Fig.40-** Microcuencas delimitadas mediante el uso del software Global Mapper

La metodología de análisis de Google Earth es diferente, ya que proporciona un compilado de imágenes satelitales de detalle, que permiten una visualización rápida y sumamente detallada de la morfología del terreno. Para definir las microcuencas se realizó un estudio de detalle de cada una de las divisorias de agua que establecen la división de cada microcuenca y define la distribución de los cauces tributarios y su descarga dentro de la misma, estableciendo la

subdivisión de 3 microcuencas (Fig.41), que concuerdan con el resultado obtenido mediante el procesamiento en Global Mapper, pero que presenta algunos errores en la definición de los límites en dos de las subcuencas. Es necesario hacer hincapié que a la hora de digitalizar con base en imágenes satelitales el criterio de interpretación de cada persona es un elemento clave a la hora de realizar estos análisis.



**Fig.41-** División de las microcuencas que integran la subcuenca del arroyo El Potrero, obtenidas con el software Google Earth Pro

Como se describió anteriormente ambos softwares mostraron resultados diferentes que se ven reflejados en el cierre de los límites de dos microcuencas en el área de estudio, que corresponden a la microcuenca 1 (Fig.42) para la cual Global Mapper dio como resultado un área de 28 km<sup>2</sup> aproximadamente, debido a que, toma una pequeña sección de la cuenca vecina del río de El Tala que no corresponde con el límite del polígono. El mismo fue delimitado en Google Earth Pro, dando como resultado un área de aproximadamente 15 km<sup>2</sup> (Fig.43), el cual fue analizado detalladamente a fines de obtener el polígono más exacto. De igual manera fueron obtenidos los valores para la microcuenca N°3, que dio un valor de 29 km<sup>2</sup> (Fig.44) en Global Mapper, incorporando una porción de área correspondiente a los depósitos fluviales emplazados a la salida del cauce, el resultado del mismo fue corregido y calculado dentro de los límites correspondientes de la microcuenca, alcanzando un resultado de 19 km<sup>2</sup> (Fig.45) debido a que el primer software que toma valores condicionados abarco polígonos que excedían de los límites de la cuenca. Presentaron similitud en los valores de áreas para la microcuenca N°2 donde el polígono de la superficie y sus valores fueron tomados de manera correcta dentro de los límites definidos

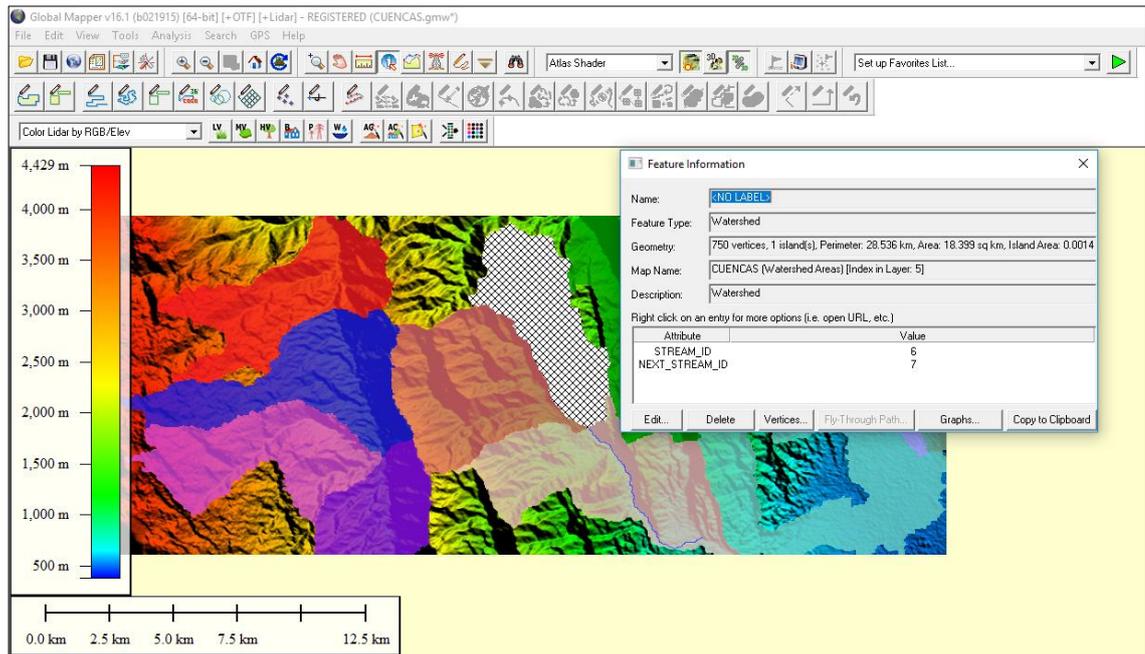


Fig.42- Polígono del área de la microcuenca N°1, definido en Global Mapper

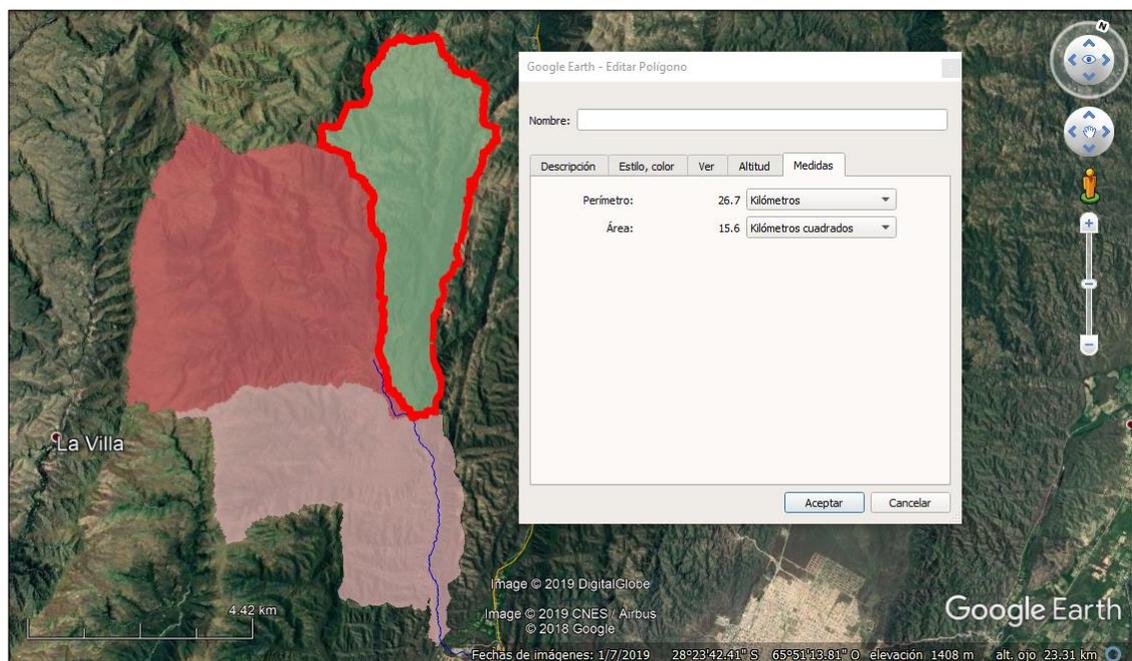


Fig.43- Polígono del área de la microcuenca N°1, definido en Google Earth Pro

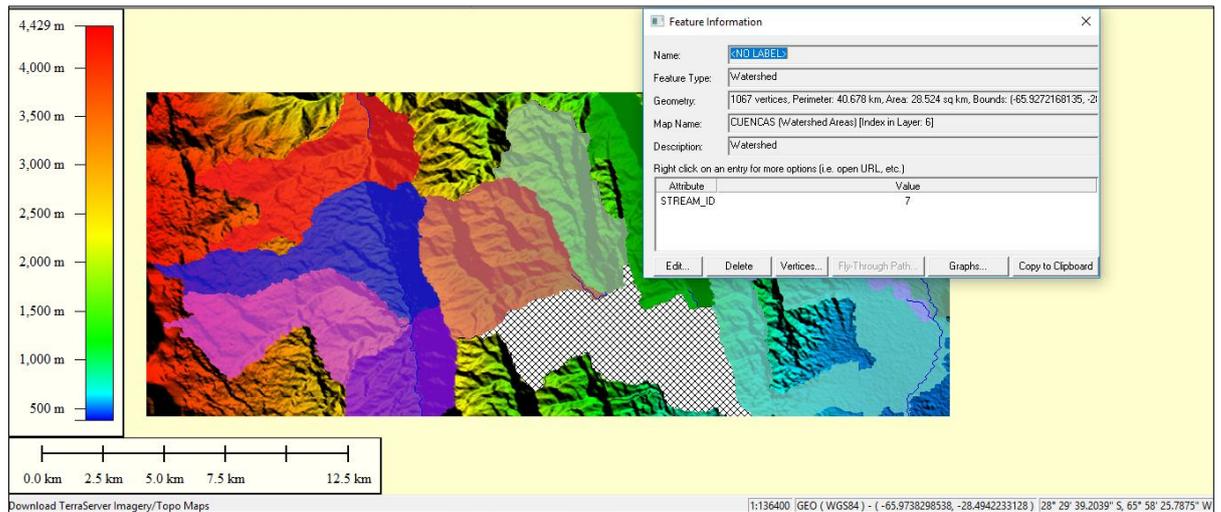


Fig.44- Polígono del área de la microcuenca N°3, definido en Global Mapper

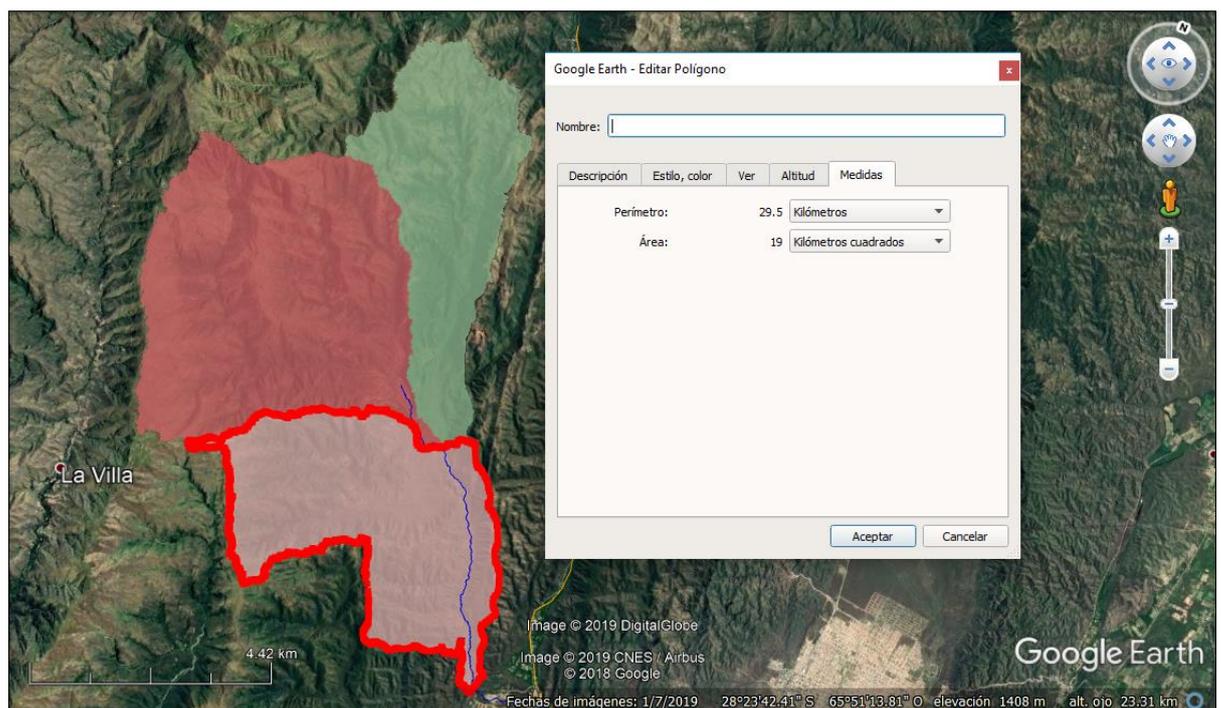


Fig.45- Polígono del área de la microcuenca N°3, definido en Google Earth Pro

Una vez que se compararon los valores obtenidos, se ajustaron ambos resultados, concluyendo en un plano donde se muestran las 3 microcuencas definidas para la zona de estudio con el área exacta de cada una (Fig.46)

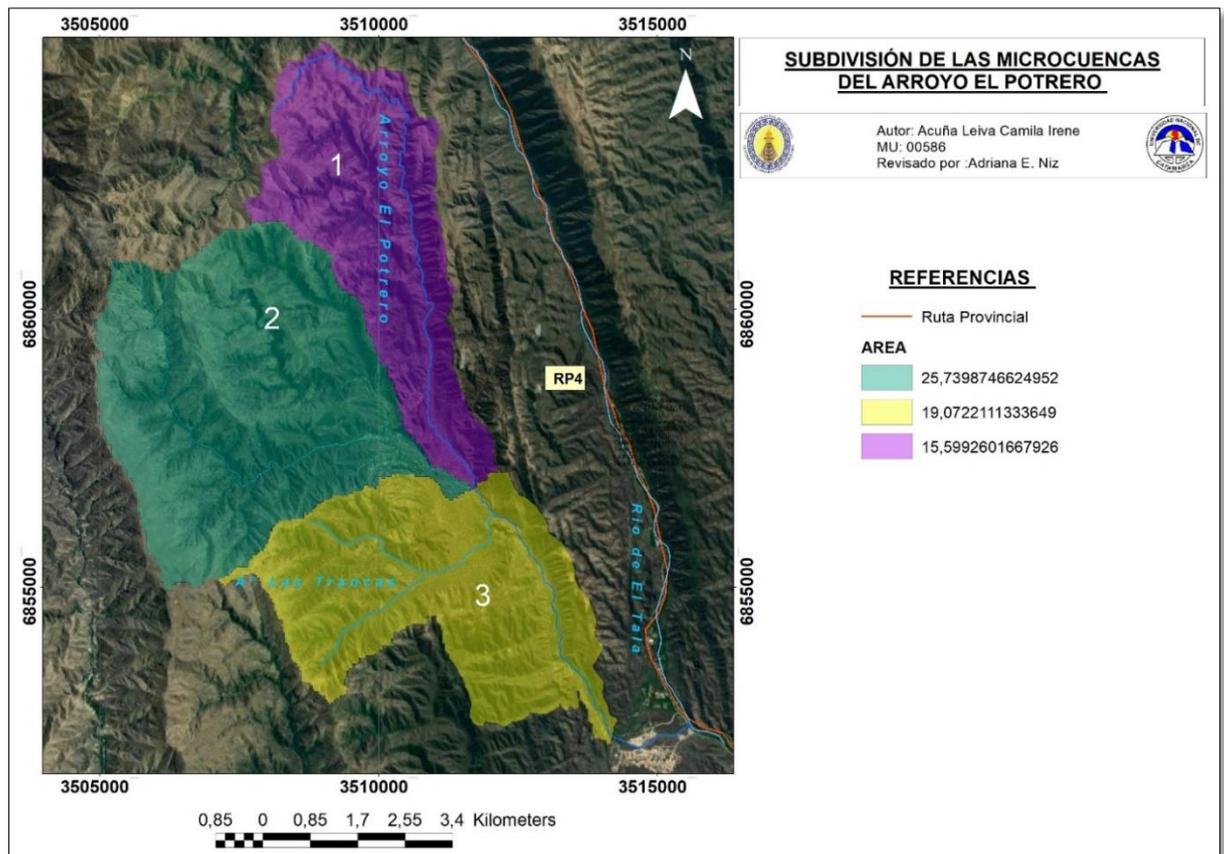


Fig.46- Representación de las microcuencas que componen la subcuenca del arroyo El Potrero

#### 5.4.1 MICROCUENCA N°1

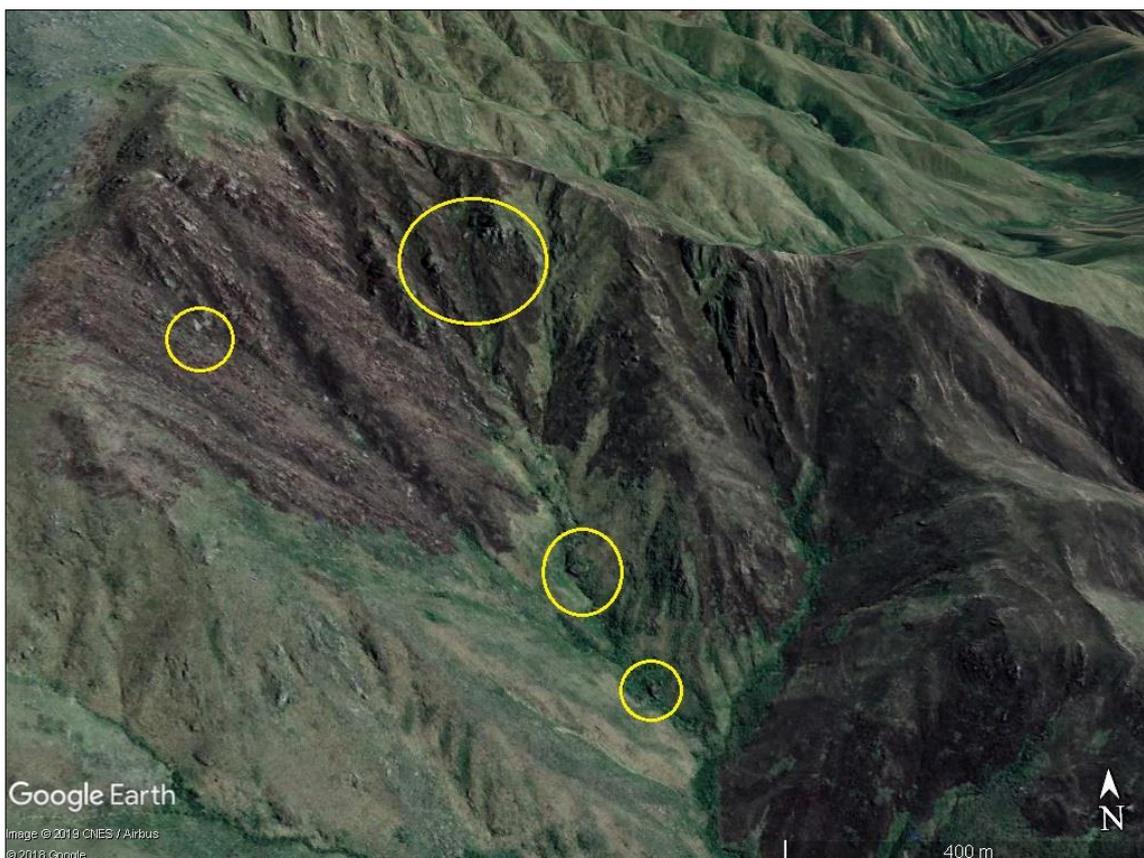
La microcuenca número uno se encuentra ubicada en NE de la subcuenca del arroyo El Potrero. Ocupa una superficie de 15 km<sup>2</sup> aproximadamente y es la microcuenca de menor tamaño dentro de las que componen la subcuenca. La naciente del arroyo se encuentra en esta microcuenca y presenta una pendiente pronunciada que disminuye hacia el S como característica topográfica más importante, luego recarga el cauce principal que, en ocasiones presenta ciclos de incremento de caudal debido al descongelamiento de las zonas cumbreales que la componen. Presenta laderas abruptas en el sector oriental, donde se observan zonas de debilidad y microdeslizamientos, que aportan material que luego es transportado por él cauce principal.

#### 5.4.2 MICROCUENCA N°2

Ocupa el área de mayor superficie, es la que aporta mayor caudal al cauce principal y se une a este en las cercanías del puesto El Potrero. La microcuenca N° 2 abarca una superficie total de 25 km<sup>2</sup> aproximadamente y se ubica en sector NE de la subcuenca del arroyo. A consecuencia de que ocupa el área de mayor superficie el aporte de sedimento que arrastra aguas abajo es de mayor volumen y es depositado en un estrecho valle, que comprende una

depresión en donde se depositan los sedimentos resultado de la erosión fluvial de la subcuenca.

Las áreas cumbreales presentan depósitos loessicos, que, cuando son hidratados generan un lodo de sedimentos finos, aumentando la densidad del fluido y facilitando el arrastre de los bloques. Estos bloques fueron sometidos a meteorización y desgaste a cause de la acción del agua de esorrentía de las laderas. (Fig.47)

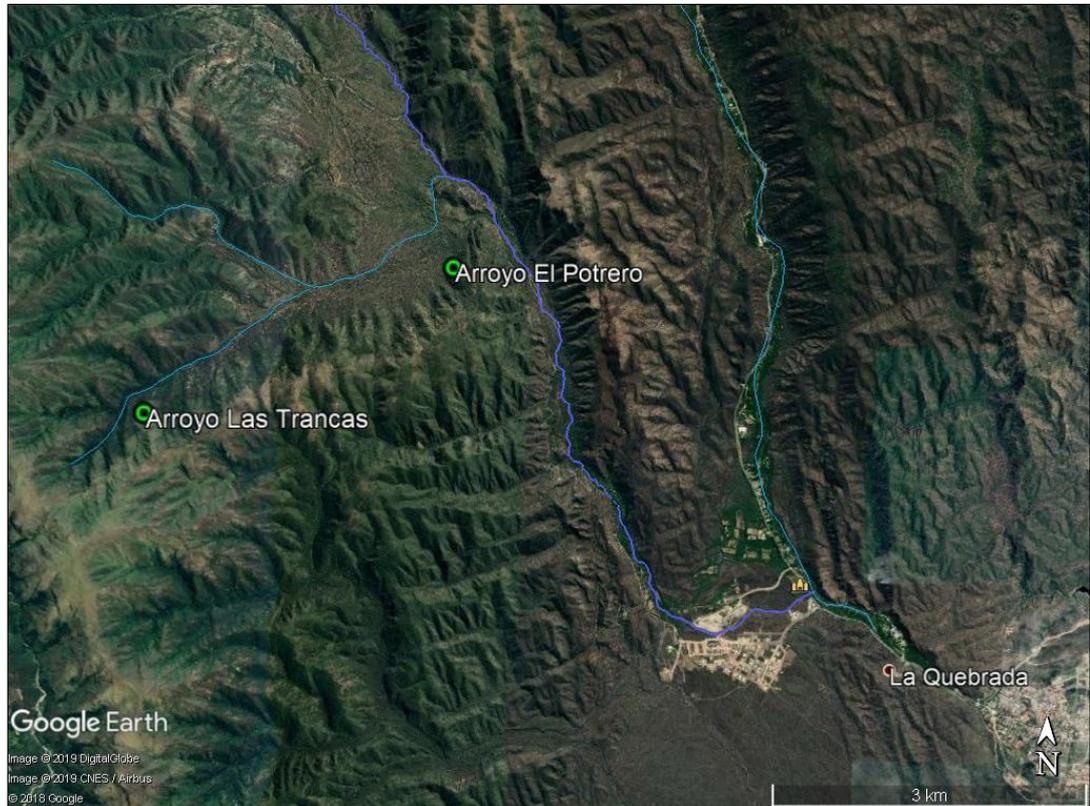


**Fig.47-** Zonas cumbreales de la microcuenca N°2, bloques desprendidos de las laderas. (28°23'8.58"S, 65°56'46.45"O)

### 5.4.3 MICROCUENCA N°3

La microcuenca N°3 se encuentra ubicada en el sector S de la cuenca y corresponde a la sección de la cuenca baja, desde allí se une al colector principal un cauce intermitente que lleva el nombre de arroyo Las Trancas. Este recorre la cuenca en sentido O-E y deposita sus sedimentos en la depresión que forma el pequeño valle que se ubica en la sección media de la cuenca. El diseño de drenaje que dibujan los tributarios en este sector corresponde al de tipo subangular a angular. En la cota donde se unen el arroyo Las Trancas y el arroyo El Potrero, el cauce se resume a canal único, recorriendo una quebrada estrecha de laderas abruptas del lado oriental (Fig.48). Esto que genera un encajonamiento del tributario principal, aumentando la velocidad del escurrimiento y a su vez la capacidad de arrastre de los

sedimentos. Debido que las laderas en la cuenca baja se encuentran fuertemente fracturadas y son propensas a deslizamientos de laderas en todo el recorrido del cauce, donde recibe un aporte extra de sedimentos a causa de estos procesos gravitacionales.



**Fig.48-** Estrechamiento a canal único del arroyo El Potrero. (28°25'45.22"S, 65°52'20.96"O)

## 5.5 ANALISIS MORFOMETRICO DE LA SUBCUENCA DEL ARROYO EL POTRERO

La dinámica de una cuenca se asemeja al de un receptor que recibe la precipitación y convierte parte de esta en escurrimiento. Su funcionamiento depende de sus características climáticas, y de la morfología que del relieve de la cuenca.

La influencia de estos factores sobre la transformación de la precipitación en escurrimiento es fácilmente predecible cualitativamente, estribando la dificultad en expresar estas influencias mediante parámetros sencillos. Sin embargo, es posible definir cierto número de índices, susceptibles de servir, al menos de referencia, en la clasificación de cuencas y de facilitar los estudios de semejanza (López Cadenas de Llano, 1998).

La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica es un estudio fundamental que proporciona infirma acerca del comportamiento de los parámetros que componen el ciclo hidrológico.

En la actualidad, existen herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) de fácil acceso, además de la interpretación de imágenes satelitales, permiten realizar la caracterización espacio temporal de las propiedades morfométricas de las cuencas hídricas y de las redes de drenaje.

El arroyo El Potrero comprende uno de los principales tributarios del río de El Tala y la dinámica de fluvial de ambos esta interconectada. A continuación, se describen los parámetros obtenidos para la caracterización de la subcuenca del arroyo El Potrero y para definir como es el comportamiento de la dinámica fluvial y los procesos de erosión a los que está sujeta la misma.

### 5.5.1 PARAMETROS GENERALES DE UNA CUENCA

Los parámetros generales de una cuenca están caracterizados por el área, la longitud, el perímetro, ancho y desnivel altitudinal de la cuenca. Estos constituyen la información mínima que se debe recolectar para poder conocer el comportamiento de una cuenca.

A partir del procesamiento del ráster de la zona de estudio se obtuvieron los siguientes valores (Tabla.3):

PARAMETROS GENERALES DE LA SUBCUENCA DEL ARROYO EL POTRERO		
PARAMETROS	VALOR	UNIDAD
AREA (A)	60	km <sup>2</sup>
PERIMETRO (P)	43	km
COTA MAX (Hmax)	823	m.s.n.m.
COTA MIN (Hmin)	2780	m.s.n.m.
DESNIVEL ALTITUDINAL	1957	m

*Tabla.3 - Parámetros generales de la subcuenca del arroyo El Potrero*

Es muy común, que, cuando se menciona el término cuenca, su magnitud se asocie a la división de las unidades hidrográficas de cuenca, subcuenca y microcuenca, esperando encontrar una definición clara en cuanto a los rangos de la superficie que cada una debiera tener.

Existen diversos criterios en cuanto a la clasificación las cuencas según sus dimensiones. Campos, (1992) propone la siguiente clasificación (Tabla.4)

Tamaño de la cuenca (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.4- Clasificación de acuerdo al tamaño de la cuenca (Campos , 1992)

Según la clasificación de (Campos , 1992) la subcuenca del Arroyo El Potrero se define como una cuenca pequeña, ocupando una superficie de 60 km<sup>2</sup>. de manera que la subcuenca es propensa a crecidas instantáneas.

El modelo de elevación digital (DEM) contiene la información de la coordenada z y una base topográfica a partir de la cual se puede obtener el trazado las curvas de nivel. El análisis de las características geométricas entre el área de las curvas de nivel, da valores que se pueden clasificar en intervalos, ordenar y generar una curva hipsométrica y un polígono de frecuencia, de las altitudes que representa el grado de incidencia de las áreas, comprendidas entre curvas de nivel con respecto al total del área de la cuenca. (Fig.49)

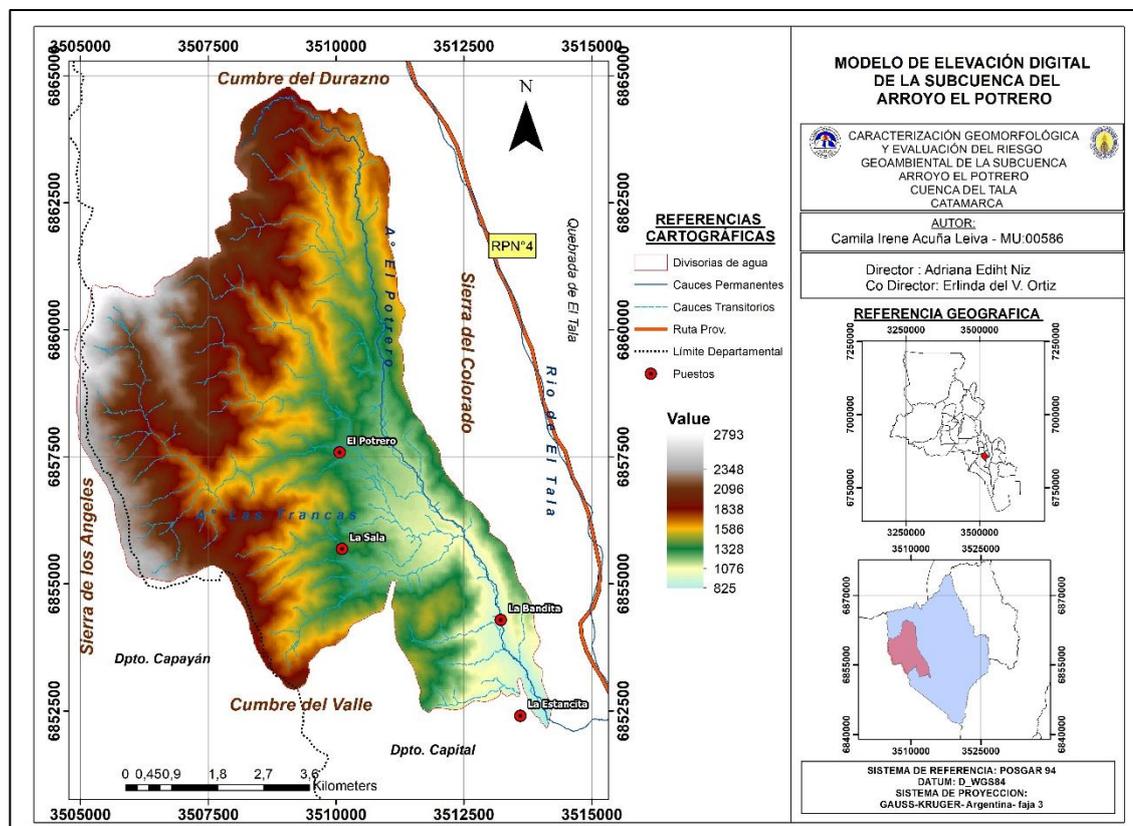


Fig.49- Modelo de Elevación Digital (DEM) de la subcuenca del arroyo El Potrero, a partir del cual se definieron los demás parámetros morfométricos de la cuenca

El mapa del Modelo de Elevación Digital del área de estudio se encuentra en el capítulo de ANEXO en formato A3, a fines de poder apreciarse con mayor detalle.

### 5.5.2 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA FORMA DE LA CUENCA

La forma de una cuenca es determinante al momento de evaluar su comportamiento hidrológico, y en particular para el análisis de la dinámica de la hidrología superficial de la misma. Los principales parámetros de forma son: Factor de Forma, Coeficiente de Gravelius (coeficiente de compacidad) y Coeficiente de Horton.

**Factor de Forma:** Expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca (W) y la longitud (L). (tabla.5)

$$F = \frac{W}{L}$$

FACTOR DE FORMA SUBCUENCA DEL ARROYO EL POTRERO		
Parámetros	Valor	Unidad
Largo (L)	13,5	km
Ancho (W)	4,4	km
Factor de forma	0,32	

**Tabla.5** - Valores obtenidos para el cálculo del factor de forma

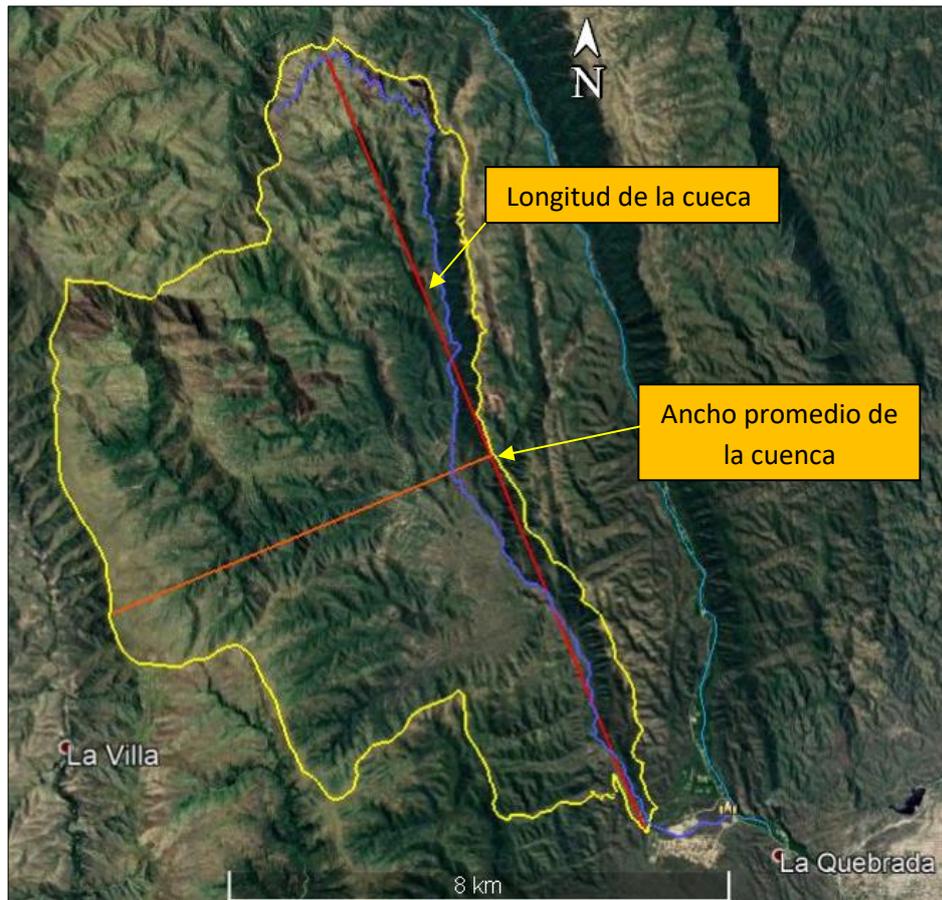
**Longitud:** La longitud “L” de la cuenca, está definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba, donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca. (Fig.50)

**Ancho promedio:** Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca

$$W = \frac{A}{L}$$

$$W = \frac{60 \text{ km}^2}{13,5 \text{ km}}$$

$$W = 4,4 \text{ Km}$$



**Fig.50-** Medición del ancho promedio y la longitud de la subcuenca del arroyo El Potrero

Una cuenca con factor de forma bajo esta menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño.

*F > 1: Cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas.*

*F < 1: Cuenca alargada, baja susceptibilidad a las avenidas.*

De acuerdo a la clasificación del factor de forma la cuenca del arroyo El Potrero es una cuenca alargada con baja susceptibilidad a ocurrencia de avenidas.

### 5.5.2.1 FACTOR DE FORMA ADIMENSIONAL DE HORTON

Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca. Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. (tabla.6)

$$Kf = \frac{A}{Lb^2}$$

Parámetros	Valor	Unidad
Largo (Lb)	13,5	km
Área (A)	60	km <sup>2</sup>
Factor de forma de Horton	0,32	

**Tabla.6** - Cálculos expresando los valores del factor de forma adimensional de Horton

Un valor de factor de forma de 0,32 indica que es una cuenca ligeramente alargada pudiendo generar crecidas repentinas teniendo pocas posibilidades de concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa.

### 5.5.2.2 ÍNDICE DE COMPACIDAD O DE GRAVELIUS

Propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud de la divisoria que la encierra y el perímetro de la circunferencia. (Tabla.7):

$$K = 0.282 P / \sqrt{A}$$

Parámetros	Valor	Unidad
Perímetro	43	km
Área (A)	60	km <sup>2</sup>
Índice de compacidad	1,56	

**Tabla. 7-** Valores obtenidos para el cálculo del índice de compacidad de Gravelius

Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua.

La razón para usar la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo es porque una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir avenidas superiores dadas su simetría.

*Kc1 1.00 – 1.25: Cuenca redonda a oval redonda.*

*Kc2 1.25 – 1.50: Cuenca de oval redonda a oval oblonga.*

*Kc3 1.50 – 1.75: Cuenca de oval oblonga a rectangular oblonga.*

Según la clasificación del índice de compacidad de Gravelius, para la subcuenca del arroyo El Potrero el valor es de 1,5 con una forma de oval oblonga a rectangular oblonga con tendencia a concentrar bajos volúmenes de aguas de escurrimiento.

### 5.5.2.3 RELACIÓN DE ELONGACIÓN

Se define como la relación entre el diámetro de un círculo que posea la misma área de la cuenca y cuyo diámetro sea igual la longitud de la cuenca y su formulación matemática es la siguiente:

$$R_e = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

El valor de la relación de elongación se acerca a la unidad cuando la cuenca es muy plana y circular, cuando la cuenca es plana con porciones accidentales, la relación de elongación está entre 0.5 y 0.8.

El valor obtenido para la relación de elongación en la subcuenca del arroyo El Potrero es de 0,64, lo que significa que la misma es una cuenca plana con porciones accidentadas en el relieve.

### 5.5.3 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA RED DE DRENAJE

#### 5.5.3.1 JERARQUIZACION DE LA RED DE CANALES EN LA SUBCUENCA

La jerarquización de la red de canales que ponen el área de una cuenca permite tener la información detallada y una mejor comprensión de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. El orden se relaciona con el caudal relativo del segmento de un canal. Lo cual indica una importante actividad hídrica superficial, que potencia los procesos de remoción en masa y transporte de sedimento hacia el piedemonte.

Refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca.

*Corrientes de primer orden: pequeños canales que no tiene tributarios.*

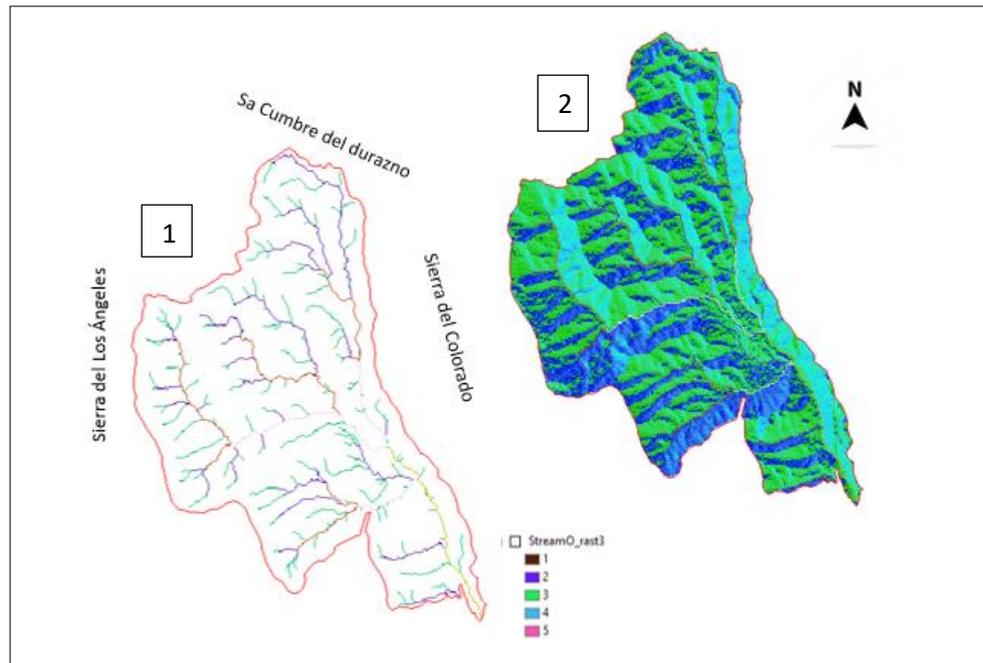
*Corrientes de segundo orden: cuando dos corrientes de primer orden se unen.*

*Corrientes de tercer orden: cuando dos corrientes de segundo orden se unen.*

*Corrientes de orden n+1: Cuando dos corrientes de orden n se unen.*

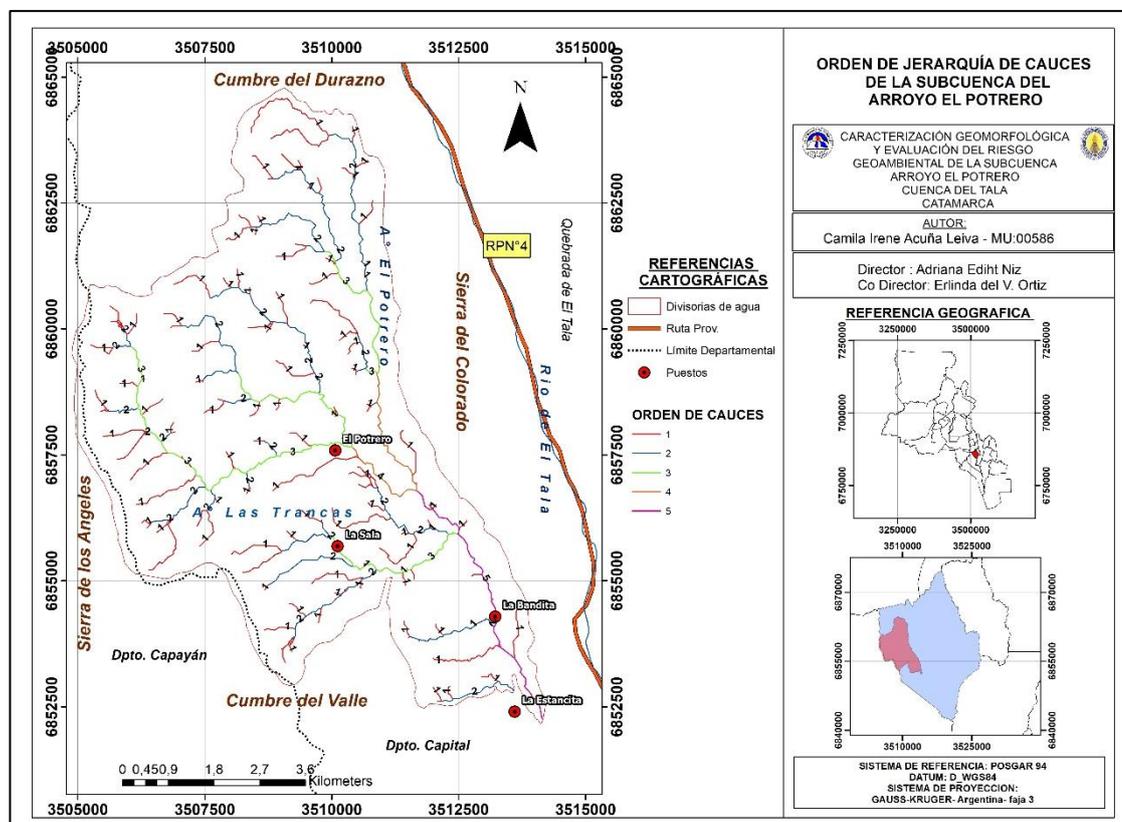
Hay varios sistemas de jerarquización, los más utilizados son el de Horton (1945) y el de Strahler (1952). Para el estudio de la jerarquización de la red de drenaje de la subcuenca del arroyo El Potrero se utilizó esta clasificación.

Tomando como base el modelo de elevación digital y el ráster de la subcuenca, el software de apoyo que se utilizó es ArcGis 10.3., que través de una calculadora de parámetros que funciona con fórmulas condicionales, ejecuta funciones algebraicas que permiten calcular las direcciones de flujo y las direcciones de acumulación en la cuenca. Estos dos parámetros son los que definen el orden de jerarquía de la red de canales en la subcuenca. (Fig.51)



**Fig.51-** 1-Jerarquización de cauces para la subcuenca del arroyo El Potrero, obtenido a partir de 2-Flow Direction

A continuación, se muestra el mapa hidrológico de la subcuenca el arroyo El Potrero con su jerarquización. (Fig.52)



**Fig.52-** Mapa hidrológico de la subcuenca del arroyo El Potrero con la jerarquización de los cauces

El mapa de orden de jerarquías de los cauces del área de estudio se encuentra en el capítulo de ANEXO, formato A3, a fines de poder apreciarse con mayor detalle.

Para la subcuenca del arroyo El Potrero se definió una jerarquía de orden 5, que recibe el aporte de todos los cauces provenientes de las laderas ubicadas hacia arriba. Dibujando un diseño de drenaje controlado por la estructura. Realizando la sumatorio de los órdenes para cada cauce se obtuvo el porcentaje para cada uno. (Fig.53)

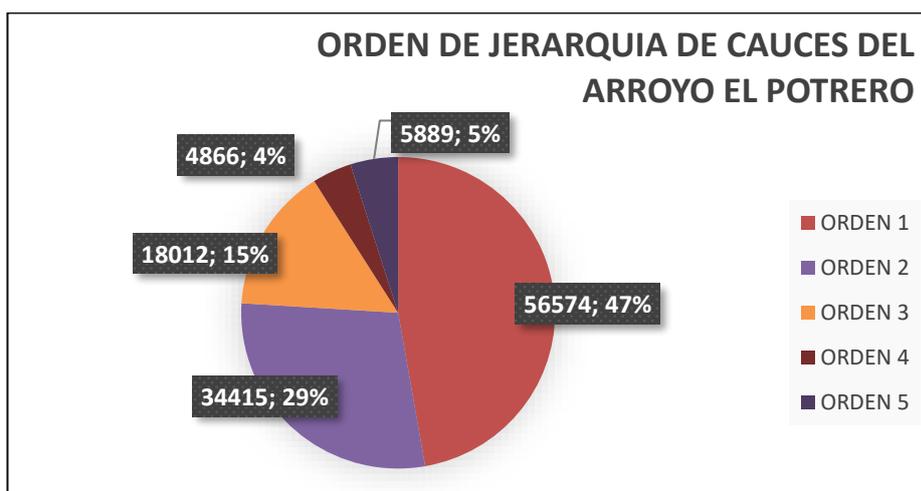


Fig.53- Porcentaje de cada orden de jerarquía correspondiente a la subcuenca del arroyo El Potrero

### 5.5.3.2 DENSIDAD DE DRENAJE

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión.

$$D_d = \frac{\text{Longitud corrientes (km)}}{\text{Área cuenca (km}^2\text{)}}$$

Con la ayuda de las herramientas algebraicas que posee el software ArcGis 10.3 y a partir del modelo teórico del factor de orden de los ríos de la cuenca del arroyo El Potrero, se logró calcular y diferenciar, para la densidad de la red de drenaje, la longitud de cada uno de los cauces en Km (Tabla.8) con sus respectivos ordenes, y por último se realizó la sumatoria de las longitudes de todos los cauces para definir el valor de la longitud total. Estos valores permitieron definir la densidad de drenaje. (Tabla.9).

ORDEN DE RIOS	LONGITUD (km)
ORDEN 1	2,35
ORDEN 2	3,07
ORDEN 3	3,67
ORDEN 4	4,20
ORDEN 5	4,92
TOTAL	18,21

Tabla.8 – Valores obtenidos para el cálculo de la densidad de drenaje

Parámetros	Valor	Unidad
Longitud de los cauces (Li)	18,21	km
Área (A)	60	km <sup>2</sup>
Densidad de drenaje	0,30	Km/km <sup>2</sup>

Tabla.9 - Resultados de la densidad de drenaje de la subcuenca del arroyo El Potrero

Los valores altos de **Dd** reflejan generalmente suelos fácilmente erosionables, o relativamente impermeables, con pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal.

Según la clasificación de la densidad de la red de drenaje (Fig.54), la subcuenca del arroyo El Potrero da como resultado de 0,30 lo que corresponde a una densidad de drenaje baja, asociada a volúmenes medios de escurrimiento. Por otra parte, la baja densidad indica una escasa infiltración, que favorece el escurrimiento superficial y a la colmatación lo cual incrementa la posibilidad de anegamiento.

Clasificación de la red de drenaje			
Rangos (km/km <sup>2</sup> )	Clases	Rangos (km/km <sup>2</sup> )	Clases
Fuentes Junco (2004)		Delgadillo y Páez (2008)	
0,1-1,8	Baja	<1	Baja
1,9-3,6	Moderada	1-2	Moderada
3,7-5,6	Alta	2-3	Alta
		>3	Muy alta

Fig.54 Clasificación de la densidad de drenaje, Fuente: Fuentes Junco (2004) y Delgadillo y Páez (2008).

### 5.5.3.3 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC)

Se lo puede definir como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el

momento en que cesa el escurrimiento superficial. En este trabajo se ha utilizado la fórmula de Pizarro, los cálculos se muestran a continuación. (Tabla.10)

$$T_c = 13,548 * (L_2/H)^{0.77}$$

Parámetros	Valor	Unidad
Longitud del cauce principal (L)	19,7	Km
Diferencia de alturas (H)	1957	m.s.n.m.
Tiempo de concentración (Tc)	80,18	Min

**Tabla.10** – Valores obtenidos para realizar el cálculo del tiempo de concentración de una cuenca

El **Tc** se relaciona directamente con la forma de la cuenca, de manera que, la de mayor longitud presenta el valor más grande en este parámetro. Para la subcuenca del arroyo El Potrero le corresponde un Tc de 80,18 minutos que se puede clasificar como “**lento**”, la cual indica que, el tiempo necesario que le toma al agua precipitada, para recorrer toda el área hasta el punto de salida es menor, siendo mayor la probabilidad de generar cauces torrenciales.

#### 5.5.3.4 COEFICIENTE DE TORRENCIALIDAD

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

$$C_t = \frac{\text{Cauces orden 1}}{\text{Área cuenca (km}^2\text{)}}$$

La descripción de las características morfométricas, fisiográficas, hidrológicas e hidráulicas entre otros, permite un mejor entendimiento del comportamiento del flujo de agua en la cuenca.

El coeficiente de torrencialidad de la subcuenca del Arroyo El Potrero, es de 0,9.

#### 5.5.3.5 RELACIONES DE BIFURCACIÓN

Utilizando la jerarquización de Horton, Strahler (1969) propuso las razones de bifurcación (**Rb**) donde *Nu* corresponde al número de corrientes (o cauces) de orden uno. Para el cálculo de este parámetro se utilizaron los valores de la Tabla.8 mencionada anteriormente.

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

La relación de bifurcación da un valor de 1,6, representando una cuenca donde no se presenta una amplia red hidrográfica, relieves escarpados ni suelos muy erosionables.

### 5.5.4 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN EL RELIEVE DE LA CUENCA

Son de gran importancia puesto que el relieve de una cuenca tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que su forma; con carácter general se puede decir que a mayor relieve o pendiente la generación de escorrentía se produce en lapsos de tiempo menores.

#### 5.5.4.1 PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA

La pendiente media constituye un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere y la erosión que produce. Para determinar la pendiente media de la cuenca se utilizó el mapa topográfico y el Modelo Digital de Elevación, cuyo procedimiento se expresa con la siguiente ecuación:

$$S_{cuenca} = 100 * (\Sigma Li * E / A)$$

Para este cálculo el parámetro principal que se debe tener en cuenta son las curvas de nivel (Fig.55) que en la zona de estudio representan las cotas más altas en el sector de la cuenca alta, se utilizaron también los valores correspondientes a la equidistancia y el área de la cuenca para obtener el porcentaje de la pendiente media de la cuenca. (Tabla.11)

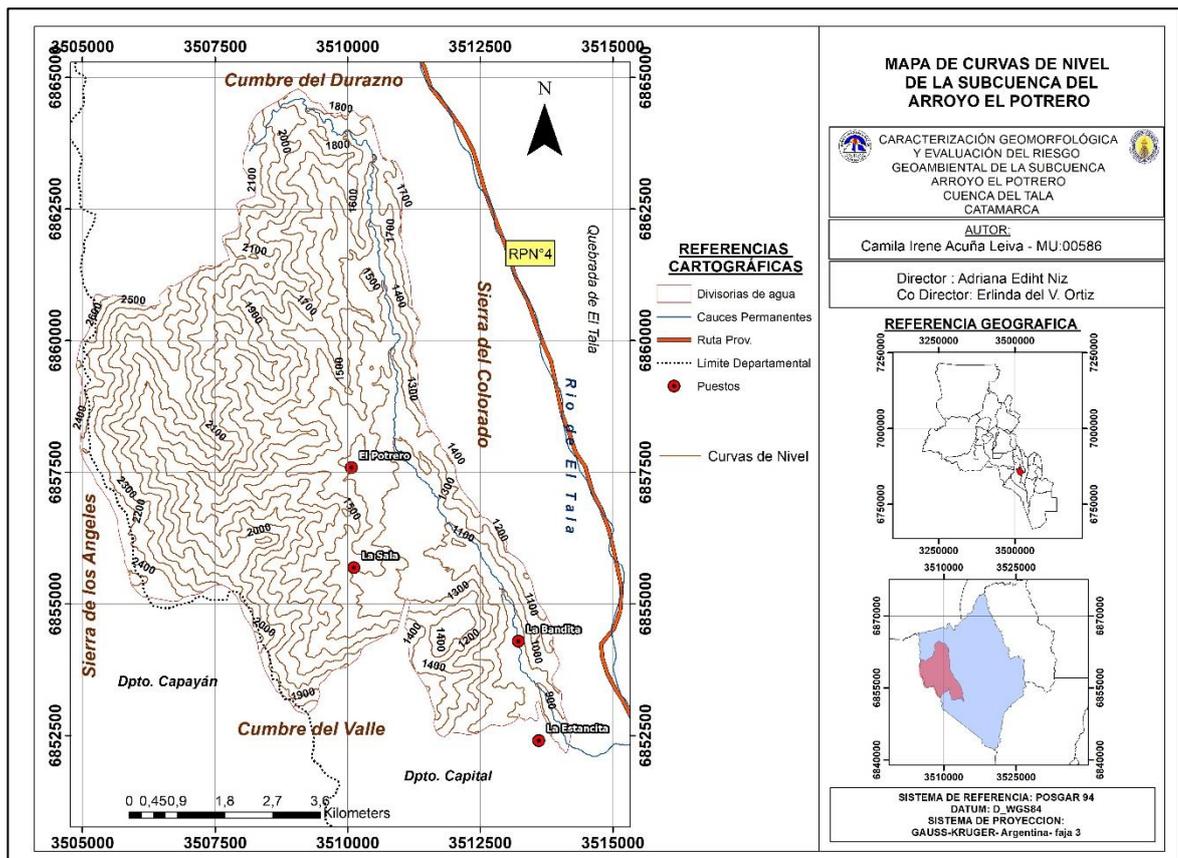


Fig.55- Mapa de curvas de nivel de la subcuenca del arroyo El Potrero

El mapa orden de jerarquías de los cauces del área de estudio se encuentra en el capítulo de ANEXO, formato A3, a fines de poder apreciarse con mayor detalle.

Parámetros	Valor	Unidad
Longitud de las curvas de nivel (Li)	119,68	km
Área (A)	60	km <sup>2</sup>
Equidistancia	0,5	km
Pendiente media de la cuenca Scuena	9	%

Tabla.11 - Valores utilizados para el cálculo de la pendiente media de la subcuenca del arroyo El Potrero

Según la clasificación de López Cadenas de Llano (1998), se clasificó la cuenca en pendientes (Fig.56), con SIG sobre el Modelo Digital de Elevación y el SRTM, según los diferentes tipos de relieve. Para la cuenca subcuenca del arroyo El Potrero se obtuvo un valor de 9% que la clasifica como un relieve accidentado medio. Para el caso de la subcuenca el escurrimiento del cauce principal avanza a favor de la pendiente.

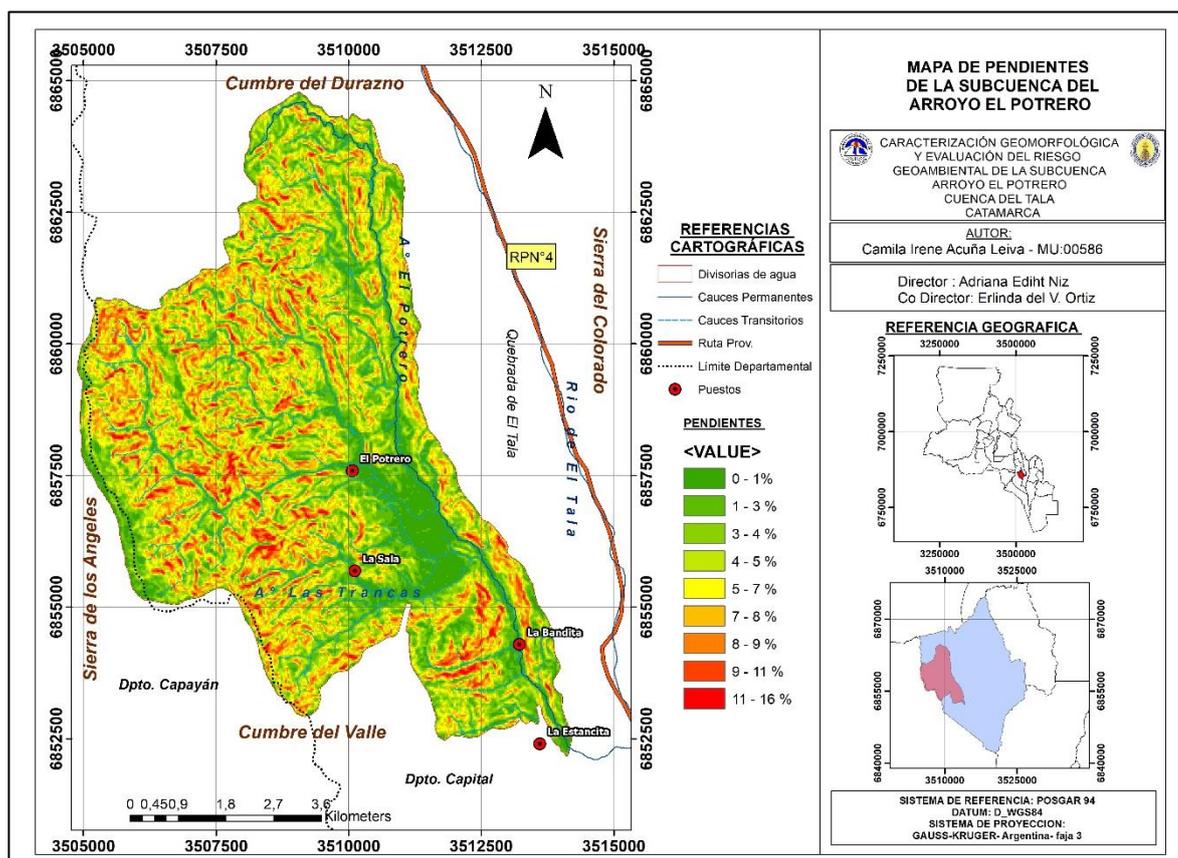
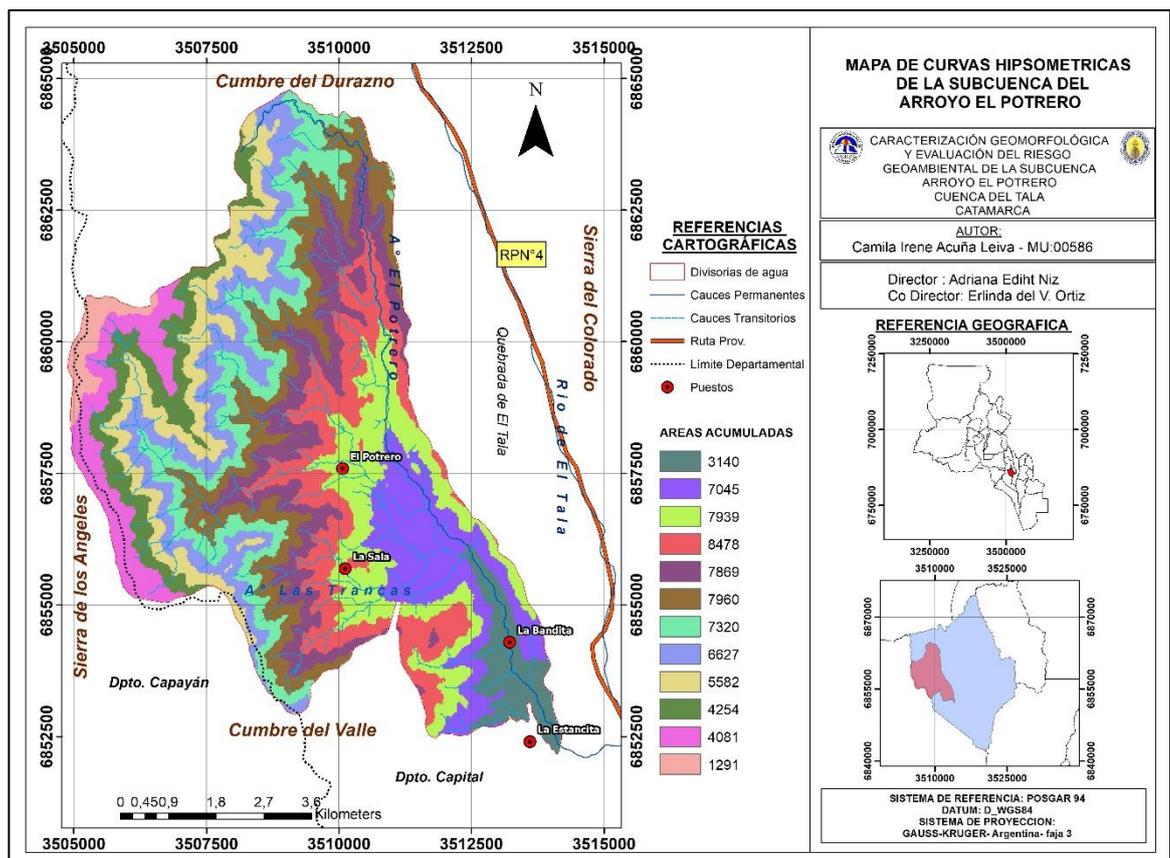


Fig.56- Mapa de pendientes de la subcuenca del arroyo El Potrero

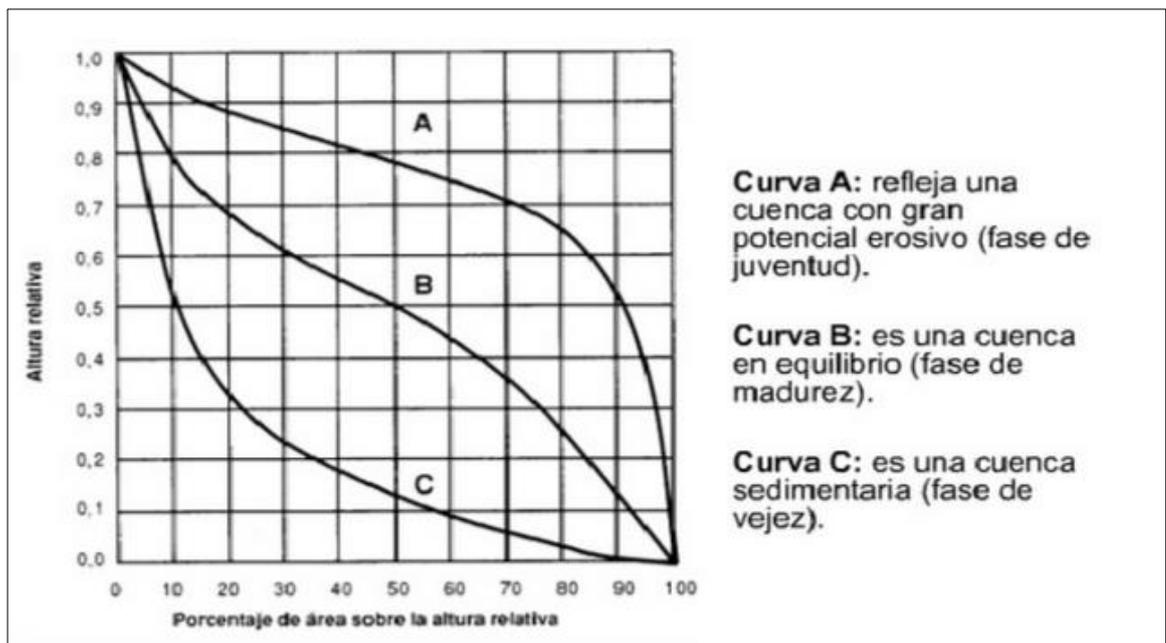
### 5.5.4.2 CURVA HIPSOMÉTRICA

Se define como curva hipsométrica a la representación gráfica del relieve medio de la cuenca, construida llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en km<sup>2</sup> o en porcentaje, comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total, llevando al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas (Fig.57).



**Fig.57-** Mapa de curvas hipsométricas de la subcuenca del arroyo El Potrero

Existen tres clasificaciones para la curva hipsométrica de una cuenca (Fig.58)



**Fig.58-** Clasificación de las curvas hipsométricas de una cuenca, tomado de:  
<https://www.ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/>

Para la representación de la curva hipsométrica de la subcuenca del arroyo El Potrero se utilizaron los datos plasmados en el siguiente cuadro. (Tabla.12)

Intervalos	Área (km <sup>2</sup> )	Cota Min	Cota Max	promedio	% Área	%Acumulado
1	2,900000	825	1071	948	4,798116965	22,46967228
2	1,800000	1072	1317	1194,5	17,67155531	39,1634981
3	2,110000	1318	1563	1440,5	21,49194278	43,00199167
4	4,630000	1564	1809	1686,5	21,51004889	39,50751403
5	7,530000	1810	2055	1932,5	17,99746515	28,57142857
6	7,930000	2056	2301	2178,5	10,57396343	15,75230853
7	1,010000	2302	2547	2424,5	5,178345102	5,956907478
8	1,420000	2548	2793	2670,5	0,778562376	3,7785624
<b>TOTAL</b>	29,330000				100	

**Tabla.12-** Valores utilizados para la construcción de la curva hipsométrica de la subcuenca

A partir de los cálculos realizados y la obtención de los valores necesarios queda graficada la curva hipsométrica para la subcuenca del arroyo El potrero (Fig.59), que se ubica dentro de la clasificación de curvas hipsométricas como se indica en (Fig.58) de clase A, que refleja una cuenca con gran poder erosivo en etapa de juventud.

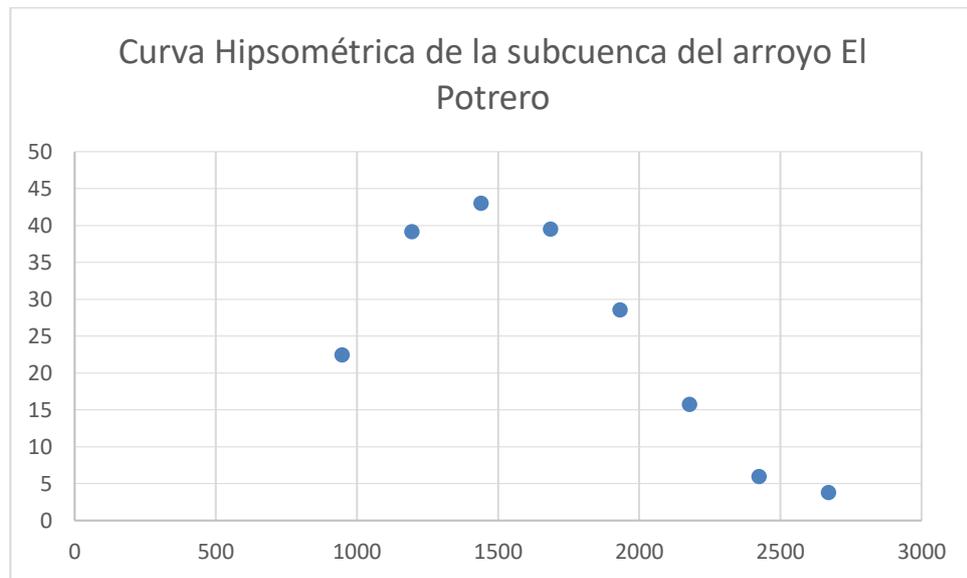


Fig.59-Curva hipsométrica de la subcuenca del arroyo El Potrero, de clase A

#### 5.5.4.3 PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL

En general, la pendiente de un tramo de río se considera como el desnivel entre los extremos de dicho tramo, dividido por la longitud horizontal del mismo, de manera que:

$$S = DA / L$$

A continuación, se muestran los valores utilizados para realizar los cálculos de la pendiente media del cauce principal (Tabla.13)

Parámetros	Valor	Unidad
Desnivel del río (DA)	1,40	km
Longitud del río (L)	19,7	km
Pendiente media (S)	7	%
Cota mínima	757	m.s.n.m.
Cota máxima	2161	m.s.n.m.

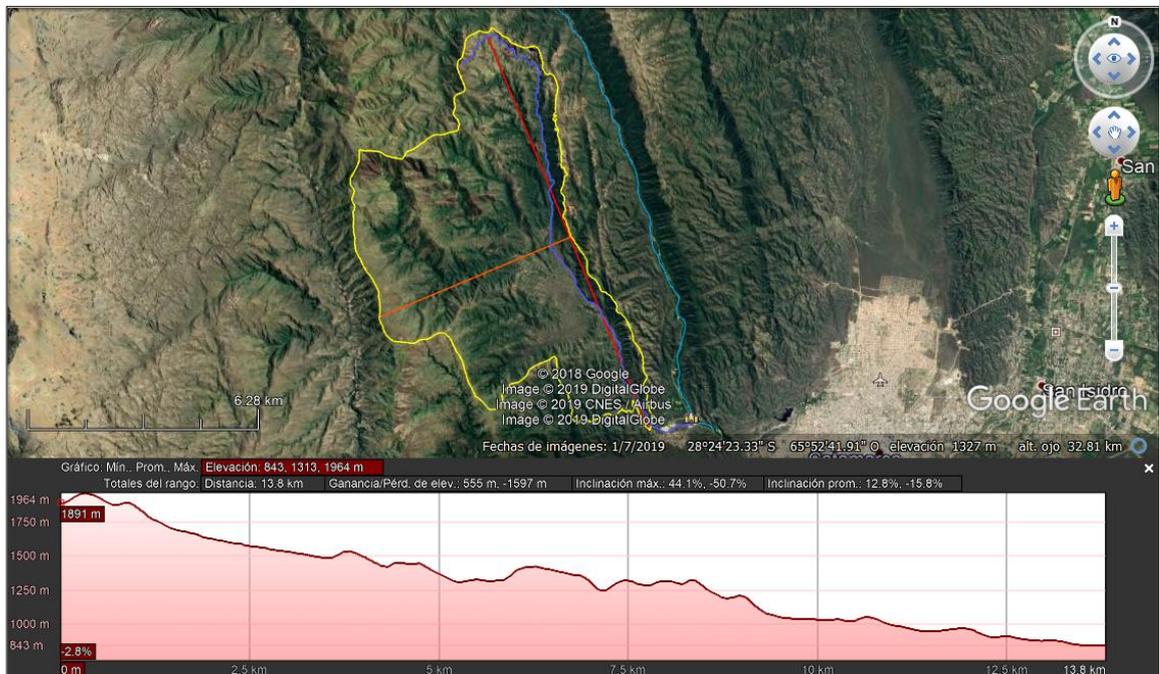
Tabla.13 - Valores obtenidos para el cálculo de la pendiente media del cauce principal

El valor obtenido para la subcuenca del arroyo El Potrero es de 7% lo que significa una pendiente media del cauce suave.

#### 5.5.4.4 PERFIL ALTIMÉTRICO O TOPOGRÁFICO DEL CAUCE PRINCIPAL

El perfil altimétrico es simplemente el gráfico de altura en función de la longitud a lo largo del río principal. Para este caso se ha tomado un perfil que respete la dirección principal

del cauce, desde el punto más alto hasta la desembocadura, el cauce principal del arroyo El Potrero escurre en sentido N-S por lo que el perfil altimétrico se tomó en esa dirección. (Fig.60)



**Fig.60-** Perfil altimétrico del cauce principal de la subcuenca del arroyo El Potrero tomado con Google Earth Pro

## 5.6 RIESGOS Y AMENAZAS LOCALES

### 5.6.1 RIESGO

El riesgo (H. Herzer, C. Rodríguez, A. Celis, M. Bartolomé y G. Caputo- 2002) puede ser entendido como “una condición latente o potencial y su nivel o grado depende de la intensidad probable del evento desencadenante y de los niveles de vulnerabilidad existentes. Así, el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un desastre. Para que exista un riesgo, debe haber tanto “elementos detonadores (sean de orden natural, socio natural o antrópico) como una población vulnerable a sus impactos”. Puede decirse también que es la probabilidad de que se presente un nivel de consecuencias económicas y sociales adversas en un sitio particular y durante un tiempo definido, que exceden niveles aceptables, a tal grado que la sociedad, o un componente de la sociedad afectada, encuentre severamente interrumpido su funcionamiento rutinario y no pueda recuperarse de forma autónoma, requiriendo de ayuda y asistencia externa. Tal como lo manifiesta la Estrategia y Plan de Acción de Yokohama para un mundo más seguro, “la evaluación del riesgo es un paso indispensable para la adopción de una política y de medidas apropiadas y positivas para la reducción de desastres”. Para evaluar el riesgo, se deben integrar todos los elementos que lo configuran. Es decir, se deben mensurar tanto las amenazas como las vulnerabilidades, elementos básicos que lo definen.

### 5.6.2 RIESGO NATURAL

Se entiende el riesgo natural, como la probabilidad de ocurrencia en un lugar determinado y en un momento dado, de un evento natural potencialmente peligroso para la comunidad y susceptible de causar daño a las personas y a sus bienes, más específicamente, la O.N.U. (Ayala-Carcedo, 1993) lo define como el producto de la probabilidad de ocurrencia de una amenaza o peligro natural, por la vulnerabilidad en tanto por uno y la exposición.

Un desastre natural de tipo geomorfológico se genera cuando los factores que regulan el estado morfogenético de un lugar, franquean en cascada los umbrales de estabilidad (Anguita y Moreno, 1994). El umbral correspondería a una situación límite en torno a la cual los factores o variables que controlan el proceso geomorfológico se modifican, superan valores críticos de ritmo, de intensidad, de sentido o de naturaleza.

En la subcuenca del arroyo El Potrero se identificaron dos tipos de riesgo de origen natural muy marcados. Se trata del riesgo hídrico principalmente que se presenta en casi la totalidad del área que ocupa la cuenca. Otro de los riesgos asociados a la cuenca, debido a sus agentes morfogeneradores principales son de tipo remoción en masa, que interrelacionados con los de tipo hídrico, generan en la zona áreas vulnerables que son propensas a ser impactadas por estas amenazas geoambientales.

El estudio de los riesgos potenciales de las subcuencas del arroyo El Potrero, es de gran importancia, ya que se debe tener en cuenta que es una zona donde recientemente se construyó un barrio residencial que lleva por nombre “La Estancita”, distribuyendo los lotes en la desembocadura del arroyo que funciona como punto principal de descarga de la subcuenca. El área no se restringe únicamente a la locación del barrio residencial, sino que también se encuentran varios puestos distribuidos en la cuenca, donde la principal actividad está orientada a la cría de ganados y pequeños puestos agrícolas, además también en algunas zonas de la cuenca baja se encuentran algunas fincas pertenecientes a la gente de la zona.

Es importante destacar que en este último tiempo la actividad en la subcuenca del arroyo se incrementó, debido a que es un área de gran interés paisajístico, muy concurrido por deportistas que recorren la cuenca realizando actividades de tracking, mountainbike y caminatas nocturnas en todo el tramo de la cuenca, además del aumento de la concurrencia debido a la inauguración del nuevo barrio residencial. Esto provoca el incremento de la vulnerabilidad en la zona de estudio frente a los riesgos potenciales mencionados anteriormente.

### 5.6.3 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad (Cardona, O., 2001) es la predisposición que tiene una comunidad para ser afectada, o sufrir efectos adversos, en caso de que se manifieste una amenaza. Es entonces, un factor interno de un elemento, o grupo de elementos, expuestos a la misma. Representa también las condiciones que imposibilitan o dificultan la recuperación autónoma posterior al impacto de una amenaza, lo que se conoce como resiliencia. La vulnerabilidad puede provenir de una serie de condiciones, tales como edificaciones en lugares inapropiados, falta de mantenimiento de obras de protección, escasa información, falencias en la educación y concientización de la población respecto de los peligros a los que está expuesta, falta de

organización institucional y social para enfrentarlos, pobreza, marginalidad o desarrollo urbano no planificado, entre otros, todos aspectos presentes en la zona de estudio.

En síntesis, la vulnerabilidad puede ser de índole física, económica, institucional, política, cultural, educativa; dándose generalmente una combinación de varias de ellas. Esta visión de la vulnerabilidad se ha plasmado en una enunciación, que es la más aceptada en la actualidad, y que afirma que los desastres son construcciones sociales. En este sentido, un desastre puede ser definido como: una situación o proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antrópico que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población y en su estructura productiva e infraestructura, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento del país, región, zona, o comunidad afectada.

## **5.7 RIESGO DE ORIGEN HIDRICO EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO EL POTRERO**

Para la identificación de los riesgos de origen hídrico de la subcuenca del arroyo El Potrero se realizó un relevamiento detallado de los sectores que presentan indicios de la acción de las aguas de escorrentía, y principalmente, de la acción de la dinámica del cauce principal.

Como se detalló en párrafos anteriores, el cauce principal que corresponde al arroyo El Potrero, es recargado por afluentes que llegan desde las cumbres más altas, y luego se estrecha en un único canal que se encajona en una pequeña quebrada. Este cambio en la distribución de los cauces, genera que los sedimentos que se transportan desde la cuenca media y alta queden atrapados en el sector en donde el canal se estrecha (Fig.61) y (Fig.62). De esta manera se produce un fenómeno de taponamiento del cauce, lo que incrementa la posibilidad de que, en épocas de crecidas extraordinarias, aumente la capacidad de transporte del río incrementando el riesgo en las secciones de la cuenca baja, donde se encuentran ubicadas las viviendas. Así mismo, el material tanto de origen vegetal como los bloques que se depositan en el cauce, (Fig. 60), se transforman en un obstáculo que interrumpen la circulación normal del río, con caudales propios de la época de precipitaciones, lo cual puede provocar desbordamientos laterales del cauce.

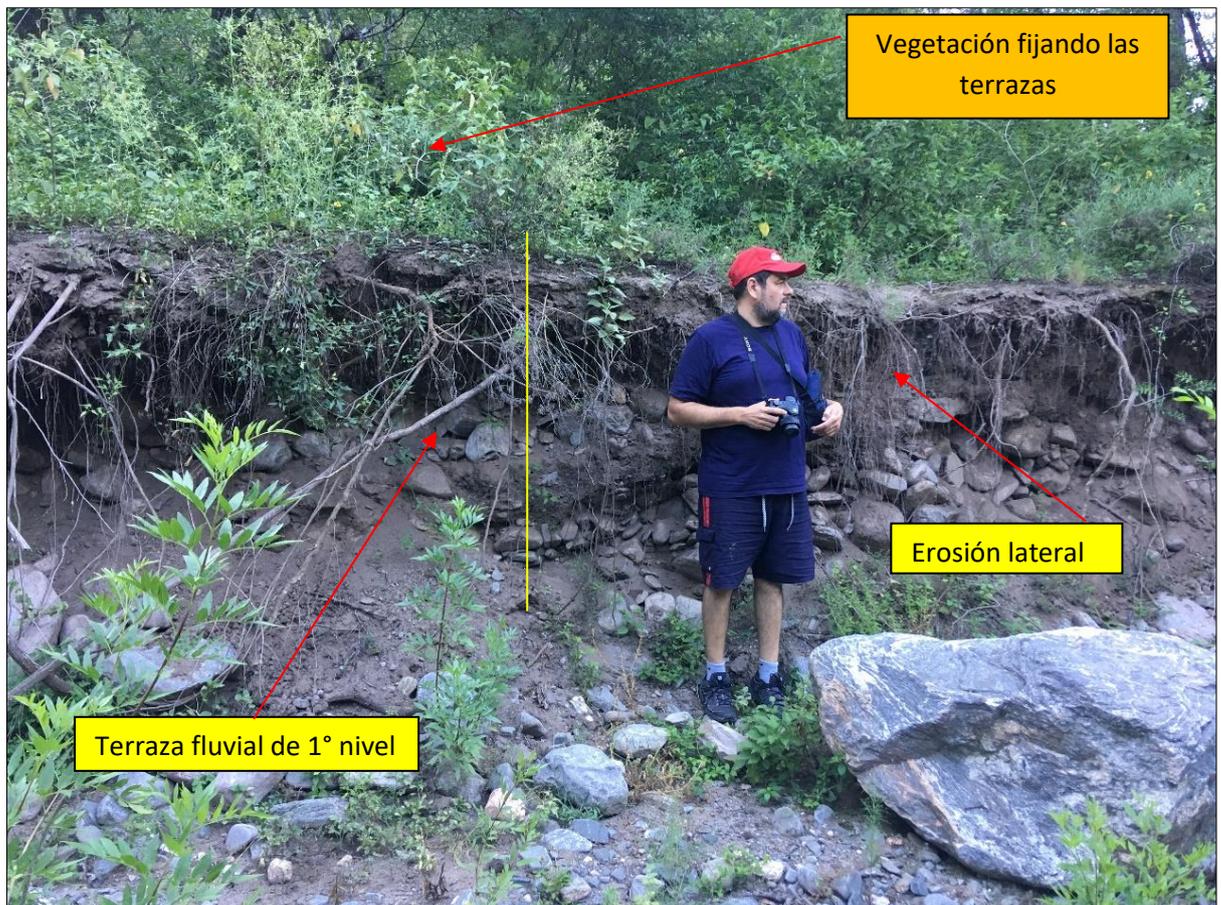


**Fig.61-** Material transportado por el cauce principal, depositado en el lecho menor del cauce



**Fig.62-** Material depositado en el lecho del cauce, generando taponamiento del canal colector

Otro indicador del poder de erosión del cauce principal, se ve reflejado en las terrazas fluviales, que presentan una fuerte erosión lateral dejando al descubierto las raíces de la vegetación que se encuentra por encima de estas (Fig.63), generando mayor inestabilidad.



**Fig.63-** *Terraza fluvial afectada por la erosión lateral del cauce principal, fijada por vegetación*

La vegetación en este caso puede actuar de dos maneras: en un sentido positivo fijando las terrazas, disminuyendo el impacto de la erosión fluvial y de manera negativa, debido a las márgenes del arroyo se encuentran cubiertas por abundante vegetación (Fig.64) y (Fig.65), y tanto de tipo arbóreo como arbustivo, lo que genera un riesgo potencial, ya que el material que es descargado por el cauce queda atrapado entre la vegetación. Esto generaría un riesgo de gran magnitud, debido a que, en circunstancias de crecidas repentinas, el cauce supera el caudal ordinario incrementando la velocidad de transporte, arrastrando todo el material atrapado junto con la vegetación expuesta en las márgenes.



**Fig.64-** *Vegetación en las márgenes del cauce principal*



**Fig.65-** *Vegetación acumulada en el cauce principal*

Otro indicador que se debe tener en cuenta, cuando hablamos de la dinámica fluvial del cauce principal, hace referencia al tamaño del material transportado por el mismo (la competencia), si bien en el momento de la realización de este estudio, el cauce no tiene caudales altos, el tamaño del material que se encuentra en la vera del arroyo nos indica la capacidad de transporte de este.

El tamaño y la cantidad de los bloques acumulados en el lecho del cauce (Fig.66), denotan una gran capacidad de transporte cuando tiene caudales propios de las épocas de precipitaciones o en ocasión de crecientes espontaneas de las subcuencas mayores, lo que le aporta un caudal extra incrementando la velocidad y la capacidad de este para transportar.



**Fig.66** *Tamaño del material acarreado por el cauce principal*

La cuenca está sujeta a amenazas geoambientales de tipo hídrico, presentándose en la cuenca baja las zonas de mayor vulnerabilidad a estos procesos, ya que, por un estrechamiento del cauce, la dinámica fluvial cambia de manera considerable.

## **5.8 RIESGOS DE ORIGEN DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS EN LA SUBCUENCA DEL ARROYO EL POTRERO**

Los riesgos asociados a procesos de deslizamiento de laderas (remoción en masa), se encuentran representados en la mayoría de las laderas de la subcuenca del arroyo El Potrero. Las laderas se encuentran fuertemente fracturadas y están sujetas a procesos de

meteorización, generados por las aguas de escorrentía y los procesos de congelamiento-descongelamiento, que se desarrollan en las cabeceras de las laderas, de la cuenca alta.

Se identificaron deslizamientos de laderas en la cuenca baja del arroyo, generando un riesgo para los puestos que se encuentran laderas abajo. Estos deslizamientos de las laderas orientales son de tipo gravitacional, es decir, que se produjo la caída de los bloques en seco. (Fig.67)



**Fig.67-** *Micro deslizamientos ubicados en la cuenca baja en las inmediaciones del puesto de La Bandita*

En otros sectores de la cuenca baja se pueden observar la caída de todo el frente de la ladera (Fig.68), dejando expuesta la superficie a procesos de mayor erosión. Como en el caso anterior el desprendimiento se produjo en seco, producto también de fenómenos gravitacionales. En este caso el material que se desprendió de la ladera quedo sujeto con la vegetación que se encuentra en la parte inferior.



**Fig.68-** Deslizamiento de ladera, por efectos de la gravedad, en la cuenca baja del arroyo El Potrero

En respuesta a que las laderas, de la cuenca alta del área de estudio se encuentran cubiertas por depósitos de sedimentos finos de tipo loess, los procesos de remoción en masa se potencian, debido a que el loess al ser hidratado, produce un lodo que permite que los materiales se deslicen con más facilidad. Esto provoca la reptación de grandes volúmenes de materiales que se deslizan laderas abajo, provocando avalanchas de materiales mezclados con barro. (Fig.69)



**Fig.69-**Procesos de remoción en masa en la cuenca alta del arroyo El Potrero

En otros sectores los deslizamientos, generan un flujo de detritos. Un detrito suelto e inconsolidado se mueve como un fluido viscoso sobre una superficie, de manera más lenta que un deslizamiento en seco. El agua se mezcla con los sedimentos de la ladera y desciende como un barro. (Fig.70)



**Fig.70-** Masa de flujo de detritos laderas abajo en la sección media de la cuenca

## 5.9 ÁREAS VULNERABLES FRENTE A LAS AMENAZAS GEOAMBIENTALES LOCALES

Para el área de estudio se han identificado dos tipos de riesgos predominantes, uno de origen hídrico propio de la dinámica fluvial de la cuenca y otro debido a los procesos gravitacionales de deslizamientos de laderas y de tipo remoción en masa.

El estudio de los riesgos asociados que tiene una cuenca, proporciona una base para poder realizar un análisis posterior acerca de cuáles son las áreas potenciales que pueden verse afectadas, teniendo en cuenta que implican la generación no tan solo daños materiales y lo que es más grave, la vida de los habitantes que residen en la zona.

El análisis de las áreas vulnerables se realizó desde el punto de vista de los sectores propensos a deslizamientos, tomando como base los datos de pendientes de la cuenca, indicando que las laderas con pendiente abrupta y fuertemente marcadas, son las áreas proclives a generar este tipo de fenómenos.

Se confeccionó también un mapa de vulnerabilidad ante los distintos tipos de geoamenazas, teniendo en cuenta la localización de los puestos y viviendas. En el caso de una crecida espontánea y repentina existen sectores que se verán afectados de manera significativa, como así también frente a fenómenos de deslizamientos, debido a que los puestos con mayor

cantidad de viviendas habitadas se encuentran en el sector oriental de la quebrada estrecha por donde el arroyo recorre. Se utilizó el mismo método de codificación, representando con rojo los sectores altamente vulnerables, con amarillo los de vulnerabilidad media y con verde los de vulnerabilidad baja. Como se mencionó anteriormente se confecciono teniendo en cuenta las poblaciones que se verán afectadas. (Fig.71)

Cabe mencionar que el área de desembocadura del arroyo, engloba lo que corresponde a la zona de mayor vulnerabilidad al riesgo hídrico. Esta zona abarca la totalidad de la superficie que ocupa el barrio residencial La Estancita, que, por la localización, será la zona con mayores daños.

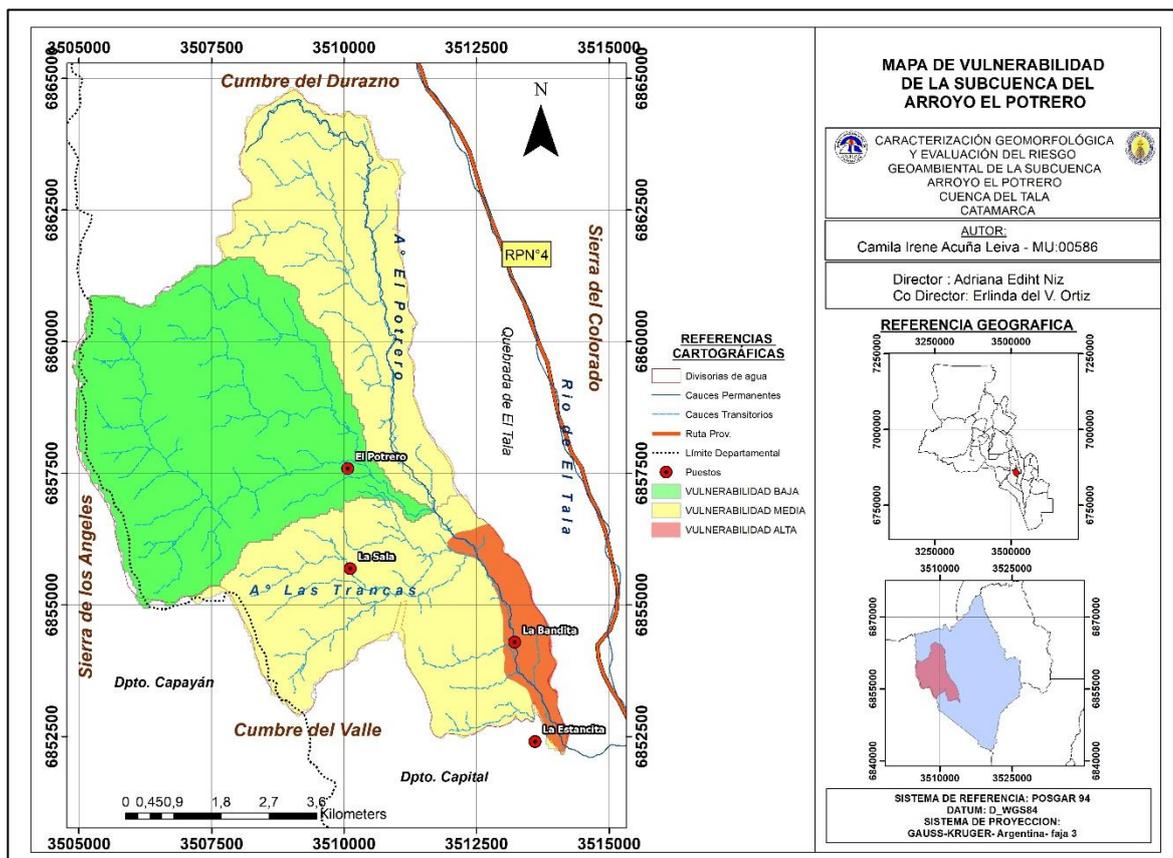


Fig.71- Mapa de vulnerabilidad ante amenazas geoambientales

## EL PIEDEMORTE

Cuando el río alcanza el quiebre de pendiente que se produce en el contacto de la Sierra con el piedemonte, pierde energía, y con ella, la capacidad y competencia para transportar el material que acarrea, se genera de esa manera un deposito fluvial que puede ser un abanico aluvial o un cono de deyección.

En nuestras cuencas andinas, caracterizadas por regímenes torrenciales, el depósito se produce en pulsos generando el cono de deyección; el abanico aluvial en cambio se vincula con un régimen de lluvias más extendido en el tiempo y menos torrencial, el depósito de sedimentos es sistemático, se concentran los sedimentos de mayor tamaño en el ápice y

decrece gradacionalmente hacia la zona distal, en el abanico los distributarios discurren en toda la superficie de forma de canales entrelazados (anastomosada).

La característica fundamental del cono de deyección a considerar para el análisis de probabilidad de riesgo para los habitantes de esta localidad, es su modo de depositación y el perfil transversal del mismo. En general el depósito se realiza según pulsos en forma de lóbulos, que se corresponden con cada torrente, donde el material más grueso se deposita en la sección central y los de menor tamaño lo hacen gradacionalmente hacia los laterales, la acumulación sucesiva origina el cono, cuyo perfil transversal es convexo, esto implica que el derrame de los distributarios se produce hacia los laterales. Debido a la acción de procesos previos de glaciplanacion y las acciones posteriores de erosión combinada natural y antropica, el relieve general del piedemonte se ha suavizado (Niz, 2018)

En este piedemonte se ubica la cantera de Vialidad y se ha iniciado en el año 2010, la construcción del Barrio Privado La Estancita, que esta en plena etapa de desarrollo en la actualidad, (Fig.72).



Fig.72- Ubicación de la Ripiera y del Barrio privado La Estancita

## 5.10 ANALISIS MULTITEMPORAL

### 5.10.1 AMENAZAS DEBIDO A LA ACCION ANTRÓPICA

El análisis multitemporal se realiza con el objetivo de analizar la evolución de una determinada actividad, en este caso particular referida a la actividad antrópica en el piedemonte del A° El Potrero, para ello se observaron imágenes satelitales del año 2000, 2010 y 2019, donde se examinó la expansión urbana con nuevas construcciones en la desembocadura del arroyo, lo que generó una modificación en la distribución del cauce y una disminución del caudal, ya que se intercepta aguas arriba para abastecer el barrio residencial y los puestos de la zona.

Se establecieron esos periodos de tiempo ya que en ese lapso se mostraban los cambios significativos.

### 5.10.1.1 AÑO 2003

En este año la distribución de las viviendas se resumía algunas casas que corresponden a la antigua Estancita, donde se podía observar una pequeña laguna artificial, que servía como reservorio para el ganado que la gente de los puestos criaba. Se puede observar que el arroyo escurría con un leve caudal y el ancho del mismo (línea de color amarillo) era de 60 m tomados en la sección donde ensancha. Se puede inferir que el arroyo circula en cercanía a la cantera municipal, generando erosión, propia del avance del cauce. (Fig.73)



**Fig. 73-** Foto del año 2003 de la sección del loteo La Estancita, cuenca baja del arroyo El Potrero.

### 5.10.1.2 AÑO 2010

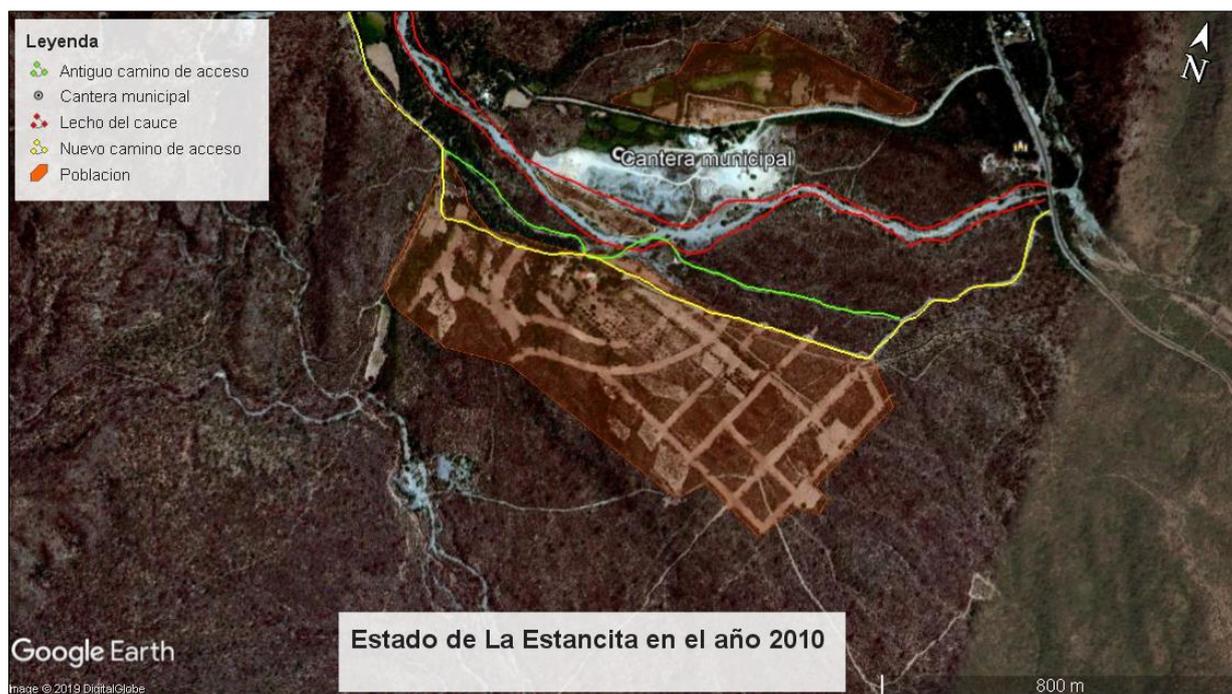
En el año (Fig.74) se puede observar que el cauce principal correspondiente al arroyo El Potrero presenta un ensanchamiento. Esto es debido a un periodo de crecida extraordinaria que genero la erosión de las márgenes del lecho, también se observa que se formaron albardones en el lecho menor del cauce lo que significa que hay sectores en los que el cauce fue depositando el material. Se puede apreciar que el cauce fue erosionando a medida que avanzaba ya que, se trasladó hacia el límite con el frente de la antera municipal, lo que proporciona un grado de inestabilidad en los frentes explotados e incrementa el riesgo de desborde en ese sector.

Una de las modificaciones que se pueden observar debido al cambio en la dinámica del cauce, es la reconstrucción del camino de acceso (en color amarillo) que tenía un recorrido diferente

(color verde) y se tuvo que redireccionar, ya que fue alcanzado por el arroyo dejándolo intransitable.

Otro factor de riesgo es el crecimiento del área urbana, dejando expuestas las viviendas a la actividad y la dinámica del cauce principal.

Esto denota que, en épocas de crecidas, se modifica significativamente el recorrido y el transporte de material de arroyo.



**Fig.74-** Foto del año 2010 de la sección del loteo La Estancita, cuenca baja del arroyo El Potrero.

### 5.10.1.3 AÑO 2019

En este año (Fig.75) se observa el gran cambio en cuanto a la extensión del área urbana con la inauguración del barrio residencial. Para el camino de acceso hacia las viviendas se construyó una nueva rotonda que modifica localmente la traza de la Ruta N°4.

La apertura de las calles secundarias que conectan con la entrada principal, contribuye como avenidas de descargas del arroyo, y se puede observar también que algunos de los afluentes que bajan de las laderas de la subcuenca tienen la tendencia a escurrir en dirección al barrio afectando a toda el área, en épocas de precipitaciones torrenciales, lo que, en el caso de generarse la crecida de los pequeños tributarios, puede provocar el anegamiento de las arterias en los accesos, dejando el barrio temporalmente incomunicado.

Si bien en los últimos años se modificó el escurrimiento del cauce, resumiéndose en un pequeño canal que es tomado aguas arriba para el abastecimiento del área urbana, la dinámica fluvial del mismo está sujeta a los efectos naturales, y la modificación del paisaje natural del cauce puede traer consigo graves consecuencias.



**Fig.75-** Foto del año 2019 de la sección del loteo La Estancita, cuenca baja del arroyo El Potrero.

Como resultado del análisis realizado se establece que, en el periodo analizado, el cauce presenta fenómenos de crecidas espontaneas de gran magnitud lo que provoca el arrastre de importantes volúmenes de material que son depositados luego en el lecho del cauce principal.

Se debe tener en cuenta que el cauce, en caso de incremento de caudales o de sedimentación en su lecho, vuelve a tomar el paleocauce que le correspondía, de manera tal que las viviendas ubicadas en la desembocadura de este, están expuesta a riesgos potenciales de inundación.



# CAPÍTULO 6

## CONCLUSIONES



## 6. CONCLUSIONES GENERALES

Una vez concluida la investigación y el análisis de cada uno de los factores que interactúan en la dinámica de la subcuenca del arroyo El Potrero, se pudo establecer que:

Los procesos de deslizamientos de laderas (remoción en masa) se manifiestan en la totalidad del área de la cuenca, principalmente en las laderas orientales y en los márgenes del arroyo. Estos procesos son el resultado de diferentes factores que actúan en conjunto y generan procesos que son los desencadenantes de los mismos.

La litología y la morfoestructura de la zona son un factor importante, ya que comandan la distribución y el diseño de la dinámica fluvial de la cuenca. El factor climático es relevante en la definición de los procesos geoambientales de la cuenca, ya que condiciona las épocas de crecidas extraordinarias y las épocas de congelamiento- descongelamiento que producen la aceleración de los procesos erosivos en las laderas de la subcuenca.

Se puede inferir una alta vulnerabilidad al riesgo hídrico debido a la dinámica fluvial principalmente de régimen torrencial.

En caso de producirse en la subcuenca un incremento en las precipitaciones, aportaría un importante incremento al cauce principal, aumentando la velocidad de transporte del material acumulado en los márgenes del cauce. Esto podría provocar procesos de remoción en masa de tipo aluvional, o simplemente el acarreo de un importante volumen de material erosionado arrastrado por el flujo de agua. Estos procesos son importantes ya que, en la zona de estudio, existen Puestos donde habitan los lugareños lo que incrementa la vulnerabilidad de los sectores ante eventos de tipo hídrico.

Se determinó que el área de estudio es una zona altamente vulnerable a procesos de tipo de remoción en masa y deslizamientos de ladera, donde una abundante precipitación produciría un impacto importante en las viviendas y ruta de acceso hacia los puestos por el incremento de caudal, por otra parte, el cauce presenta vegetación arbustiva y material erosionado de las laderas, ante un incremento de caudal se podría generar endicamientos temporales en la zona baja de la cuenca, como consecuencia de este fenómeno se produciría acumulación de energía del cauce principal que escurre por una quebrada estrecha, esta energía puede ser liberada bruscamente provocando mayores daños en la población que habita en el sector de desembocadura del arroyo que culmina a la vera del barrio residencial La Estancita.

Del análisis multitemporal de la urbanización se destaca que se ha incrementado notablemente la urbanización en la zona, evidenciada por la expansión de la mancha urbana en los últimos años y la construcción de la traza que comunica el barrio residencial con la RP N° 4.

### 6.1 MORFOMETRÍA DE CUENCAS

A partir del análisis morfométrico de la subcuenca del arroyo El Potrero, se establecieron las características físicas de la cuenca de forma cuantitativa para poder entender el comportamiento hidrológico de la misma. Para este análisis se calcularon diferentes parámetros relacionados con la forma, la pendiente del terreno y los parámetros relacionados

con la distribución de la red de drenaje. De esta manera se pudo establecer la dinámica fluvial de la subcuenca y cómo impacta en la población del área circundante.

De acuerdo a los parámetros obtenidos de la morfometría de cuencas, según la clasificación de (*Campos, 1992*) la subcuenca del Arroyo El Potrero se define como una cuenca pequeña, ocupando una superficie de 60 km<sup>2</sup>. Esto indica que es propensa a crecidas instantáneas, confirmado por el valor de factor de forma de 0,32 que representa una cuenca ligeramente alargada pudiendo generar crecidas repentinas teniendo pocas posibilidades de concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa. El T<sub>c</sub> (tiempo de concentración) se relaciona directamente con la forma de la cuenca, de manera que, a la subcuenca del arroyo El Potrero le corresponde un T<sub>c</sub> de 80,18 minutos que se puede clasificar como “lento”, lo cual indica que, el tiempo necesario que le toma al agua precipitada, para recorrer toda el área hasta el punto de salida es menor, siendo mayor la probabilidad de generar cauces torrenciales. La cuenca presenta una pendiente que disminuye en el sentido de escurrimiento del cauce principal, propiciando un incremento en la velocidad del transporte de materiales.

Con respecto a los parámetros relacionados a la red de drenaje se obtuvo un valor orden 5 de jerarquía en la red de canales para el arroyo El Potrero, el cual recibe aporte principalmente del arroyo de las trancas como uno de los colectores más significativos. Según la clasificación de la densidad de la red de drenaje, El Potrero da un resultado de 0,30 lo que corresponde a una densidad de drenaje baja, asociada a volúmenes medios de escurrimiento, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas, además implicaría que, al momento de una tormenta, el escurrimiento superficial sería rápido y no tendría tiempo de infiltrarse. Otro parámetro que se tuvo en cuenta es la densidad de drenaje D<sub>d</sub>, que tiene un valor de 0,30, lo que significa que la distribución de los cauces es baja no presentando una red de canales muy compleja, lo que produce que la infiltración en la subcuenca sea escasa.

El valor obtenido para la relación de elongación en la subcuenca del arroyo El Potrero es de 0,64, lo que significa que la misma es una cuenca plana con porciones accidentadas en el relieve.

Los parámetros referidos a la pendiente de la cuenca indican que la pendiente media es del 9 %, presentando un valor de gran importancia ya que disminuye bruscamente en el tramo que recorre el cauce principal, donde la velocidad del escurrimiento se ve favorecida por la diferencia de pendientes, aumentando así el poder erosivo del cauce.

El resultado de la curva hipsométrica de la subcuenca representa una curva de tipo A, que corresponde a cuencas con un alto poder erosivo, para un río en etapa de juventud.

## 6.2 RIESGO HIDRICO

El cauce principal que corresponde al arroyo El Potrero es recargado por afluentes que drenan desde las cumbres más altas, y luego se estrecha en un único canal que se encajona en una pequeña quebrada. Este cambio en la distribución de los cauces, provoca que los sedimentos que se transportan desde la cuenca media y alta queden atrapados en el sector en donde el canal se estrecha, produciendo, en ocasiones, el proceso de taponamiento mencionado.

El tamaño y la cantidad de los bloques acumulados en el lecho del cauce, denotan una gran capacidad de transporte cuando tiene caudales extraordinarios, es decir, épocas de crecidas repentinas resultado de crecientes espontáneas de las subcuencas mayores, lo que la aporta un caudal extra incrementando la velocidad y la capacidad de este para transportar. En épocas de caudal extraordinario, el cauce tiene la capacidad y competencia suficientes para transportar gran cantidad de materiales que van a ser descargados en el punto de salida de la desembocadura, donde actualmente se encuentra localizado el barrio residencial La Estancita, lo cual indica que es una zona extremadamente vulnerable a amenazas de riesgo hídrico.

### **6.3 RIESGOS DE TIPO REMOCIÓN EN MASA Y DE DESLIZAMIENTOS DE LADERAS**

Las áreas más susceptibles a los procesos de este tipo se encuentran en el sector de la cuenca baja, en la quebrada que recorre el arroyo, presentando una sucesión de pequeños deslizamientos en las laderas orientales, donde el material producto de estos se encuentra acumulado en las márgenes del cauce colector. Debido a que es un área transitada por los habitantes de la zona, es de alta vulnerabilidad ante los riesgos de este tipo, donde las viviendas y los caminos que conectan los puestos se pueden ver afectados por este tipo de movimientos, destacando el módulo habitacional La Estancita

### **6.4 ANALISIS MULTITEMPORAL**

Como resultado del análisis realizado se establece que, en los periodos considerados, el cauce está sujeto a fenómenos de crecidas espontáneas con elevados caudales, lo que provoca el arrastre de potentes volúmenes de material que son depositados luego en el lecho del cauce principal.

Se debe tener en cuenta que el cauce, en caso de incremento de caudales o de sedimentación en su lecho, vuelve a tomar el paleocauce que le correspondía, de manera tal que las viviendas ubicadas en la desembocadura de este, están expuesta a riesgos potenciales de inundación.

### **6.5 RECOMENDACIONES**

En función de los resultados alcanzados y las conclusiones extraídas de ellos, se recomiendan las siguientes medidas:

- Propiciar acciones tendientes al Ordenamiento Territorial destinado a regular los usos de las zonas propensas a las inundaciones.
- Profundizar los estudios para determinar fehacientemente las zonas de riesgo con los objetivos de: poder generar una matriz de riesgo específica de la cuenca, considerando sus particularidades, esto es, adaptada a la cuenca alta (amplia), la cuenca media-baja (que se

presenta como una quebrada encajonada) y el piedemonte, dado que cada uno responde diferencialmente a factores específicos de cada zona; por un lado, y, por el otro, para diagramar un plan de prevención, alarma y evacuación.

- Informar mediante cartelería y señalizaciones, las zonas vulnerables y definir áreas seguras ante una posible crecida.
- Informar a la comunidad sobre las amenazas de la zona y la forma adecuada de actuar en caso de desastre.
- Mantener la limpieza del cauce y de los desagües.
- Realizar muros de contención o pantallas en las laderas con frecuencia de derrumbes.



---

# CAPÍTULO 7

---

## BIBLIOGRAFÍA



## 7. REFERENCIAS

- Abramson, L.W. (2002) Estabilidad de la pendiente y métodos de estabilización. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Aceñolaza y Toselli (1977): Descripción Geológica de la Hoja 14f, San Fernando del Valle de Catamarca.
- Aceñolaza et al (1981) Descripción Geológica de la Hoja 14f, San Fernando del Valle de Catamarca.
- Ayala Carcedo, F. (1993) Estrategias para la reducción de desastres naturales". Investigación y Ciencia.pp: 6-13.
- Blasco et al (1994): Descripción Geológica de la Hoja 14f, San Fernando del Valle de Catamarca. pp. 49
- Blasco, G.; Caminos, R.L.; Lapido, O.; Lizuaín, A.; Martínez, H. y Nullo. (1995) Hoja Geológica 2966-II, San Fernando del Valle de Catamarca, Boletín N° 212, Direc. Nac. Serv. Geol.Sec. Min.De la Nación.
- Cabrera, A.L. (1976) Regiones Fitogeográficas Argentinas. Fasc. 1. Tomo II. Enc. Arg. De Agr. y Jard. Ed. ACME.
- Cardona, O.D. (2001) Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Cruden, D M (1991) A simple definition of a landslide. Bulletin International Association for Engineering Geology, pp: 27–29.
- González-Bonorino, F., 1951, Una nueva Formación Precámbrica en el Noroeste Argentino: Museo de La Plata, Comunicación Científica, 5, 4-6.
- González Bonorino, F. (1978). Descripción Geológica de la Hoja 14f, San Fernando del Valle de Catamarca, provincias de Catamarca y Tucumán. Boletín Servicio Geológico Nacional. Buenos Aires, Argentina.
- Hauser Y. (1993) Remociones en Masa en Chile, Boletín N° 45, Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Herzer, H., Rodríguez, C., Celis, A., Bartolomé, M., Caputo, G., (1986) Convivir con el riesgo o la gestión del riesgo. Buenos Aires.
- Kriscautzky, N. (1994) Arqueología del Valle de Catamarca. Actas y Resúmenes XI Congreso Nacional de Arqueología Argentina. Revista del Museo de Historia Natural de San Rafael, Mendoza.
- Kriscautzky, N. y Togo, J. (1994) Prospección Arqueológica en el Valle de Catamarca. Dptos: Valle Viejo, Capital, Fray Mamerto Esquiú y Capayán. Revista del Museo de Historia Natural de San Rafael (Mendoza)
- Kriscautzky, N. (1997) Investigaciones Arqueológicas en las Serranías de Ambato-Manchao y Valle de Catamarca. Proyecto de Investigación, Presentado a la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Catamarca. UNCa MS.
- Larrouy, Antonio. 1914. Los Indios del Valle de Catamarca. Publicaciones de la Sección Antropología N° 14, pp. 3-4. Estudios Históricos Facultad de Filosofía y Letras. Bueno Aires
- Merea Llanos (1981) Descripción Geológica de la Hoja 14f, San Fernando del Valle de Catamarca. pp. 50
- Morláns, M. (1995). Regiones Naturales de Catamarca: Provincias Geológicas y Provincias Fitogeográficas. Revista de Ciencia y Tecnología de la UNCA. Universidad Nacional de Catamarca: Editorial Científica Universitaria.
- Niz, A.; Savio, M. (2014) Geomorfología General de la Provincia de Catamarca. RelatorioXX CGA "Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA. Tucumán.
- Nullo (1981): Descripción Geológica de la Hoja 14f, San Fernando del Valle de Catamarca. pp. 51.

- Niz, A. (2018) "Hydrogeomorphology of basins of the eastern slope of the Sierra de Ambato, Catamarca- Argentina" In press – Earth and Environmental Sciences - wiley library onlinelibrary.wiley.com
- Parkhurst, S. (2000) Risk assessment and quantification of slope conditions based upon site inspection surveys". 8<sup>th</sup> International Symposium on Landslides Cardiff. pp 1171-1176.
- Roca, N. & Pazos, M.S. (2007) The WRB applied to Argentinian soils: two case studies. In: E Micheli, FO Nachtergaele, RJA Jones and L Montanarella (eds). Soil Classification 2001. European Soil Bureau Research Report No.7, EUR 20398 EN. Pp. 191-197. Official Publications of the European Communities.
- Russo, A., Ferello, R. y Chebli, G. (1979) Llanura Chaco-Pampeana. En Geología Regional Argentina. Acad. Nac. de Ciencias, Cordoba.
- Sayago, J.M., (1982). "Las unidades geomorfológicas como base para la evaluación integrada del paisaje natural". Revista Geológica Lilloana XVI (1): 169-180. Tucumán, Argentina.
- Scanterra. (2015). "Generalidades". Buenos Aires, Argentina.
- Schumde, T.H. "Floodplain" in R.W. Fairbridge, The Encyclopedia of Geomorphology (New York: Reinhold, 1968), pp. 359-362
- Sepúlveda, S.A. (1998) Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Stelzner, A. (1873) Comunicaciones sobre la geología y minería de la República Argentina. STELZNER A., 1885. Traducción al castellano (1924). Contribuciones a la geología de la República Argentina. Boletín Academia Nacional de Ciencias de Cordoba.
- Strahler, A. N. (1957), "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology", Geological Society of America Bulletin, pp. 1117–1142
- Strahler, A.N. (1969) Physical Geography. 3rd Edition, John Willey, New York, pp.13-66.
- Vente Chow (1994). Metodología para el análisis morfométrico de cuencas. Pp. 33
- Verdecchia, S.O., 2009, Las metamorfitas de baja presión vinculadas al arco magmático famatiniano: las unidades metamórficas de la Quebrada de La Cébila y el borde oriental del Velasco. Provincia de La Rioja - Argentina: Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba, Tesis doctoral, 312 pp.

## 7.1 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Alcantara Ayala, I. (2000). Landslide: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de geografía, UNAM.
- Anguita, F., Moreno, F. (1994). "Procesos Geológicos Externos y Geología Ambiental". Madrid: Editorial Rueda.
- Atlas Catamarca (2018). Departamento Pomán. ETISIG Catamarca.
- Barbieri, N., Herrera Castellanos, C. (2018). "Análisis geológico- geomorfológico e identificación de los procesos de remoción en masa de la cuenca del Río El Tala-Catamarca Argentina". Seminario de trabajo final. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas – UNCA
- Bastias, J.A. y Ulliarte, E. (1991) Tectoformas de Transcurrencias, Falla Tigre Sector Central, San Juan, Argentina. Congreso Geológico Chileno pp: 505 -509.

- Botija Llasat, M (2012). Riesgos Naturales: clasificación, conceptos, y cuestiones. Tema de portada. Vol. N°31.
- Bravo, B. y Narváez, A. (2007). Manual de gestión y manejo integral de microcuencas. Tarma-Perú: Ministerio de agricultura.
- Caminos, R. (1999). Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Buenos Aires, República Argentina. Anales N° 29. ISSN 0328-2325
- Campaña, S. (2011). Gestión integrada de cuencas hidrográficas y desastres naturales. Chile. Corporación Nacional Forestal – CONAF.
- Cátedra de Manejo y Conservación de los Recursos Naturales Lic. en Geología (2009). Tema 8: Riesgos Geológicos y Ordenamiento Territorial. Universidad Nacional de Catamarca. Catamarca, Argentina: Apunte de clase no publicado.
- García Giménez, R y González Martín, J. A. (2006) Los loess del Valle Medio del río Tajo (Villarrubia de Santiago-Yepes, España). Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.), pp.1-4.
- Gaspari, F. J.; Senisterra, G. E. (2002) Valoración de servicios ambientales para el ordenamiento agrohidrológico en cuencas hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- Geografía Y Atlas Universal. (2009) Ed. Cultural y Librería Americana
- Gutiérrez, A. y Mon, R (2008). Macroindicadores Cinemáticos en el Bloque Ambato, Provincias de Tucumán y Catamarca. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63, pp: 24 – 28.
- Herrera et al (1993): Metodología para la orientación y manejo integral de cuencas hidrográficas. pp. 31
- Horton, R. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical.
- approach to quantitative morphology.” Bulletin of the Geolofgical Society of America, pp.: 275-370.
- Issi Carrizo (1996) Clima de Catamarca. Pág. 43
- Instituto Nacional del Agua (INA) - Centro Regional Andino (CRA) y Secretaría del Agua y del Ambiente Provincia de Catamarca (SAyA) (2010). Relevamiento de la Disponibilidad de Recursos Hídricos Superficiales de Cuenca Salar de Pipanaco, Cuenca Abaucán-Colorado-Salado y Cuencas Faldeo Oriental del Ancasti: Mendoza.
- Instituto Nacional del Agua (INA)-Gobierno de Catamarca (2012). Delimitación De Áreas De Riesgo Hídrico En El Rodeo Departamento Ambato- Catamarca. Mendoza: Publicación Interna.
- Juárez, H.O (1986) Clima de Catamarca. pp. 43.
- Lugo-Hubb, J.; Zamorano-Orozco, J.; Capra, L.; Imbar, M. y Alcantara-Ayala, I. (2005). Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: Causas y efectos. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, pp. 212 – 228.
- Maskrey, A. (1993). Los desastres naturales no son naturales. Primera edición. Colombia: Tercer Mundo Editores.
- Melian, C. S.y Villafanez, E. A. (2017) Caminando sendas en el valle intermontano de "El Tala", Dpto. Capital, Catamarca. Zaranda ideas [online]. pp. 29-46.
- Navarro, H. E. (1994) Catamarca hacia un estudio integral de su Geografía III. Editorial Diartegraf.
- Nieva, N. y.; Cárdenes, S. G., (2011) Percepción social ante el riesgo en la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca. República Argentina. Revista Geográfica de América Central, pp. 1-16.
- Niz, A (2003). Concepto de unidad geomorfológica. Apunte de Cátedra de geomorfología. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. pp. 55

- Ordoñez Gálvez (2011). Cartilla Técnica ¿Qué es Cuenca Hidrológica? Sociedad Geográfica de Lima. Perú.
- Páez M. S. (2009) Formación de microrelieves y procesos de remoción en masa en la subcuenca del río Las Juntas Ambato, Catamarca Mass removal processes in the sub-river Las Juntas Ambato, Catamarca.
- Paoli, H (2002). Recursos hídricos de la Puna, Valles y Bolsones áridos de la Noroeste Argentino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y Centro de investigación, Educación y Desarrollo (CIED). Salta, República Argentina.
- Pérez Arlucea, M., Filgueira, M., Freijido, M. y Méndez, G. (2000). Parámetros morfométricos e hidrológicos de las cuencas de drenaje y ríos tributarios a la ría de Vigo. Estimación de las variaciones anuales en las cargas en suspensión y en disolución. Journal of Iberian Geology. 2000, pp. 171-187.
- Polanski (1966) Descripción Geológica de la Hoja 14f, San Fernando del Valle de Catamarca. pp. 51.
- Puchulu, M. E. & Fernandez, D. (2017). Suelos Representativos del Noroeste Argentino. Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA. Relatorio del XX Congreso Geológico Argentino - Tucumán.
- Ramos, A., Trujillo-Vela, M. y Prada, L. (2015). Análisis descriptivos de procesos de remoción en masa en Bogotá. Obras y Proyectos 18, 63-75
- Ramos, V.A. (1988). "Tectonics of the Late Proterozoic - Early Paleozoic: a collisional history of Southern South America". Episodes 11 pp. 168-174.
- Ramsar (2010). Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales 4º Edición. Manual 9, Manejo de Cuencas Hidrográficas. Editado: Dave Pritchard.
- Ribera Masgrau, L. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas.
- Ruiz, J. (2001) Hidrología, evolución y visión sistemática, la morfometría de cuenca como aplicación. Unellez. Barines – Venezuela.
- Togo, J. y Kriscautzky, N. (1996) Asentamientos Humanos Prehispánicos y Uso del Espacio en el Valle de Catamarca. Actas del I Congreso de Investigación Social Región y Sociedad en Latinoamérica Su Problemática en el Noroeste Argentino. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Tucumán, pp. 479-482.
- Vaccarino Pasquali, E., Manduca, F., Bizzoto F., Vich, A. (2010). Morfometría de cuencas ubicadas en el piedemonte mendocino de la Precordillera. Instituto de Estudios del Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional de Cuyo, IANIGLA-CONICET, Mendoza, Argentina.
- Villanueva, C. (2015). Aplicación de sistemas de información geográfica en la determinación de áreas vulnerables a Riesgos Naturales. Instituto Nacional de Defensa Civil. Proyecto: Sistema de información geográfica- GEODECI. Lima, Perú.

## 7.2 LINKS CONSULTADOS

<https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea65s/ch16.htm>

<http://naturalezaypaisajesdecatamarca.blogspot.com/2012/05/caminata-por-el-antiguo-camino-hacia.html>

<https://www.portal.catamarca.gob.ar/provincia/clima/>

<https://es.weatherspark.com/y/27905/Clima-promedio-en-San-Fernando-del-Valle-de-Catamarca-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>

<http://naturalezaypaisajesdecataamarca.blogspot.com/2014/02/San-Fernando-del-Valle-de-Catamarca.html>

<http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=2278&cityname=Catamarca-Catamarca-Argentina&units=metric>

[http://comunicacionacademica.uc.cl/images/recursos/espanol/escritura/recurso\\_en\\_pdf\\_extenso/15\\_Como\\_elaborar\\_un\\_marco\\_conceptual.pdf](http://comunicacionacademica.uc.cl/images/recursos/espanol/escritura/recurso_en_pdf_extenso/15_Como_elaborar_un_marco_conceptual.pdf)

<http://www.fundesyam.info/biblioteca.php?id=3680>

[http://aquabook.agua.gob.ar/378\\_0](http://aquabook.agua.gob.ar/378_0)

[http://edafologia.ugr.es/programas\\_suelos/practclas/tetrisol/comun/relieves.htm](http://edafologia.ugr.es/programas_suelos/practclas/tetrisol/comun/relieves.htm)

<https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/escorrentia-definicion-tipos-y-factores-que-la-generan/>

<https://deca.upc.edu/es/eldepartamento/secciones/itcg/docencia/asignaturas/geolquat/teoria/T4/T4-PFD-fluviales-3>

<file:///C:/Users/Camila/Downloads/Dialnet-IdentificacionDeAmenazaPorDeslizamientosDeTierraMe-6163765.pdf>

<http://ecoambientes.tripod.com/id7.html>

<https://glosarios.servidor-alicante.com/geografia-fisica/superficie-de-erosion-o-de-aplanamiento>

[http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geografia/geomorfologia/html/3\\_3\\_2.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/3_3_2.html)

<https://es.wikipedia.org/wiki/Reptaci%C3%B3n>

<https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2013/07/30/142877>



---

# ANEXO

---

