



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

## TRABAJO FINAL

# EL RIESGO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO DE ORIGEN EÓLICO-FLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.

**Alumno: Cejas Gabriel Gonzalo**  
**M.U.N°00537**

Directora: Dra. Adriana Ediht Niz  
Co- Directora: Dra. Erlinda Del Valle Ortiz



Mayo 2018



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA: LICENCIATURA EN GEOLOGÍA**

**TRABAJO FINAL**

**EL RIESGO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO DE ORIGEN  
EÓLICO-FLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE FIAMBALÁ –  
TINOGASTA – CATAMARCA.**

**Alumno: Gabriel Gonzalo Cejas  
M.U.N°00537**

**Directora: Dra. Adriana Ediht Niz**

**Co- Directora: Dra. Erlinda del Valle Ortiz**

**MAYO 2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quiero agradecer a la Universidad Nacional de Catamarca, a la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas y al Departamento de Geología que me dio la oportunidad de estudiar y alcanzar esta meta tan anhelada que, con esfuerzo y sacrificio, pude obtener.

Agradecer a la Dra. Adriana Niz y la Dra. Erlinda del Valle Ortiz por aceptar ser mi Directora y Co-Directora que, con mucha humildad me supieron guiar, aconsejar y apoyar en esta etapa tan importante para mí. A los demás miembros del Instituto de Monitoreo y Degradación Geoambiental, Lic. Ana María Salas, Lic. Cinthia Lamas, Ing. Marcelo Savio, que me acompañaron en todo este tiempo.

A la Dra. Adriana Niz quiero darle mi mayor agradecimiento por haber estado durante todos estos años guiándome, para que el día de mañana pueda ser un buen profesional, y más importante, una mejor persona. Agradecerle porque siempre me ayudo para que siguiera progresando y pudiera llegar a este lugar tan anhelado, que compartiera su aprecio por esta hermosa carrera como es la geología, que tanto quiere y respeta. Siempre le estaré muy agradecido.

A mi familia agradecerle por siempre haber estado al lado mío y que sin ellos no hubiera podido lograr este gran objetivo personal, especialmente a mis abuelos Felisa y Ramón que me acompañaron en todo momento.

A mis compañeros, amigos y demás gente que tuve el privilegio de conocer durante esta etapa en la universidad, especialmente a Aldana Sueiro con quien compartí muchos momentos y aventuras desde que ingresamos a esta carrera.

Gracias a mis padres Liliana y Dante por haberme dado la oportunidad de estudiar y su apoyo en cada momento, especialmente mi madre que nunca dejó que bajara los brazos, que siempre me apoyo sin importar lo que fuera y que estuvo a mi lado de manera incondicional. A mis hermanos Ivan y Lucia por acompañarme en todo momento.

***Dedicado para mi mamá Liliana.***

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3 UBICACIÓN .....	4
1.4 CLIMA .....	6
1.4.1 TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN .....	6
1.5 SUELO .....	7
1.6 FITOGEOGRAFÍA.....	8
1.7 OROGRAFÍA.....	8
1.8 HIDROGRAFÍA .....	8
<b>CAPÍTULO 2 MARCO TEORICO</b> .....	12
2.1 MARCO CONCEPTUAL .....	13
2.2 RIESGO NATURAL .....	13
2.3 ASPECTOS CONCEPTUALES DE AMENAZA, VULNERABILIDAD, RIESGO Y MITIGACIÓN .....	13
2.3.1 AMENAZA .....	13
2.3.2 VULNERABILIDAD .....	14
2.3.3 RIESGO.....	14
2.3.4 MITIGACIÓN .....	15
2.4 MORFOMETRIA DE UNA CUENCA.....	15
2.5 ACCIÓN EÓLICA.....	16
2.5.1 ORIGEN DE LAS DUNAS.....	16
2.5.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ACTIVIDAD EÓLICA.....	17
2.6 PROCESOS DE DESERTIZACIÓN .....	19
2.7 ANÁLISIS MULTITEMPORAL .....	19
<b>CAPÍTULO 3 METODOLOGIA</b> .....	21
3.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	22
3.1.1 MATERIAL EMPLEADO .....	22
3.2 PRIMERA ETAPA .....	22
3.3 SEGUNDA ETAPA.....	23
3.3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS VULNERABLES .....	23

3.4 TERCERA ETAPA .....	25
3.5 DESCRIPCIÓN Y PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS DISTINTAS UNIDADES.....	25
3.5.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL.....	25
3.6 ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS.....	25
3.7 ANÁLISIS MULTITEMPORAL .....	26
<b>CAPÍTULO 4 RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
4.1 GEOMORFOLOGÍA.....	29
4.1.1 GEOLOGÍA.....	29
4.1.2 ASPECTOS ESTRATIGRAFICOS .....	30
4.1.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	32
4.1.4 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL .....	34
4.1.5 PROVINCIAS GEOMORFOLÓGICAS .....	34
4.1.6 REGIONES Y ASOCIACIONES GEOMORFOLÓGICAS .....	35
4.1.7 GEOMORFOLOGÍA LOCAL .....	39
4.2 MORFOMETRIA DE CUENCAS .....	41
4.2.1 PARÁMETROS MORFOMETRICOS DE LA CUENCA DEL RIO CHASCHUIL Y DEL RIO FIAMBALA .....	43
4.2.1.1 PARÁMETROS GENERALES DE UNA CUENCA.....	43
4.2.1.2 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA FORMA DE LA CUENCA .....	47
4.2.1.3 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA RED DE DRENAJE.....	50
4.2.1.4 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN EL RELIEVE DE LA CUENCA.....	54
4.3 ACCION EOLICA.....	59
4.3.1 PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS.....	59
4.3.1.1 PROCESOS DE EROSIÓN .....	59
4.3.1.2 PROCESOS DE ACUMULACIÓN .....	62
4.3.1.3 PROCESOS DE DESERTIZACIÓN.....	65
4.3.2 BARRIO SAN MARCOS .....	66
4.4 ACCIÓN FLUVIAL.....	67
4.4.1 ANTECEDENTES DE INUNDACIONES DEL RÍO FIAMBALÁ Y ABAUCÁN .....	68
4.4.2 EVOLUCIÓN DE LA MORFOLOGÍA FLUVIAL DEL RÍO FIAMBALÁ .....	68
4.5 ANÁLISIS MULTITEMPORAL .....	69
4.5.1 ANÁLISIS MULTITEMPORAL AÑO 1982. MAPA GEOMORFOLÓGICO REALIZADO POR VIERA .....	69
4.5.2 ANÁLISIS MULTITEMPORAL AÑO 2002 .....	74
4.5.2.1 ZONA SUR .....	77

4.5.2.2 ZONA SUDESTE.....	78
4.5.3 ANÁLISIS MULTITEMPORAL AÑO 2013.....	82
4.5.3.1 ZONA SUR.....	83
4.5.3.2 ZONA SUDESTE.....	83
4.5.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL AÑO 2017.....	87
4.5.4.1 ZONA SUR.....	88
4.5.4.2 ZONA SUDESTE.....	88
4.5.5 ANÁLISIS DE RIESGO FLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE FIAMBALÁ.....	94
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
5.1 GENERALES.....	98
5.2 PROCESOS EÓLICOS.....	98
5.3 MORFOMETRÍA DE CUENCAS.....	99
5.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL.....	101
<b>CAPÍTULO 6 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>103</b>
6.1 BIBLIOGRAFÍA.....	104
6.2 LINK CONSULTADOS.....	107
<b>CAPÍTULO 7 ANEXO I.....</b>	<b>108</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Croquis de ubicación del área de estudio. ....	5
Figura N° 2: Climograma realizado a partir de datos históricos del tiempo en Fiambalá. ....	7
Figura N° 3: Distintos afluentes principales que dan origen al Río Abaucán. A) Río Chaschuil en su parte alta de la cuenca. B) Río Fiambalá en la entrada a la localidad de Medanitos. C) Sector del Río Fiambalá canalizado para riego en la Localidad de Fiambalá D) Río Abaucán en la desembocadura de su cuenca. ....	9
Figura N° 4: Sistema de drenaje superficial del Río Abaucán, donde confluyen el Río Chaschuil con el Río Fiambalá. ....	11
Figura N° 5: Tipos de dunas según la dirección del viento. ....	17
Figura N° 6: Mapa geológico de la cuenca del Río Abaucán digitalizado a partir del Mapa Geológico de Catamarca, realizado por Martínez L. (1995) de la Secretaria de Minería – Dirección Nacional del Servicio Geológico. ....	33
Figura N° 7: Distribución de las Provincias Geomorfológicas, en rojo se resalta la zona de estudio (Niz, A. y Savio M. 2017). ....	35
Figura N° 8: Acción del viento afectando las áreas de deflación, al norte de la Localidad de Fiambalá, en dirección al oeste. ....	40
Figura N° 9: Mapa geológico – geomorfológico de la cuenca del Río Fiambalá. ....	41
Figura N° 10: Confluencia de los cauces de los Ríos Fiambalá y Guanchin que dan origen al Río Abaucán en el sector oriental de la Localidad de Fiambalá. ....	42
Figura N° 11 y Figura N° 12: DEM de la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá para el análisis de los parámetros generales. ....	44
Figura N° 13: grafica de la Curva Hipsométrica y polígono de frecuencia de la cuenca del Río Chaschuil. ....	45
Figura N° 14: grafica de la Curva Hipsométrica y polígono de frecuencia de la cuenca del Río Fiambalá. ....	46
Figura N° 15 y Figura N° 16: Representación cartográfica de la Curva Hipsométrica en la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá. Se puede observar en formato A3 en Anexos. ....	47
Figura N° 17: Imagen satelital tomada para la. ....	48
Figura N° 18: Imagen satelital tomada para la cuenca del Río Fiambalá. ....	48
Figura N° 19 y Figura N° 20: Representación gráfica del factor de orden de Horton para la cuenca del Río Chaschuil y de la cuenca del Río Fiambalá. ....	51
Figura N° 21 y Figura N° 22: Representación cartográfica de las curvas de nivel, utilizadas para obtener la pendiente media de la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá. ....	55
Figura N° 23 y Figura N° 24: Representación cartográfica de los rangos de pendiente media de la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá. ....	57
Figura N° 25 y Figura N° 26: Mapa hidrográfico de la cuenca del Río Chaschuil y Río Fiambalá con el respectivo perfil topográfico de su cauce principal. ....	58
Figura N° 27: Distintos tipos de dunas en las proximidades a la Localidad de Fiambalá. A) Dunas de tipo barjanas en el sector N NO de la localidad. B) Avance de frente de médano en el sector SE de la Localidad de Fiambalá. ....	60
Figura N° 28: Distintos tipos de dunas en las proximidades a la Localidad de Fiambalá. A) y B) Duna móvil ubicada en el sector este, camino hacia las Termas de Fiambalá. ....	60
Figura N° 29: Mapa de vulnerabilidad eólica de la cuenca del Río Fiambalá, donde se resaltan las áreas vulnerables a la acumulación de sedimentos y los procesos de deflación. ....	61

Figura N° 30: Mapa de riesgo ante los procesos eólicos de acumulación y deflación en la cuenca del Río Fiambalá y cómo afecta a las principales localidades. ....	62
Figura N° 31: Mapa de riesgo ante los procesos eólicos de acumulación y deflación que ocurren en la Localidad de Fiambalá y zonas circundantes.....	64
Figura N° 32: Acumulación de arenas de origen eólico en los márgenes del Río Fiambalá..	65
Figura N° 33: Imágenes de la acumulación de los médanos en el barrio San Marcos. A) y B) antiguas viviendas tapadas por el avance del frente de médano. C) Imagen satelital de la acumulación de dunas en el sector SE. D) Antiguas parcelas consumidas por el avance del médano. ....	66
Figura N° 34: Depósitos de arenas en distintos tramos del Río Abaucán. ....	67
Figura N° 35: Mapa Geomorfológico de la Localidad de Fiambalá – Tinogasta – Catamarca (Viera 1982). ....	72
Figura N° 36: Acumulaciones y avance de dunas en la zona sur de la Localidad de Fiambalá (Viera 1982). ....	73
Figura N° 37: Acumulaciones y avance de dunas en la zona sudeste de la Localidad de Fiambalá (Viera 1982). ....	74
Figura N° 38: Análisis multitemporal de los procesos eólicos e hídricos. Mapa geomorfológico de la localidad de Fiambalá, año 2002. ....	75
Figura N° 39: Abanicos aluviales que bajan de la Sierra de Fiambalá. ....	76
Figura N° 40: Parcelas abandonadas y la antigua plaza ubicada al sur de la localidad de Fiambalá. ....	77
Figura N° 41: Retroceso de la duna de la zona sur entre los periodos 1982 y 2002. ....	78
Figura N° 42: Avance de médano en el sector sudeste entre los periodos 1982 y 2002. ....	78
Figura N° 43: Avance del Frente “B” del médano entre los periodos 1982 y 2002.....	79
Figura N° 44: Avance del Frente “A” del médano entre los periodos 1982 y 2002.....	79
Figura N° 45: Retroceso del Frente “C” del médano entre los periodos 1982 y 2002. ....	80
Figura N° 46: Meandros activos del Río Fiambalá en el sector norte de la Localidad de Fiambalá, año 2002. ....	80
Figura N° 47: Meandros activos y meandros abandonados del Río Abaucán, en el sector este de la localidad de Fiambalá, año 2002.....	81
Figura N° 48: Badlands en el sector norte de la localidad de Fiambalá.....	81
Figura N° 49: Análisis multitemporal de los procesos eólicos e hídricos. Mapa geomorfológico de la Localidad de Fiambalá, año 2013. ....	82
Figura N° 50: Avance de la duna de la zona sur entre los periodos 2002 y 2013. ....	83
Figura N° 51: Avance del Frente “B” del médano entre los periodos 2002 y 2013.....	84
Figura N° 52: Avance de médano del frente “A” en el sector sudeste entre los periodos 2002 y 2013. ....	84
Figura N° 53: Avance de médano del frente “C” en el sector sudeste entre los periodos 2002 y 2013. ....	85
Figura N° 54: Meandros activos, abandonados y paleomeandros del Río Fiambalá en el sector norte de la localidad de Fiambalá, año 2013. ....	85
Figura N° 55: Meandros abandonados y Paleomeandros del Río Abaucán en el sector sur de la localidad de Fiambalá, año 2013.....	86
Figura N° 56: Avance de badlands en el sector norte de la Localidad de Fiambalá, año 2013. ....	86
Figura N° 57: Análisis multitemporal de los procesos eólicos e hídricos. Mapa geomorfológico de la localidad de Fiambalá, año 2017. ....	87

Figura N° 58: Avance de la duna de la zona sur entre los periodos 2013 y 2017. ....	88
Figura N° 59: Antiguas pircas del Barrio San Marcos abandonadas por el avance del frente "B" de médano. ....	89
Figura N° 60: Avance del Frente "B" del médano entre los periodos 2013 y 2017. ....	89
Figura N° 61: Avance del Frente "A" del médano entre los periodos 2013 y 2017. ....	90
Figura N° 62: Frente "A" de médano visto desde diferentes ángulos. ....	90
Figura N° 63: Distintos algarrobos que están siendo tapados por el avance del Frente "A" en su margen oeste. ....	90
Figura N° 64: Frente "B" del médano y su posterior barrera de contención. ....	91
Figura N° 65: Acumulaciones de médano en las barreras de árboles en el frente "C". ....	91
Figura N° 66: Frente "C" del médano entre los periodos 2013 y 2017. ....	91
Figura N° 67: Ingreso del frente "C" hacia las parcelas cultivadas de viñedos. ....	92
Figura N° 68: Meandros abandonados del Río Fiambalá en el sector norte de la localidad de Fiambalá, año 2017. ....	92
Figura N° 69: Meandros activos y abandonados del Río Abaucán en el sector sur de la localidad de Fiambalá, año 2017. ....	93
Figura N° 70: Avance de badlans en el sector norte de la localidad de Fiambalá, año 2017. ....	93
Figura N° 71: Áreas de carcavamiento en los márgenes del Río Fiambalá. ....	94
Figura N° 72 y Figura N° 73: Margen oeste del Río Chaschuil o Guanchin canalizado con materiales de su propio lecho. ....	94
Figura N° 74: Margen este del Río Chaschuil o Guanchín y las casas asentadas sobre su margen derecho. ....	95
Figura N° 75: Mapa de riesgo de origen fluvial. ....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Tabla de valores históricos de temperatura y precipitaciones mensuales de la localidad de Fiambalá – Catamarca.....	6
Tabla N° 2: Parámetros generales de la cuenca del Río Chaschuil. ....	43
Tabla N° 3: Parámetros generales de la cuenca del Río Fiambalá. ....	43
Tabla N° 4: Valores obtenidos para la representación gráfica de la Curva Hipsométrica de la cuenca del Río Chaschuil. ....	45
Tabla N° 5: Valores obtenidos para la representación gráfica de la Curva Hipsométrica de la cuenca del Río Fiambalá. ....	46
Tabla N° 6: Valores de factor de forma de la cuenca del Río Chaschuil. ....	48
Tabla N° 7: Valores de factor de forma de la cuenca del Río Fiambalá. ....	48
Tabla N° 8: Valores de factor de forma de Horton de la cuenca del Río Chaschuil. ....	49
Tabla N° 9: Valores de factor de forma de Horton de la cuenca del Río Fiambalá. ....	49
Tabla N° 10: Valores usados para obtener el Índice de Compacidad de la cuenca del Río Chaschuil. ....	50
Tabla N° 11: Valores usados para obtener el Índice de Compacidad de la cuenca del Río Fiambalá. ....	50
Tabla N° 12 y Tabla N° 13: Valores obtenidos por cada orden para determinar la densidad de drenaje de la cuenca del Río Chaschuil.....	52
Tabla N° 14 y Tabla N° 15: Valores obtenidos por cada orden para determinar la densidad de drenaje de la cuenca del Río Fiambalá.....	52
Tabla N° 16 y Tabla N° 17: Valores obtenidos para determinar el tiempo de retorno para la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá. ....	53
Tabla N° 18 y Tabla N° 19: Valores obtenidos para determinar la pendiente media de la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá. ....	54
Tabla N° 20 y Tabla N° 21: Valores calculados para obtener la pendiente media de la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá, para su posterior representación cartografía. ....	56
Tabla N° 22 y Tabla N° 23: Valores utilizados para determinar la pendiente media de los Ríos Chaschuil y Fiambalá.....	57

## RESUMEN

El Distrito de Fiambalá se ubica al oeste de la Provincia de Catamarca, Argentina, presenta un ambiente semiárido riguroso; integra el extenso territorio considerado como áreas frágiles con tendencia a la desertificación. Durante el asentamiento poblacional, la trama urbana fue creciendo en forma espontánea, carente de toda planificación. Actualmente, debido a la expansión de esas áreas urbanas, particularmente en zonas periféricas, se ha avanzado sobre tierras pobremente vegetadas, en las que la deforestación que acompaña al asentamiento urbano, expone las superficies a la actividad eólica, incrementando los procesos de deflación y transporte de sedimentos. De esta manera, se ha desestabilizado el sistema dunario provocando, por un lado, el avance de los médanos sobre las viviendas ubicadas en distintos sectores de la Localidad y áreas de cultivo y, por otro lado, la erosión de suelos cultivables.

El presente trabajo tiene como fin la evaluación de los riesgos de origen eólico y fluvial presentes en la Localidad de Fiambalá. Para ello se analizó la dinámica de estos procesos, las distintas geoformas de erosión y de acumulación, y el impacto en las diversas actividades económicas de la zona y, como consecuencia de ello, la migración de la población.

La metodología empleada consistió en tres etapas que incluyeron las tareas de gabinete y trabajos de campo. Para ello se realizó la búsqueda y recopilación de antecedentes estadísticos, bibliográficos, etc., para generar mapas temáticos utilizando herramientas GIS, digitalizando imágenes satelitales cedidas por CONAE- INPI y UGSS. La etapa de campo se efectuó con la base cartográfica creada para su posterior control en el terreno, donde se recorrieron las zonas de investigación constatando, correlacionando, ajustando y corrigiendo los mapas confeccionados. Por último, se llevó a cabo la corrección y elaboración de la cartografía final con el objetivo de identificar y dar a conocer las probables áreas vulnerables y potenciales a los riesgos eólicos y fluviales de la Localidad de Fiambalá y contribuir a los planes de contingencia y a la planificación del territorio.

En términos generales se concluyó que: la actividad eólica en el valle de Fiambalá es intensa, generando geoformas de erosión (representada por superficies de deflación) principalmente en los sectores este y sur de la Localidad de Fiambalá y geoformas de acumulación (de tipo dunarias) hacia el este y norte de la misma. Esto provoca grandes dificultades debido al constante avance de los médanos hacia la población. La acumulación dunaria produce el soterramiento de los suelos débilmente fértiles de esa región y sobre las áreas pobladas, lo que obliga a la comunidad a trasladar sistemáticamente sus cultivos y, en algunas ocasiones, su vivienda. La erosión manifiesta en áreas de deflación, produce la decapitación de los suelos débilmente fértiles de esa región y genera suelos esqueléticos. La acumulación del material sedimentario sobre el cauce y márgenes de los Ríos Fiambalá y Abaucán, favorece la infiltración del caudal provocando el difícil acceso para el uso de riego de las zonas cultivadas.

Por su parte la actividad fluvial en periodos de precipitaciones intensas genera importantes crecidas del Río Fiambalá, dando así lugar a una vulnerabilidad adicional, y, por ende, un problema para la población, debido a que la erosión que produce sobre sus márgenes, está avanzando hacia las áreas de cultivos que se ubican en los sectores próximos a éstas.

Palabras claves: Riesgo eólico; Riesgo hídrico; Avance de médanos; Fiambalá; Tinogasta

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN



## 1.1 INTRODUCCIÓN

La localidad de Fiambalá emplazada en el Departamento Tinogasta, Provincia de Catamarca, se ubica en el marco de la región de Sierras Pampeanas Noroccidentales, donde el Sistema de Famatina y la Cordillera Frontal flanquean el bolsón por el oeste, con un relieve típico de esas provincias geológicas. El Río Abaucán constituye el cauce más importante de la comarca, su cabecera se emplaza en la región delimitada por el sistema integrado por: Cordillera de San Buenaventura - Sierra de Fiambalá - Sierra de Narváez y nace de la confluencia de los ríos Chaschuil o Guanchin (que drena el Valle de Chaschuil) y Fiambalá que escurre desde el norte del Bolsón.

La localidad de Fiambalá se encuentra inmersa en una región caracterizada por la problemática originada por la dinámica eólica, que genera procesos de deflación, transporte y acumulación de sedimentos, lo cual implica la formación de superficies deflacionadas por un lado, y de acumulaciones dunarias por el otro. Los médanos avanzan desde el sudeste de la localidad, hacia el área urbana, provocando grandes dificultades para los pobladores, tanto en las viviendas como en los sectores de cultivos.

La actividad eólica en el Valle de Fiambalá también es intensa, generando geoformas de erosión y geoformas de acumulación. Las primeras se sitúan en el piedemonte occidental de la Sierra de las Planchadas y sector norte de la Sierra de Narváez, y al sur de la Localidad de Fiambalá; se deben a un intenso proceso de deflación que barre la superficie extrayendo y transportando los sedimentos más finos (limos, arcillas, arenas medianas a finas) y dejando expuestos los materiales más gruesos, originando superficies de deflación tales como campos de gravas, campos de arenas y campos de bloques (según sea el tamaño del material que queda en superficie). Las geoformas de acumulación se sitúan en el piedemonte y ladera oriental de la Sierra de Fiambalá, y al norte de la localidad de Fiambalá, involucrando las localidades de Medanitos, Tatón, Los Nacimientos, La Soledad, etc.; se forman como consecuencia sedimentos sujetos al proceso de deflación que son transportados y depositados en este sector generando extensos campos de dunas.

La movilidad de las dunas, y el impacto que este proceso produce en las comunidades involucradas, es una temática que ha adquirido una gran relevancia como condicionante del desarrollo socio-económico de los pueblos, a tal punto que se han generado proyectos internacionales para atender esta problemática, tales como el programa PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y el proyecto LADA (Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas) para regiones áridas, en los que se definen metodologías apropiadas para analizar, estudiar y mitigar el impacto de los procesos eólicos en la degradación del suelo.

El presente trabajo se estructura en siete capítulos: el primero incluye la introducción al tema de estudio, los objetivos y se describen las características generales del área de estudio como la ubicación, clima, hidrografía orografía, entre otros. En el segundo capítulo corresponde al marco teórico donde se realiza la descripción de las bases teóricas de la investigación, los antecedentes del lugar y su estado actual. El tercer capítulo de metodología incluye el diseño de la investigación, como así también las técnicas empleadas y de procesamientos, instrumentos de la recolección de datos y el análisis de la información.

En el cuarto capítulo se presentan los resultados alcanzados donde se analizan y desarrollan los objetivos propuestos siguiendo la metodología especificada. El quinto capítulo contiene las conclusiones alcanzadas, los resultados finales y las recomendaciones pertinentes. En el sexto capítulo se detalla la bibliografía consultada, citada y las páginas web visitadas. El séptimo y último capítulo se encuentran los anexos correspondientes a la cartografía final.

Para su análisis y representación gráfica se generaron mapas, tales como geológico, hidrográfico, geomorfológico y topográfico, utilizando herramientas GIS, el software ArcGis y digitalizando sobre un mosaico de la Provincia de Catamarca proporcionado por el ETISIG provincial, a partir de imágenes satelitales Landsat 5-TM5 en un sistema de coordenadas UTM.

Para la cartografía topográfica, representada mediante curvas de nivel y Modelos de Elevación Digital (DEM), se utilizaron los software Global Mapper y ArcMap sobre base de una imagen SRTM, con resolución de 90 metros.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Definir y evaluar el riesgo geológico-geomorfológico de origen eólico- fluvial de la localidad de Fiambalá – Tinogasta – Catamarca, mediante el análisis de la dinámica de dichos procesos y las geoformas de erosión y acumulación resultantes, para la valoración de migración de los asentamientos urbanos y el impacto en sus actividades.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Buscar y seleccionar la recopilación de antecedentes en la zona de estudio y en regiones similares.
- Expandir y aplicar los conocimientos específicos sobre la temática de riesgos geo-ambientales en la localidad de Fiambalá, poniendo énfasis en el riesgo de origen eólico e hídrico característico de la región.
- Delimitar el área de estudio, a partir de imágenes satelitales, a fin de caracterizar el ambiente geográfico, geológico, geomorfológico y elaborar la cartografía temática correspondiente.
- Realizar control de campo en el área de estudio a fin de constatar la información generada en gabinete, ejecutar al mismo tiempo la toma de fotografías de las geoformas y procesos, debidamente georeferenciadas con el dispositivo GPS.
- Analizar la vulnerabilidad de la localidad de Fiambalá frente al riesgo de origen hídrico y eólico.
- Caracterizar el riesgo geo-ambiental derivado de la dinámica de los procesos eólicos e hídricos en el Valle de Fiambalá.
- Establecer la relación existente entre los procesos naturales y la actividad del hombre en la generación y/o potenciación del riesgo geo-ambiental.

### **1.3 UBICACIÓN**

El Bolsón de Fiambalá se ubica al noroeste del Departamento Tinogasta, al oeste de la Provincia de Catamarca. Dista 350 km de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, Capital de la Provincia.

Es un bolsón típico de la región occidental de las Sierras Pampeanas Noroccidentales, llamado comúnmente Bolsón de Fiambalá. Limita al norte con la Cordillera de San Buenaventura; al oeste con la Sierra de Las Planchadas; al este la Sierra de Fiambalá y al sur con el Valle de Tinogasta (cabecera departamental).

Se accede a ella a través de la RN N°38 desde la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, hasta la Quebrada de La Cébila, donde se une a la RN N°60. Siguiendo esta ruta pasa por las localidades de Aimogasta (La Rioja), Tinogasta (cabecera del Departamento homónimo) y a 50 km al norte se ubica la zona de estudio, Figura N°1.

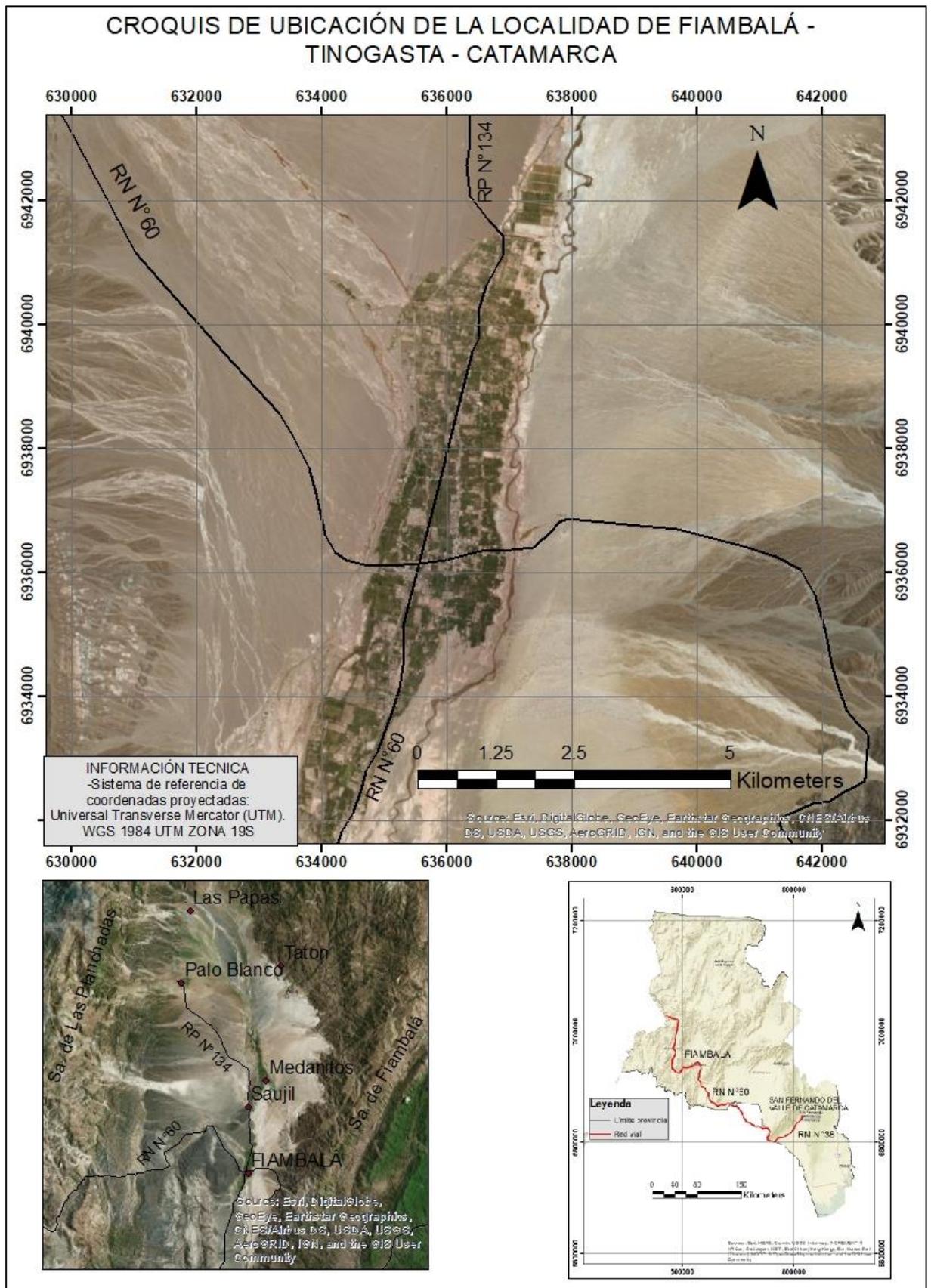


Figura N° 1: Croquis de ubicación del área de estudio.

## 1.4 CLIMA

El clima de la región se califica como semiárido riguroso, de baja pluviometría. Se observan montañas sin vegetación, arenales, desiertos llanos y de poca extensión, médanos que cubren los faldeos orientales de las Sierras de las Planchadas - Narváez, y occidental de la Sierra de Fiambalá.

El área presenta grandes amplitudes térmicas, lluvias concentradas en época estival, fuerte insolación anual, frecuentes vientos desecantes y baja humedad atmosférica que ocasiona elevada, evapotranspiración y consecuentemente un importante déficit hídrico. Hacia el norte de la cuenca domina un clima Árido Andino Puneño y en el centro y sur prevalece el Árido de Sierras y Bolsones.

Los vientos predominantes de la región son del sector sur – sureste, con una velocidad promedio de 20 Km/h a 70 Km/h y excepcionalmente de 90 Km/h. En la estación invernal suele tener un viento caliente y seco llamado Zonda que procede de la cordillera con velocidades que oscilan entre 70 Km/h a 80 Km/h. El viento Zonda es un viento local seco y cálido, que frecuentemente sopla y lleva partículas en suspensión sobre las estribaciones orientales que provienen de la Cordillera de los Andes. Este viento nace en el anticiclón del Océano Pacífico, por lo tanto, inicia como un viento frío y húmedo, que luego es desviado por el ciclón de la Precordillera e ingresa en la zona de mayores alturas, donde choca con éstas generando lluvias orográficas y nevadas en las cimas. Ingresa a la al departamento Tinogasta a través de la localidad de Fiambalá como viento seco que hace elevar la temperatura hasta los 40°C, pero, luego que ha finalizado el zonda, que dura aproximadamente dos a tres días, le sucede un brusco descenso de temperatura.

### 1.4.1 TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN

El climograma histórico de la localidad de Fiambalá, muestra que las épocas de mayores precipitaciones corresponden a los periodos que van desde diciembre a marzo, pudiendo llover hasta 32 mm en un mes. Entre los meses de abril a noviembre, las precipitaciones son escasas con valores que van entre 1 mm y 5 mm. Las temperaturas máximas abarcan un periodo de diciembre a marzo alcanzando los 30,70°C, mientras que, las mínimas temperaturas ocurren desde abril a octubre, con valores que llegan a los -0,20°C. Tabla N°1 y Figura N°2.

	Ener	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
<b>Temperatura media (°C)</b>	23,10	22,30	20,40	15,60	12,10	9,20	9,50	11,60	14,40	17,40	20,60	22,40
<b>Temperatura min. (°C)</b>	15,50	15,00	12,60	7,10	3,10	0,20	-0,20	1,90	5,00	8,60	12,20	14,70
<b>Temperatura máx. (°C)</b>	30,7	29,6	28,2	24,1	21,2	18,2	19,30	21,40	23,90	26,20	29,00	30,20
<b>Precipitación (mm)</b>	32	30	18	3	1	1	3	2	2	1	5	19

Tabla N° 1: Tabla de valores históricos de temperatura y precipitaciones mensuales de la localidad de Fiambalá – Catamarca.

Fuente: Climate – Data (<https://es.climate-data.org/location/19879/>).

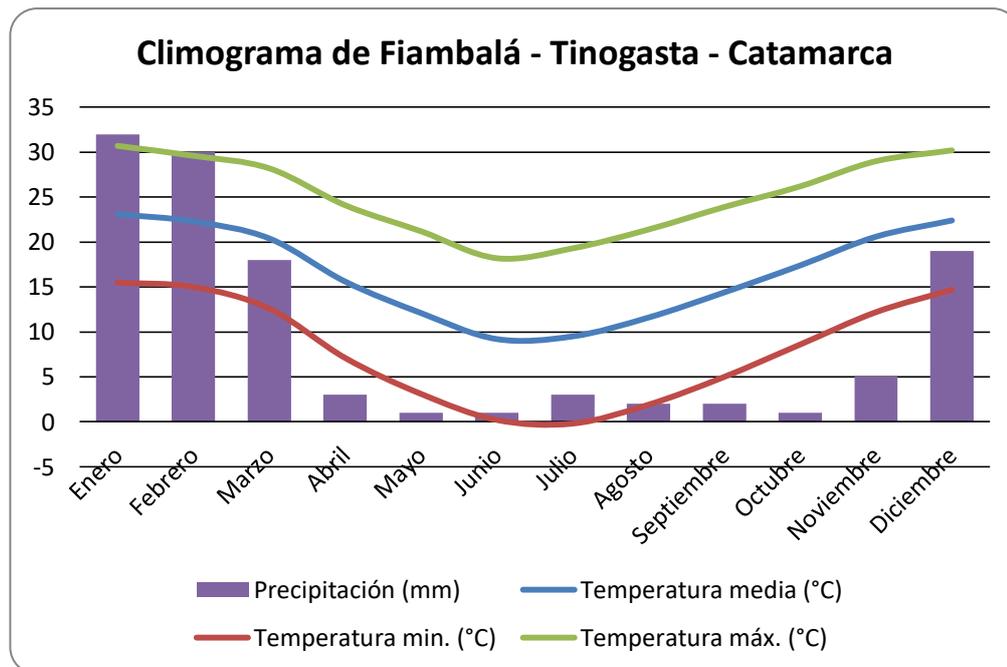


Figura N° 2: Climograma realizado a partir de datos históricos del tiempo en Fiambalá. Fuente: Climate – Data (<https://es.climate-data.org/location/19879/>)

## 1.5 SUELO

En general son suelos poco evolucionados, presentan truncamiento de los horizontes superficiales originales con exposición de materiales de horizontes sub-superficiales, exhibe colores claros, conforman estructuras lábiles y textura con predominio de las fracciones gruesas (arenosas y franco - arenosas) y medianas (franco - arcillosas y franco - limosas), comúnmente de muy baja cohesión; en cuanto a la materia orgánica, es escasa o inexistente. Es común la presencia de suelos salinizados, si bien las sales del suelo constituyen la base de su fertilidad (en forma de nutrientes), y además intervienen en numerosos procesos funcionales (como génesis de la estructura, por ejemplo), cuando la concentración de ellas franquea un cierto umbral, se producen cambios en las características del suelo que afectan el desarrollo de especies vegetales o cultivos. Este proceso puede deberse a distintos factores que inciden aisladamente o que interactúan entre sí, tales como el uso inapropiado del agua de riego, la insuficiente provisión y/o mala calidad de las mismas, escaso drenaje del suelo, o a un origen natural a partir de materiales litológicos salinos.

Considerando los “Diez órdenes de suelos” (del Soil Survey Staff del departamento de agricultura de los estados Unidos, 1960), en el área predominan los *Entisoles* (suelos con una muy pobre distinción de horizontes, o sin ella); y *Aridisoles* (suelos secos, con frecuentes acumulaciones de sal, yeso y/o carbonato). Navone (1997) describe para la zona los suelos como Torripsament, Torriortente As., Calciortides típico, Torripsament típico, Torriortente típico, Torrifluente, Torrifluente Ustertico

## 1.6 FITOGEOGRAFÍA

La vegetación se caracteriza por un arbustal bastante abierto compuesto por especies como la Jarilla (*Larrea cuneifolia*, *Larrea divaricata*), Jarilla macho (*Zuccagnia punctata*), Ala de loro (*Monttea aphylla*), Pichanilla (*Senna aphylla*), Retamo (*Bulnesia retama*), etc. acompañadas por diversas especies herbáceas. En zonas cercanas a cursos de agua es posible encontrar bosques de Algarrobo (*Prosopis flexuosa*, *Prosopis chilensis*) cuya madera ha sido y es utilizada para diversos fines, lo que puso en peligro su conservación. La tala indiscriminada es un problema y ha producido la desaparición de algunos bosques cercanos a la Localidad de Fiambalá lo cual potencia procesos que generan la desertificación.

La fauna característica del bioma que se manifiesta en el Valle del Abaucán está compuesta por mamíferos como el Ututuco u Oculito (*Ctenomys fulvus*), el Zorro gris (*Pseudalopex griseus*) y el Puma (*Puma concolor*). Entre las aves se encuentran al Suri (*Rhea americana*) y otras especies como el Jote de cabeza colorada (*Cathartes aura*), el Loro barranquero (*Cyanoliseus patagonus*). Claro está que, salvo las dos últimas, suelen ser especies no fácilmente observables a simple vista (Morlans, 1995).

## 1.7 OROGRAFÍA

La Localidad de Fiambalá se encuentra situada a 1550 m.s.n.m., limitada por la Cordillera de San Buenaventura al norte, la Sierra de Fiambalá al este y las Sierras de Las Planchadas y de Narváez al oeste (Figura N° 1). En el piedemonte oriental de estas sierras se puede observar la presencia de grandes abanicos aluviales, formados por el depósito de material sedimentario proveniente del desgaste de las mismas. En el piedemonte occidental de la Sierra de Fiambalá, hacia el sur también se observan ese tipo de abanicos, en cambio, hacia el noreste del Bolsón se emplaza un gran campo de dunas, entre las localidades de Saujil, Medanitos y Tatón, donde se encuentra la acumulación de médanos más alta del mundo, la Duna Federico Kirbus, de 1230 metros de altura neta.

## 1.8 HIDROGRAFÍA

La zona de estudio es drenada por el Río Abaucán, que recibe los aportes de los afluentes principales: el Río Chaschuil (que se alimentan de torrentes y arroyos productos del deshielo y lluvias en la zona alta de la Cordillera de los Andes) y el Río Fiambalá, que en un corto tramo se insinúa o infiltra entre médanos permitiendo la acumulación de aguas subterráneas, reapareciendo pocos kilómetros después, cerca de la Localidad de Fiambalá donde toma el nombre de Río Abaucán, voz cacana que significa “Señor Guerrero del Alto ” longitud aproximada 270 Km.

El Río Abaucán constituye el cauce más importante de la comarca, su cabecera se emplaza en la región delimitada por el sistema integrado: Cordillera de San Buenaventura - Sierra de Fiambalá - Sierra de Narváez, en el sector denominado Los Nacimientos a unos 7 Km. de la localidad de Medanitos, allí se insinúa y aflora nuevamente en Los Morteros, generándose por la confluencia de los Ríos Chaschuil o Guanchín y el Río Fiambalá. Es un cauce

subsecuente que escurre de norte a sur atraviesa la localidad de Fiambalá, y sigue su recorrido al sur, fuera ya de la zona específica de este trabajo. Figura N°3.

Dada la gran importancia de la cuenca del Abaucán, se describe su recorrido total, se desplaza al NE de la ciudad de Tinogasta, luego al SE de Copacabana y Cerro Negro, penetra en la depresión Belén - Pipanaco para dirigirse finalmente a los llanos riojanos bordeando la sierra de Velazco (ya con el nombre de Colorado) tiene una longitud aproximada de unos 270 Km. El área de la cuenca del Río Abaucán es de aproximadamente 7.535 km<sup>2</sup>. Es un curso de régimen estacional que incrementa su caudal en el periodo estival. Figura N°4.

El agua subterránea de la región de Fiambalá está alimentada, por las infiltraciones de los ríos, sobre todo de aquellos cuyo caudal proviene de zonas aledañas, con un régimen no permanente. El aporte de las precipitaciones locales es mucho menor.

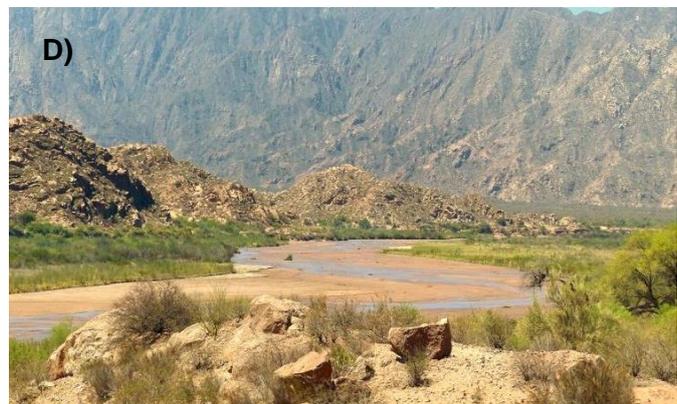
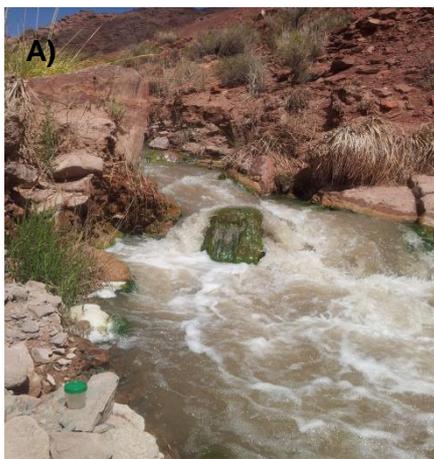


Figura N° 3: Distintos afluentes principales que dan origen al Río Abaucán. A) Río Chaschuil en su parte alta de la cuenca. B) Río Fiambalá en la entrada a la localidad de Medanitos. C) Sector del Río Fiambalá canalizado para riego en la Localidad de Fiambalá D) Río Abaucán en la desembocadura de su cuenca.

En el sector norte, más elevado, el aprovechamiento para abastecimiento de pequeñas poblaciones y riego como en Palo Blanco y Punta del Agua, se realiza únicamente con agua superficial, provenientes de afluentes del Río Fiambalá.

Estructuras profundas que cruzan la cuenca, producen el afloramiento de sedimentitas terciarias de baja permeabilidad en la localidad de Saujil, ellas actúan como barreras que provocan un ascenso de los niveles piezométricos. A partir de este lugar, hacia el sur se utiliza el recurso hídrico subterráneo para riego y abastecimiento de la población.

Existen perforaciones con rendimientos de 8 a 10 m<sup>3</sup>/h en la zona de Saujil, donde alumbraron acuíferos de buena calidad entre 40 y 150 m de profundidad, con niveles estáticos entre -1 m y -5 m. (Tineo, 1978-1996).

Los niveles de agua mejoran hacia el sur, alcanzando categorías de surgencia natural en la zona más baja del valle, en la localidad de El Puesto. Estas características se mantienen hasta la localidad de Tinogasta, donde el agua subterránea y el agua superficial, mas caudalosa en el periodo estival, son utilizadas para riego en cultivos de vid, con caudales de 150 m<sup>3</sup>/h a 200 m<sup>3</sup>/h.

Se considera que el Valle de Fiambalá es un excelente reservorio de agua subterránea que aún no ha sido estudiado en su totalidad y que puede abrir buenas posibilidades en el desarrollo agrícola de la zona.

Las perforaciones existentes indican la presencia de importantes niveles de arenas y gravas saturadas con agua de buena calidad, desde las localidades de Medanitos - Saujil hasta la zona más baja de la cuenca, en la localidad de El Puesto con caudales aptos para riego.

El material aluvial que constituyen los acuíferos, provenientes de las metamorfitas de la Sierra de Fiambalá, tiene una elevada permeabilidad. La matriz limo - arcillosa, provenientes de las sedimentitas del oeste, puede contener sales solubles que deterioran la calidad del agua.

En el borde occidental de la Sierra de Fiambalá, a 15 Km. al este de la localidad homónima, existen afloramientos de aguas termales que superan los 50 °C. La anomalía termal se localiza en las inmediaciones de afloramientos de rocas ígneas afectadas por fracturas en el borde de las sierras, las Termas de Fiambalá cuentan con aguas clasificadas: Hipertermal, Sulfatada, Silicatada, Alcalina bicarbonatada y Clorurada débilmente. Son altamente sedantes y relajantes del sistema nervioso, limpian los tejidos, desintoxican el organismo y permiten una mejora en la salud humana. Las aguas emergen a 1.750 m.s.n.m., concentrándose luego en 14 piletas de piedra cordillerana con temperaturas que varían entre los 28° C y 51° C.

EL RIESGO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO DE ORIGEN EÓLICO-FLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.

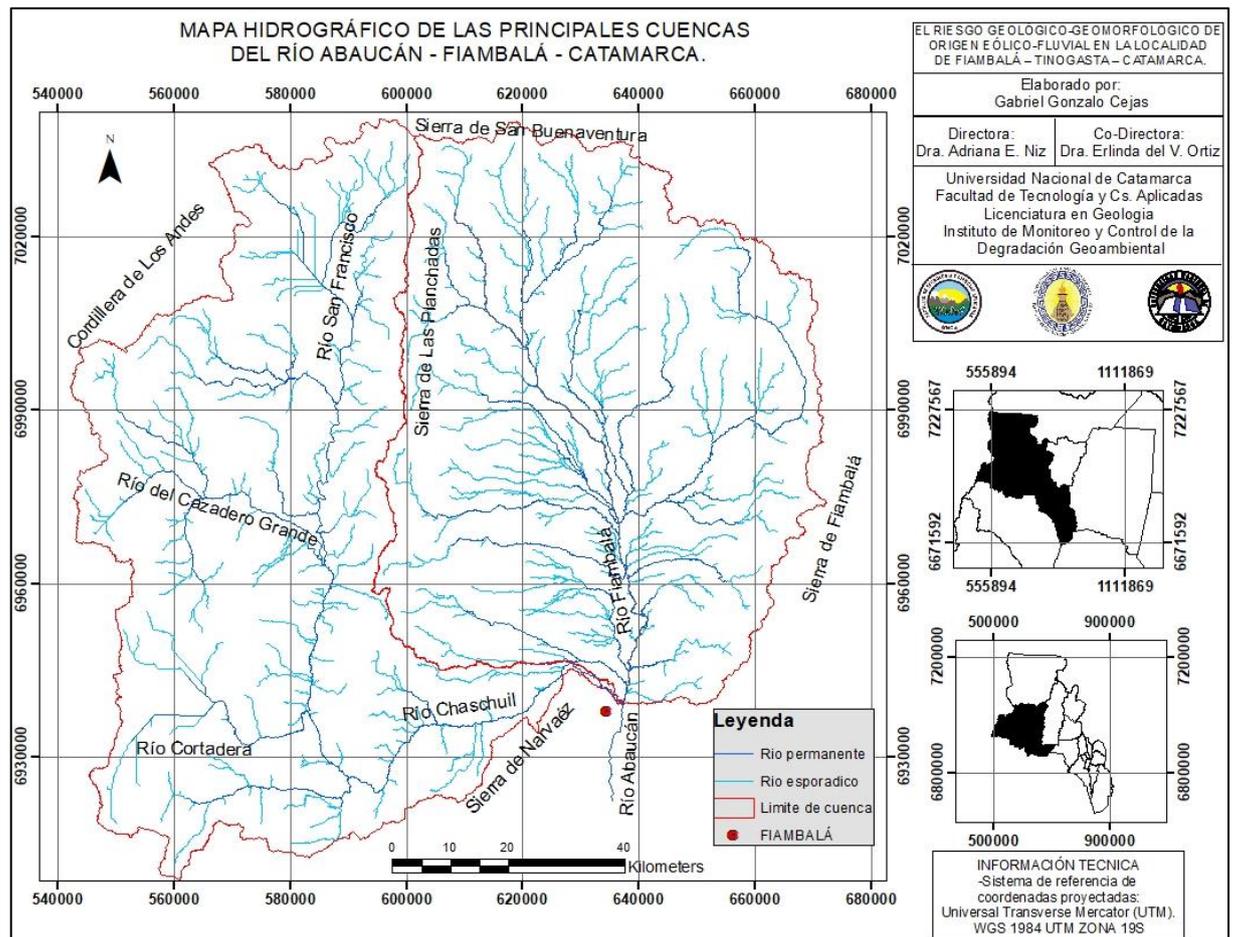


Figura N° 4: Sistema de drenaje superficial del Río Abaucán, donde confluyen el Río Chaschuil con el Río Fiambalá. Se puede consultar en formato A3 en el Anexo I.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEORICO



## **2.1 MARCO CONCEPTUAL**

A continuación, se definen los conceptos utilizados en el presente estudio, basados en la revisión y análisis de la bibliografía de distintos autores, haciendo una recopilación de las principales terminologías a considerar en el contexto del presente trabajo:

## **2.2 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.

## **2.3 ASPECTOS CONCEPTUALES DE AMENAZA, VULNERABILIDAD, RIESGO Y MITIGACIÓN**

### **2.3.1 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 de 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.

### **2.3.2 VULNERABILIDAD**

La vulnerabilidad (Cardona, 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.

### **2.3.3 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.

### **2.3.4 MITIGACIÓN**

Larraín y Simpson (1994) definen la mitigación como los "procedimientos adoptados por la población con el objeto de minimizar los efectos de un evento natural extremo". Wilches-Chaux (en Maskrey, 1993) hace la distinción entre prevención y mitigación. El concepto de mitigación corresponde a la vulnerabilidad, a reducir o eliminar la incapacidad de la comunidad para absorber los efectos de un cambio en el ambiente. Por otra parte, conceptos de prevención hacen alusión a la reducción del peligro o la amenaza, en cualquier caso, para que esta se reduzca a "0" es altamente difícil, ya que no existe una tecnología en la actualidad para controlar un terremoto, un huracán, una erupción volcánica, entre otros peligros.

Las medidas de mitigación son agrupadas bajo dos ópticas (Larraín y Simpson, 1994; Wilches-Chaux en Maskrey, 1993; OEA, Ayala-Carcedo y Olcina, 2002) que son las más comunes: medidas estructurales y no estructurales. (Barbieri, Herrera Castellanos 2018).

### **2.4 MORFOMETRÍA DE UNA CUENCA**

Las características físicas de una cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella; por ello el cálculo de 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. Que da idea de las condiciones generales de la misma y permite inferir el comportamiento ante diversos fenómenos climáticos y geográficos.

Los parámetros morfométricos de una cuenca son indicadores cuantitativos de los elementos que la conforman que, de una manera u otra, influyen en la magnitud y variabilidad de los procesos hidrológicos (Simón, V. 2008). Constituyen una base cuantitativa para predecir la respuesta de la cuenca en función de algunos parámetros concretos.

Para hacer los cálculos y medidas correspondientes para el análisis morfométrico se parte de una base de datos obtenida del Gdex – Global Data Explorer, Visualizador de datos continuos que permite acceso a varias fuentes de conjuntos de datos de elevación digitales, para su posterior procesamiento y análisis se empleó como herramienta de estudio principal al software de Sistema de Información Geográfica "GIS" ArcGis 10.3 y como softwares complementarios al Google Earth y Autocad.

El procesamiento de imágenes de tipo Raster, las cuales son imágenes que constan de una matriz de celdas o píxeles organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura, a partir de

las herramientas de geoprocésamiento que contiene ArcGis, realiza una operaci3n en un dataset de ArcGIS10.3 (como una clase de entidad, Ráster o tabla) y produce un nuevo conjunto de datos como resultado de la herramienta.

## **2.5 ACCIÓN EÓLICA**

Es el proceso por el cual el material superficial de los suelos es removido y transportado por el viento, el cual actúa por deflaci3n y por abrasión o corrosi3n.

La deflaci3n se produce cuando las partículas sueltas que se encuentran sobre la superficie del suelo son barridas, arrastradas o levantadas por el aire; este proceso actúa de manera selectiva donde la superficie del terreno está completamente seca y recubierta de pequeños granos de arena sueltos procedentes de la meteorizaci3n de la roca o previamente depositadas por el agua en movimiento, el hielo o las olas. Los cursos de los ríos secos, las playas y las áreas recientemente cubiertas por dep3sitos glaciares son muy susceptibles a la deflaci3n.

Abrasión eólica o Corrosi3n. Es producida por el golpe directo y continuo de partículas en saltaci3n. Los suelos arcillosos son los más resistentes a esta forma de erosi3n eólica y los francos a franco-arenosos los más susceptibles.

### **2.5.1 ORIGEN DE LAS DUNAS**

Una duna es una acumulaci3n de arena, en los desiertos o el litoral, generada por viento, por lo que las dunas poseen unas capas suaves y uniformes. Pueden ser producidas por cambios en el viento o por variaciones en la cantidad de arena. Cuando el viento tiene una direcci3n dominante, las dunas adquieren la forma de una C con la parte convexa en contra del viento dominante. Estas dunas generalmente avanzan, se mueven, empujadas por el viento. Cuando la duna alcanza un tamaño significativo, más de 4 a 6 m, comienza a desprenderse una mayor cantidad de material por las dos puntas de la C, dando origen a nuevas dunas pequeñas, las que al ser más veloces que las grandes, se van alejando de la duna madre.

Según su forma en planta, que se observa en la Figura N°5, condicionada normalmente por los vientos dominantes:

- Barján: es una duna con planta de C o media luna. Es un vocablo árabe. Son dunas que se dan en zonas de suministro de arena limitado y superficie dura, plana y carente de vegetaci3n.
- Duna longitudinal: duna alargada y rectilínea formada más o menos paralela al viento predominante.
- Duna transversal: largas crestas separadas por depresiones orientadas con ángulos rectos respecto al viento. Se dan en lugares donde la acumulaci3n de arena cubre por completo el suelo.

- Duna parabólica: con forma de U, sus extremos apuntan en dirección contraria al viento (al revés que el barján). Típicas de las zonas de costa y dónde la vegetación cubre parcialmente la tierra.
- Duna en estrella o piramidal: colina aislada con varias crestas que parten de la cima. Se forman cuando hay direcciones del viento variables.
- Duna barjanoide: forma intermedia entre los barjanes aislados y extensiones de dunas transversales.

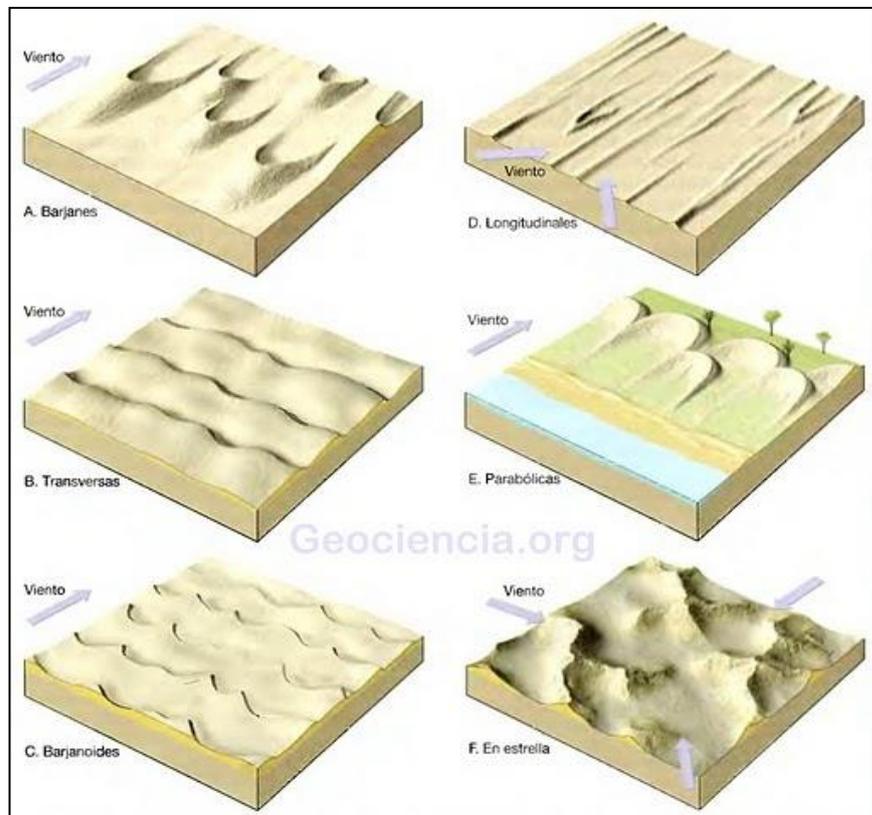


Figura N° 5: Tipos de dunas según la dirección del viento.

Fuente: <https://es.slideshare.net/guestdb3d8d5/dunas-y-desiertos-rafa-y-mara>

## 2.5.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ACTIVIDAD EÓLICA

La erosión eólica puede manifestarse en cualquier lugar siempre que se den ciertas condiciones favorables como: el suelo mullido, seco y desmenuzado; superficie del suelo llana y suficientemente extensa en la dirección del viento; vegetación ausente o escasa y viento es lo suficientemente fuerte como para provocar un movimiento de las partículas del suelo. Los principales factores son:

### CLIMA

La velocidad del viento representa el factor creador de la erosión eólica. Se ha estimado que el factor crítico de la velocidad para el arrastre de partículas cuyo diámetro equivalente está comprendido entre 0,1 - 0,5 mm se cifra en 15km/hora a 15 cm del suelo.

El viento transporta las partículas de los suelos de tres maneras:

**Por arrastre:** Las partículas más gruesas (500-2000 micrones). Partículas de cuarzo entre 0,5 mm y 1 mm, granos más pesados impulsados por el choque se las partículas de intermedias (arrastre superficial).

**Por saltación:** Las partículas medianas (100-500 micrones). Elevación de las partículas del suelo por el viento en forma vertical hasta máximo 30 cm de altura. Se elevan hasta que la fuerza de gravedad domina a la fuerza de elevación del viento. Al caer, si no se hunden en el suelo, son elevadas nuevamente en forma repetitiva. Partículas de cuarzo mayores que 0,1 mm hasta 0,5 mm.

**En suspensión:** Las partículas pequeñas o livianas (<100 micrones). Las partículas de suelo son voladas del suelo por los saltos de los granos en saltación. Son partículas de cuarzo menores que 0,1 mm donde la velocidad de caída es inferior al empuje hacia arriba de los vientos turbulentos o remolinos. Cae al suelo por disminución de velocidad del viento y por las gotas de lluvia.

Existen ciertos factores que condicionan, por su parte, la importancia del fenómeno: precipitación, temperatura y humedad atmosférica.

A mayores precipitaciones y contenidos de humedad, el suelo es más resistente a las voladuras, mientras que las elevadas temperaturas, la baja humedad del aire y los vientos fuertes influyen en la evapotranspiración, determinando la pérdida del agua edáfica.

## CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

La erosión del suelo por causa de los vientos está relacionada con la textura y estabilidad estructural.

Los suelos de textura gruesas son más susceptibles a erosionarse y menos propenso a formar estructuras estables.

## RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE

Al aumentar la rugosidad de la superficie se reduce la velocidad del viento y, por lo tanto, disminuye la posibilidad de traslación de las partículas del suelo.

## EXPOSICIÓN A LA ACCIÓN EÓLICA

Las exposiciones prominentes del relieve, en general coincidente con formaciones medanosas, se encuentran considerablemente más expuestas a la acción del viento, respecto a los ambientes inter-medanosos (interdunarios) planos o plano cóncavos, naturalmente protegidos.

## VEGETACIÓN

Es uno de los factores más importantes de protección contra la acción del viento. La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. Los componentes aéreos, como hojas y tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de modo que su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo, mientras que los componentes subterráneos, como los sistemas radiculares, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo. También reduce la velocidad, frena o tapa a las partículas en movimiento.

### 2.6 PROCESOS DE DESERTIZACIÓN

Es dable en este punto definir dos términos comúnmente asociados como sinónimos, Desertificación y Desertización.

La **desertificación** es generada por la acción del hombre y **desertización** es un proceso natural.

La desertificación es el proceso y el efecto de degradación donde tierras inicialmente fértiles son convertidas en desierto. La desertificación es usada en términos científicos como un proceso causado por la intervención del hombre o también llamadas causas antrópicas.

La desertización es la formación de desiertos mediante un proceso natural. Algunas de las causas naturales de este proceso se pueden asociar a los factores climáticos, geológicos-geomorfológicos como, por ejemplo, la orogenia o formación de montañas y la distribución de masas continentales. Como así mismo a las actividades biológicas.

Las áreas afectadas por procesos de desertificación se caracterizan por la pérdida progresiva de su calidad y potencial biológico, llegando a condiciones límites para el desarrollo de la vida. En el Convenio Internacional de Lucha contra la Desertificación (UNCED, 1994), se establece que el término desertificación implica "la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y sub-húmedas secas, como resultado de diversos factores entre los cuales se encuentran las variaciones climáticas y las actividades humanas".

La degradación de las tierras se traduce en la disminución, y en ocasiones pérdida, de la productividad, en términos cualitativos o cuantitativos, provocada por la erosión eólica o hídrica, el anegamiento, la salinización, el deterioro de la estructura del suelo (Dudal, 1980), se puede considerar que ello implica también pérdida de productividad tanto en el sentido biológico como económico.

### 2.7 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 3

# METODOLOGÍA DE TRABAJO



### 3.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la elaboración, ejecución y procesamiento del siguiente estudio se ha trabajado en tres etapas que incluyeron tareas de gabinete y trabajos de campo complementarios: en la primera etapa se desarrollaron tareas de gabinete de distinta índole que incluyen entre ellas actividades de recopilación de antecedentes, problemáticas de la zona e investigación general del área de interés. En la segunda etapa se realizó el control de campo correspondiente que se basa en el monitoreo, control y corrección de las unidades identificadas y descritas en la primera etapa. En la tercera y última etapa se realizó el procesamiento e interpretación de la información obtenida en las actividades previas para la confección de la cartografía final donde se determinan las áreas o sectores que son vulnerables ante los procesos eólicos y fluviales que podrían implicar un riesgo para la localidad de Fiambalá.

#### 3.1.1 MATERIAL EMPLEADO

En las tareas de gabinete se utilizó la Hoja Geológica de Fiambalá 13c, la bibliografía recopilada de antecedentes y problemáticas relacionadas al tema de interés, diferentes softwares tipo GIS como lo son Global Mapper, Arcgis 10.3, HecRas, software tipo CAD como es AutoCad y software de libre acceso como es Google Earth. Estos software fueron utilizados y ejecutados en forma conjunta para los procesamientos sobre las imágenes satelitales y la generación de la cartografía base y cartografía final del área de estudio.

En las actividades de campo se utilizó la Hoja Geológica de Fiambalá 13c, 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.

### 3.2 PRIMERA ETAPA

En la primera etapa se realizaron las tareas relacionadas con la búsqueda y recopilación de información estadística, cartográfica y bibliográfica sobre el área de estudio, y de la temática abordada.

Para su ejecución se consultaron distintos, informes técnicos, publicaciones, investigaciones, cartas y hojas geológicas obtenidas en múltiples instituciones como la Municipalidad de Fiambalá, Servicio Meteorológico Nacional, Dirección Provincial de Recursos Hídricos y sitios web oficiales (SEGEMAR, INA, 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 nivel regional a escala 1:500.000, 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), se confeccionaron utilizando los software Global Mapper y ArcMap sobre base de una imagen SRTM, con resolución de 90 metros, este tipo de imagen tiene datos referidos a la coordenada Z (altura) que permiten recrear con exactitud el relieve de una superficie.
- Los software utilizados para este estudio, son herramientas de rápida visualización y organización, de esta manera los mapas generales, como el geológico e hídrico, se realizaron completamente con ArcGis 10.3, que permite la digitalización fácil de polígonos y rectas para la confección de mapas. El 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.
- Selección de los puntos estratégicos preliminares para la observación en campo de los sectores vulnerables a los riegos eólicos y fluviales.

### **3.3 SEGUNDA ETAPA**

Una vez generada la cartografía base, se realizó el correspondiente control de campo, donde se recorrió el área de trabajo constatando, correlacionando, ajustando y corrigiendo los mapas confeccionados previamente, a partir de la observación directa en la zona de las diversas geoformas presentes y áreas de riesgo; y de todas las características del relieve, relevando puntos estratégicos con navegador GPS, para facilitar el posicionamiento del terreno en la cartografía final.

Para la confección de la cartografía temática, tales como la geológica, geomorfológica, de riesgos eólicos y fluviales, entre otras, se procuró que la información sea concreta, sistemática 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 la actividad de campo se han extremado las medidas de control para lograr que la cartografía resultante represente lo más fidedignamente posible las características de la región en estudio. Para ello, las tareas de campo se realizaron de la siguiente forma:

#### **3.3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS VULNERABLES**

En primer término, se han identificado en el área de estudio, los principales agentes morfodinámicos que actúan en ella, definiéndose así, como procesos dominantes los debidos a la acción eólica y fluvial.

Posteriormente, se discriminaron y delimitaron, para la investigación de las características morfodinámicas, las áreas afectadas por procesos eólicos, 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.

Para establecer el grado de vulnerabilidad se tuvo como parámetro la disponibilidad del material expuesto en superficie, susceptible de ser transportado por el viento, estableciéndose con el grado **BAJA**: la superficie deflacionada, sin material disponible (asimilable al pavimento del desierto o costras superficiales) donde es necesaria la intervención de otro proceso externo, para que se disponga nuevamente el material suelto para la deflación. Como grado **MEDIO**: la superficie deflacionada, con material disponible para ser removido por vientos fuertes del tipo Zonda, cuando el viento es muy intenso, es decir, puede transportar en suspensión el tamaño de arena gruesa (0,5 a 1 mm) a muy gruesa (1 a 2 mm) y la grava y los cantos de 5 a 8 mm de diámetro pueden rodar por la superficie, pero no recorren grandes distancias ya que es muy fácil que queden retenidos en agujeros. Como grado **ALTA**: la superficie con sedimentos disponibles para ser transportados con facilidad. En función de estos criterios se generó el mapa de vulnerabilidad de los suelos frente a la acción eólica. Considerando que se define la vulnerabilidad del relieve, es decir, implica la mayor o menor probabilidad de que dichas superficies sean afectadas por la acción eólica.

Ya definidas las áreas se realizó un relevamiento y toma de puntos de control de las áreas pobladas y de cultivos de la Localidad de Fiambalá (antrópicas), con el fin de vincular la vulnerabilidad y la actividad antrópica y generar el mapa de riesgo ante los procesos eólicos.

De la misma forma se realizó el relevamiento de la dinámica fluvial de los distintos cauces principales como lo son el Río Fiambalá, el Río Chaschuil o Guanchín y el Río Abaucán (que resulta de la confluencia de ambos ríos), y de los afluentes temporarios de las sierras circundantes al Bolsón, que, en época de precipitaciones torrenciales, adquiere características de torrentes y generan cortes en las vías de comunicación interna, o transporte de potentes cargas de sedimentos, tal como se observa en el apartado antecedentes.

Para establecer el grado de vulnerabilidad se tuvo como parámetro el grado de torrencialidad que puede adquirir el cauce o afluente frente a lluvias torrenciales y/o extraordinarias; estableciéndose como de **BAJA** vulnerabilidad a las regiones con uadis o distributarios que demuestran poca erosión vertical, indicando así, una dinámica de baja energía; de **MEDIA**, las zonas con paleocauces que evidencian reactivación en periodo de crecidas, con exhondación y socavamiento del cauce, y como **ALTA** vulnerabilidad los cauces temporales y permanentes que, ante un incremento normal o torrencial, genera anegamientos, desbordes de cauces y origina nuevas avenidas temporales en el área de baja del piedemonte, también se definen aquellas que pueden producir inundaciones y/o aluviones en las desembocaduras de las quebradas principales. Teniendo en consideración que se especifica la vulnerabilidad del relieve, es decir, supone la mayor o menor probabilidad de los uadis, paleocauces, cauces y quebradas principales sean afectadas por la acción fluvial.

Una vez discriminadas las áreas, y considerando el relevamiento y toma de puntos de control de las áreas antrópicas realizadas en la actividad precedente, se vinculó la

vulnerabilidad y la actividad antrópica para realizar el mapa de riesgo ante los procesos fluviales.

### **3.4 TERCERA ETAPA**

En esta etapa se realizaron las tareas de gabinete basadas en la corrección y elaboración final de la cartografía de:

- Mapa Geomorfológico.
- Mapa Hidrográfico.
- Mapa de procesos eólicos.
- Mapa de áreas de vulnerabilidad de origen eólico.
- Mapa de áreas de vulnerabilidad de origen fluvial.
- Mapa de riesgo ante los procesos eólicos en la localidad de Fiambalá.
- Mapa de riesgo ante los procesos eólicos en la cuenca del Río Fiambalá.
- Mapa de riesgo de origen fluvial.
- Mapa geomorfológico – Análisis multitemporal año 2002.
- Mapa geomorfológico – Análisis multitemporal año 2013.
- Mapa geomorfológico – Análisis multitemporal año 2017.

La cartografía generada se elaboró usando los programas detallados anteriormente, utilizando como soporte la información preexistente de mapas, hojas geológicas y cartográficas aledañas a la zona. Los mapas a nivel regional se confeccionaron en escala 1:500.000, mientras que para los mapas locales se usó escala 1:100.000. La proyección utilizada es Gauss Krugger, coordenadas UTM con sistema de referencia WGS84. En el presente informe final se encuentran insertas en el texto y en formato A3 en el ítem ANEXOS, para su mejor visualización.

### **3.5 DESCRIPCIÓN Y PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS DISTINTAS UNIDADES**

#### **3.5.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL**

El estudio de la geomorfología del Valle de Fiambalá, se elaboró considerando los criterios de teledetección geológica a partir de imágenes satelitales obtenidas de la base de datos del UGSS, BING y CONAE, entre otros, para ser aplicados en diferentes software tipo GIS. Los datos resultantes de la fotointerpretación fueron corroborados y ajustados en el terreno.

Para la confección del mapa, se organizó el análisis de acuerdo al sistema ITC, discriminando las diversas unidades geomorfológicas a analizar, separando la región de estudio en: áreas montanas, áreas pedemontanas y sistema de drenaje.

#### **3.6 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.

Las herramientas de análisis se pueden ejecutar en los DEM para producir nuevas superficies como pendientes y orientaciones. Los DEM 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 de drenaje.

Cada herramienta de geoprocésamiento realiza una operación pequeña, pero esencial sobre los datos. Con los valores obtenidos se pudo identificar las áreas más vulnerables de cada cuenca y cómo afecta a la población para implementar tareas en base a la disponibilidad de los recursos naturales de la cuenca.

Los parámetros morfométricos se analizan mediante cálculos realizados a partir de una imagen satelital ASTER 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. Para su determinación se necesita conocer otras variables o parámetros que lo van a caracterizar y así, facilitar la comprensión del comportamiento hídrico de la cuenca del Río Fiambalá y del Río Chaschuil.

La representación cartográfica de los parámetros realizados se muestra en el ANEXO I.

### **3.7 ANÁLISIS MULTITEMPORAL**

El análisis multitemporal de la geografía urbana de la Localidad de Fiambalá, se efectuó teniendo en cuenta el periodo comprendido entre 1982- 2017. Para ello, se realizó el estudio geomorfológico del área de estudio a una escala de 1:50.000 con el fin de describir las distintas geoformas de origen eólico y fluvial que afectan a la población de Fiambalá.

La ejecución de este análisis, toma como punto de partida el mapa geomorfológico desarrollado por Viera en el año 1982, posteriormente se llevó a cabo el análisis de las geoformas presentes en el área, 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 2002, 2013 y 2017 (estos periodos fueron elegidos debido a la falta de material cartográfico de los periodos anteriores a 2002). 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.

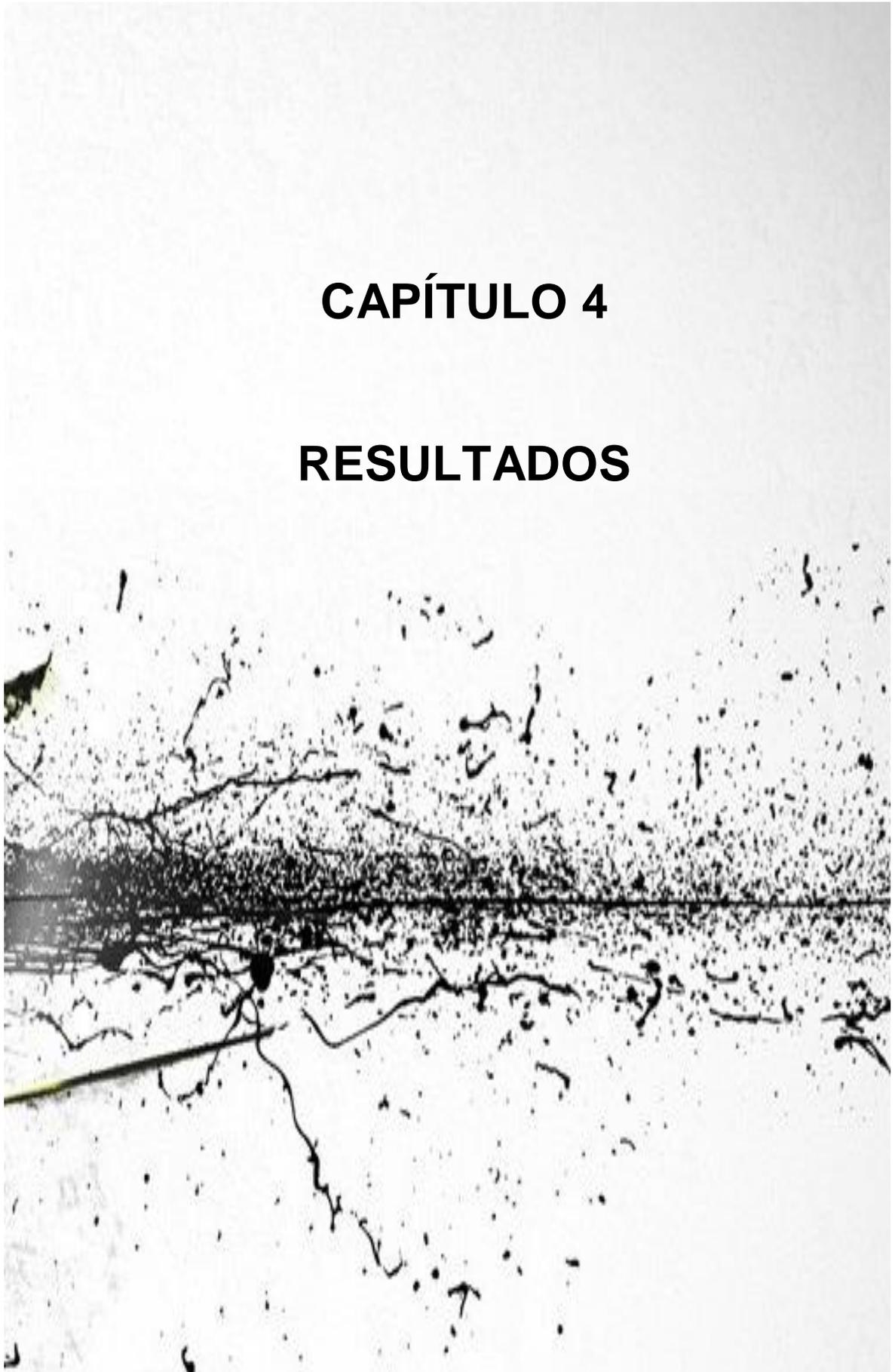
El análisis multitemporal consistió en el estudio de las áreas de coberturas de los médanos móviles y cómo fue su avance hacia la población en este periodo de tiempo. Las áreas arbustivas que sirven como barreras naturales de estos médanos también fueron objeto de este análisis debido a la disminución de su cobertura.

Con respecto a las geoformas de origen fluvial se estudió la dinámica de los Ríos Chaschuil y Fiambalá para poder interpretar su comportamiento y determinar las áreas de vulnerabilidad que afectan a la población para este tipo de geoformas.

A partir del estudio de las áreas de vulnerabilidad de la localidad de Fiambalá 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.

## CAPÍTULO 4

## RESULTADOS



## 4.1 GEOMORFOLOGÍA

### 4.1.1 GEOLOGÍA

El área de estudio involucra dos Provincias Geológicas, hacia el este el límite de la cuenca está marcado por la Sierra de Las Planchadas, perteneciente al Sistema de Famatina, el resto del bolsón se emplaza en el ambiente de sierras pampeanas.

En las Sierras Pampeanas la litología está compuesta esencialmente por basamento cristalino, formado por esquistos migmatíticos y migmatitas, en gran parte transformadas por inyección ígnea, y por cuerpos graníticos – de varios tipos.

La inyección magmática originó en los esquistos extensas zonas de migmatitas, de las cuales la principal constituye la parte media de la Sierra de Fiambalá; en cuanto a los cuerpos graníticos, el que forma el extremo SO de esta sierra se distingue de los otros por su fuerte carácter gnéisico, resultado de la deformación tectónica. En la parte central de la Sierra de Fiambalá aflora un stock que presenta bien desarrollada la facies de pórfiro granítico.

En el oeste del Valle de Fiambalá, el Mioceno presenta una litología en la sección inferior arenosa fina, pardo rojiza asimilable a la Formación Hualfín del Grupo Santa María, que se hace más o menos conglomerádica y de tonos más claros en la sección superior similar a la Formación Andalhuala perteneciente al Grupo Santa María, en la que el material es de origen volcánico (Bossi et al 1987). Esta mejor representado en la desembocadura de La Quebrada de la Troya donde pasa el eje de un anticlinal. El limbo oeste del anticlinal, muy espeso, se levanta, en un sinclinal asimétrico, cortado parcialmente por una falla de desplazamiento indeterminado.

La estructura de la región es del tipo de bloques de basamento volcados hacia el oeste con inclinaciones hasta los 30°. El rumbo de las fracturas es NNE – SSO en el norte. El Cuaternario de la región está representado principalmente por sedimentos aluviales de valle, de piedemonte, y de conos de deyección; sedimentos eólicos de médano; sedimentos eluvio-eólico de falda.

Los sedimentos aluviales son los más extensos y potentes. Forman el relleno del Valle de Fiambalá y consiste en materiales que van desde gravas hasta limo fino. En los conos aluviales que bajan de la falda occidental de la Sierra de Fiambalá se encuentra una cantidad mayor de rodados y es probable que en el fondo de la cuenca, la cantidad de grava sea mayor que en la parte superficial. Los sedimentos eólicos constituyen grandes extensiones de médanos en el valle, donde los vientos son del S – SSO que los forman, las grandes cantidades de arenas son acumuladas al pie de la falda occidental de la Sierra de Fiambalá. Más al norte los vientos del oeste depositan en los valles altos situados sobre la falda oriental de las sierras, verdaderos “campos” de arenas. Figura N°6.

La zona en estudio se ubica en la Provincia Geológica de “Las Sierras Pampeanas”, denominación acuñada por Stelzner (1873), 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, 1988), donde está incluida la cuenca del Abaucán.

La morfología actual es el resultado del levantamiento a lo largo de fallas inversas, generadas por la orogenia andina durante el Terciario superior. Los límites de este dominio estructural, característico de las Sierras Pampeanas y el Sistema de Famatina, son casi coincidentes con el segmento entre los 28° y 33° de latitud sur en que la placa de Nazca tiene una inclinación subhorizontal (Barazangui e Isacks, 1976).

#### **4.1.2 ASPECTOS ESTRATIGRÁFICOS**

##### **PRECÁMBRICO**

Rocas metamórficas: ampliamente representadas en la Sierra de Fiambalá.

Sierra de Fiambalá: En ella prevalecen las filitas oscuras, biotíticas, anfibolitas y metacuarcitas en menor proporción. Los esquistos tienen rumbo aproximadamente N - S. En la zona de Los Ratones predominan filitas cuarzosas de grano fino, grises verdosas oscuras, intercaladas con cuarcitas micáceas, anfibolitas y filitas escasas en cuarzo, el rumbo general es N - S y con fuerte inclinación al oeste. Los afloramientos de anfibolitas se pueden observar en la confluencia de las quebradas de El Salto y Los Ratones.

Rocas graníticas.

Representadas extensamente en la Sierra de Fiambalá se pueden distinguir varios tipos de granitos debidos a diversos eventos magmáticos ocurridos durante el Precámbrico. Los correspondientes al primer evento magmático están muy afectados por la tectónica, observable en las variaciones estructurales y texturales. En otras áreas se encuentran cuerpos graníticos posttectónicos, se trata de gneises que no presentan efectos de deformación.

Rocas migmatíticas

La transición de roca metamórfica o granítica a migmatitas es gradual, como se puede observar en la Sierra de Fiambalá, aquí encontramos esquistos inyectados; en la zona de migmatización más intensa, ubicada en la cabecera de la Quebrada de Los Ratones y Atamiscal, hay migmatitas estromáticas. En la cumbre de esta sierra, las migmatitas más frecuentes son la aplitabiotítica y el gneis lit-par-lit asociados con venas pegmatoides; la inyección varía en tipo y grado de un lugar a otro, pero es en general intensa.

Formación Narvéez: se encuentran concentradas en la parte oriental de la sierra homónima, constituyendo amplios afloramientos de rocas ígneas, cuerpos graníticos y diques de pórfidos. (Turner, 1967).

## PALEOZOICO

### a) Cámbrico:

Se presenta en la ladera occidental de la Sierra de Fiambalá y corresponde a la Formación Famabalasta constituida por anfibolitas, metacarbonitas, metavolcanitas y gneis. La Formación Loma Corral está compuesta por pizarras, filitas, esquistos y metavolcanitas.

### b) Ordovícico:

#### Formación Suri:

Esta entidad está integrada por sedimentos pelíticos, semipelíticos y arenitas de tobas, con metamorfismo incipiente y depositados en un ambiente geosinclinal de gran extensión, que se distinguen por sus colores verdoso y pardo verdoso.

La Formación está constituida por una potente sucesión de lutitas verdosa, arcilitas y areniscas cuarcíticas muy duras, con intercalaciones de grauvacas, tobas y bancos delgados de margas.

Toda la unidad presenta un metamorfismo incipiente, debido en parte a la acción térmica de la dacita; además han influido los filones capas de diabasa.

### c) Carbonífero:

Formación Agua Colorada: Se trata de sedimentos conglomerádicos, areniscas, lutitas continentales y marinas. En la ladera oriental de las Sierras de Narváez, se encuentran varios afloramientos de reducidas extensiones, debidos a remanentes de la erosión o a pequeños pliegues en las inmediaciones de las grandes fallas longitudinales de la sierra.

## CENOZOICO

### a).- Mioceno medio:

Se aplica a un complejo sedimentario psamíticos de origen continental y marinas de color rojizo, está integrada por areniscas rojizas de grano fino a mediano, con intercalaciones de bancos conglomerádicos; los clastos de este conglomerado son de granitos y esquistos principalmente.

### b) Mioceno superior:

Está integrada por areniscas y conglomerados esencialmente andesíticos y dacíticos de colores claros y tonos bajos. Es un complejo de grano uniforme y seleccionado, de rocas predominantemente psamíticas. (Ruiz Huidorobro, 1975).

c) Holoceno:

Se consideran los sedimentos no consolidados que corresponden principalmente a acumulación en el pie de las sierras y a los que rellenan el fondo del Valle de Fiambalá por materiales finos, esencialmente arenosos y limosos. Estos materiales constituyen los conos aluviales actuales.

Los depósitos de arenas avanzan desde el sur sobre los viejos depósitos que van cubriendo de forma parcial al basamento precámbrico. Las planicies aluviales conservan una capa delgada de fragmentos debidas a la remoción del material fino, que generan las acumulaciones precipitadas. (Ruiz Huidorobro, 1975).

#### **4.1.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

González Bonorino (1950) describe la estructura de las Sierras Pampeanas, como un sistema de montañas en bloque limitadas por fallas inversas lítricas que tienden a horizontalizarse hacia el interior, al encontrar transiciones frágil – dúctiles dentro de la corteza.

Las Sierras Pampeanas constituyen el antepaís fraccionado del orógeno andino, de la que su extensión, considerada en sentido latitudinal, concuerda con el desarrollo del segmento de subducción subhorizontal de la placa de Nazca (Jordan y Allmendiguer, 1986).

Como consecuencia de los diversos eventos tectónicos, que tuvieron lugar desde el precámbrico hasta el Terciario superior / Cuaternario inferior, es posible destacar, por un lado, una estructura Terciaria (interna), y por otro, la estructura antigua (externa).

#### **ESTRUCTURA EXTERNA**

Típica del ambiente de Sierras Pampeanas, es decir, caracterizadas por bloques de basamento inclinados hacia el oeste afectado por fallas meridianas, que buzcan hacia el este, en sus faldeos orientales. En general estos bloques están dislocados por fallas inversas de alto ángulo y conforman valles tectónicos asimétricos. La Sierra de Fiambalá exhibe fallas escalonadas en el faldeo oriental.

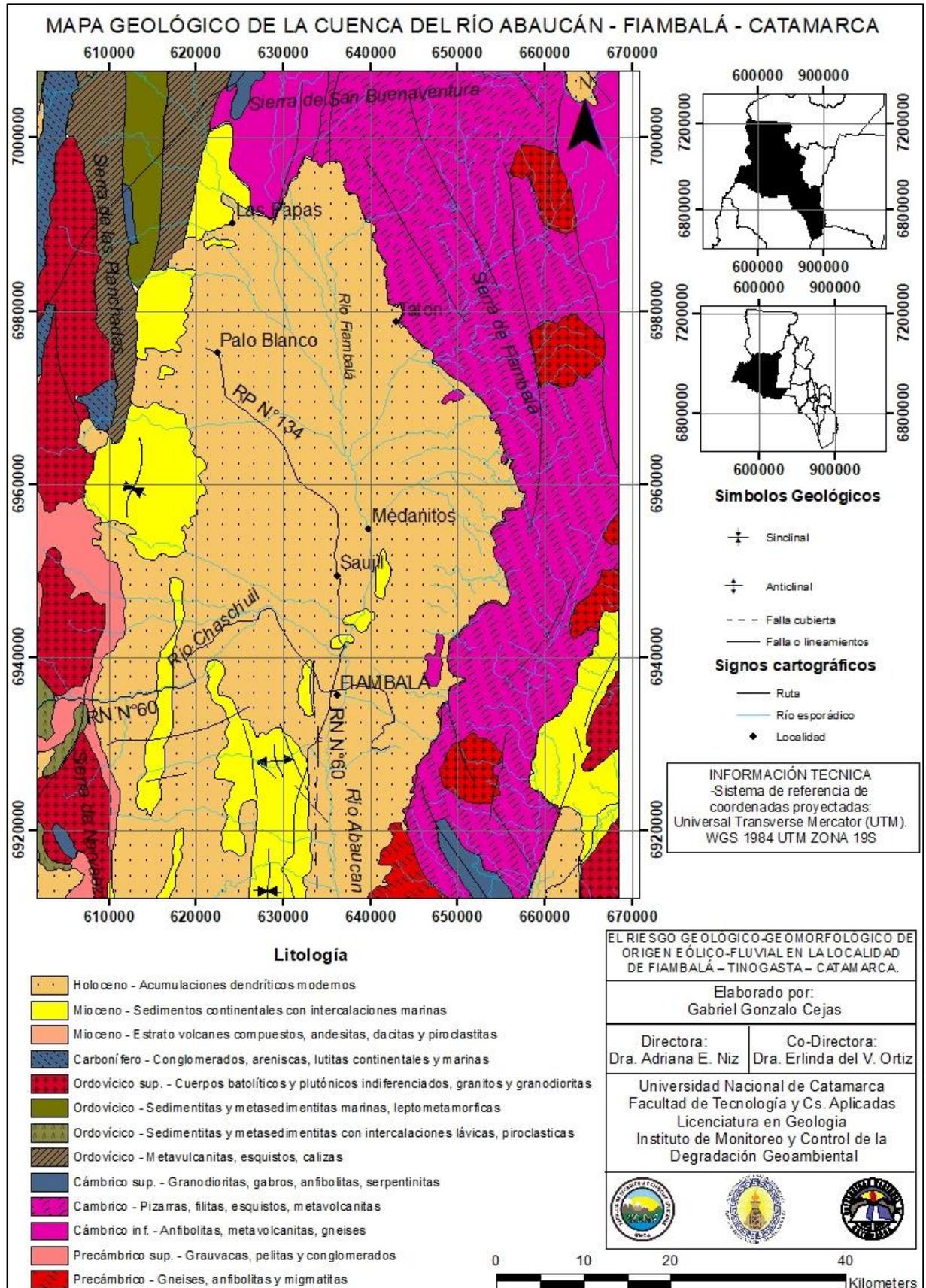


Figura N° 6: Mapa geológico de la cuenca del Río Abaucán digitalizado a partir del Mapa Geológico de Catamarca, realizado por Martínez L. (1995) de la Secretaría de Minería – Dirección Nacional del Servicio Geológico. Se puede consultar en formato A3 en el Anexo I.

#### **4.1.4 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL**

El área montana constituida en el sector oriental de la cuenca (Sierra de Fiambalá) por afloramientos rocosos principalmente de rocas resistentes a la erosión, y de carácter poco permeable, como lo son los granitos y esquistos migmatíticos y migmatitas. En la serranía occidental presenta un aspecto abrupto y escarpado, particularmente por rocas relativamente erodable y en parte friable de origen sedimentario como lo son las areniscas y conglomerados.

Las geoformas dominantes de piedemonte, están constituidos por conos aluviales, abanicos, depósitos de aluviones originados por los procesos de remoción en masa y varios niveles de terrazas labradas por los ríos a lo largo de su historia geológica, como así también, de formas denudativas (glacis y pedimento). Las principales geoformas que se presentan en el área son las de origen eólico que se encuentran a lo ancho del Valle de Fiambalá. Entre ellas están las playas que se encuentran en la parte central y sensiblemente plana del bolsón formada por suelos limo-arenosos y arenas finas-limosas y es donde se produce la más intensa erosión. Hacia el suroeste de la localidad de Fiambalá, las acumulaciones dunarias se encuentran parcialmente fijadas por la vegetación autóctona, constituyendo una faja de médanos con orientación al noreste y constituyen montículos de arena mediana y gruesa de forma irregular. Las áreas de deflación, donde el material es barrido de la superficie por deflación y luego es transportado por el viento se acumula allí donde el flujo eólico encuentra como obstáculos predios de cultivos o las viviendas de Fiambalá.

Tanto camino hacia las Termas de Fiambalá, como en los parajes de Saujil, Medanitos, Tatón se generan acumulaciones dunarias de tipo barján, también se pueden observar dunas en estrella y dunas seif.

Las dunas trepadoras son otras geoformas de origen eólico que se generan en la cuenca, los materiales que sirven de aportes provienen de las extensas áreas de deflación del pie de monte de las Sierras de Las Planchadas y de Narváez. La acción del viento desplaza estos materiales tapando pequeñas serranías y acumulándose en la base de la Sierra de Fiambalá que avanzan sobre el basamento cristalino.

A consecuencia del barrido de la superficie se generan amplios campos de deflación reg, los sedimentos son transportados a las laderas de las sierras circundantes generando acumulaciones dunarias, principalmente se trata de geoformas dunarias de tipo barjanes, seif, campos de arenas erg, también se encuentran acumulaciones informes de arenas recostados en las laderas (Niz - Savio, 2017).

#### **4.1.5 PROVINCIAS GEOMORFOLÓGICAS**

Se definen con el concepto de Provincia geomorfológica, con una determinada sucesión estratigráfica, un estilo estructural propio y rasgos geomorfológicos característicos (Sayago, 1982). Figura N°7.

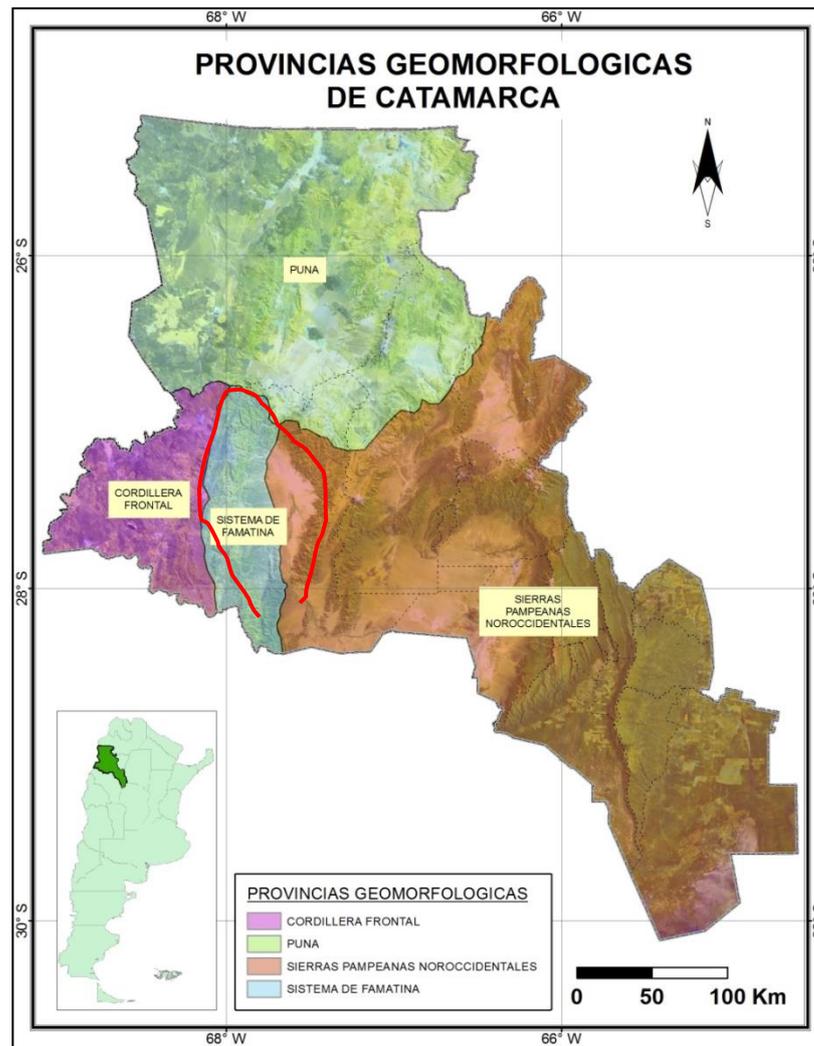


Figura N° 7: Distribución de las Provincias Geomorfológicas, en rojo se resalta la zona de estudio (Niz, A. y Savio M. 2017).

#### 4.1.6 REGIONES Y ASOCIACIONES GEOMORFOLÓGICAS

Las regiones geomorfológicas presentan un estilo morfoestructural producto de la recurrencia de caracteres tectónicos, litológicos y, principalmente, procesos morfogenéticos producidos durante el cuaternario (Sierra de Fiambalá, por ejemplo).

En tanto que las Asociaciones Geomorfológicas se caracterizan por la recurrencia de elementos morfogenéticos endógenos y un meso – clima característico, por ej. Piedemonte de Zapata.

#### PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA DEL SISTEMA DE FAMATINA

Se sitúa entre las provincias geomorfológicas de Cordillera Frontal y Sierras Pampeanas Noroccidentales, su rumbo general es NNO-SSE.

Desde la perspectiva geológica, corresponde al Precámbrico, con presencia de Terciario en la Formación Costa de Reyes, ubicada al frente de la localidad del mismo nombre. Se trata

de un afloramiento de rocas eruptivas, integrado por brechas, conglomerados, pórfiros y pumicitas andesíticas, podrían relacionarse con algún centro eruptivo originado como consecuencia de la fractura La Aguadita - Santa Cruz y la Formación El Potrerillo, que es un paquete sedimentario parcialmente cubiertas por fanglomerados de piedemonte, constituida principalmente por areniscas de grano fino, pardo rojizas, grises claras y amarillentas, con limolitas y arcillas arenosas. También está presente el cuaternario y sedimentos paleozoicos (ordovícico), que lo vinculan con el ambiente Precordillerano, y lo distinguen de las Sierras Pampeanas. Está representado por la Sierra de las Planchadas (alcanza los 4300 m.s.n.m.), Sierra de Narváez (alcanza los 3700 m.s.n.m.) que al sur de la Localidad de Tinogasta se denomina Cerro Negro de Rodríguez-, constituyen el límite entre los Valles de Tinogasta y Fiambalá con el Valle de Chaschuil.

El Sistema de Famatina se caracteriza por su basamento metasedimentario de bajo grado y una potente secuencia sedimentaria y vulcano sedimentaria Ordovícica, que lo diferencian de la Precordillera y Sierras Pampeanas (Niz, 2003).

## **PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA DE LAS SIERRAS PAMPEANAS NOROCCIDENTALES**

La Provincia Geológica de Sierras Pampeanas es una denominación acuñada por Stelzner (1873), 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, 1988). La morfología actual es el resultado del levantamiento a lo largo de fallas inversas de alto ángulo, generadas por la orogenia andina durante el Neógeno, 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, más suavizadas. La estructura interna de las rocas es compleja, producto de varios ciclos antiguos de deformación reforzados por el emplazamiento de cuerpos graníticos de diversas categorías y por la recristalización metamórfica regional y local de las rocas encajantes.

## **ASOCIACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL SISTEMA DE FAMATINA**

La Sierra de Las Planchadas y el sector norte de la Sierra de Narváez enmarcan el Bolsón del Fiambalá por el oeste, el sector sur de la Sierra de Narváez y el Cerro Negro de Rodríguez enmarcan por el oeste el Valle de Tinogasta.

En lo referido a la Asociación Geomorfológica de esta región, en general presenta un relieve escarpado, en el que los cursos de agua aprovechan tanto las líneas de debilidad estructural como la disposición de los estratos sedimentarios, y excavan profundos y estrechos valles, originando en algunos sectores gargantas de paredes verticales (Niz – Savio, 2017).

Frecuentemente los cursos avanzan en sus cabeceras por erosión retrocedente, en ocasiones capturando tributarios menores; en general los cauces que recorren esta serranía presentan un fuerte control estructural, por lo que sus diseños de avenamiento son de tipo dendrítico, otras veces adopta un diseño angular y, en menor proporción, sub-angular (siguiendo al fracturamiento). Como respuesta a procesos de captura de cursos menores, toma un diseño contorneado y/o entrelazado.

Se pueden observar geoformas relacionadas con pliegues erosionados de tipo sinclinal y anticlinal volcados. Los estratos sedimentarios muestran variada resistencia a la erosión, tales diferencias son destacadas por los procesos erosivos, manifestados a través de una morfología característica, esto es, erosión diferencial.

Las rocas sedimentarias, que presentan un falso plano de erodabilidad contrastante, muestran la influencia de resistencia variable en los valles que han incidido en la pila sedimentaria, generando paredes de valle empinadas, alternando con afloramientos de estratos más resistentes que forman bancos estructurales. Son frecuentes las cuestras, espinazos asimétricos con escarpa distintiva y cuestras de inmersión. En la parte alta de la sierra se distinguen razorbacks (con crestas de estratos casi verticales); los flancos de los pliegues anticlinales exponen, en algunos sectores cumbresales, formas de tipo chevrons; también se observan en la cumbre de Las Tamberías, en el tramo superior de la quebrada de La Troya, relieves invertidos y procesos de rejuvenecimiento del paisaje, indicado por el desarrollo de un significativo piedemonte que enmascara la estructura.

Los depósitos aluviales y coluviales que cubren la Sierra de Las Planchadas le imprimen un aspecto suavizado, con cuencas superiores semicirculares, diseño de avenamiento dendrítico, con carcavamiento en las cabeceras, el material producto de la erosión y las pendientes abruptas de sus laderas, contribuyen a los procesos de remoción en masa y acumulación de deslizamientos de escombros que ahora funcionan como glaciares de escombros en las cuencas altas.

En el Cerro Negro de Rodríguez por lo general, como consecuencia del control estructural, las quebradas se disponen fundamentalmente en una serie de valles paralelos que constituyen las cuencas imbríferas de los principales afluentes del Río Abaucán. Como resultado de los procesos de remoción en masa -en seco- es frecuente observar conos de detritos o taludes de derrubios en las quebradas. Las paredes de las quebradas presentan el diseño de nidos de abeja, -oquedades de menores dimensiones y dispuestas más densamente que los tafonis-, como también barniz del desierto.

Como consecuencia de un prolongado e intenso proceso erosivo, se extiende al pie de las sierras un amplio piedemonte integrado por abanicos aluviales coalescentes, en el sector medio algunos paleoconosque evolucionaron a cono-glacis, también se presentan tres niveles de glacis -de erosión, cubierto y de acumulación-, sobre los cuales la actividad eólica ha generado amplios campos de deflación, que, según el tamaño de los materiales dejados en su superficie se denominan campos de gravas, campos de gravillas, campos de arena, y/o campos de bloques. En la zona distal del piedemonte es posible observar la erosión marginal que genera bordes festoneados en los abanicos y conos, provocada por la

formación de una cubeta de deflación, en cuya génesis participó tanto el viento como la arroyada mantiforme (Niz, 2003).

## **ASOCIACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LAS SIERRAS PAMPEANAS NOROCCIDENTALES**

Respecto a las Asociaciones Geomorfológicas, se discrimina el análisis según dos sectores teniendo en consideración las características climáticas: el sector centro-oeste árido de sierras y bolsones y el sector este árido tropical serrano.

El Bolsón de Fiambalá es un valle asimétrico, amplio, sujeto al clima semiárido riguroso con una importante actividad eólica la mayor parte del año. El extenso piedemonte oriental de las Sierras de Las Planchadas y Narváez, integran el sector occidental de este bolsón, muestran evidencias de la intensa deflación, dejando como geoformas de erosión: campos de gravas, gravillas y arenas, muy localmente campos de bloques. Como expresión de la actividad fluvial se observan abanicos aluviales en la desembocadura de algunas quebradas. Los procesos denudativos han actuado dejando adosados a las sierras, en general en el knick, niveles de glacis de erosión, acumulación y cubiertos, como así mismo, en menor proporción, pedimentos labrados sobre vulcanitas situados al pie de la Sierra de Las Planchadas.

En cuanto a la red de drenaje, el Río Abaucán constituye el cauce más importante de la comarca, uno de sus afluentes principales es el Río Fiambalá, que se une a otro importante afluente, el Río Chaschuil o Guanchín, a partir de lo cual recibe el nombre de Río Abaucán. Es un curso de régimen estacional que incrementa su caudal en el período estival.

El Río Abaucán y sus afluentes exhiben terrazas poligenéticas que evidencian, por un lado un control estructural y, por otro, la incidencia climática en su formación. El control estructural se manifiesta en las variaciones de potencia sectorizada a lo largo de su desplazamiento, siguiendo un esquema aproximadamente escalonado.

En su recorrido se pueden observar los efectos de los cambios en la metamorfosis fluvial del Río Abaucán, debidas a variaciones en la energía del río, expresada en los meandros abandonados o paleomeandros, lo cual es más evidente en el Bolsón de Fiambalá, principalmente en su recorrido por la localidad de Fiambalá.

Las geoformas presentes en este piedemonte son relictos de niveles de glacis cubiertos apartados del knick, un nivel de glacis de erosión, conos glacis y paleoconos, abanicos aluviales actuales y derrames laterales entre paleoconos que transportan el sedimento en la zona distal del piedemonte.

También el viento demuestra su accionar mediante la presencia de amplias superficies de deflación, que en algunos sectores evidencian una intensa actividad fluvial concentrada que ha generado un intenso carcavamiento, determinando así zonas de bad-lands. Figura N°8.

#### 4.1.7 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Las geoformas dominantes de piedemonte, están constituidos por conos aluviales, abanicos, depósitos de aluviones originados por los procesos de remoción en masa y varios niveles de terrazas labradas por los ríos a lo largo de su historia geológica, como así también, de formas denudativas (glacis y pedimento). Las principales geoformas que se presentan en el área son las de origen eólico que se encuentran a lo ancho del Valle de Fiambalá.

Entre ellas están las playas que se encuentran en la parte central y sensiblemente plana del bolsón formada por suelos limo-arenosos y arenas finas-limosas y es donde se produce la más intensa erosión. Hacia el suroeste de la localidad de Fiambalá, las acumulaciones dunarias se encuentran parcialmente fijadas por la vegetación autóctona, constituyendo una faja de médanos con orientación al noreste formando montículos de arena mediana y gruesa de forma irregular. Las áreas de deflación, donde el material es barrido de la superficie y luego transportado por el viento se acumula allí donde el flujo eólico encuentra como obstáculos predios de cultivos o las viviendas de Fiambalá.

Tanto camino hacia las Termas de Fiambalá, como en los parajes de Saujil, Medanitos, Tatón se generan acumulaciones dunarias de tipo barján, también se pueden observar dunas en estrella y dunas seif.

El Bolsón de Fiambalá es un valle asimétrico, amplio, sujeto al clima semiárido riguroso con una importante actividad eólica la mayor parte del año. El extenso piedemonte oriental de las Sierras de Las Planchadas y Narváez, integran el sector occidental de este bolsón, muestran evidencias de la intensa deflación, dejando como geoformas de erosión: campos de gravas, gravillas y arenas, muy localmente campos de bloques. Como expresión de la actividad fluvial se observan abanicos aluviales en la desembocadura de algunas quebradas. Los procesos denudativos han actuado dejando adosados a las sierras, en general en el knick, niveles de glacis de erosión, de acumulación y cubiertos, como así mismo, en menor proporción, pedimentos labrados sobre vulcanitas situados al pie de la Sierra de Las Planchadas. Figura N°9.



Figura N° 8: Acción del viento afectando las áreas de deflación, al norte de la localidad de Fiambalá, en dirección al oeste.

El piedemonte situado al sur de la Sierra de San Buenaventura y en el pie del flanco occidental de la Sierra de Fiambalá, es el receptor principal de los productos de la deflación mencionada anteriormente, generando así acumulaciones dunarias muy potentes, donde coexisten extensos campos informes de arena y campos de dunas de tipo barján, seif y dunas paralelas, entre ellas se encuentra la duna considerada como la duna más alta del mundo, se trata de la duna Federico Kirbus, situada en las cercanías del distrito Tatón, tiene 1.230 metros de altura neta, su base se ubica a los 1.611 m.s.n.m. y la cima a los 2.845 m.s.n.m., esta región constituye un importante atractivo turístico.

En esta región las laderas están expuestas a intensa meteorización física-debido al predominio de un ambiente semiárido riguroso y a la escasa cobertura vegetal protectora y fijadora de los suelos- lo cual proporciona abundante regolito, que, en la estación húmeda, cuando ocurren las precipitaciones torrenciales, genera una respuesta enérgica del cauce, en algunos sectores provocando aludes de piedra y/o barro, por otra parte en el período seco son frecuentes los deslizamientos por caída de detritos. En la estación seca dominan los procesos de origen eólico, tanto de abrasión y corrosión, como de acumulación.

La red de drenaje que atraviesa a la localidad de Fiambalá conformada por el Río Fiambalá y el Río Chaschuil o Guanchin, que dan origen al Río Abaucán, se caracteriza por su diseño de drenaje meandriforme, donde podemos observar meandros activos, meandros acogotados, meandros abandonados y paleomeandros, que permite la acumulación de las áreas de origen eólico en ambos márgenes del río dando origen a superficies suaves.

El Río Chaschuil provoca numerosas inundaciones en el sector noroeste de la localidad en épocas de lluvias. Estas crecidas repercuten en el sector este (a unos 6 km de distancia) a la altura del puente que comunica a localidad con las Termas Fiambalá.

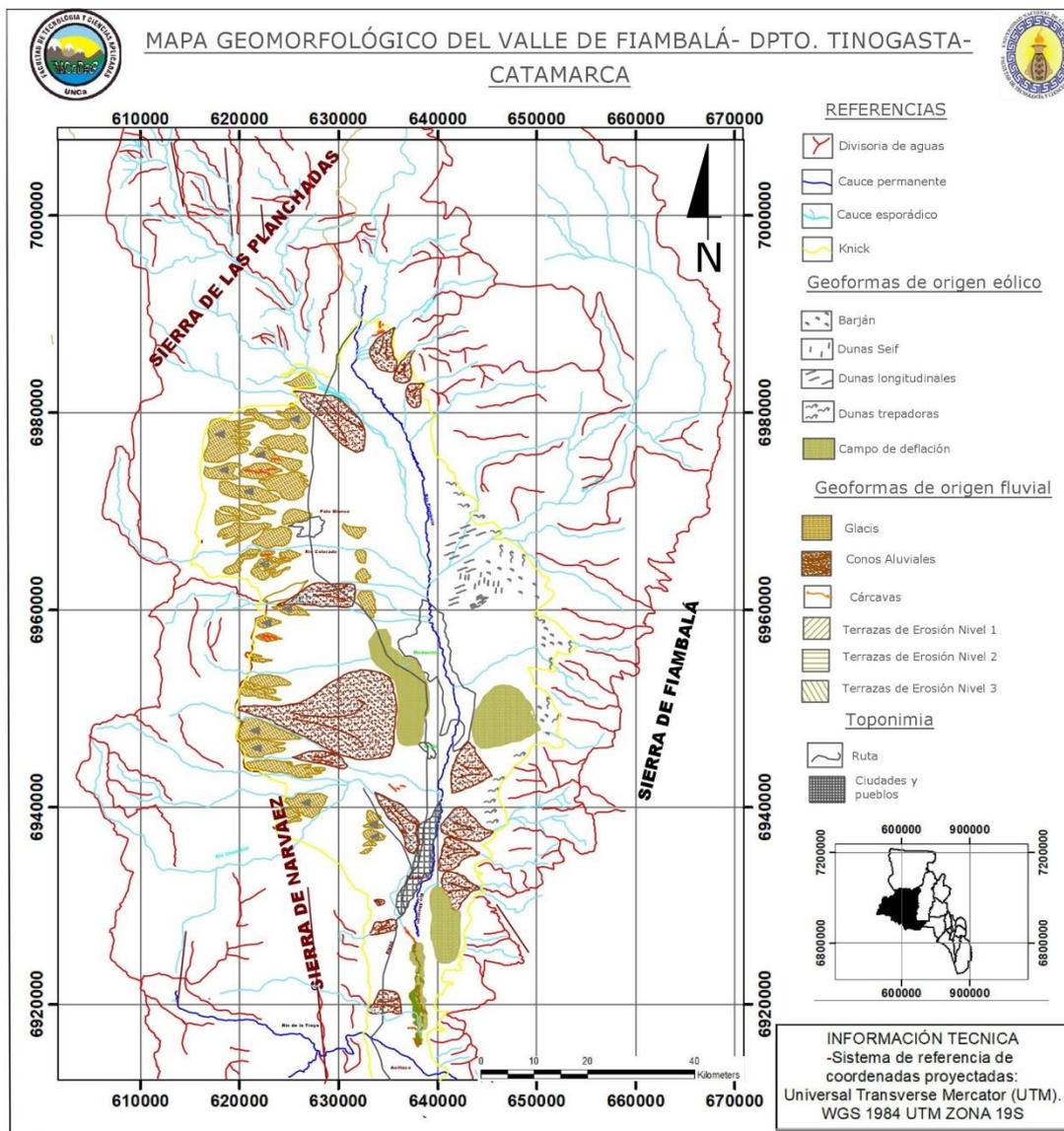


Figura N° 9: Mapa geomorfológico de la cuenca del Río Fiambalá. Se puede consultar en formato A3 en el Anexo I.

#### 4.2 MORFOMETRIA DE CUENCAS

Como se pudo describir anteriormente, la localidad de Fiambalá es drenada fundamentalmente por dos grandes ríos como lo son el Río Fiambalá y el Río Chaschuil.

El Río Fiambalá cuyas aguas drenan en sentido aproximado de norte – sur, bordea a lo largo de la localidad homónima por su margen oriental, mientras que el Río Chaschuil atraviesa a lo ancho a la localidad en sentido noroeste - sureste en su sector norte. El Río Fiambalá lleva aguas en épocas de lluvias, mientras que el Río Chaschuil - Guanchin tiene caudal permanente dado que es alimentado por los deshielos que ocurren en su cuenca

alta, en la zona cordillerana. Estos ríos confluyen en el sector oriental de la localidad de Fiambalá (Figura N°10), en colores celeste y azul, los límites de las cuencas bajas de ambos ríos se señalan en color rojo y amarillo respectivamente, a partir de allí se origina el Río Abaucán.

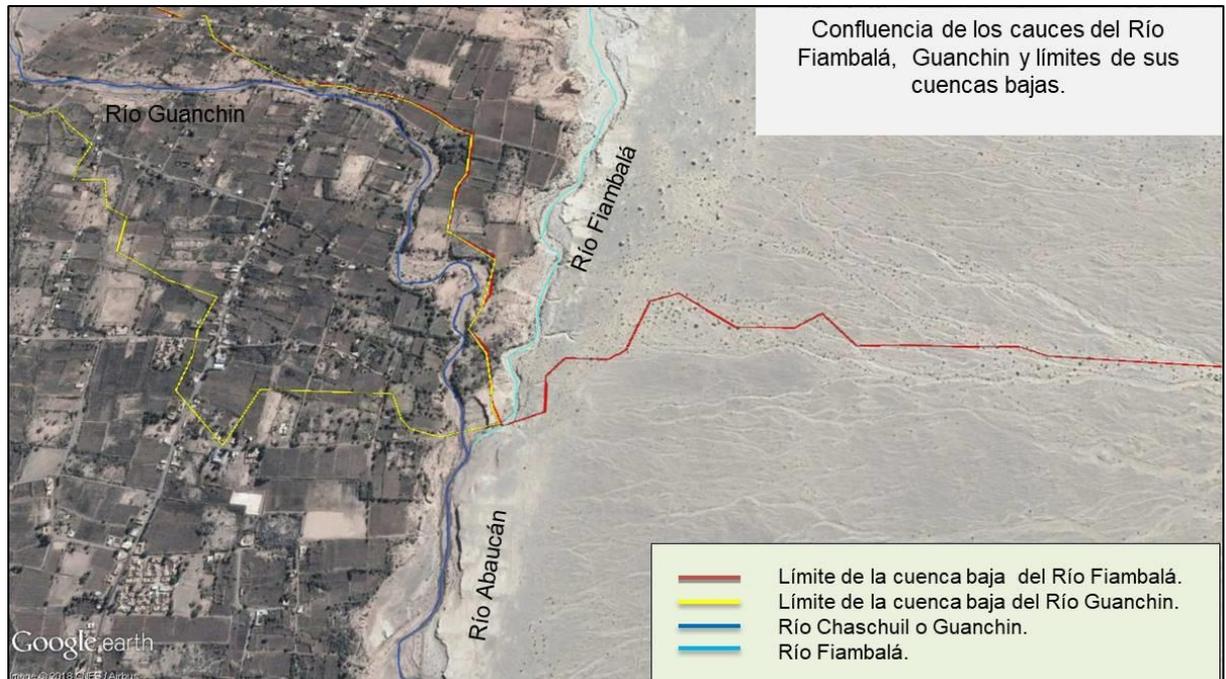


Figura N° 10: Confluencia de los cauces de los Ríos Fiambalá y Guanchin que dan origen al Río Abaucán en el sector oriental de la localidad de Fiambalá.

Con el estudio del análisis morfométrico de las cuencas, se determina la vulnerabilidad de la población a los distintos eventos hídricos que puedan ocurrir, debido a la acción que tengan estos ríos, cuyo análisis de sus características es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia.

El comportamiento que tienen estos ríos y su influencia en la población va a estar ligada a las variables meteorológicas (temperatura, precipitaciones, velocidad y direcciones de los vientos, etc.) con características semiáridas rigurosas, que tienen impacto no solo regional sino también local, donde las fuertes precipitaciones y la acumulación de las arenas, que dan origen a los médanos, pueden conjugar su acción provocando dificultades para la población.

Los sedimentos que se acumulan en los cauces de los ríos o en sus afluentes, provocan que las aguas superficiales se infiltren dificultando su obtención, o en otros casos, cuando ocurren las precipitaciones extremas, se convierte en uno de los factores que pueden llegar a influir en las inundaciones o posteriores aludes de barros o derrames arcillosos.

Las características morfométricas, como se mencionó previamente, son indicadores cuantitativos de los elementos de la cuenca que, de una manera u otra, influyen en la magnitud y variabilidad de los procesos hidrológicos. Pueden agruparse en las siguientes categorías:

## 4.2.1 PARÁMETROS MORFOMETRICOS DE LA CUENCA DEL RIO CHASCHUIL Y DEL RIO FIAMBALA

### 4.2.1.1 PARÁMETROS GENERALES DE UNA CUENCA

Constituyen la información mínima que se debe conocer para determinar en términos generales, la naturaleza y comportamiento de una cuenca. Son el área, longitud, perímetro, ancho y desnivel altitudinal.

Como resultado de este procesamiento y analizando las características geométricas del Raster obtenido, se confecciona las siguientes tablas de atributos (Tabla N°2 y N°3) para las cuencas de estudio. Se puede interpretar con estos valores que, la cuenca del Río Chaschuil es la que presenta una mayor área, cota y desnivel altitudinal, mientras tanto la cuenca del Río Fiambalá, muestra el área, cota y desnivel con valores menores, esto demuestra que ante un mismo caudal el Río Chaschuil o Guanchin tendrá mayor energía que el Río Fiambalá. Las alturas de ambas cuencas se representan en el DEM (Digital Elevation Model). Figura N°10.

PARÁMETROS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO CHASCHUIL		
Descripción	Valor	Unidad
Área	6016,22	Km <sup>2</sup>
Perímetro	578,21	Km
Cota mx	6876	Msnm
Cota min	1533	Msnm
Desnivel	5343	M

Tabla N° 2: Parámetros generales de la cuenca del Río Chaschuil.

PARÁMETROS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO FIAMBALÁ		
Descripción	Valor	Unidad
Área	5987,74	Km <sup>2</sup>
Perímetro	410,42	Km
Cota mx	5552	Msnm
Cota min	1532	Msnm
Desnivel	4020	m

Tabla N° 3: Parámetros generales de la cuenca del Río Fiambalá.

# EL RIESGO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO DE ORIGEN EÓLICO-FLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.

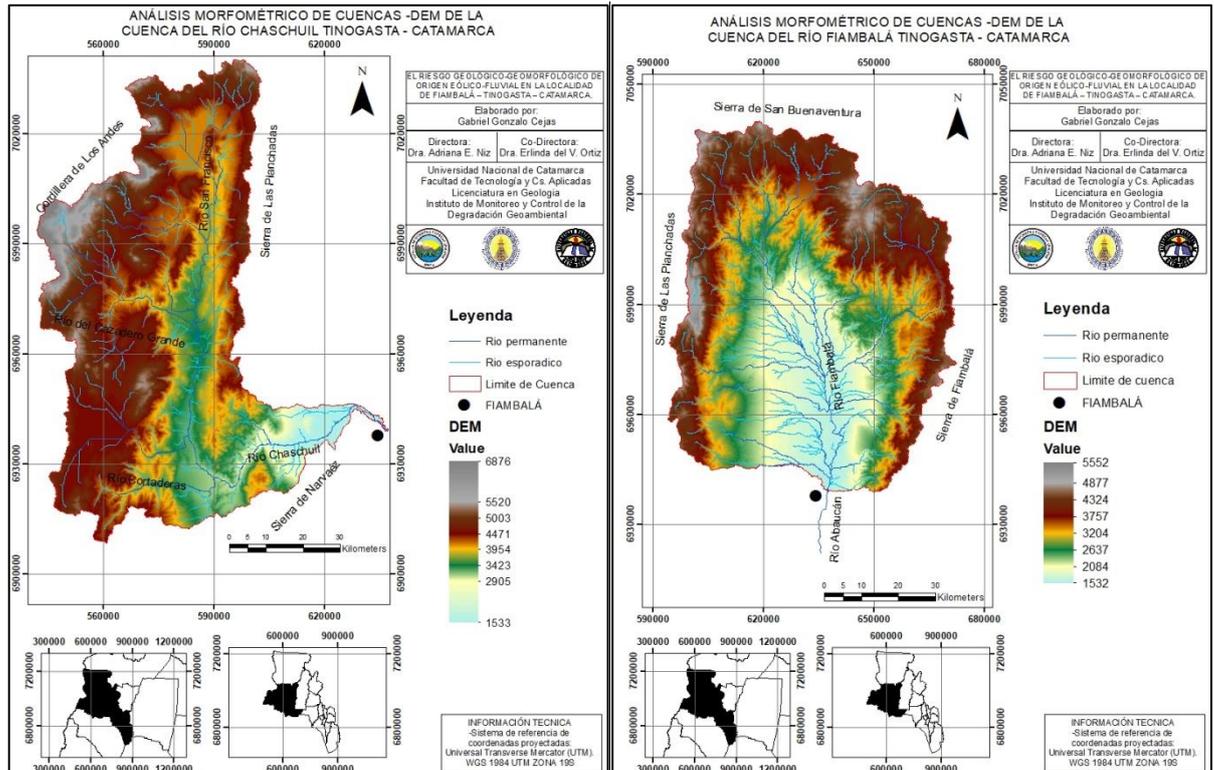


Figura N° 11 y Figura N° 12: DEM de la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá para el análisis de los parámetros generales.

El DEM contiene además, una base topográfica de los cuales resultan las curvas de nivel. El análisis de las características geométricas entre el área que se encuentra presente entre 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, Figura N° 11 y N°12.

La curva hipsométrica es 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  $\text{km}^2$  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. Para su representación se confecciono la Tabla N° 4 y N°5.

CURVA HIPSOMETRICA - CUENCA DEL RIO CHASCHUIL							
Nro.	Cota			Área			
	Max.	Min.	Prom.	Intervalo - área entre curvas	Acumulado	% acumulado	% Intervalo
1	2436	1533	1984,5	9	1364	100	0,66
2	3053	2437	2745	23	1355	99,34	1,69
3	3553	3054	3303,5	98	1332	97,65	7,18
4	3952	3554	3753	267	1234	90,47	19,57
5	4292	3953	4122,5	202	967	70,89	14,81
6	4580	4293	4436,5	265	765	56,09	19,43
7	4864	4581	4722,5	235	500	36,66	17,23
8	5223	4865	5044	142	169	12,39	10,41
9	5710	5224	5467	96	123	9,02	7,04
10	6876	5711	6293,5	27	27	1,98	1,98
TOTAL				1358			

Tabla N° 4: Valores obtenidos para la representación gráfica de la Curva Hipsométrica de la cuenca del Río Chaschuil.

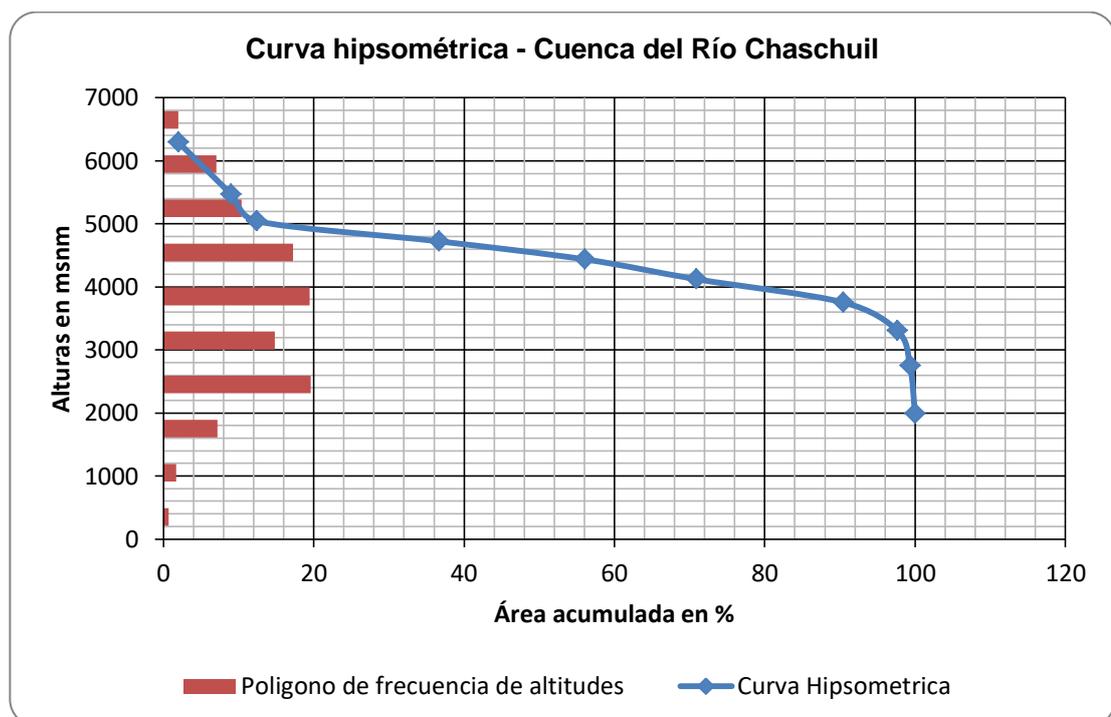


Figura N° 13: grafica de la Curva Hipsométrica y polígono de frecuencia de la cuenca del Río Chaschuil.

CURVA HIPSOMETRICA - CUENCA DEL RIO FIAMBALA							
Nro	Cota			Intervalo - área entre curvas	Área		
	Max	Min	Prom		Acumulado	% acumulado	% Intervalo
1	1934	1532	1733	913,63	5987,65	100	15,26
2	2336	1935	2135,5	765,04	5074,02	84,74	12,78
3	2738	2337	2537,5	664,89	4308,98	71,96	11,10
4	3140	2739	2939,5	709,85	3644,09	60,86	11,86
5	3542	3141	3341,5	741,82	2934,24	49,00	12,39
6	3944	3543	3743,5	709,86	2192,42	36,62	11,86
7	4346	3945	4145,5	898,54	1482,55	24,76	15,01
8	4748	4347	4547,5	457,06	584,01	9,75	7,63
9	5150	4749	4949,5	115,27	126,95	2,12	1,93
10	5552	5151	5351,5	11,68	11,68	0,20	0,20
TOTAL				5987,65			

Tabla N° 5: Valores obtenidos para la representación gráfica de la Curva Hipsométrica de la cuenca del Río Fiambalá.

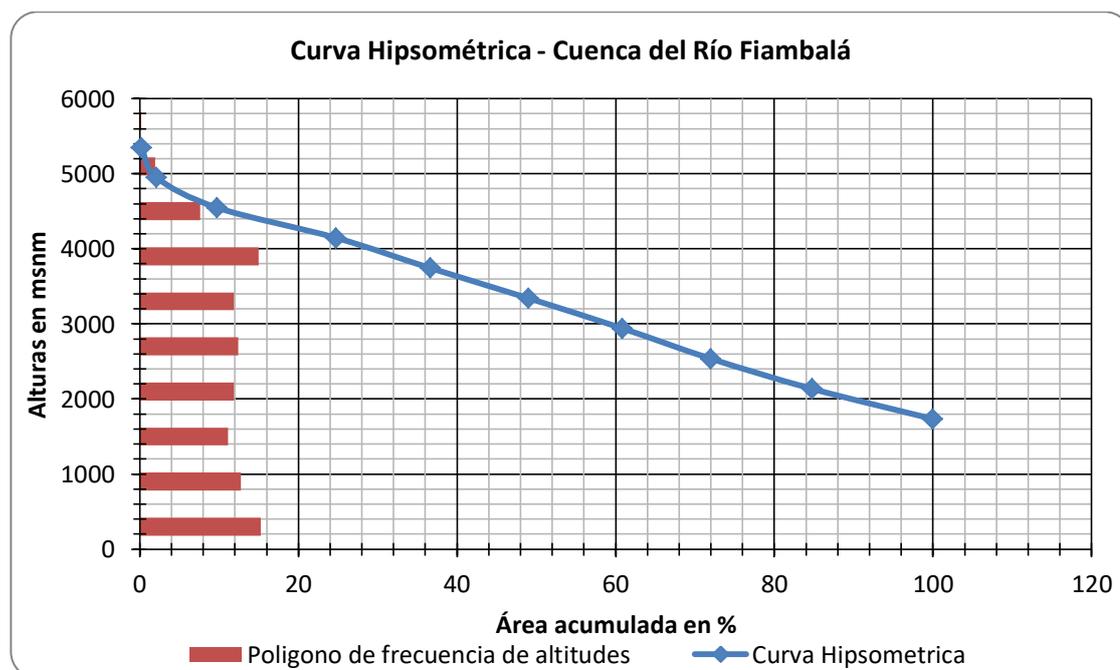


Figura N° 14: grafica de la Curva Hipsométrica y polígono de frecuencia de la cuenca del Río Fiambalá.

La curva hipsométrica para la cuenca del Río Chaschuil corresponde a una “Curva de Tipo A” que refleja su gran potencial erosivo, en un estado de juventud, mientras que, para la

cuenca del Río Fiambalá le corresponde una “curva hipsométrica de tipo B”, que representa una cuenca en equilibrio en fase de madurez. Figura N°13 y N°14

La representación cartográfica de la curva hipsométrica, Figura N° 15 y N°16, muestra los diez intervalos reclasificados con la información que le corresponden a los rangos entre las curvas de nivel, con la que se define la curva hipsométrica.

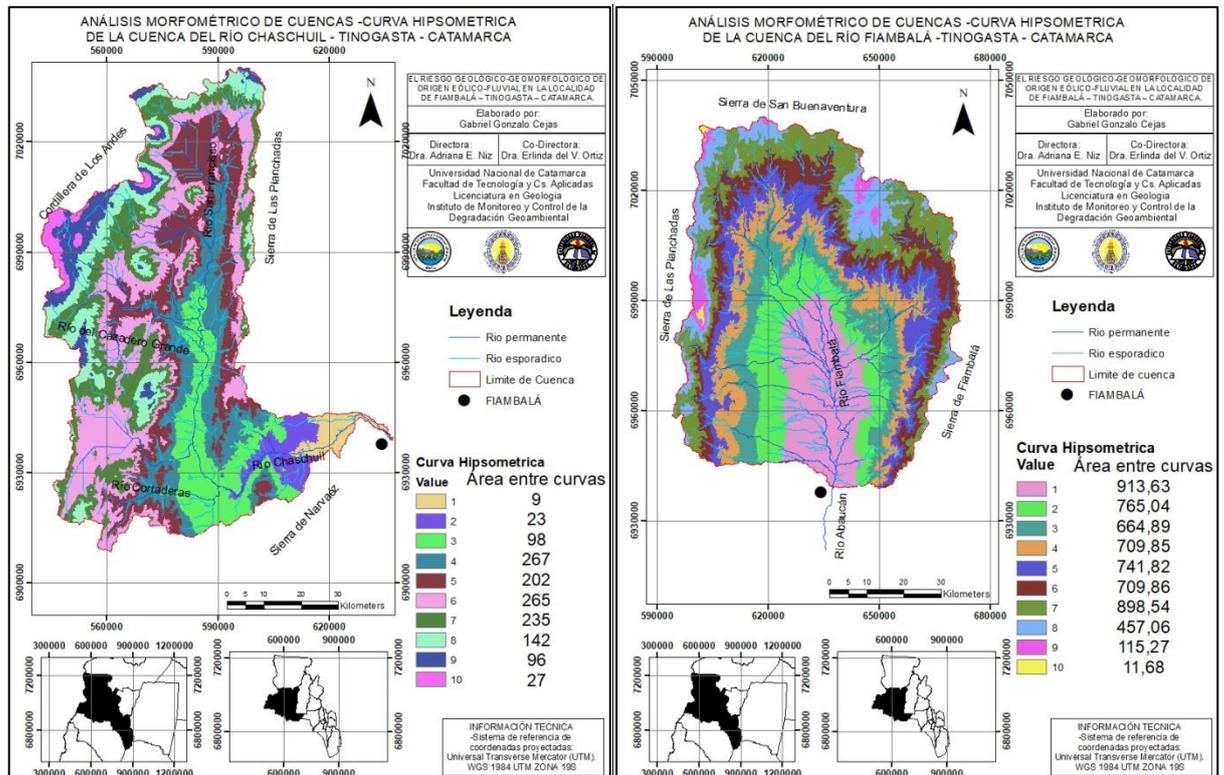


Figura N° 15 y Figura N° 16: Representación cartográfica de la Curva Hipsométrica en la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá.

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

La forma de una cuenca es determinante en su comportamiento hidrológico (cuencas de igual área pero de diferentes formas presentan diferentes respuestas hidrológicas – hidrogramas diferentes por tanto- ante una lámina precipitada de igual magnitud y desarrollo), de ahí que algunos parámetros traten de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes.

El factor de forma (F), el factor de Horton y el índice de compacidad (K) fueron calculados a partir de las formulas propuestas por los autores de dichos coeficientes, mediante el uso de tablas Excel. Para dichos cálculos, los parámetros utilizados fueron obtenidos previamente a partir de ArcGis 10.3.

#### FACTOR DE FORMA (F)

Expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca (w) y la longitud (L).

$$F = W/L$$

En la Figura N°17 y N°18 se muestran las imágenes satelitales de las cuencas del Río Chaschuil y Fiambalá utilizadas para la obtención del factor de forma. Los valores obtenidos están representados en las Tablas N°6 y N°7.

CUENCA DEL RÍO CHASCHUIL			
Descripción	Sigla	Unidad	Valor
Largo	L	Km	136,06
Ancho	W	Km	58,43
Factor de forma	F		0,43

Tabla N° 6: Valores de factor de forma de la cuenca del Río Chaschuil.

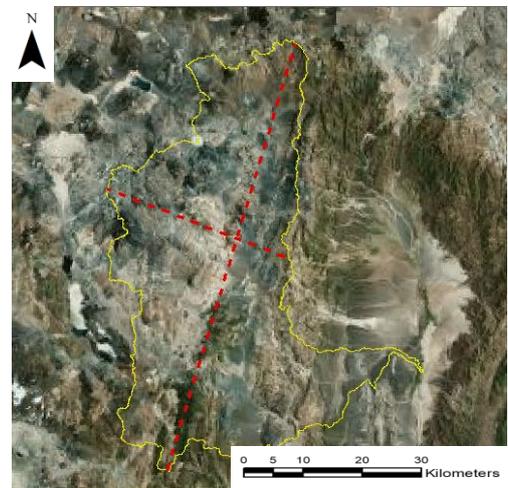


Figura N° 17: Imagen satelital tomada para la cuenca del Río Chaschuil.

CUENCA DEL RÍO FIAMBALÁ			
Descripción	Sigla	Unidad	Valor
Largo	L	Km	107
Ancho	W	Km	81
Factor de forma	F		1,32

Tabla N° 7: Valores de factor de forma de la cuenca del Río Fiambalá.

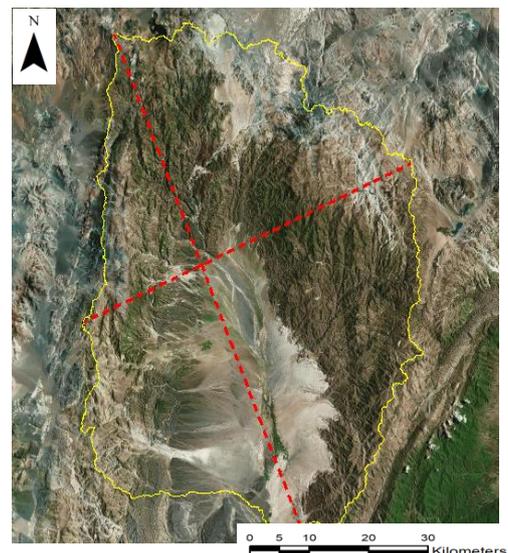


Figura N° 18: Imagen satelital tomada para la cuenca del Río Fiambalá.

Como se puede observar ambas subcuencas son moderadamente alargadas con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

## FACTOR DE FORMA ADIMENSIONAL DE HORTON

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

$$R_f = A / Lb^2$$

Para esto se confeccionaron las Tablas N°8 y N°9 que muestran las variables geométricas que se aplican para obtener el factor de forma de Horton.

<b>CUENCA DEL RÍO CHASCHUIL</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Sigla</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Longitud de cuenca	Lb	Km	136,06
Área	A	Km <sup>2</sup>	6016,22
Factor de Horton	Rf		0,32

Tabla N° 8: Valores de factor de forma de Horton de la cuenca del Río Chaschuil.

<b>CUENCA DEL RÍO FIAMBALÁ</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Sigla</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Longitud de cuenca	Lb	Km	107
Área	A	Km <sup>2</sup>	5987,74
Factor de Horton	Rf		0,52

Tabla N° 9: Valores de factor de forma de Horton de la cuenca del Río Fiambalá.

El valor de factor de Horton de 0,32 para la cuenca del Río Chaschuil, indica que es una cuenca ligeramente alargada pudiendo generar crecidas repentinas teniendo pocas posibilidades de concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa. Para la cuenca del Río Fiambalá le corresponde un valor de 0,52, es similar el comportamiento, pero dado el valor obtenido es más propensa a generar crecientes repentinas, teniendo más posibilidades de concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa.

## 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. Para la obtención de este parámetros se realizaron las Tablas N°10 y N°11.

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

<b>CUENCA DEL RÍO CHASCHUIL</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Sigla</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Área	A	Km <sup>2</sup>	1667,2
Perímetro	P	Km	144,51
Índice de compacidad	de K		1,005

Tabla N° 10: Valores usados para obtener el Índice de Compacidad de la cuenca del Río Chaschuil.

<b>CUENCA DEL RÍO FIAMBALÁ</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Sigla</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Área	A	Km <sup>2</sup>	3860,7
Perímetro	P	Km	219,91
Índice de compacidad	de K		0,998

Tabla N° 11: Valores usados para obtener el Índice de Compacidad de la cuenca del Río Fiambalá.

El Índice de compacidad para la cuenca del Río Chaschuil, cuyo valor es de 1,005 y de la cuenca del Río Fiambalá, 0,998, indica la tendencia que tiene a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento al pertenecer a una clase de compacidad “Redondeada a Oval Redonda”.

#### **4.2.1.3 PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA RED DE DRENAJE**

La jerarquización permite tener un mejor conocimiento 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. Hay varios sistemas de jerarquización, siendo los más utilizados el de Horton. Lo cual indica una importante actividad hídrica superficial, que potencia los procesos de remoción en masa y transporte de sedimento hacia el piedemonte.

#### **JERARQUIZACIÓN DE LA RED FLUVIAL**

A partir del geoprocésamiento de los modelos Raster DEM y con las herramientas de hidrología de ArcGis 10.3 donde el software ejecuta funciones algebraicas sobre los modelos de direcciones y acumulaciones de flujos, se pudo obtener la jerarquización de los órdenes de la red de drenaje de la cuenca del Río Chaschuil y del Río Fiambalá, por medio de un modelo teórico tipo Raster de órdenes de flujos de corrientes. Figura N°19 y N°20.

# EL RIESGO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO DE ORIGEN EÓLICO-FLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.

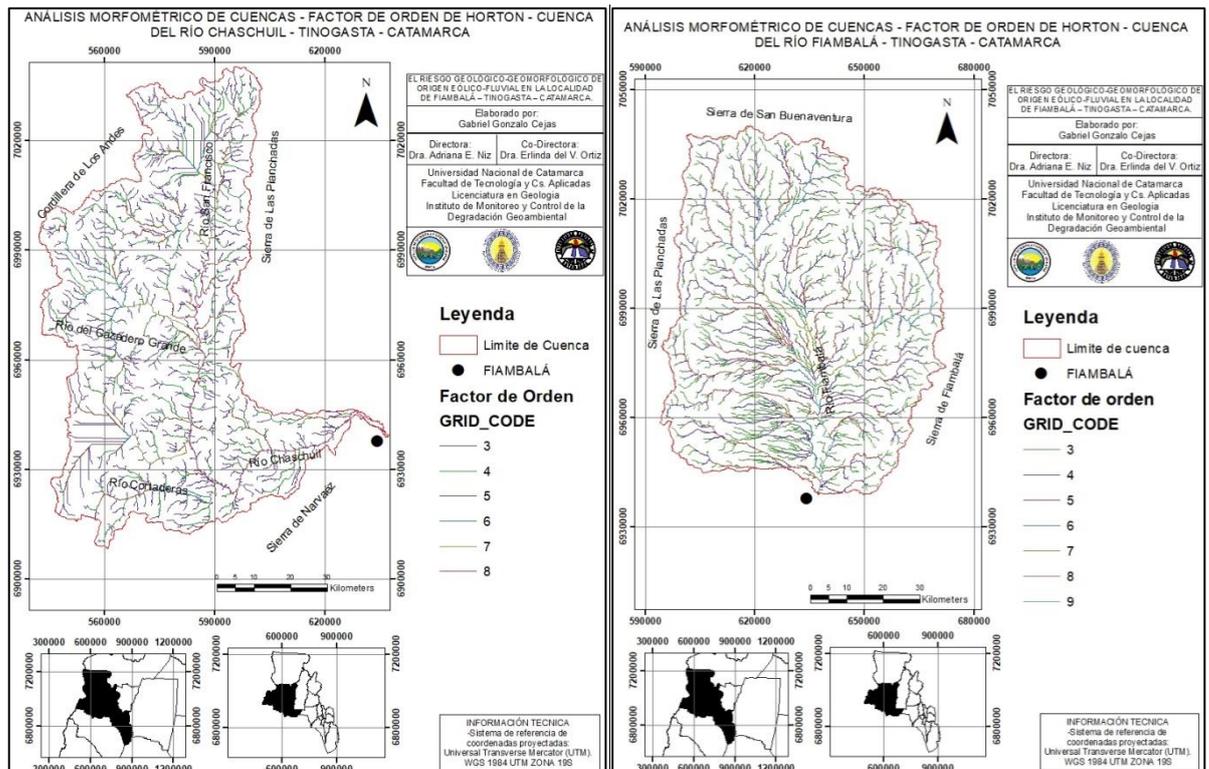


Figura N° 19 y Figura N° 20: Representación gráfica del factor de orden de Horton para la cuenca del Río Chaschuil y de la cuenca del Río Fiambalá.

Como resultado se obtiene una red hídrica que demuestra el factor de orden para ambas cuencas, clasificadas en forma tal, que permite diferenciar los menores y el máximo orden de la red. Para la mejor representación de la jerarquización de la red de drenaje, las corrientes que pertenecen al orden uno y dos, no fueron tomadas en esta representación cartográfica.

Se determinó que la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá presentan una jerarquía de orden 8 y 9 respectivamente, generado por el aporte de los diferentes afluentes de origen fluvial proveniente de las laderas que desembocan hacia estos únicos ríos principales, lo que proporciona un alto grado de bifurcación con presencia de controles estructurales del relieve y una mayor posibilidad de erosión o bien, demuestra que la cuenca podría ser más antigua (en determinados tipos de relieve).

## 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.

$$Dd = \sum Li / A$$

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 Río Chaschuil, se logró

calcular y diferenciar, para la densidad de la red de drenaje, la longitud (en km) de los ríos correspondientes a los diferentes factores de órdenes, que posteriormente fueron exportados a tablas 12, 13, 14 y 15 para una mejor aplicación de los datos.

ORDEN DE LA RED HÍDRICA – CUENCA DEL RÍO CHASCHUIL	
Orden	Longitud en km
1	13141,58
2	4210,23
3	1991,44
4	903,98
5	375,94
6	147,16
7	101,68
8	153,30
<b>TOTAL</b>	<b>21025,32</b>

Descripción	Sigla	Unidad	Valor
Longitud de los cauces	Li	Km	21025,32
Área	A	Km <sup>2</sup>	6016,22
Densidad de drenaje	Dd	Km/km <sup>2</sup>	3,494

Tabla N° 12 y Tabla N° 13: Valores obtenidos por cada orden para determinar la densidad de drenaje de la cuenca del Río Chaschuil.

ORDEN DE LA RED HÍDRICA – CUENCA DEL RÍO FIAMBALÁ	
Orden	Longitud en km
1	7787,06
2	3863,17
3	2017,93
4	1033,63
5	700,85
6	206,02
7	106,65
8	6,73
9	41,87
<b>TOTAL</b>	<b>15763,91</b>

Descripción	Sigla	Unidad	Valor
Longitud de los cauces	Li	Km	15763,91
Área	A	Km <sup>2</sup>	5987,74
Densidad de drenaje	Dd	Km/km <sup>2</sup>	2,63

Tabla N° 14 y Tabla N° 15: Valores obtenidos por cada orden para determinar la densidad de drenaje de la cuenca del Río Fiambalá.

“Los valores altos de **Dd** reflejan generalmente suelos fácilmente erosionables, o relativamente impermeables, con pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal” (Gregory - Walling, 1973).

La densidad de drenaje para la cuenca del Río Chaschuil y del Río Fiambalá es de 3,494 Km/km<sup>2</sup> y 2,63 Km/km<sup>2</sup>, esto indica que presentan una densidad moderada, asociada a grandes volúmenes 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.

## 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 cuyas variables están representadas en las Tablas N° 16 y N° 17.

$$T_c = 13,548 * (L^2 / H)^{0,77}$$

CUENCA DEL RÍO CHASCHUIL				
Descripción		Sigla	Unidad	Valor
Longitud del cauce principal	del	L	Km	204,42
Diferencia de alturas	de	H	m	3115,02
Tiempo de concentración	de	Tc	min	100,03

CUENCA DEL RÍO FIAMBALÁ				
Descripción		Sigla	Unidad	Valor
Longitud del cauce principal	del	L	Km	87,42
Diferencia de alturas	de	H	m	1143,4
Tiempo de concentración	de	Tc	min	58,49

Tabla N° 16 y Tabla N° 17: Valores obtenidos para determinar el tiempo de retorno para la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá.

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 cuenca del Río Chaschuil le corresponde un Tc de 100,03 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.

El **Tc** para la cuenca del Río Fiambalá es de 58,49 minutos que lo caracteriza como “**moderado**”, indica que el tiempo necesario que le toma al agua precipitada para recorrer toda el área hasta el punto de salida es mayor, siendo menor la probabilidad de generar cauces torrenciales en comparación con la otra cuenca.

#### 4.2.1.4 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.

#### 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 descripta por López Cadenas de Llano (1998):

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

En las Tablas N°18 y N°19 se presentan los valores que se utilizan para calcular la pendiente media a partir de la longitud de las curvas de nivel (como variable principal) y que se puede representar de forma cartográfica, mostrando que las áreas de mayor pendiente se encuentran en los sectores cercanos a las cumbres. Figura N°21 y N°22.

CUENCA DEL RIO CHASCHUIL			
Descripción	Sigla	Unidad	Valor
Longitud de curvas de nivel	Li	Km	2673,2
Área	A	Km <sup>2</sup>	6016,22
Equidistancia	E	Km	0,5
Pendiente media	Scuenca	%	22,21

CUENCA DEL RIO FIAMBALÁ			
Descripción	Sigla	Unidad	Valor
Longitud de curvas de nivel	Li	Km	3128,1
Área	A	Km <sup>2</sup>	5987,74
Equidistancia	E	Km	500
Pendiente media	Scuenca	%	26,12

Tabla N° 18 y Tabla N° 19: Valores obtenidos para determinar la pendiente media de la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá.

Según la clasificación de López Cadenas de Llano (1998), se clasificó la cuenca en pendientes, con SIG sobre el Modelo Digital de Elevación y el SRTM, según los diferentes tipos de relieve. Para la cuenca del Río Chaschuil le corresponde un valor de 22,21% que la clasifica como un relieve muy fuerte, mientras que para la cuenca del Río Fiambalá su valor es de 26,12% perteneciente a la misma clasificación.

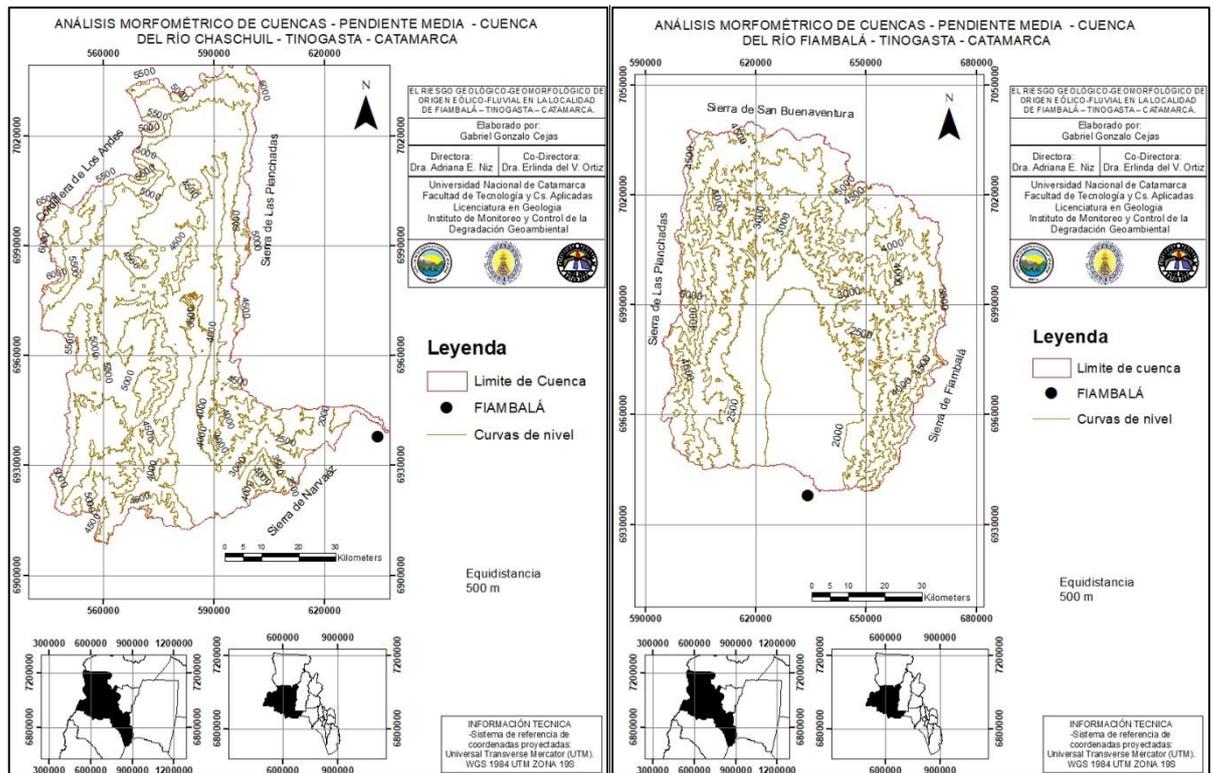


Figura N° 21 y Figura N° 22: Representación cartográfica de las curvas de nivel, utilizadas para obtener la pendiente media de la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá.

Mediante la modelación de los DEM, ArcGis 10.3 permite la clasificación de las áreas entre curvas de nivel para obtener, con las herramientas de cálculos algebraicos, las superficies promedio que se generan entre los intervalos formados con estos procesamientos y la cantidad de ocurrencias de los valores de pendiente que aparecen en este modelo Raster. Para ello, este software genera una base de datos reclasificada de los rangos de pendiente entre las curvas de nivel, estos pueden ser exportados como planillas de cálculo Excel (Tablas N°20 y N°21) y obtener de esta forma la pendiente media de la cuenca junto con su representación cartográfica. Figura N°23 y N°24.

Nro.	RANGO DE PENDIENTE (%)			(2) Nro. De ocurrencia	(1) x (2)
	inferior	superior	promedio (1)		
1	0	10	5	3121422	15607110
2	10	20	15	2356796	35351940
3	20	30	25	1124909	28122725
4	30	40	35	398672	13953520
5	40	50	45	97880	4404600
6	50	60	55	17051	937805
7	60	70	65	2425	157625
8	70	80	75	353	26475
9	80	90	85	62	5270
10	90	100	95	21	1995
TOTAL=				7119591	98569065
Cuenca del Río Chaschuil					
Pendiente media de la cuenca (%)				13,84	

Nro.	RANGO DE PENDIENTE (%)			(2) Nro. De ocurrencia	(1) x (2)
	inferior	superior	promedio (1)		
1	0	10	5	3572474	17862370
2	10	20	15	2185787	32786805
3	20	30	25	1087405	27185125
4	30	40	35	208519	7298165
5	40	50	45	17061	767745
6	50	60	55	1095	60225
7	60	70	65	126	8190
8	70	80	75	18	1350
9	80	90	85	4	340
10	90	100	95	1	95
TOTAL =				7072490	85970410
Cuenca del Río Fiambalá					
Pendiente media de la cuenca (%)				12,16	

Tabla N° 20 y Tabla N° 21: Valores calculados para obtener la pendiente media de la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá, para su posterior representación cartográfica.

# EL RIESGO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO DE ORIGEN EÓLICO-FLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.

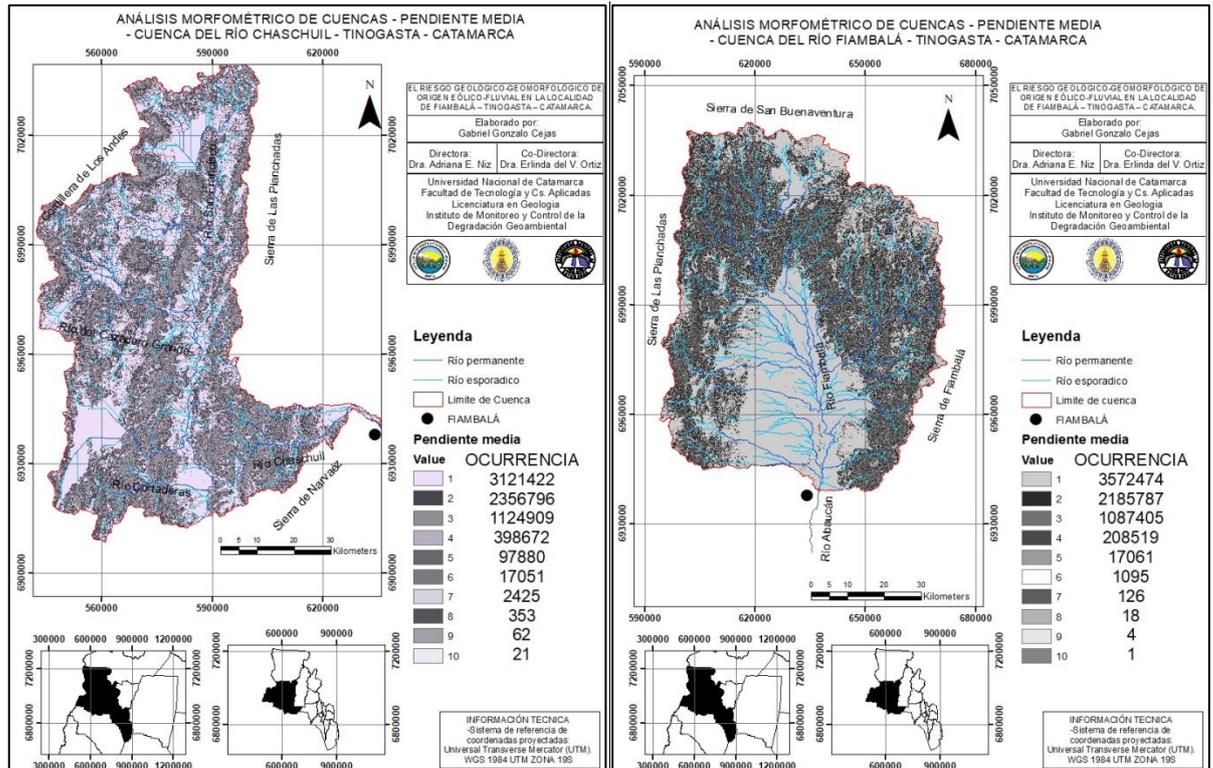


Figura N° 23 y Figura N° 24: Representación cartográfica de los rangos de pendiente media de la cuenca del Río Chaschuil y Fiambalá.

## PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL

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

$$S = DA / L$$

CUENCA DE RIO CHASCHUIL			
Descripción	Sigla	Unidad	Valor
Desnivel del Río	DA	Km	3,115
Longitud del Río	L	Km	184,53
Pendiente media	S		0,015

CUENCA DEL RIO FIAMBALÁ			
Descripción	Sigla	Unidad	Valor
Desnivel del Río	DA	Km	1,143
Longitud del Río	L	Km	87,42
Pendiente media	S		0,013

Tabla N° 22 y Tabla N° 23: Valores utilizados para determinar la pendiente media de los Ríos Chaschuil y Fiambalá.

La pendiente media del cauce del Río Chaschuil y Río Fiambalá es de 0,015 y 0,013 lo que representan una “pendiente suave” que se caracteriza por la divagación del cauce.

## 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, en el sector donde cambia su dirección de escurrimiento. Figura N°25 y N°26.

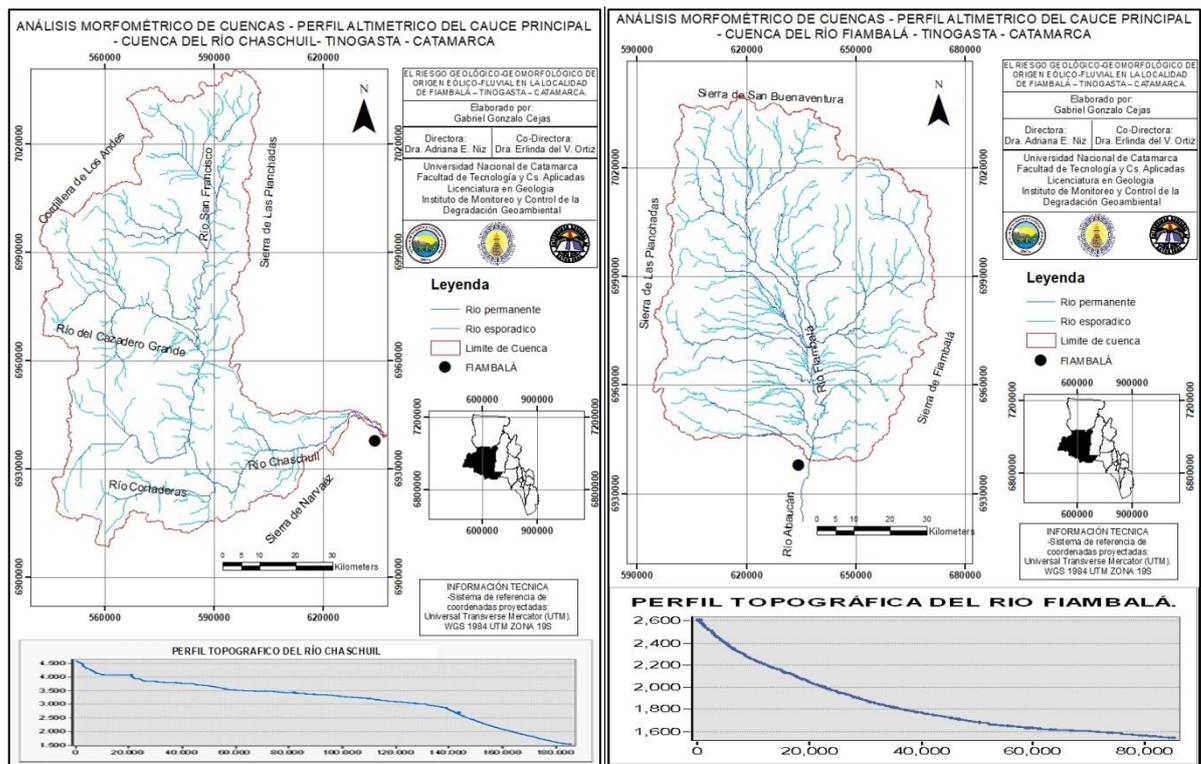


Figura N° 25 y Figura N° 26: Mapa hidrográfico de la cuenca del Río Chaschuil y Río Fiambalá con el respectivo perfil topográfico de su cauce principal.

Para la generación del perfil altimétrico se tomaron los aportes de los afluentes principales de los Ríos San Francisco, Cazadero Grande y Cortaderas que dan origen al Río Chaschuil o Guanchin, cuya trayectoria supera los 180 km desde su cabecera de la cuenca hasta alcanzar la Localidad de Fiambalá.

El perfil altimétrico o topográfico del Río Fiambalá nace desde la cabecera de la cuenca hasta la Localidad de Fiambalá y alcanza una trayectoria mayor a los 80 km.

### 4.3 ACCION EOLICA

La presencia de los factores que intervienen en la actividad eólica en el área de trabajo, tales como: el clima, las características del suelo, la rugosidad de la superficie, la exposición a la acción eólica, la vegetación, descriptos en el capítulo referido al Marco Conceptual, favorecen el proceso erosivo y provoca consecuencias significativas debido a la actividad antrópica, que influye particularmente cuando el hombre lleva a cabo un uso incontrolado de los recursos naturales, primordialmente el suelo y la vegetación. Estas consecuencias son:

- Intensos procesos de erosión y sedimentación eólica.
- Erosión hídrica en surcos de cultivos en zonas rurales afectadas por sobrepastoreo, en muchos casos, el abandono de los campos de cultivo y/o pastoreo.
- Salinización de los suelos por un manejo inadecuado del agua de riego.
- Deposición de sedimentos en cauces de ríos, modificando incluso la geometría de los mismos.

#### 4.3.1 PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS

Los procesos geomorfológicos de mayor magnitud observados en la zona, con respecto a la dinámica eólica, que conllevan a definir la vulnerabilidad, que finalmente permitirá reconocer zonas de riesgo y peligro para la vida humana son: Procesos de erosión, procesos de acumulación y los procesos de desertización.

##### 4.3.1.1 PROCESOS DE EROSIÓN

La erosión eólica que ocurre en los distintos sectores de la localidad de Fiambalá, se originan mediante el proceso de deflación.

Las áreas de deflación tienen una variada distribución en lo que respecta a la Localidad de Fiambalá, para ello se han diferenciado los sectores sur, sureste y noroeste como los más vulnerables a este proceso.

En el área de trabajo, debido a la expansión de las áreas urbanas-particularmente en zonas periféricas-, se avanzó sobre tierras pobremente vegetadas, en las cuales la deforestación que acompañó al asentamiento urbano, generó superficies susceptibles frente a la actividad eólica, incrementando los procesos de deflación y transporte de sedimentos. De esta manera, se desestabilizó el sistema dunario provocando, por un lado, el avance de los médanos sobre las viviendas y áreas de cultivo y, por otro lado, la erosión de suelos cultivables.

En el sur y sudeste de Fiambalá se observaron evidencias de antiguas parcelas abandonadas, que eran destinadas al cultivo de trigo, indicadores de que en otra época eran terrenos productivos, fueron resultado de las crecientes dificultades para el riego, debido a la profundización del Río Abaucán y por la potente acción de la deflación. Debido al viento proveniente desde el sur, asimismo, el material producto de la deflación fue generando los médanos Figura N°27 y N° 28, cuyo avance fue sepultando las parcelas progresivamente, provocando la migración de los habitantes hacia el norte de la localidad.

En síntesis, la intensa actividad eólica a la que está sometida la región del Bolsón de Fiambalá genera modificaciones en el medio ambiente, dado que el viento actúa por deflación, transporte y depositación. En el primer caso, provoca el barrido de superficie generando la esqueletización de los suelos cultivables, el material, producto del barrido, es transportado a otras áreas de la cuenca, esto implica el soterramiento de los suelos, el avance de los médanos sobre las viviendas y las áreas cultivadas, generalmente viñedos.

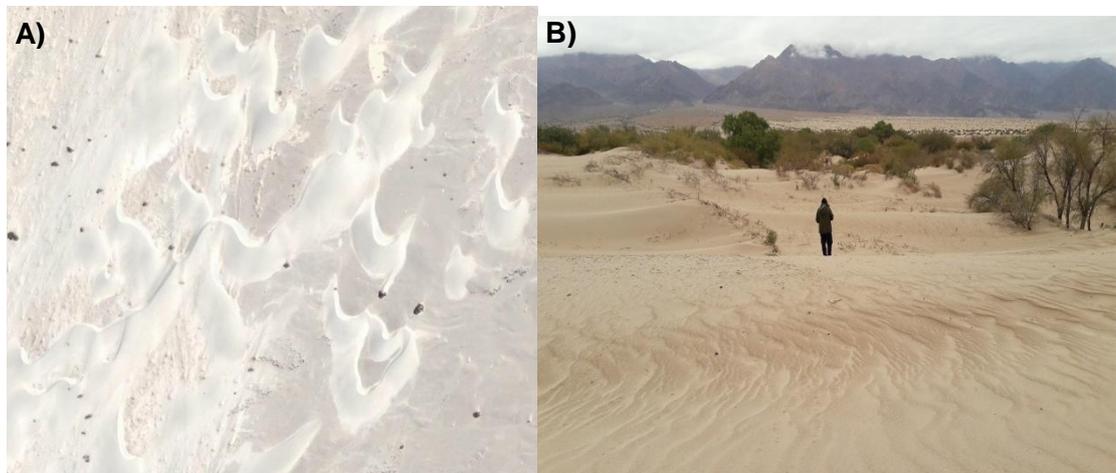


Figura N° 27: Distintos tipos de dunas en las proximidades a la Localidad de Fiambalá. A) Dunas de tipo barjanes en el sector N NO de la localidad. B) Avance de frente de médano en el sector SE de la Localidad de Fiambalá.

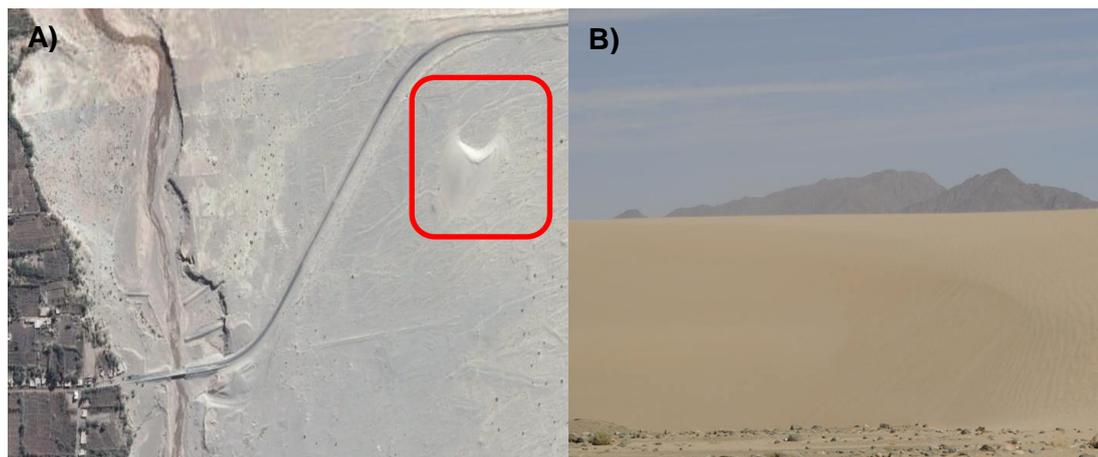


Figura N° 28: Distintos tipos de dunas en las proximidades a la Localidad de Fiambalá. A) y B) Duna móvil ubicada en el sector este, camino hacia las Termas de Fiambalá.

La dinámica de los vientos provenientes del sur- suroeste, tanto local como regional, transportan las partículas de arenas hacia los sectores del norte, depositando este material en las áreas de cultivo que se encuentran en el extremo sureste y noroeste Fiambalá, esto da como resultado extensas áreas de deflación. Figura N° 29.

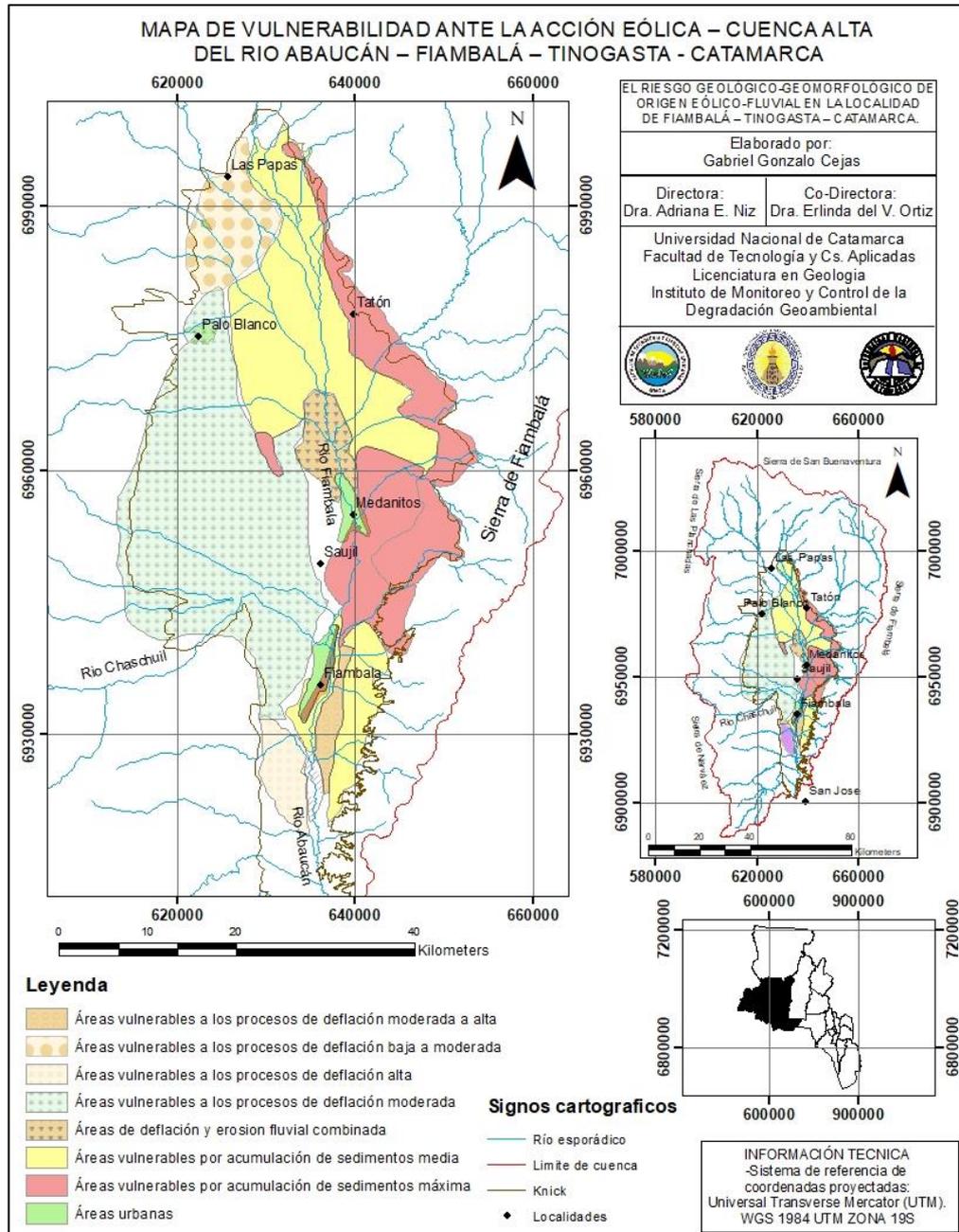


Figura N° 29: Mapa de vulnerabilidad eólica de la cuenca del Río Fiambalá, donde se resaltan las áreas vulnerables a la acumulación de sedimentos y los procesos de deflación. Se puede consultar en formato A3 en el Anexo I.

Localmente la acción eólica que genera estas áreas de deflación, están ubicadas en el sur y en el este de Fiambalá y transporta el material hacia el área urbanizada.

De la correlación entre el mapa de vulnerabilidad (Figura N° 29) y la presencia de actividad antrópica (urbanización, cultivos) se origina el mapa de riesgo ante los procesos de riesgo eólico tanto en el Bolsón de Fiambalá como en su localidad, (Figura N°30 y N°31) en este último se representan las áreas de acumulación de médanos –marcando las mayores concentraciones como las zonas de riesgo más críticas y las zonas de menor concentración

como menos vulnerables al riesgo- y las áreas de deflación que se originan principalmente en las proximidades a la localidad de Fiambalá.

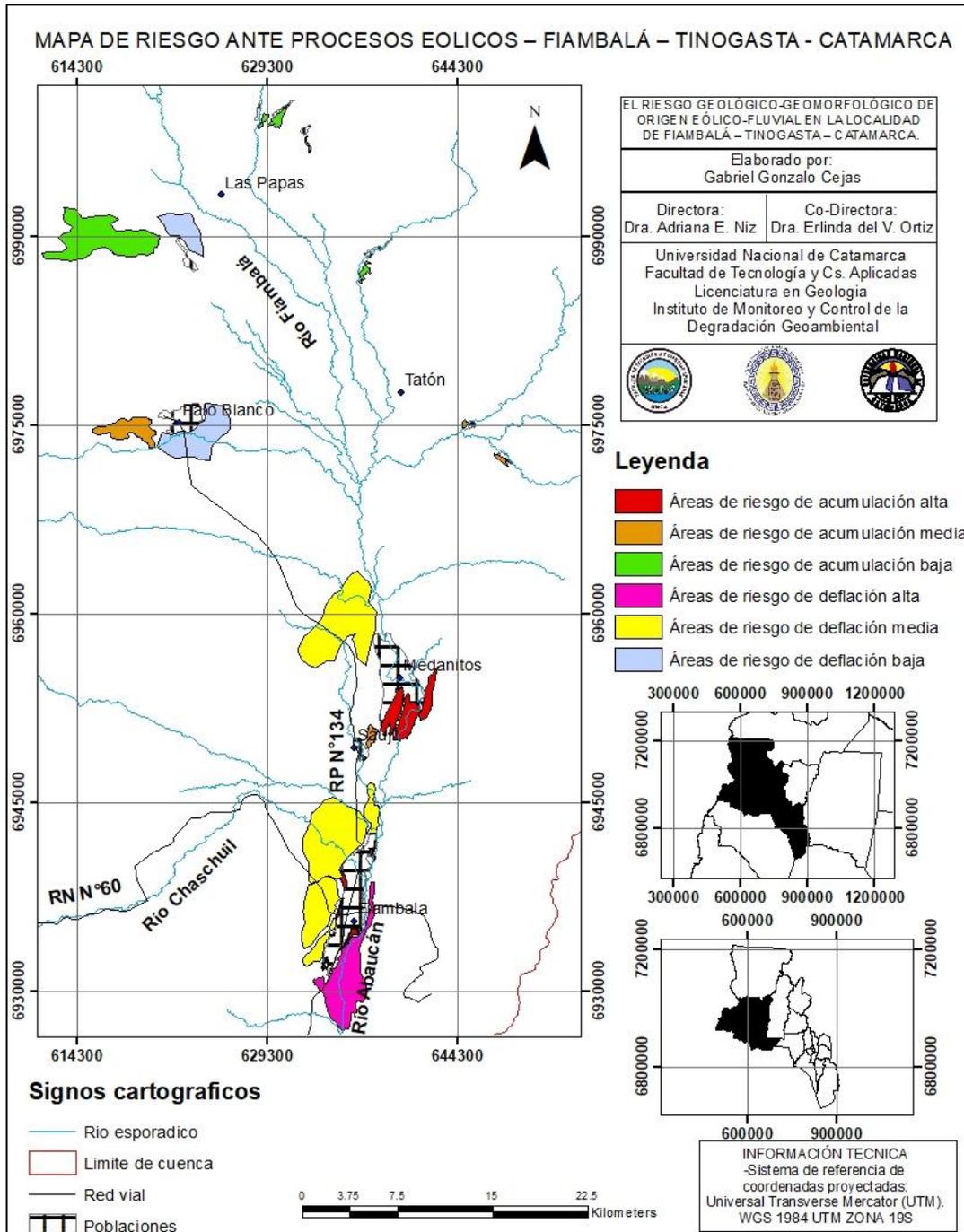


Figura N° 30: Mapa de riesgo ante los procesos eólicos de acumulación y deflación en la cuenca del Río Fiambalá y cómo afecta a las principales localidades. Se puede consultar en formato A3 en el Anexo I.

#### 4.3.1.2 PROCESOS DE ACUMULACIÓN

En la génesis y evolución de los tipos de acumulaciones, intervienen la disponibilidad de grandes volúmenes de arena, las condiciones climáticas de aridez, una importante energía

del viento y una topografía adecuada. Las acumulaciones eólicas más características son las dunas; ellas expresan la morfogénesis del viento en los dominios, la diversidad de tipos y las dimensiones que pueden alcanzar.

Se diferencian varios tipos de dunas en función de su forma. Los principales factores que influyen en la morfología de una duna son: La dirección y velocidad del viento, la disponibilidad de arena y la presencia de vegetación y/o un obstáculo topográfico.

En el Bolsón de Fiambalá, la zona más afectada por la acumulación de arena comprende principalmente el sector este, donde forman dunas con alturas de entre 3 a 5 metros y con gran extensión areal, entre ellas se encuentra la duna considerada como la más alta del mundo, se trata de la duna Federico Kirbus, situada en las cercanías del distrito Tatón, tiene 1.230 metros de altura neta, su base se ubica a los 1.611 m.s.n.m. y la cima a los 2.845 m.s.n.m., esta región constituye un importante atractivo turístico. Los registros obtenidos en diferentes publicaciones a lo largo del tiempo, muestra que el volumen general de las arenas se incrementa debido a la extensión del área de deflación que se encuentra en las inmediaciones (hacia el sur) del lugar.

El extremo sudoeste de la localidad es el menos afectado por los médanos que forman pequeños montículos aislados que atacan a las parcelas desprotegidas. En el borde oeste se pueden apreciar que las defensas que fueron establecidas, se encuentran cubiertas con los médanos comenzando a invadir distintos sectores de las áreas de cultivos.

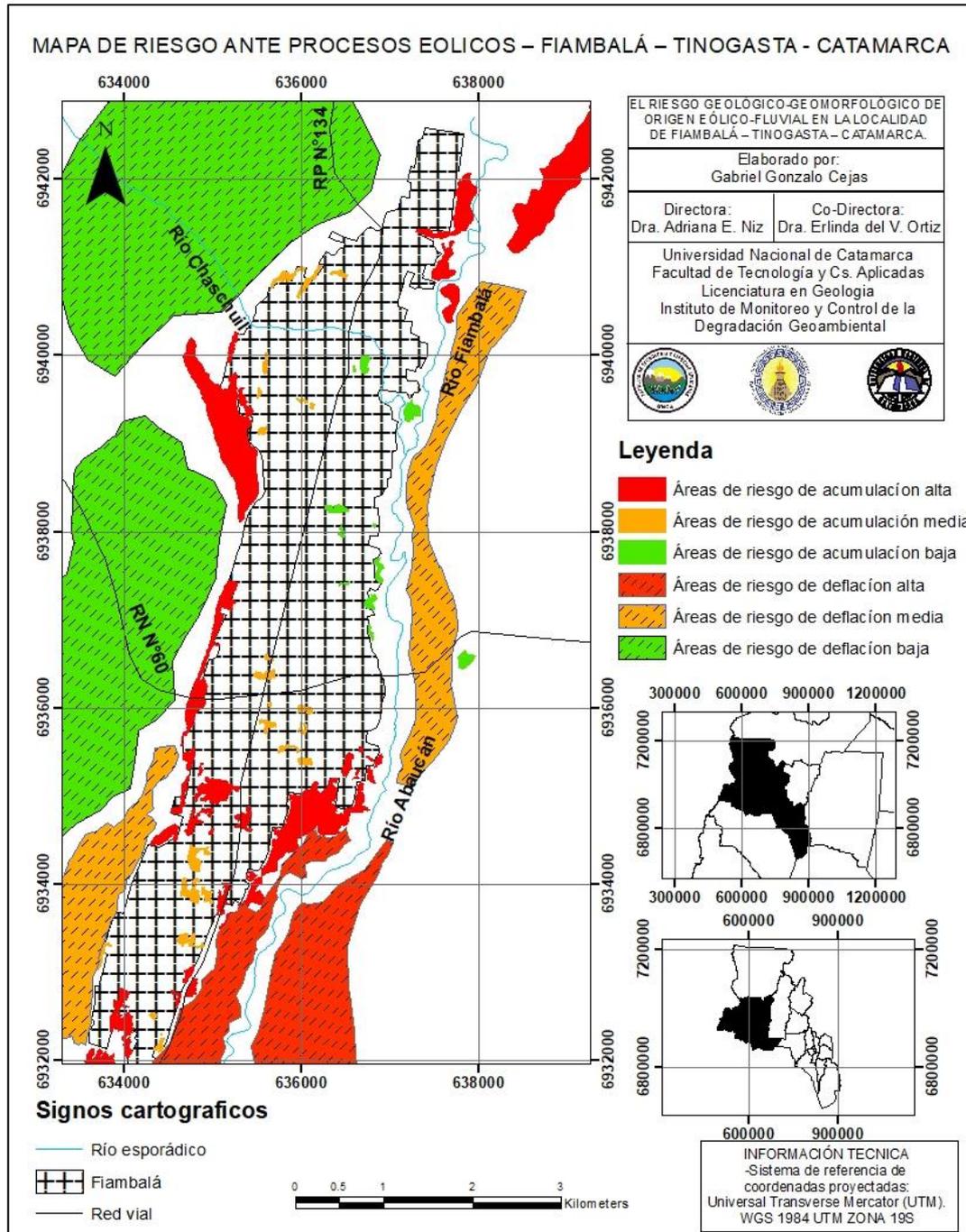


Figura N° 31: Mapa de riesgo ante los procesos eólicos de acumulación y deflación que ocurren en la Localidad de Fiambalá y zonas circundantes. Se puede consultar en formato A3 en el Anexo I.

El Río Fiambalá que adquiere posteriormente, luego de la confluencia con el Río Guanchín el nombre del Río Abaucán, presenta áreas de acumulación de arenas de origen fluvial y eólicas (Figura N°32). En sus márgenes se van acumulando estos depósitos, originando superficies muy permeables que, en épocas de lluvias, van a favorecer a los procesos de remoción en masa como lo son los aluviones que se producen en este río.



Figura N° 32: Acumulación de arenas de origen eólico en los márgenes del Río Fiambalá.

#### 4.3.1.3 PROCESOS DE DESERTIZACIÓN

El área de estudio exhibe un panorama de un riguroso deterioro ambiental, que implica un impacto significativo en el desarrollo socio- económico de la región.

Entre los procesos más importantes de degradación del suelo se encuentran: desertificación y erosión. Aun cuando todos estos procesos pueden desencadenarse de manera natural, indudablemente la actividad antrópica influye notoriamente, particularmente cuando el hombre lleva a cabo un uso incontrolado de los recursos naturales, primordialmente el suelo y la vegetación.

En la cuenca del Río Abaucán, son diversos los factores aliados a la degradación del paisaje que han sido, y siguen siendo, responsables de fenómenos de perturbación, entre ellos se destacan:

- Clima árido estacionalmente controlado, caracterizado por una corta estación húmeda con lluvias.
- Materiales superficiales susceptibles a la remoción por acción del viento y/o el agua.
- Pérdida o disminución de la cobertura vegetal natural a causa de la deforestación, el sobrepastoreo, y el manejo natural incorrecto de los cultivos, especialmente bajo riego.

La recurrencia de estos factores, favorecen el proceso erosivo y provocan consecuencias significativas como:

- Intensos procesos de erosión y sedimentación eólica.
- Erosión hídrica en surcos de cultivos en zonas rurales afectadas por sobrepastoreo, en muchos casos, el abandono de los campos.

- Deposición de sedimentos en cauces de los ríos, incluso, modificación de su geometría.

#### 4.3.2 BARRIO SAN MARCOS

El barrio San Marcos ubicado en el sector sureste de la localidad de Fiambalá, merece especial atención, debido a que ha sido y es afectado intensamente por la acción del proceso eólico de acumulación, donde el avance de los médanos con el paso del tiempo fue tapando las áreas cultivadas y viviendas, provocando la migración de los pobladores hacia sectores del norte de la localidad. Figura N° 33.

El avance del médano superó las barreras arbóreas que actuaban de defensas de los cultivos; en el frente de médano se observan alineaciones en las arenas que pertenecen a los antiguos viñedos que fueron tapados por este avance.

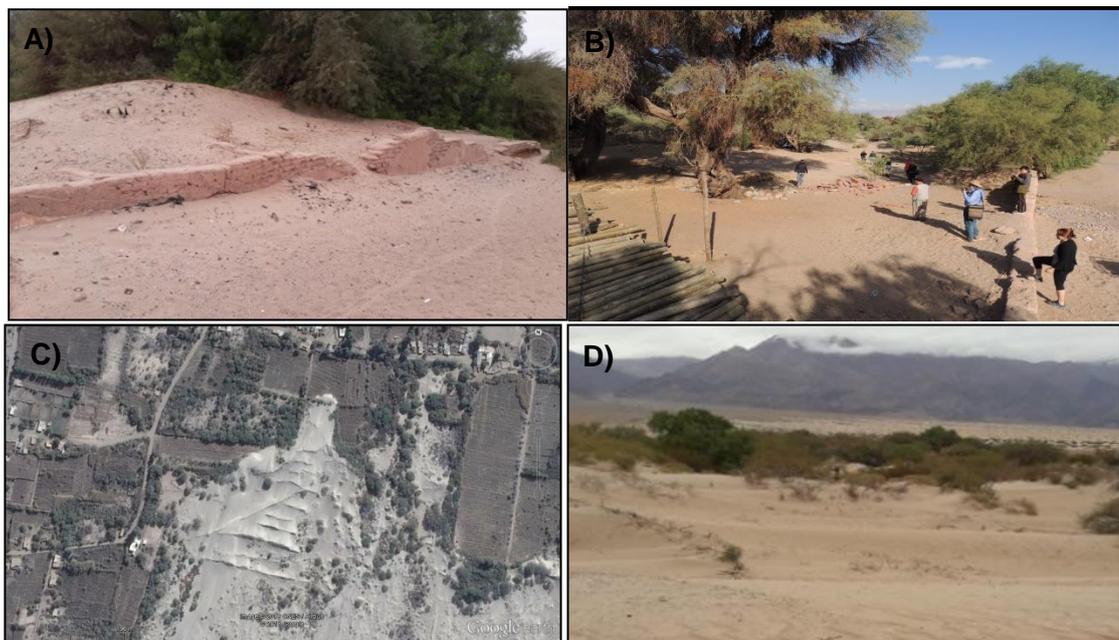


Figura N° 33: Imágenes de la acumulación de los médanos en el barrio San Marcos. A) y B) antiguas viviendas tapadas por el avance del frente de médano. C) Imagen satelital de la acumulación de dunas en el sector SE. D) Antiguas parcelas consumidas por el avance del médano.

#### 4.4 ACCIÓN FLUVIAL

Como se dijo en capítulos precedentes, el Río Abaucán nace de la confluencia de los Ríos Fiambalá y Chaschuil - Guanchín. En este capítulo se describen estos ríos y su impacto o influencia sobre la Localidad de Fiambalá. Para ello se tuvieron en cuenta las características geológicas, geomorfológicas, estructurales y como afectan en su dinámica y morfología.

El Río Fiambalá genera grandes problemas en épocas de crecidas de su caudal, originando cortes en los caminos principales que comunican a la Localidad de Fiambalá con los pueblos ubicados hacia el norte, como lo son Tatón, Las Papas, Mesada de Zarate, entre otros, y al este, tal el caso de Las Termas de Fiambalá.

En Fiambalá produce problemas de anegamiento debido al cárcavamiento de las tierras en el norte, cuyo avance provoca la pérdida de su productividad y posterior abandono del terreno y a la acumulación de médanos en el cauce en el periodo de sequía.

El Río Chaschuil o Guanchin también genera grandes dificultades en las zonas próximas a su desembocadura en la Sierra de Narváez, provocando derrames o aludes de barro de tipo limo – arcilloso.

En el Río Abaucán se observa una mayor acumulación de arenas en los márgenes y en su lecho (Figura N°34), por lo que se produce una mayor infiltración de su caudal. En ocasión de ocurrir avenidas importantes, provoca que su morfología y dinámica cambien sistemáticamente durante el transcurso de estos eventos.



Figura N° 34: Depósitos de arenas en distintos tramos del Río Abaucán.

La actividad tectónica del Bolsón de Fiambalá afecta a la dinámica y morfología de estos ríos, generando cambios en las direcciones de flujos y el socavamiento de su cauce –como

sucede en el Río Fiambalá- provocando complicaciones en el uso de riego de los cultivos de viñedos. La modificación en la dinámica de los ríos indica además un cambio en la energía de su cauce, llega a provocar inundaciones tanto en su recorrido como en la comunidad.

#### **4.4.1 ANTECEDENTES DE INUNDACIONES DEL RÍO FIAMBALÁ Y ABAUCÁN**

Han ocurrido numerosos temporales en las épocas estivales del Río Fiambalá principalmente en la cabecera de la cuenca del Bolsón, en la Sierra de San Buenaventura, son las causantes de las frecuentes crecidas de este río que provocan los cambios en su dinámica. Algunos de estos eventos han sido plasmados en los medios gráficos locales titulados “Catamarca: Localidades incomunicadas en Fiambalá por las crecidas”; “Lluvia y crecidas en distintas localidades en Fiambalá”; “Preocupación de vecinos por el avance de las crecientes”; “Catamarca: poblados de Fiambalá bajo el agua y aislados por el temporal”; “La crecida del río dejó aisladas Las Termas y todo el norte de Fiambalá”; “Pueblos incomunicados en Fiambalá por la crecida de los ríos”, cuyos artículos completos están en el anexo.

#### **4.4.2 EVOLUCIÓN DE LA MORFOLOGÍA FLUVIAL DEL RÍO FIAMBALÁ**

A lo largo de su trayectoria desde su desembocadura en el pie de monte de la Sierra de San Buenaventura y atravesando diferentes localidades como Medanitos, Saujil hasta llegar a Fiambalá, el torrente homónimo se comporta de distintas maneras siendo un río superficial llegando a infiltrarse parte de su cauce a la latitud de Medanitos, alimentando de esta manera al acuífero del Río Abaucán.

Los procesos de meteorización que actúan sobre la Sierra de Narvárez y de Las Planchadas, son posteriormente barridos por los vientos en las áreas de deflaciones a su pie de monte y depositados en varios tramos en los márgenes y cauces de los ríos del Valle de Fiambalá, potenciando la infiltración de las aguas superficiales. Estos depósitos actúan además como aportes en las avenidas extraordinarias dando materiales para los distintos aludes que ocurrieron en la cuenca.

La recurrente actividad tectónica del Bolsón de Fiambalá -que evidencia reactivación tectónica-, interviene en la morfología de los ríos desplazando la trayectoria del Río Fiambalá generando nuevas geoformas, tales como son los meandros considerados activos y dejando los antiguos como meandros abandonados. Estas geoformas son evidencias de como el río se fue desplazando con el paso del tiempo debido a los cambios de pendientes o el levantamiento de alguno de sus márgenes, esto provoca su erosión que avanza hacia la Localidad de Fiambalá afectando las áreas de cultivos fundamentalmente.

La dinámica es otro factor que actúa sobre el río potenciando las áreas de erosión y ensanchando sus márgenes, lo que genera una mayor superficie de acumulación de las arenas y por lo tanto de infiltración.

## 4.5 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

El análisis multitemporal se ha aplicado a este estudio a: 1) “Las áreas de coberturas de los médanos móviles y cómo fue su avance hacia la población en este periodo de tiempo”. 2) “Las áreas arbustivas que sirven como barreras naturales de estos médanos también fueron un objeto de este análisis debido a que se percibió una disminución de su cobertura”. 3) “Las geoformas de origen fluvial, en las que se estudió la dinámica de los Ríos Chaschuil y Fiambalá para poder interpretar su comportamiento y determinar las áreas de vulnerabilidad que afectan a la población este tipo de geoformas”.

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

### 4.5.1 ANÁLISIS MULTITEMPORAL AÑO 1982. MAPA GEOMORFOLÓGICO REALIZADO POR VIERA

En el año 1982 O. Viera ha llevado a cabo un estudio de la dinámica eólica en el Valle de Fiambalá. El autor en su publicación “Desarrollo de los recursos hídricos del noroeste” describe los rasgos geomorfológicos que afectan a la Localidad de la siguiente manera:

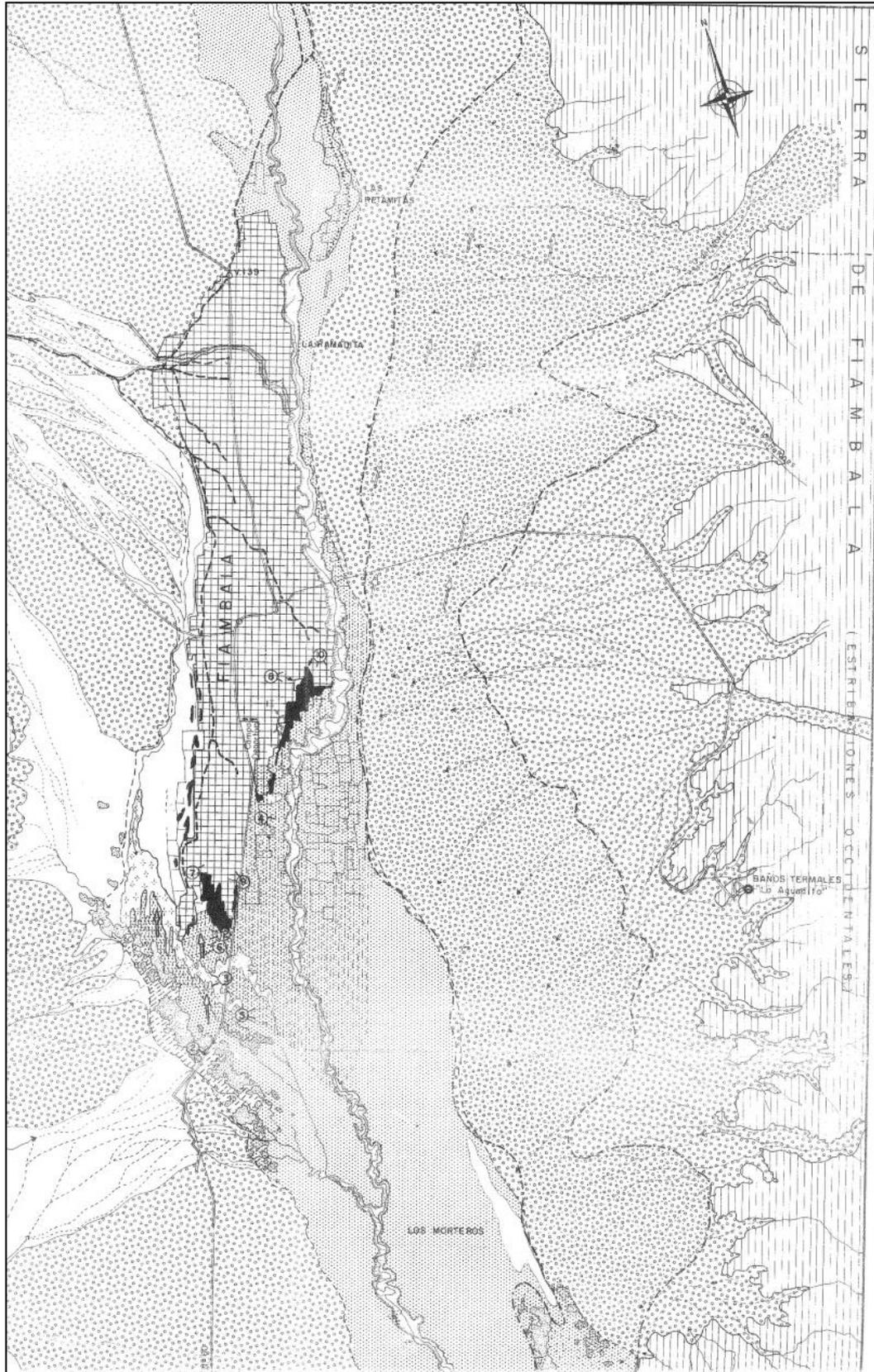
- Abanicos aluviales: la erosión de los cordones montañosos has producido una gran cantidad de material detrítico que se acumulan al pie de los escarpes montañosos en forma de abanicos aluviales, el engranamiento lateral de los mismos configura extensos depósitos ondulados, con inclinación regional hacia el interior del bolsón. En la parte distal se depositan materiales de tamaño menor, con predominancia de grava mediana – fina y arena. El soplado del viento elimina la fracción superficial fina dejando un remanente de gravilla.

A la latitud de la Localidad de Fiambalá los abanicos aluviales se encuentran invadidos por arenas transportadas por el viento, donde predominan pequeños médanos esporádicos formados al reparo de piedras o matas de vegetación.

- Derrames: Viera (1982) los describe a partir de fotografías áreas dentro de las unidades mayores de piedemonte, como lenguas o fajas caracterizadas por una mayor producción de material pequeño, arena y limo y que representan acarreo de los flujos de crecientes que se vuelcan esporádicamente hacia el interior del bolsón.

- Playa: define así a la parte central y sensiblemente plana donde se encuentra la colonia de Fiambalá. Son suelos limo – arenosos y arenas finas limosas, en sectores caracterizados por rodados de piedra pómez, que corresponden a antiguos depósitos fluviales del Río Abaucán. Aquí se produce la intensa erosión eólica donde el viento remueve las partículas del suelo y la arena queda retenida en las inmediaciones en forma de pequeños médanos con alturas hasta de un metro.

- **Arbustal:** Al sur de Fiambalá se encuentra una faja de contornos irregulares caracterizada por una cubierta densa de vegetación arbustiva compuesta por cachiuyo, suncho, jarilla, cortadera, jume y esporádicamente por ejemplares de algarrobo blanco. El área representa suelos particularmente húmedos, que recibe aportes por flujos de crecientes del Río Guanchín o por aportes de aguas subterráneas y aguas infiltradas del área de riego. La faja arbustiva constituye una favorable defensa para Fiambalá que traban el avance de los médanos procedentes de la parte de los abanicos.
- **Áreas de deflación:** el autor manifiesta que la principal área de deflación se encuentra al sudeste de Fiambalá, que debido a la tala dejó el suelo desprotegido y se encuentra sometido a las condiciones de erosión eólica severa. El material arrancado en esta área es transportado por el viento y se acumula más al norte, donde el flujo eólico encuentra obstáculos como los predios bajo cultivos y viviendas de Fiambalá.
- **Parcelas abandonadas:** En el sur y sudeste de Fiambalá se encuentran rastros de antiguas parcelas abandonadas indicativas de terrenos productivos. Viera (opcit) sostiene que fue debido a la dificultad para el riego, motivado por la profundización del cauce del Río Abaucán y los consiguientes problemas en las tomas de canales que quedaron elevados. Asimismo, el avance de los médanos, desde el sur, fueron sepultando las parcelas progresivamente.
- **Médanos móviles:** La zona afectada por la acumulación de arenas comprende principalmente el borde sudeste, el extremo sur y en menor grado el borde sudoeste de Fiambalá con una dirección del viento suroeste. En el extremo sur de la colonia está invadido por un campo de médanos que no exceden los dos metros de altura pero que afectan una importante superficie del terreno. Las acumulaciones más importantes se encuentran en el sudeste, allí se han formado verdaderas dunas de 3 a 5 metros de altura y una gran extensión areal. el borde sudoeste es la menos afectada por los médanos, que forman montículos aislados que atacan algunas parcelas muy desprotegidas. Figura N°35.



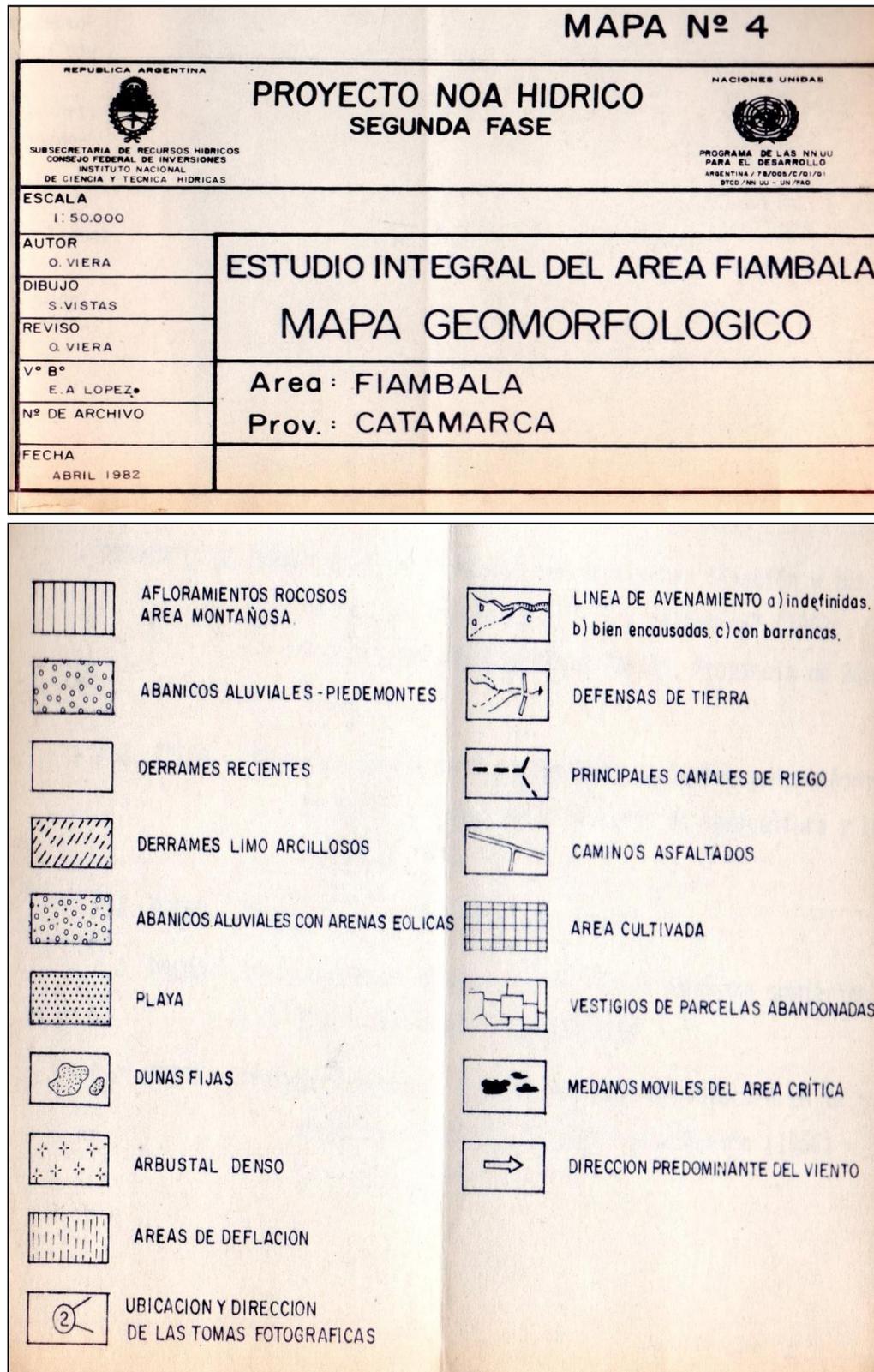


Figura Nº 35: Mapa Geomorfológico de la Localidad de Fiambalá – Tinogasta – Catamarca (Viera 1982). Ha sido necesario presentarlo en partes, dado su tamaño y la antigüedad, que no permite distinguir claramente las referencias y el plano

Viera en su publicación hace referencia a dos zonas en periodos de tiempo diferentes. Una “zona sur” donde se observan que el periodo de 1968 la presencia de una duna de 100 metros de largo y 4 metros de altura y una loma de arena retenida por una valla de 8 metros de alto. En el periodo de 1982 el autor comprobó que la duna había desaparecido de su anterior emplazamiento quedando como indicio de su presencia unos árboles defoliados hasta los 4 metros. Figura N°36.

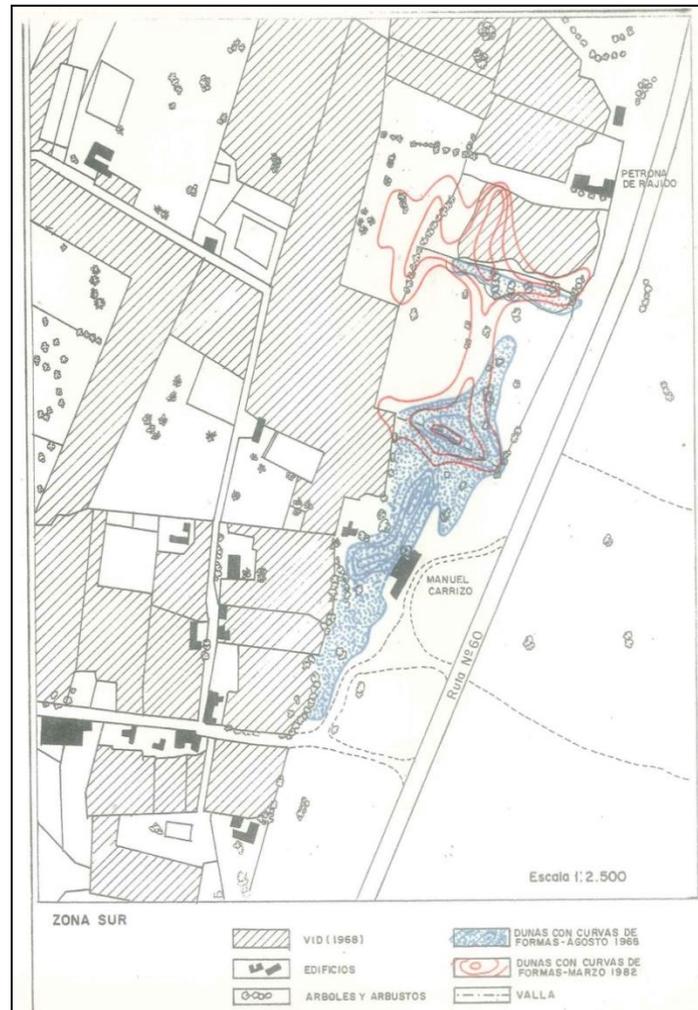


Figura N° 36: Acumulaciones y avance de dunas en la zona sur de la Localidad de Fiambalá (Viera 1982).

En la “zona sudeste” Figura N° 37 el autor describe 3 sectores: Un sector “A” donde el proceso es notorio, debido a la falta de influencia por parte de los obstáculos o vegetación, lo que estimula la formación de una faja de máxima velocidad superficial del viento y recibe un mayor aporte de arena desde el área de deflación ubicada al sur. Figura N° 38.

En el sector “B” el avance logrado por la arena aprovechó una vieja calle orientada en la dirección del viento.

En “C” es notoria la acción de contención ejercida por una valla que defiende los predios de vides y el avance de los médanos el nulo.

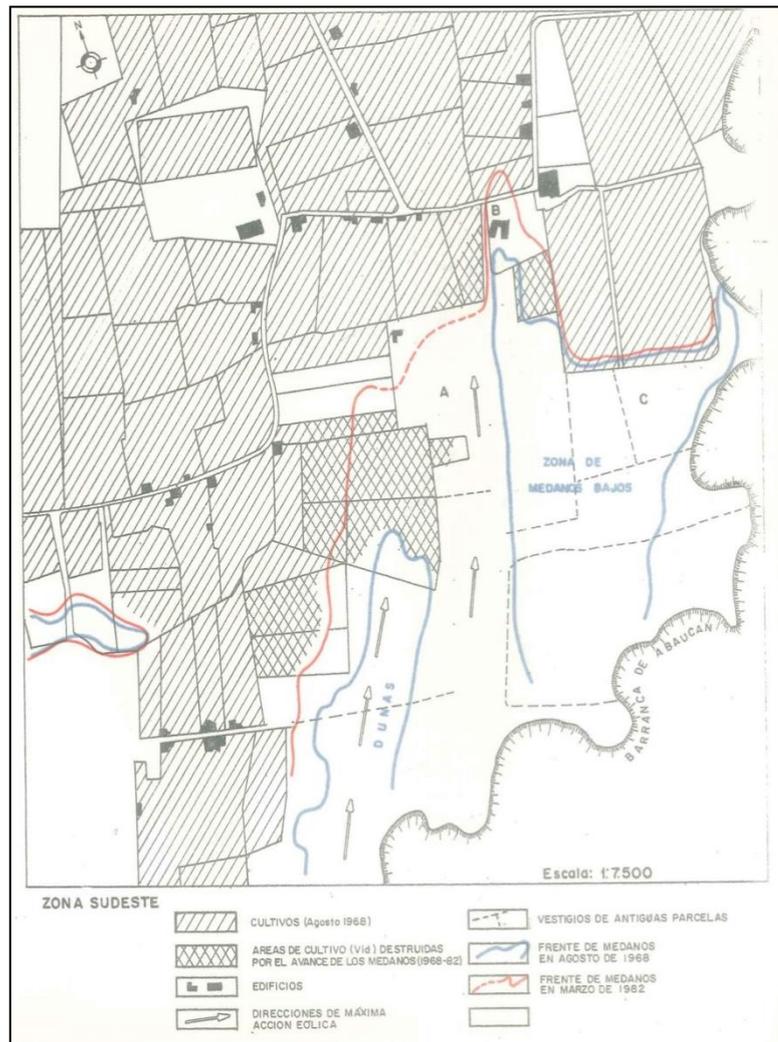


Figura N° 37: Acumulaciones y avance de dunas en la zona sudeste de la Localidad de Fiambalá (Viera 1982).

#### 4.5.2 ANÁLISIS MULTITEMPORAL AÑO 2002

El estudio de este periodo de tiempo permitió continuar con el análisis de las geoformas de origen eólicos propuesta por Viera, asimismo, describir las geoformas de origen fluvial presentes en la Localidad de Fiambalá generadas por los Ríos Fiambalá y Abaucán. Para ello se estudiaron, por medio de imágenes satelitales Landsat 5 TM, las siguientes unidades:

Para la realización del análisis de los rasgos geomorfológicos para los siguientes periodos, se tuvieron en cuenta de forma complementaria el factor biológico al describir “el arbustal” considerado en el análisis geomorfológico presente desde la perspectiva de que funciona como un indicador de fijación de dunas y/o una temporal inactividad en el desplazamiento de la misma, dado que si la duna es activa no permite el enraizamiento de la vegetación. Es decir, el criterio aplicado para estimar la mayor o menor vulnerabilidad de las dunas al desplazamiento, o, como un indicador de fijación de dunas, que en algunos casos de alta densidad de vegetación se pueden ya definir como una forma heredada, (Niz, 2003) (lo que no está presente en este caso). Figura N°38.

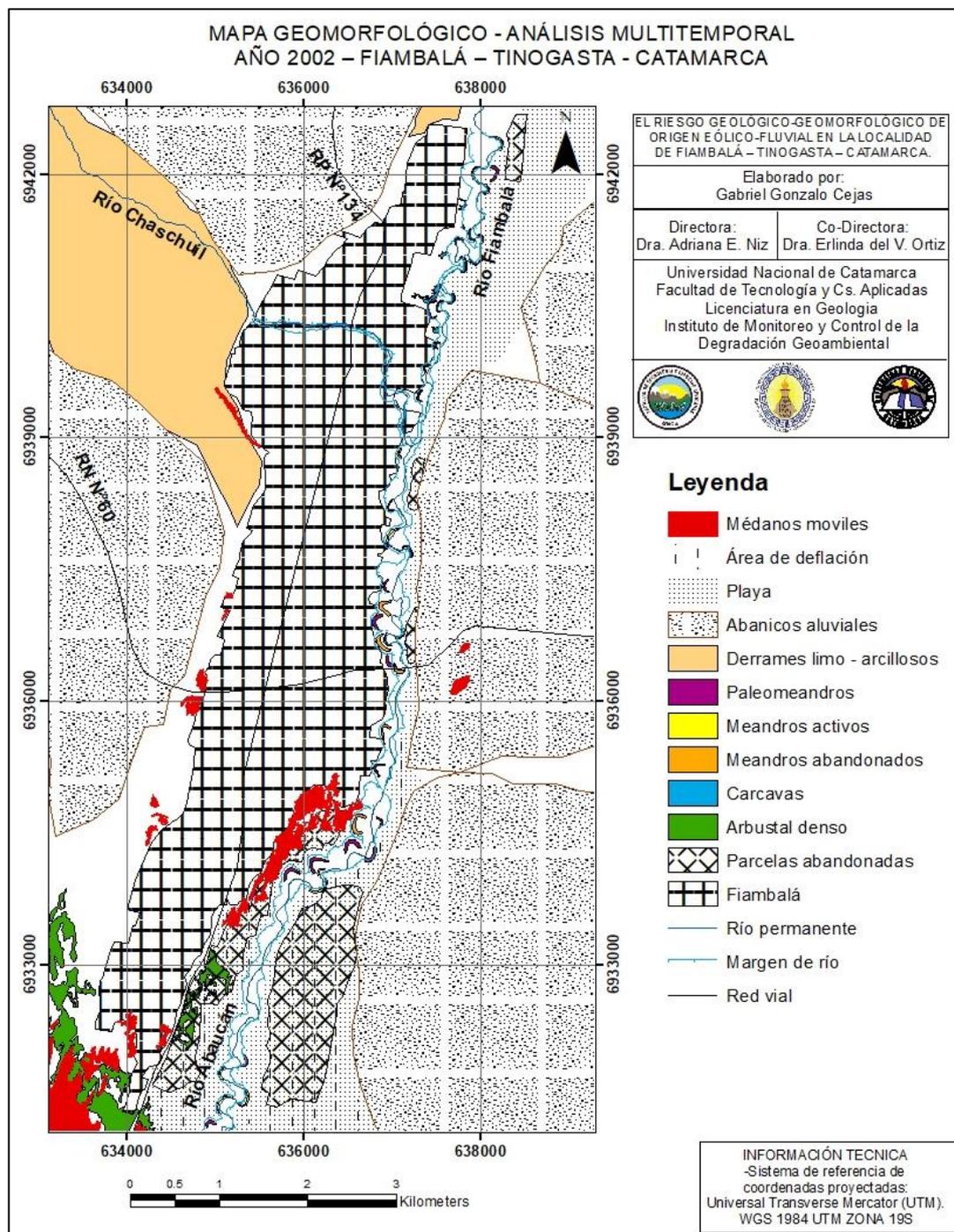


Figura N° 38: Análisis multitemporal de los procesos eólicos e hídricos. Mapa geomorfológico de la localidad de Fiambalá, año 2002. Se puede consultar en formato A3 en el Anexo I.

- Abanicos aluviales: los abanicos que se originan de las laderas occidental y oriental de las Sierras de Fiambalá y de la Sierra de Narváez respectivamente, son extensos en la zona distal, hacia la Localidad de Fiambalá. Los abanicos del sector este de la localidad culminan su extensión poco antes de llegar al margen del Río Abaucán y están compuestos por grava mediana – fina y arena. Presentan una serie de arbustos ubicados en los surcos de los tributarios de estos abanicos y que, en sectores se encuentran cubiertos de arenas formando unas acumulaciones aisladas. Sobre estos abanicos y a la altura de la zona norte

de Fiambalá, se presentan una secuencia de dunas Barján con una dirección predominante hacia el noroeste, Figura N°39. Para los periodos correspondientes al año 2013 y 2017 esta geoforma no presenta cambios significativos.



Figura N° 39: Abanicos aluviales que bajan de la Sierra de Fiambalá.

- Playa: Se trata de suelos limo – arenosos y arenas finas limosas, se los puede observar claramente en los sectores norte y sur de la localidad. Aquí continúan los procesos de erosión eólica generando las áreas de deflación, de igual forma la dinámica fluvial del Río Fiambalá provoca la erosión de estos suelos ensanchando los márgenes de este río en el sector norte de la población y llegando a afectar las áreas de cultivos. En los periodos siguientes, no se observan grandes cambios, continúan dominando los procesos de deflación y la erosión fluvial afecta las áreas productivas.

- Arbustal: Las zonas de arbustal, al igual que en los periodos pasados, siguen actuando como defensas para la población, están ubicados principalmente en el sector sur formando una gran barrera y en el sector sudeste de Fiambalá, estos impiden el avance de los médanos que provienen de las áreas de deflación. Para el año 2013 se puede apreciar que la densidad de arbustal, ubicada en el sur de la localidad, se redujo en comparación a los periodos anteriores, mostrando una reactivación y avance de los médanos y poniendo en riesgo las parcelas productivas del área. Por el contrario, la densidad del arbustal al sudeste, se ha incrementado y sigue actuando como barrera natural de los médanos en ese sector. mientras que para el año 2017 al sudoeste se puede observar que disminuyó su densidad, demostrando así un incremento en la actividad en la duna, aunque en el sector sudeste si bien el incremento de la vegetación fue leve, indica el inicio de un proceso de fijación, al menos temporal.

- Áreas de deflación: Estas áreas están ubicadas al sudeste y sur donde se producen los procesos de erosión eólica, transportando las arenas y depositándolo hacia el norte encontrando como obstáculos la zona arbustal. En los márgenes del Río Fiambalá se observan acumulación de arenas originados de estas áreas de deflación. En los periodos posteriores estos procesos se fueron potenciando y generando de esa manera, una mayor cantidad de sedimentos (arenas) que se depositan y alimentan a los médanos ubicados al sur y sudeste de la localidad de Fiambalá.

- Parcelas abandonadas: Por medio de las imágenes satelitales de este periodo, se llega a observar los vestigios de las antiguas parcelas al norte y principalmente al sur de la Localidad de Fiambalá entre los márgenes del Río Abaucán. En el sector este también se pueden apreciar estos vestigios de parcelas, aunque en este periodo estas áreas estaban siendo erosionadas por el Río Abaucán (Figura N°40. Debido al incremento del proceso

eólico de deflación en los siguientes periodos, para 2017 analizado por medio de imágenes satelitales, se observa que se han incrementado estas superficies en el sector sudeste.



Figura N° 40: Parcelas abandonadas y la antigua plaza ubicada al sur de la localidad de Fiambalá.

- Médanos móviles: En este periodo el sector más afectado es claramente el sudeste, donde las acumulaciones de estos médanos están siendo detenidas por barreras arbustivas alcanzando varios metros de alturas. En el sector sur también se observa la presencia de grandes cantidades de acumulaciones de médanos, aunque se puede apreciar que están más controladas por la densidad de arbustos del sector. En el borde sudoeste son pocas estas acumulaciones pudiendo generar montículos aislados a lo largo de este borde. Para el año 2013 se observa un mayor avance y densidad de los médanos principalmente en el sector sur y sudeste, las barreras protectoras que impedían su avance, en la actualidad están siendo desbordadas, por la gran cantidad de arena; y rompiendo con las defensas naturales que allí se generaban, lo cual demuestra una desestabilización del débil equilibrio que mantenía hasta el momento y un incremento en el proceso degradatorio de la región. En el borde sudoeste no presenta modificaciones sustanciales en el avance de las arenas, por lo que se estima que se mantiene controlado. En el periodo 2017 en la zona sur los médanos muestran un mayor avance y potencia, como consecuencia de la disminución en la densidad de los arbustales de la zona, aunque en este periodo no llegó a sobrepasar las barreras que conforman. Hacia el sudeste se aprecia una mayor densidad en la superficie afectada pero controladas por las barreras de árboles que impiden su avance.

#### 4.5.2.1 ZONA SUR

Para determinar las áreas de la duna de la zona sur y de los frentes del médano del sector sudeste, se tuvieron en cuenta distintos aspectos como lo son las barreras de árboles y las superficies que presentan acumulaciones considerables de arenas (se las distingue por su morfología suave). Los valores obtenidos de las áreas para los periodos 2002 y 2013 no son exactos, debido a que no se conoce la extensión real que ocupaban en esos años, aunque por medio de las imágenes satelitales de Google Earth se puede tener una idea de las superficies que abarcaban.

En zona sur (Figura N°41), se observa que el área de influencia de los médanos ocupaba 12 m<sup>2</sup> en el año 1982; en este periodo la duna se desplazó o retrocedió cerca de 80 metros hacia el sur y ocupando un área de 8 m<sup>2</sup>, probablemente debido a que el área que afectaba anteriormente, en este tiempo es utilizada como área de cultivo por lo tanto su retroceso pudo haber sido por causas antrópicas.

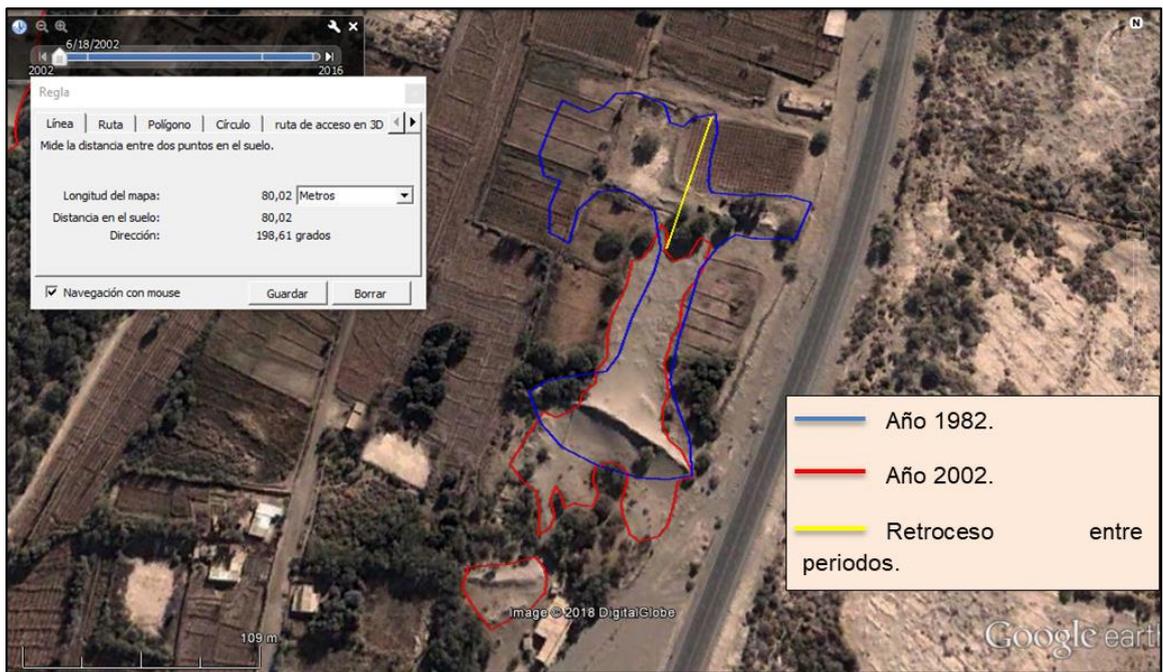


Figura N° 41: Retroceso de la duna de la zona sur entre los periodos 1982 y 2002.

#### 4.5.2.2 ZONA SUDESTE

El sector sudeste está marcado por el avance del médano, Se observa que en el frente “B”, se detuvo su avance y se redujo el área que estaba afectada. En 1982 este frente ocupaba un área aproximada de 30 m<sup>2</sup> en cambio para este periodo ocupa un área de 14 m<sup>2</sup> y su forma longitudinal tuvo un retroceso aproximadamente en 61 metros (datos estimativos obtenidos por medio de imágenes satelitales del año 2002), probablemente debido al uso antrópico en el sector. Figura N°42 y N°43,



Figura N° 42: Avance de médano en el sector sudeste entre los periodos 1982 y 2002.

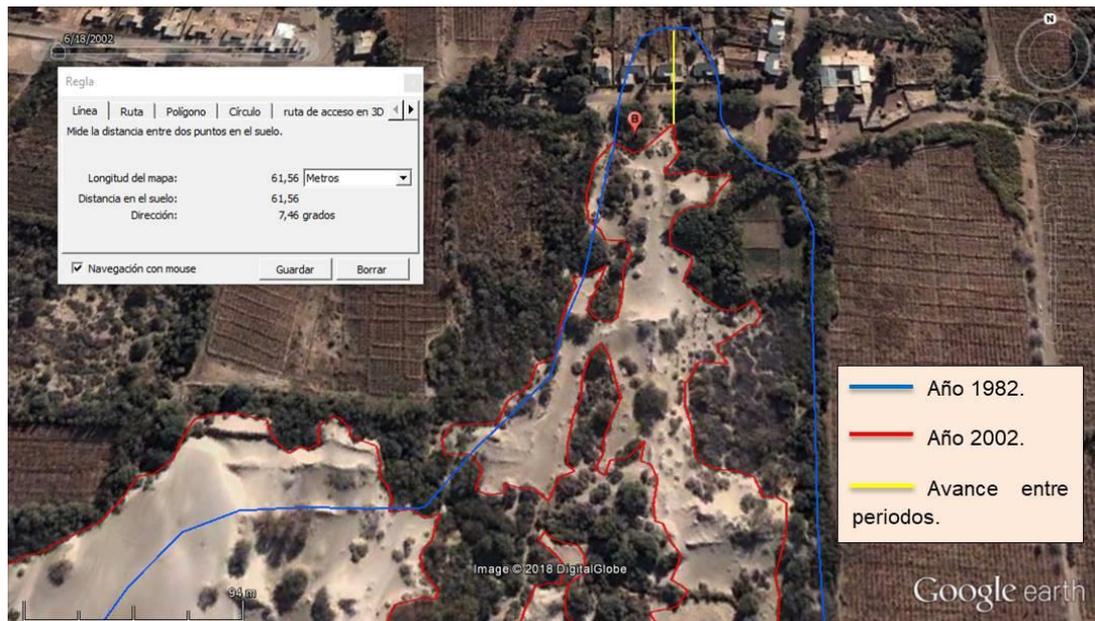


Figura N° 43: Avance del Frente “B” del médano entre los periodos 1982 y 2002.

En el frente “A” el avance fue más significativo donde el área se extendió en forma lateral unos 63 metros y en forma frontal unos 41 metros aproximados llegando hasta la barrera que protege las parcelas próximas a la dirección de avance del médano. Esta acumulación que cubría unos  $33 \text{ m}^2$  se incrementó aproximadamente  $75 \text{ m}^2$  en un periodo de 20 años. Figura N°44.

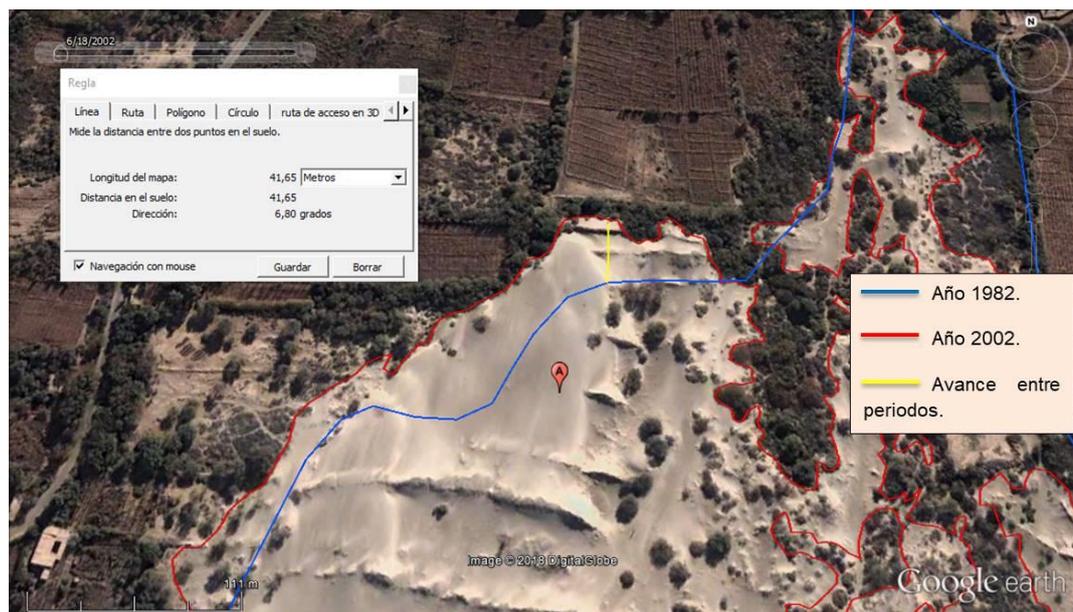


Figura N° 44: Avance del Frente “A” del médano entre los periodos 1982 y 2002.

El frente “C” (Figura N°45) muestra que el avance se redujo y el área de estas acumulaciones de arenas en este periodo es menor. El área ocupaba cerca de  $65 \text{ m}^2$  y en este periodo paso a ocupar  $35 \text{ m}^2$ , de manera longitudinal el frente retrocedió cerca de 107 metros.



Figura N° 45: Retroceso del Frente “C” del médano entre los periodos 1982 y 2002.

- Meandros:

Río Fiambalá: En el trayecto que el Río Fiambalá pasa por el margen este de la localidad homónima, tiene un diseño meandriforme caracterizado por meandros activos y paleomeandros, cuyos márgenes, en sectores, están en contacto con las parcelas lo que (según el mapa geomorfológico de Viera, 1982) mostraría que este río fue erosionándolo provocando el abandono productivo de las mismas. Figura N°46.

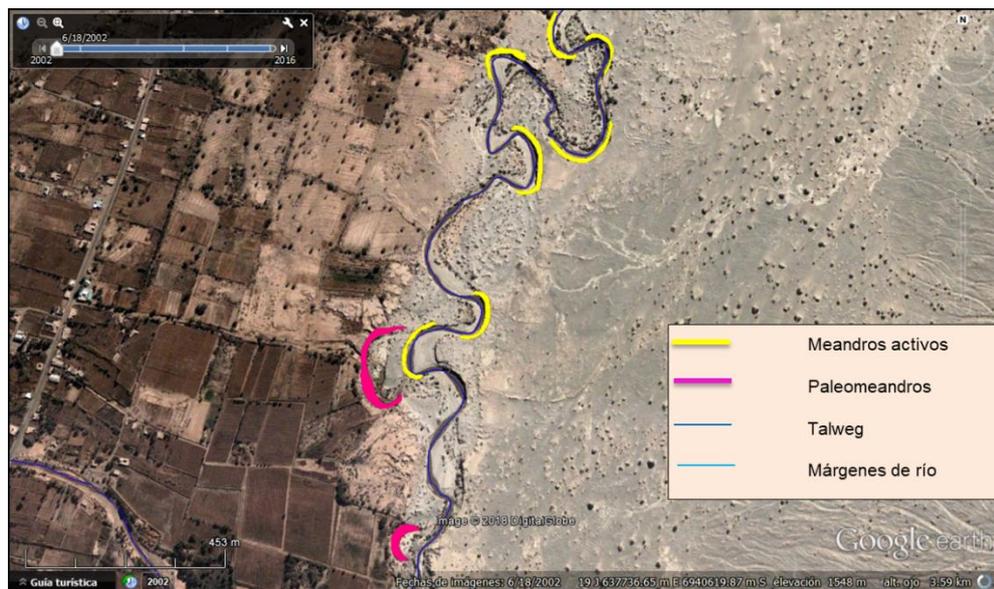


Figura N° 46: Meandros activos del Río Fiambalá en el sector norte de la Localidad de Fiambalá, año 2002.

Río Abaucán: El trayecto de este río es más complejo, en él se pueden observar los meandros activos, meandros abandonados y paleomeandros. El Río Abaucán por la gran extensión y su diseño, indicaría que está ligada a repetidas crecidas de su cauce que van

originando cambios en su morfología, donde algunos de estos meandros y meandros abandonados están en contacto con las parcelas, lo que implicaría que pudieron estar involucrados a zonas de inundación y generando de igual forma, sectores de abandono de parcelas. Figura N°47.

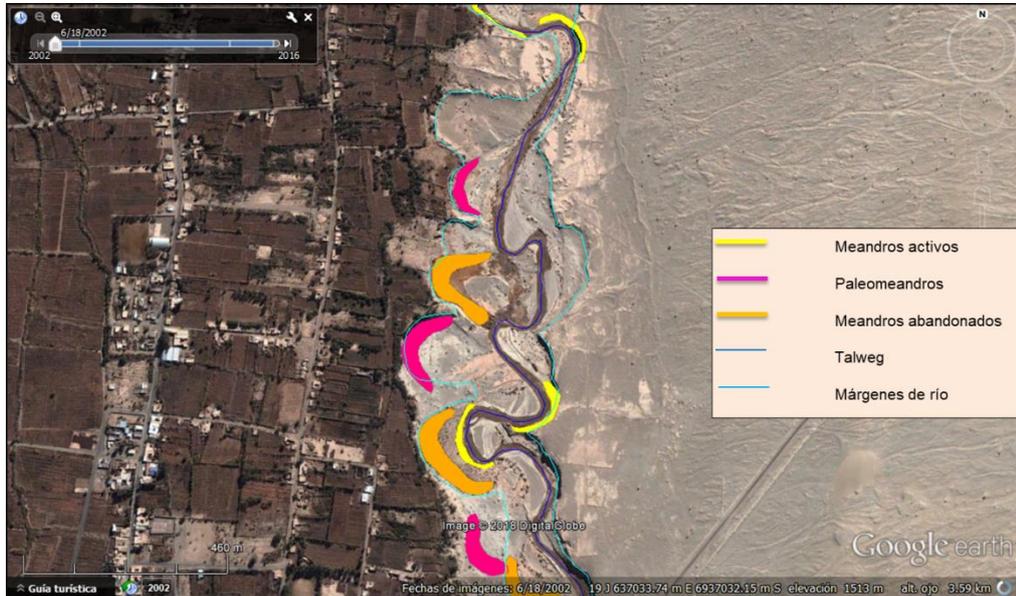


Figura N° 47: Meandros activos y meandros abandonados del Río Abaucán, en el sector este de la localidad de Fiambalá, año 2002.

- Badlands: En ciertos sectores hacia el norte del Río Fiambalá, se observan estas unidades, producto de la erosión retrocedente, cuya dirección hacia el interior de la localidad, originan, por el avanzado proceso de erosión, áreas de carcavamiento que provocan, consecuentemente, la pérdida en la productividad de los suelos y, por ende, el abandono del área. Figura N°48.

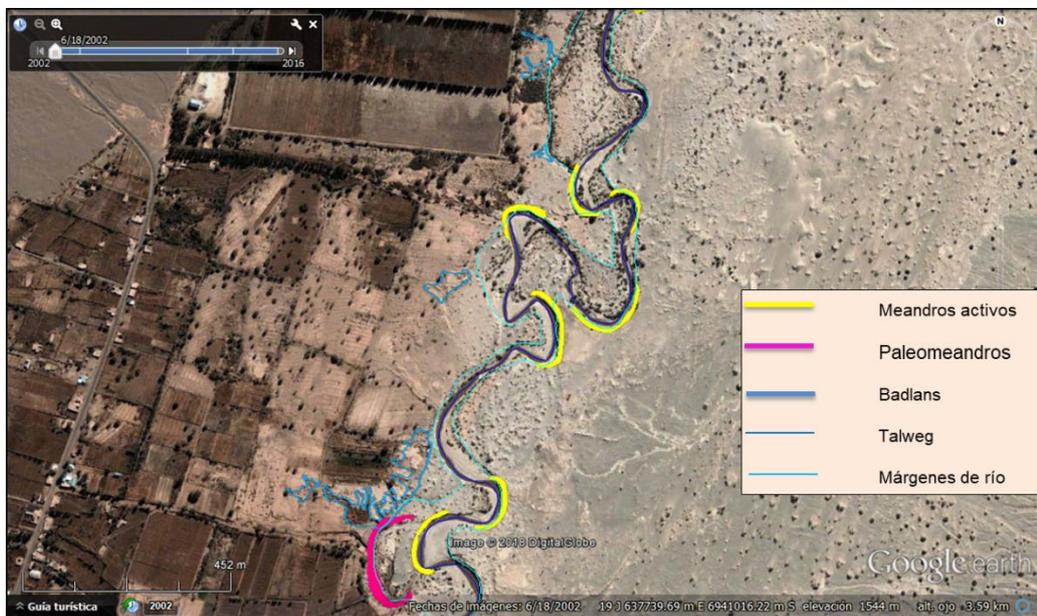


Figura N° 48: Badlands en el sector norte de la localidad de Fiambalá.

### 4.5.3 ANÁLISIS MULTITEMPORAL AÑO 2013

Respecto de cómo fue el comportamiento de la dinámica eólica en el periodo transcurrido desde 2002 hasta 2013, se realizó por medio de la correlación de imágenes satelitales Landsat 5 TM. Figura N°49.

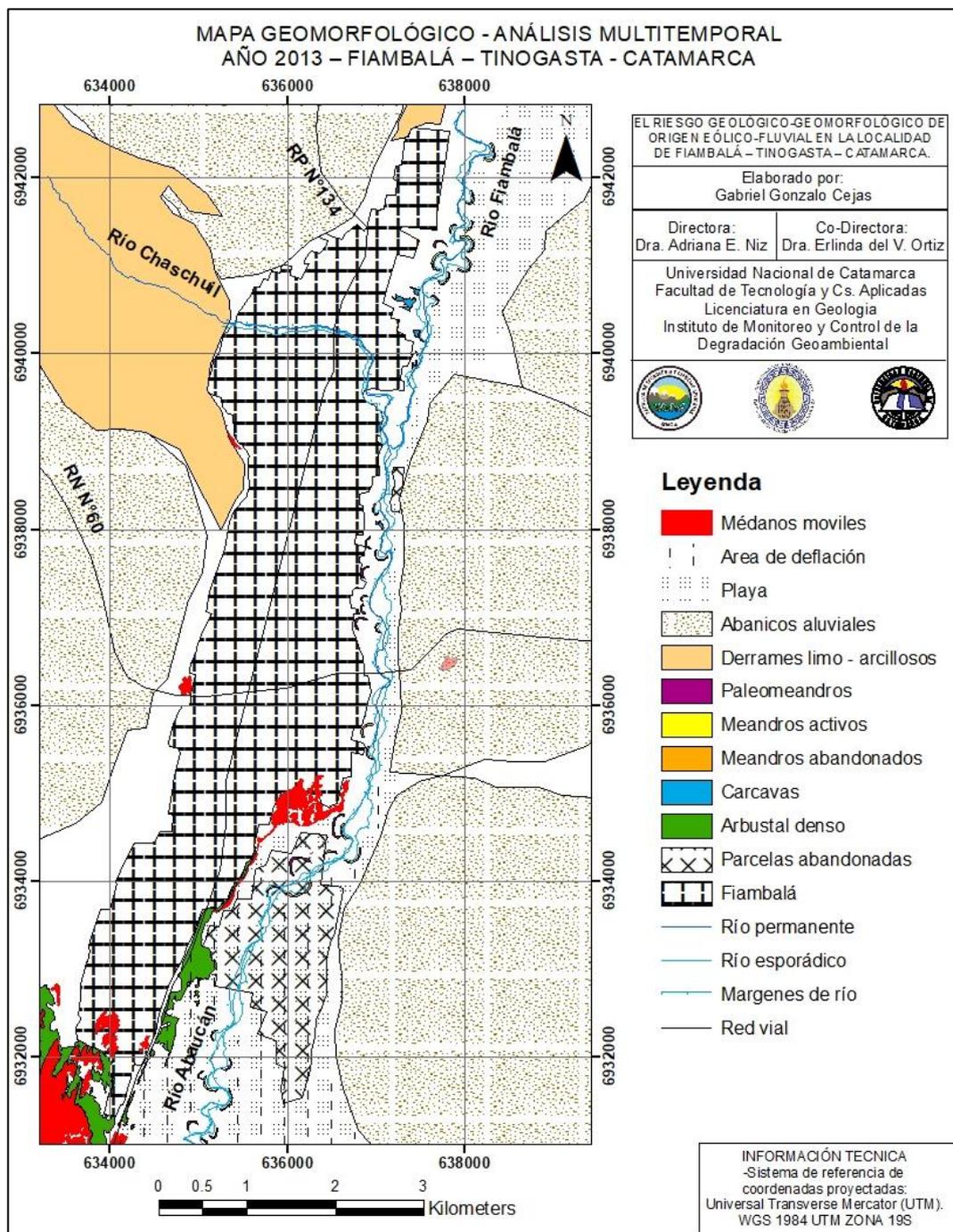


Figura N° 49: Análisis multitemporal de los procesos eólicos e hídricos. Mapa geomorfológico de la Localidad de Fiambalá, año 2013. Se puede consultar en formato A3 en el Anexo I.

#### 4.5.3.1 ZONA SUR

La duna de este sector, analizada por Viera, para 1982 ocupa un área de  $6,36 \text{ m}^2$ , para el año 2002 se observa que la duna incrementó a  $8 \text{ m}^2$ , pero al presente esta duna retrocedió 35,53 metros en los 11 años transcurridos, posiblemente debido a que estas áreas son utilizadas para la producción y la urbanización que va en forma creciente a medida que pasan los años. Figura N°50.



Figura N° 50: Avance de la duna de la zona sur entre los periodos 2002 y 2013.

#### 4.5.3.2 ZONA SUDESTE

La zona sudeste está intensamente afectada por el avance del médano en comparación con el año 2002, donde los grandes volúmenes de arenas sobrepasaron las barreras implementadas por la población para evitar su avance.

En el frente "B" del médano se observa un incremento en la densidad y avance de estas arenas que llegan hasta el margen de las barreras de árboles que se ubican próximas a las viviendas del sector y donde comienzan a acumularse. Figura N°51.

Durante este periodo el médano abarcaba una superficie aproximada de  $16,64 \text{ m}^2$  y un avance de 6 metros con respecto al médano que se situaba en el año 2002 cuya área ocupaba  $16 \text{ m}^2$ . Este avance y acumulación podría ser debido al incremento en los procesos eólicos y la falta de control para evitar estos avances.

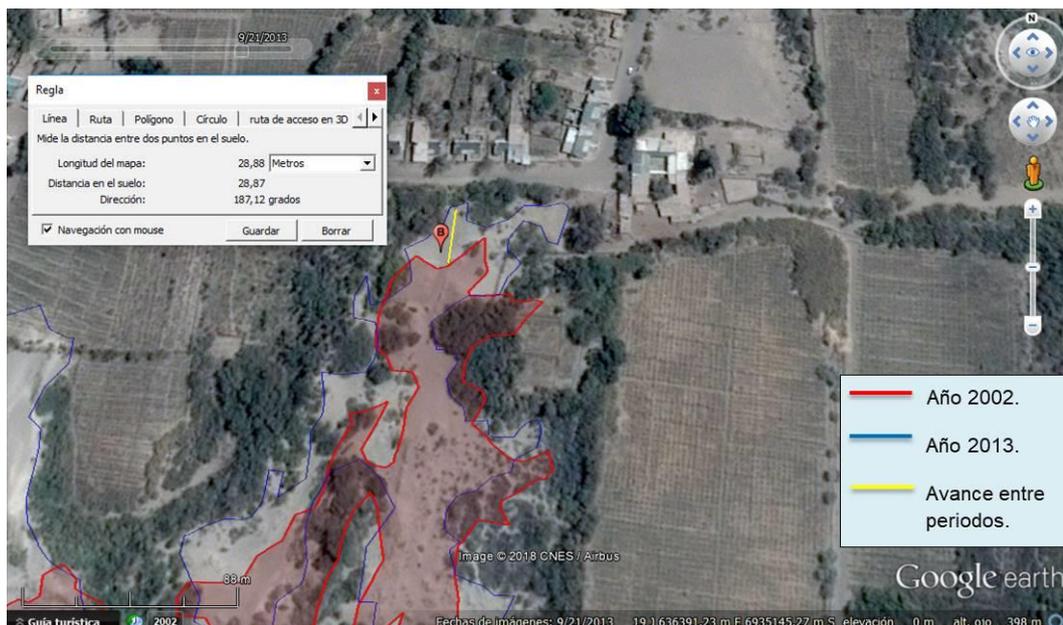


Figura N° 51: Avance del Frente “B” del médano entre los periodos 2002 y 2013.

El frente “A” es el sector más afectado por el avance de estos médanos y la falta en las medidas control, donde estas arenas han sobrepasado el límite de las barreras de árboles e invadieron las parcelas productivas de viñedos. Figura N° 52.

La acumulación del médano se incrementó tanto lateral como frontalmente, llegando a superar la altura de los árboles de quebrachos llegando a ocupar casi 110 metros, aunque su extensión lateral no es tan significativa y un área de aproximada de 100 m<sup>2</sup> (este médano ocupaba 75 m<sup>2</sup> en el año 2002). Esta situación provocó que se implementaran nuevas barreras para tratar de impedir su rápido y progresivo avance del médano y de esta forma evitar el abandono de las parcelas y la población que resultan afectadas.

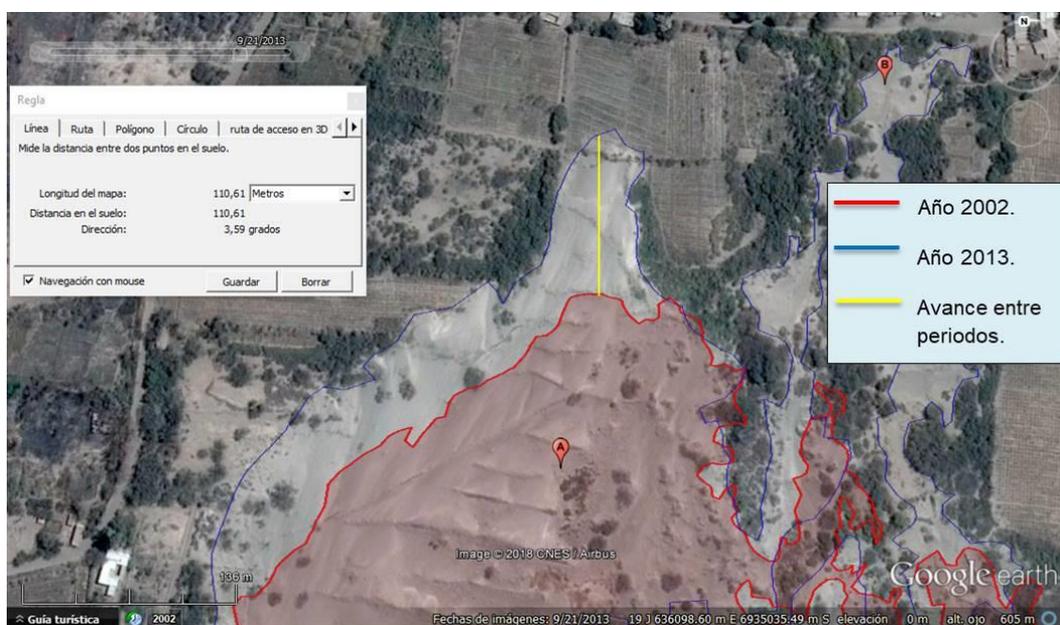


Figura N° 52: Avance de médano del frente “A” en el sector sudeste entre los periodos 2002 y 2013.

En el frente “C” continuó evidenciando el conflicto por el avance del médano del sector sudeste, en este caso el frente pasó de ocupar un área cercana de 65 m<sup>2</sup> a ocupar cerca de 70 m<sup>2</sup> y un avance mayor a los 30 metros llegando introducirse en las barreras de las parcelas que protegen. Figura N°53.

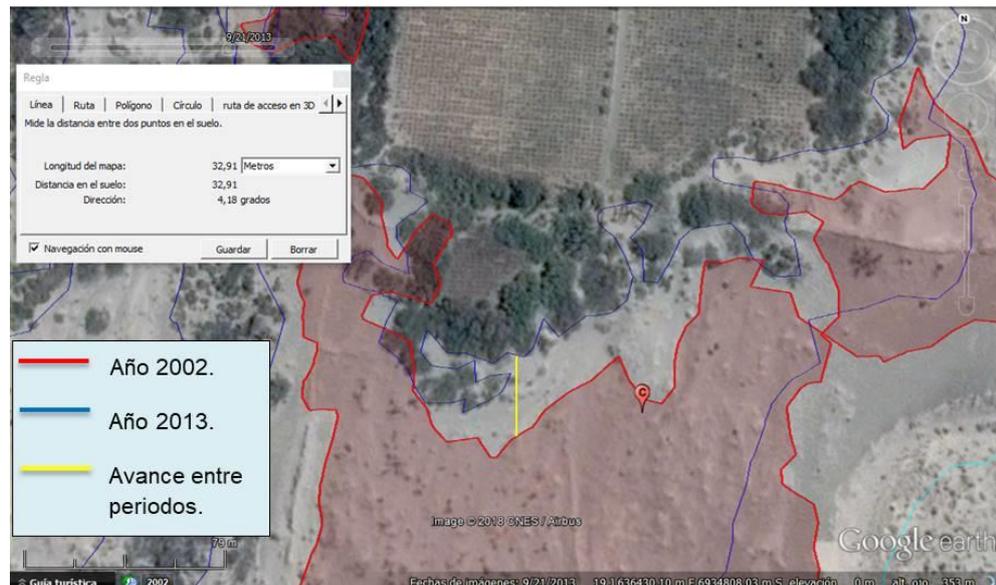


Figura N° 53: Avance de médano del frente “C” en el sector sudeste entre los periodos 2002 y 2013.

- Meandros:

Río Fiambalá: El diseño meandriforme del Río Fiambalá está mejor representado en el norte de la localidad, mostrando una menor cantidad de meandros activos y meandros abandonados en el sector a diferencia del periodo anterior donde estas geformas estaban más presentes. Los márgenes del río presentan una mayor extensión lateral aunque no llega a afectar los límites de las parcelas productivas. Figura N° 54.

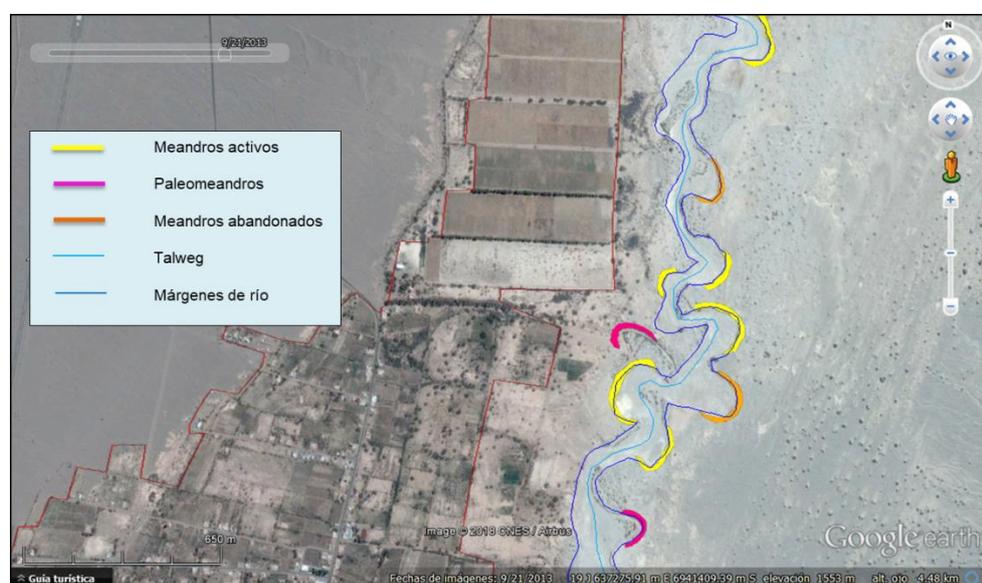


Figura N° 54: Meandros activos, abandonados y paleomeandros del Río Fiambalá en el sector norte de la localidad de Fiambalá, año 2013.

Río Abaucán: En el trayecto del Río Abaucán se observan para este periodo la generación de nuevos meandros activos, dejando a los antiguos del periodo 2002 como meandros abandonados. La erosión en los márgenes que están en contacto con las parcelas de producción es inferior, por lo que probablemente no ocurrieron grandes avenidas de este río en el tiempo transcurrido entre estos periodos. Figura N°55.



Figura N° 55: Meandros abandonados y Paleomeandros del Río Abaucán en el sector sur de la localidad de Fiambalá, año 2013.

- Badlands: Estas unidades originadas por erosión retrocedente, se presentan también en el sector noroeste de la Localidad, aunque no muestran un gran avance hacia su interior en este periodo de tiempo y no se aprecia la pérdida de suelos en el área. Figura N°56.



Figura N° 56: Avance de badlans en el sector norte de la Localidad de Fiambalá, año 2013.

#### 4.5.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL AÑO 2017

Para el estudio de este periodo se utilizó el software Google Earth por medio de sus imágenes satelitales Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+ y a partir de los controles de campo se continuo con el análisis multitemporal para describir y entender el comportamiento de los procesos eólicos - fluviales y las geoformas que resultan de ellos. Figura N°57.

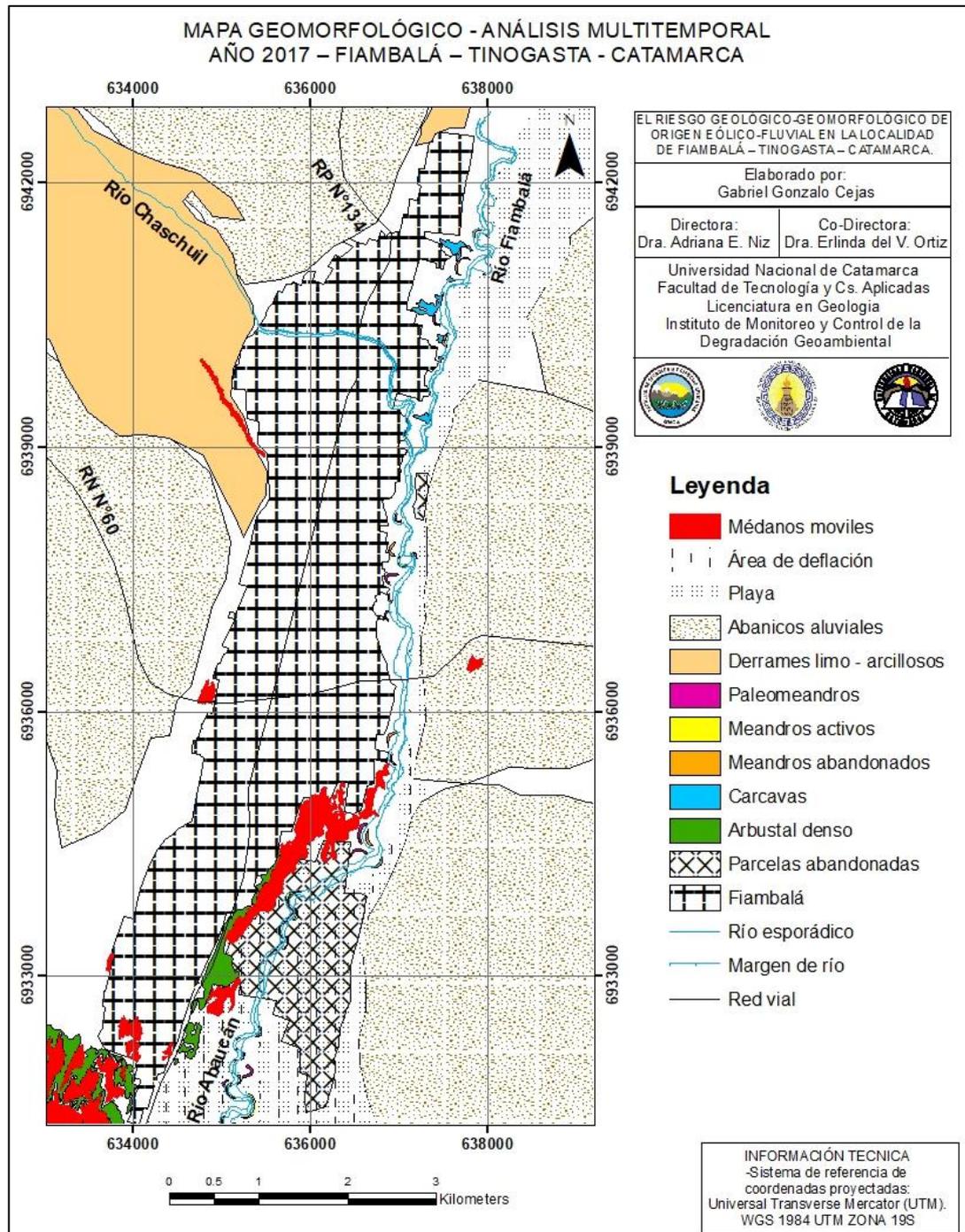


Figura N° 57: Análisis multitemporal de los procesos eólicos e hídricos. Mapa geomorfológico de la localidad de Fiambalá, año 2017. Se puede consultar en formato A3 en el Anexo I.

#### 4.5.4.1 ZONA SUR

La duna del sector sur presenta un leve avance cercano a los 20 metros en dirección norte ocupando un área de  $6,34 \text{ m}^2$  muy similar a la que ocupaba en el periodo 2013, lo que solo implicaría que se trató de desplazamiento y se podría decir que en este sector esta duna está controlada. Según el estudio realizado por Viera para esta duna, en 1968 tenía un volumen aproximado  $400 \text{ m}^3$  (que eran correspondiente a los 100 metros de longitud y sus 4 metros de altura en su sector principal), en este periodo, la duna presenta 2 metros de altura, 110 metros de largo y un volumen cercano a los  $220 \text{ m}^3$ . Figura N°58.

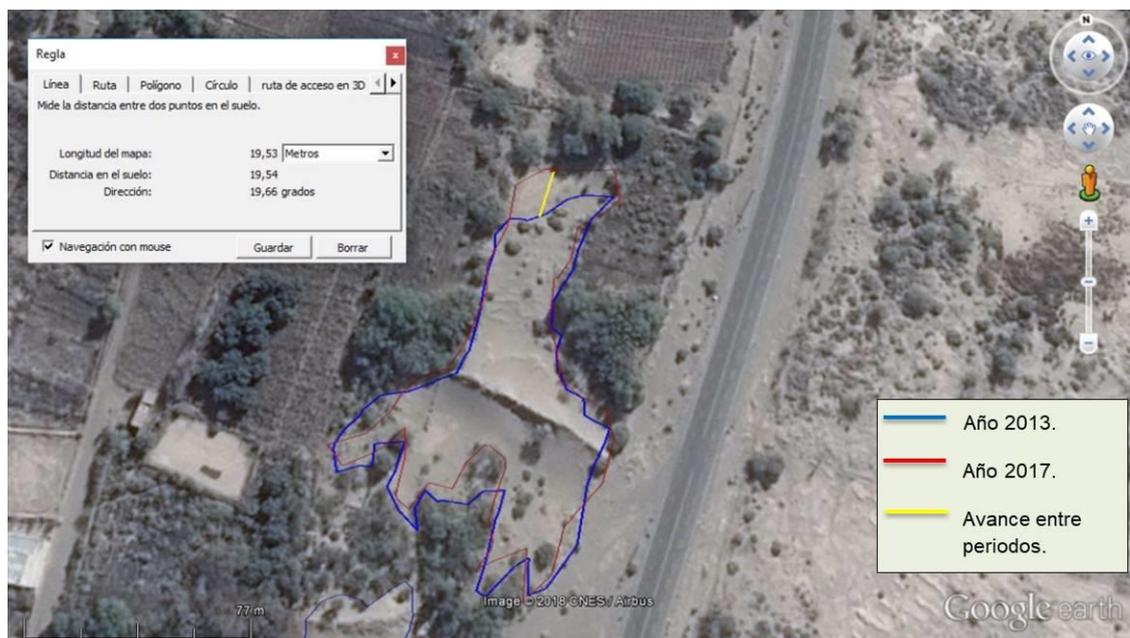


Figura N° 58: Avance de la duna de la zona sur entre los periodos 2013 y 2017.

#### 4.5.4.2 ZONA SUDESTE

La zona sudeste en 2017 no presenta grandes diferencias con respecto al periodo 2013, lo que muestra un mayor control y compromiso en las medidas implementadas para el control en el avance de los médanos. Figura N°59.

El frente "B" es un claro ejemplo en el control del avance de médanos donde el área que abarca no continuó desplazándose y retrocedió aproximadamente 26 metros. Si bien la urbanización en el sector no tuvo gran diferencia, al igual que la densidad de las barreras, el control del avance de dunas se debe exclusivamente a la acción antrópica. El sector que se analiza en este ítem, es un caso emblemático de avance de médanos sobre la población en la Localidad de Fiambalá, que implica una preocupación permanente por parte de los moradores en ella, ya que es un riesgo latente de pérdidas económicas (en cuanto a la limitación de áreas cultivables) y de sus bienes.



Figura N° 59: Antiguas pircas del Barrio San Marcos abandonadas por el avance del frente “B” de médano.

El área de este médano ocupa cerca de  $13 \text{ m}^2$  evidenciado por el retroceso en su superficie que anteriormente abarcaba un área aproximada de  $16 \text{ m}^2$ . En este frente la acumulación de las arenas alcanzan alturas de hasta 2 metros en su sector principal, aunque por el momento están controladas por los quebrachos que actúan de barreras naturales para las viviendas que están en las cercanías del lugar. Figura N°60.

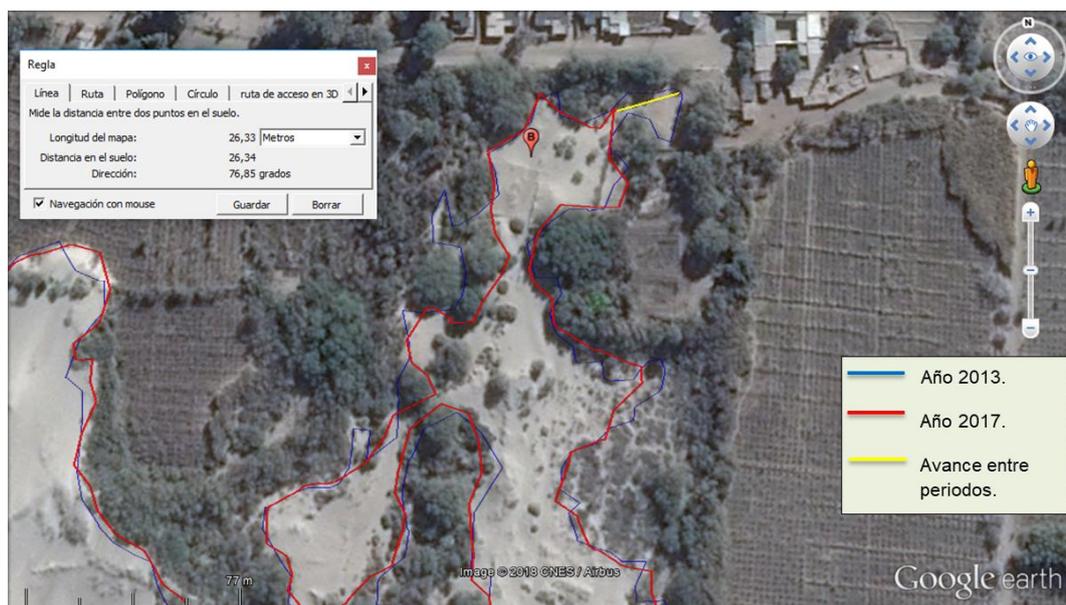


Figura N° 60: Avance del Frente “B” del médano entre los periodos 2013 y 2017.

De igual manera en el frente “A” no presenta grandes modificaciones con el paso de los 4 años, sin embargo, aquí si se observa un avance del médano en el sector donde en el periodo pasado había superado la barrera de los quebrachos que fueron implantados. El avance no fue tan significativo como venía sucediendo llegando a una distancia de 10 metros ocupando un área de casi  $80 \text{ m}^2$  (dejando atrás los  $75 \text{ m}^2$  que abarcaba en el periodo 2013) y alcanzando alturas de más de 3 metros. Figura N°61, N° 62 y N° 63.

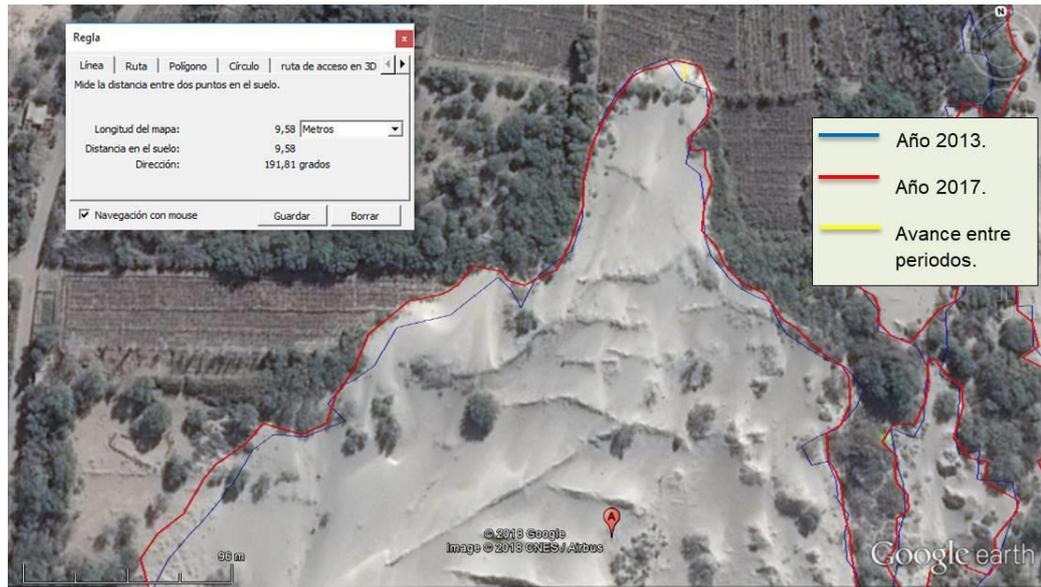


Figura N° 61: Avance del Frente “A” del médano entre los periodos 2013 y 2017.

El ingreso del frente y su posterior avance sobre los viñedos pueden llegar a provocar una significativa problemática en el área, debido a que se generó un camino del cual no se presentan nuevas barreras cercanas, aunque si bien los viñedos pueden llegar a amortiguar el propio avance del frente del médano, este camino alcanzara la siguiente barrera ubicada a un poco más de 63 metros ocasionando la perdida productiva de la parcela y ocasionando problemas ambientales en las viviendas próximas al avance. Figura N°: 64



Figura N° 62: Frente “A” de médano visto desde diferentes ángulos.



Figura N° 63: Distintos Algarrobos que están siendo tapados por el avance del Frente “A” en su margen oeste.

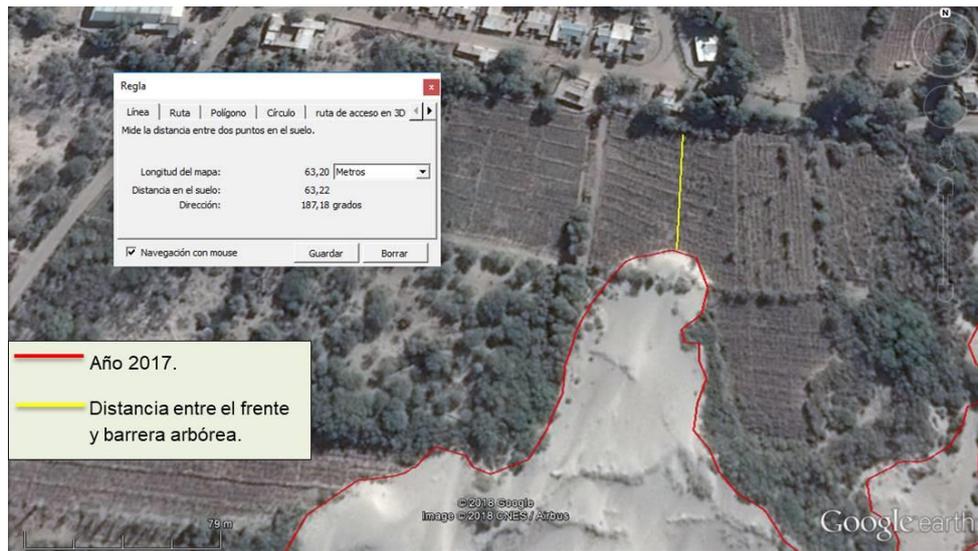


Figura N° 64: Frente “B” del médano y su posterior barrera de contención.

A diferencia de los otros frentes, en el “C” no se aprecia un avance en sí mismo, pero muestra un incremento en su superficie hacia el exterior del médano llegando a acumularse en los márgenes del Río Abaucán, ocupando un área cercana a los 90 m<sup>2</sup> y con alturas que llegan a 3 metros. Figura N°65, N°66 y N°67.



Figura N° 65: Acumulaciones de médano en las barreras de árboles en el frente “C”.

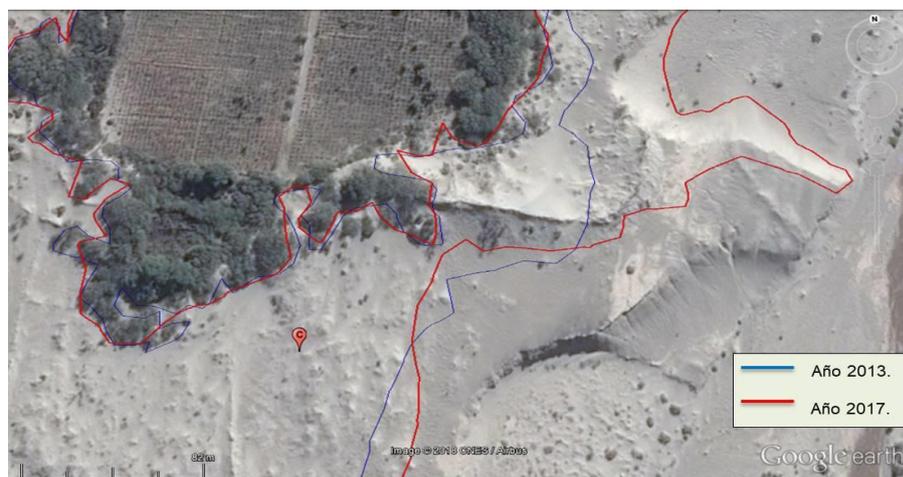


Figura N° 66: Frente “C” del médano entre los periodos 2013 y 2017.



Figura N° 67: Ingreso del frente “C” hacia las parcelas cultivadas de viñedos.

- Meandros:

Río Fiambalá: Al norte de la Localidad de Fiambalá sigue siendo el lugar principal para la generación de estas geoformas. En este periodo el Río Fiambalá se comporta como un río esporádico por lo que no se evidencia la presencia de meandros activos. Los meandros abandonados disminuyeron en cantidad junto con los paleomeandros cambiando la morfología de este río pero influyendo cada vez más en los márgenes generando la erosión hacia la población. Figura N°68.

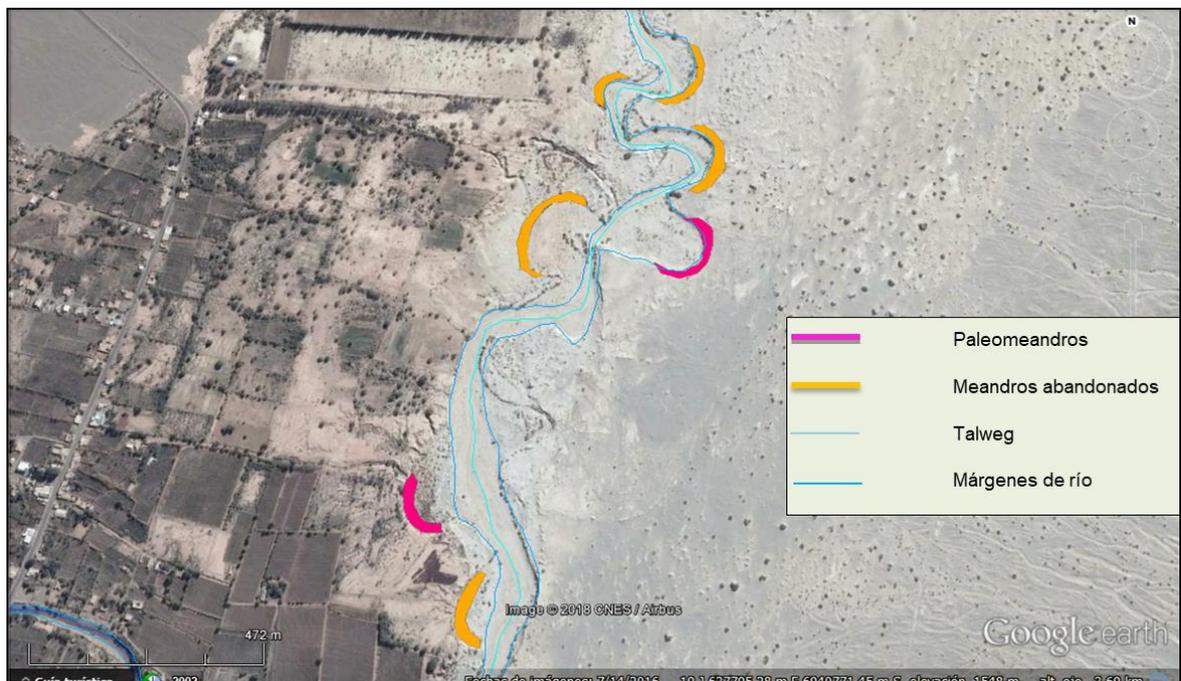


Figura N° 68: Meandros abandonados del Río Fiambalá en el sector norte de la localidad de Fiambalá, año 2017.

Río Abaucán: En el sector central de la localidad es donde se pueden apreciar estas geoformas, aunque no se presentan grandes cambios en comparación con el periodo anterior, se pueden observar nuevos meandros activos y meandros abandonados pero que no afectan la erosión en los márgenes del Río Abaucán. Figura N°69.

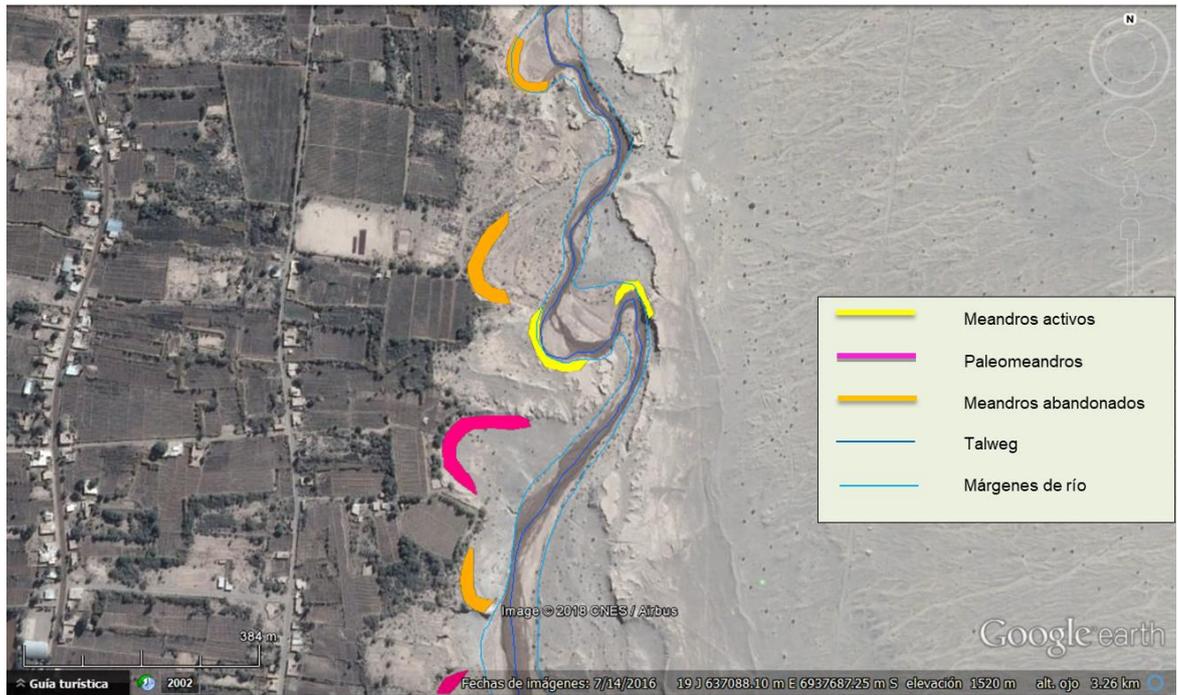


Figura N° 69: Meandros activos y abandonados del Río Abaucán en el sector sur de la localidad de Fiambalá, año 2017.

- Badlands: La erosión retrocedente en el sector noroeste, para este periodo, avanzó hacia la zona urbana, dejando áreas inactivas que antes eran productivas mostrando el avance de manera progresiva en el tiempo transcurrido en el ciclo considerado. Figura N° 70

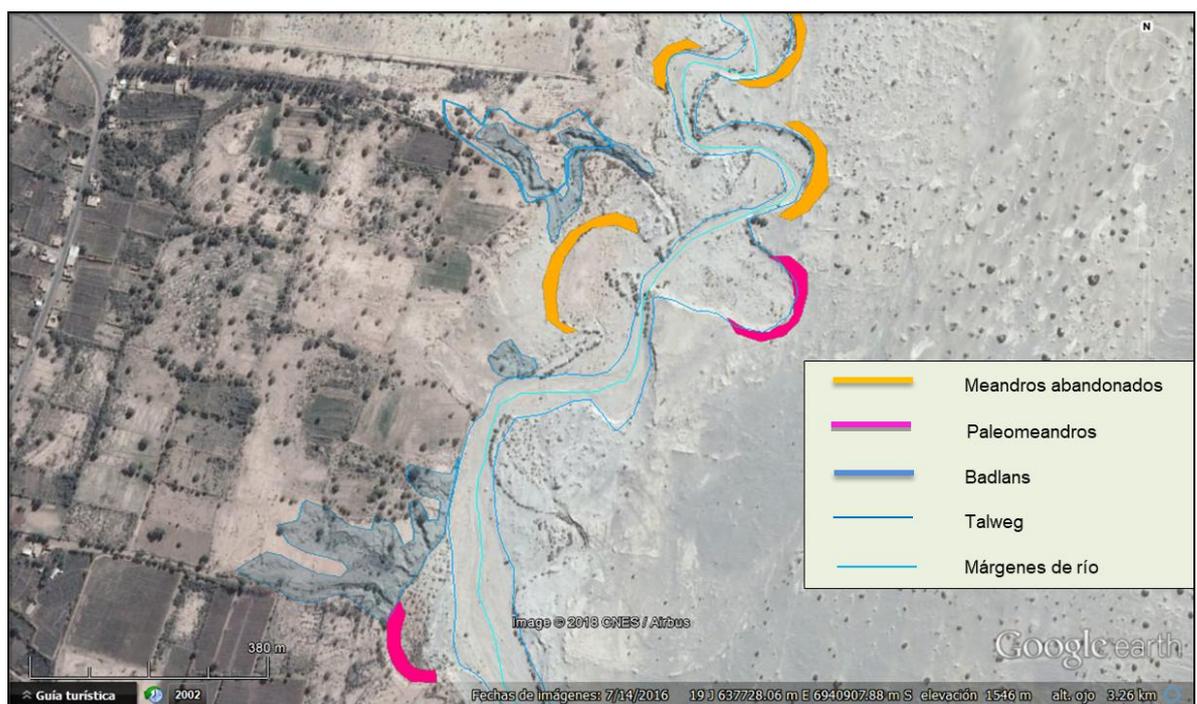


Figura N° 70: Avance de badlands en el sector norte de la localidad de Fiambalá, año 2017.

#### 4.5.5 ANÁLISIS DE RIESGO FLUVIAL EN LA LOCALIDAD DE FIAMBALÁ

Uno de los criterios implementados para el análisis de riesgo son sin duda las inundaciones que pueden afectar a la población por la crecida de los ríos y las precipitaciones extremas. Las áreas de erosión de los márgenes del Río Fiambalá es otro factor considerado, para ello se tuvieron en cuenta las áreas de cultivos y/o pobladas próximas a estos márgenes que están siendo erosionados.

Las áreas de carcavamiento o el incremento de áreas de tipo badlans (o de tierras malas) Figura N° 71, también producen pérdidas del terreno productivo afectando económicamente a la población y originando el abandono de estas superficies.



Figura N° 71: Áreas de carcavamiento en los márgenes del Río Fiambalá.

En la actualidad el Río Chaschuil o Guanchín Figuras N°72, N°73 y N°74 se encuentra canalizado, hasta la zona urbana de Fiambalá, por lo que no representaría un área de riesgo para la población en el sector occidental del puente que lo atraviesa. En el sector oriental las barreras que actúan como canales del río no están tan presentes, dejando casas ubicadas en su margen vulnerable ante alguna crecida extraordinaria.



Figura N° 72 y Figura N° 73: Margen oeste del Río Chaschuil o Guanchin canalizado con materiales de su propio lecho.



Figura N° 74: Margen este del Río Chaschuil o Guanchín y las casas asentadas sobre su margen derecho.

Se podría definir, por lo mencionado, que Río Fiambalá es el que más afectaría a la comunidad, en su lecho se presentan la mayoría de las geoformas y procesos que resultan potenciales para el riesgo Fiambalá. El Río Abaucán (confluencia de los dos anteriores) en su tramo norte también afecta a la población, pero a medida que avanza su recorrido comienza a alejarse de la comunidad y el riesgo disminuye. Figura N°75.

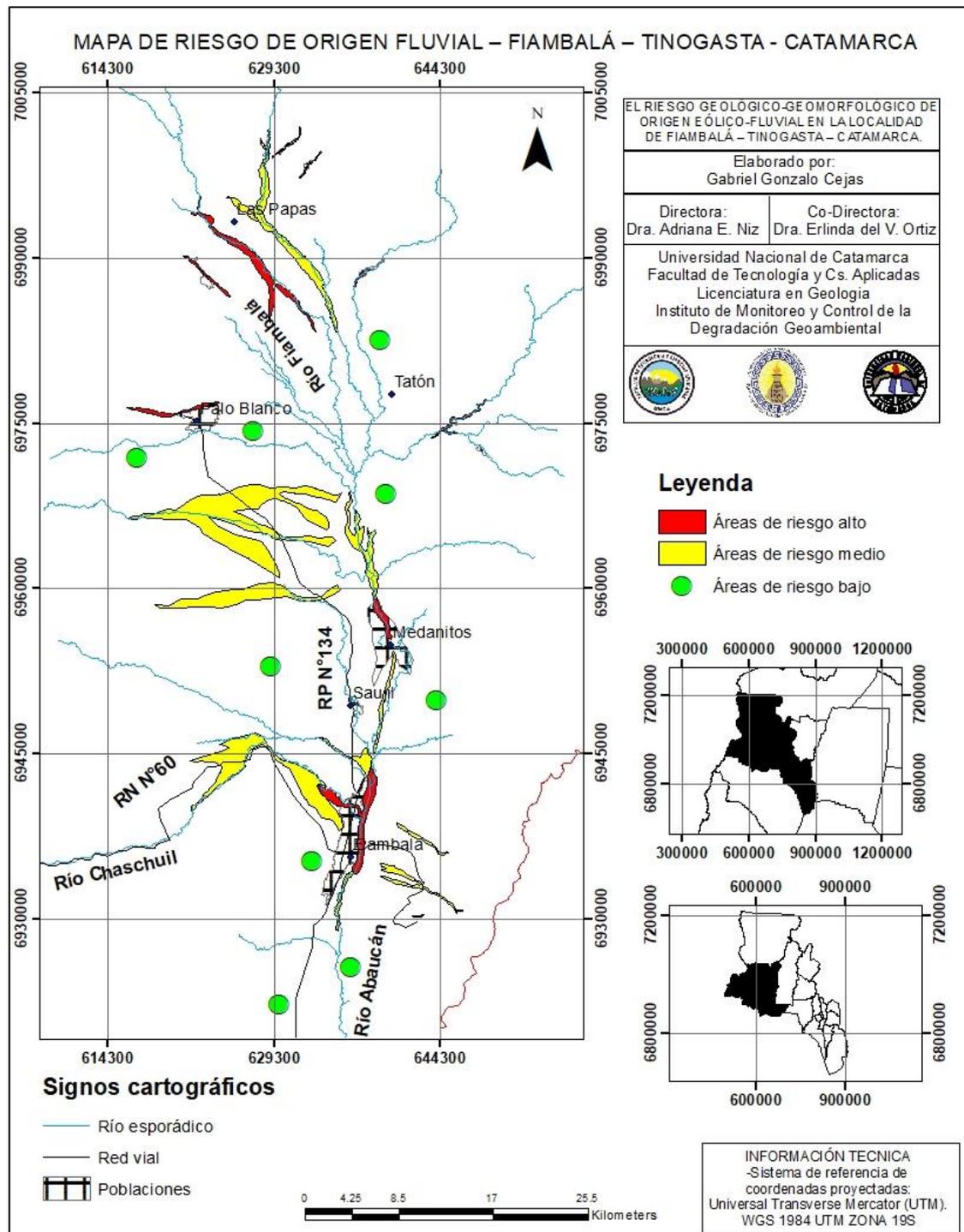
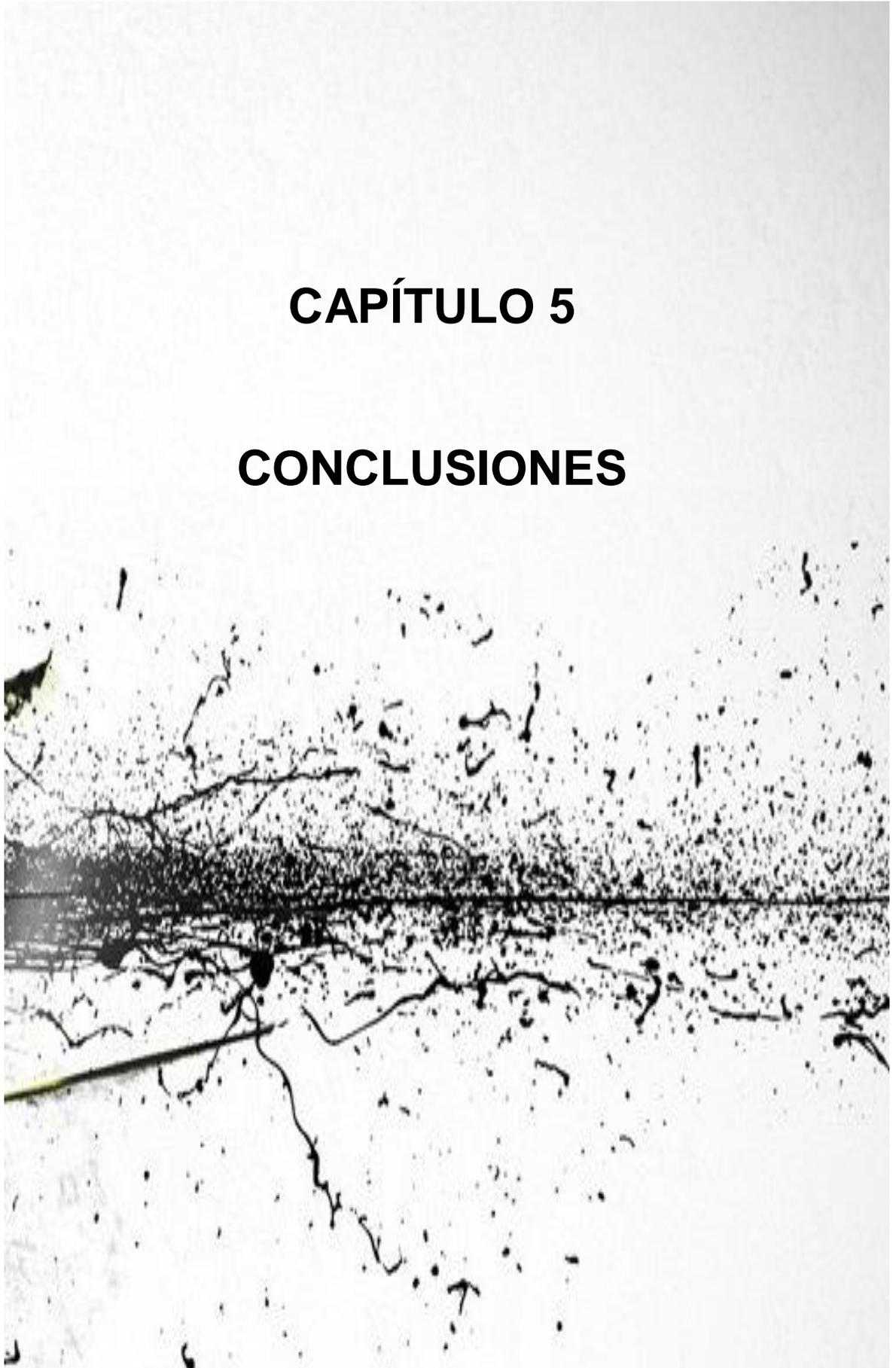


Figura N° 75: Mapa de riesgo de origen fluvial. Se puede consultar en formato A3 en el Anexo I.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES



## 5.1 GENERALES

La actividad eólica en el valle de Fiambalá es intensa, generando geoformas de erosión (representada por superficies de deflación, y sus correspondientes campos de gravas, gravillas y bloques, según los materiales que yacen en su superficie) principalmente en el sector sur de la Localidad de Fiambalá y geoformas de acumulación (de tipo dunarias) en el sector este de la misma. Esto provoca grandes dificultades debido al constante avance de los médanos hacia la población.

La acumulación de sedimentos en forma de dunas en el sector norte y oriental de la Localidad de Fiambalá, produce el soterramiento de los suelos débilmente fértiles de esa región y sobre las áreas pobladas, lo que obliga a la comunidad a trasladar sistemáticamente sus cultivos y, en algunas ocasiones, su vivienda.

La erosión de los suelos en el sector sur y occidental de la Localidad de Fiambalá, produce la decapitación de los suelos débilmente fértiles de esa región y genera suelos esqueléticos. La acumulación del material sedimentario sobre el cauce y márgenes de los Ríos Fiambalá y Abaucán, favorece la infiltración del caudal provocando el difícil acceso para el uso de riego de las zonas cultivadas.

Las importantes crecidas del Río Fiambalá generan una vulnerabilidad adicional y por ende un problema para la población, debido a que la erosión que produce sobre sus márgenes, está avanzando hacia las áreas de cultivos que se ubican en los sectores próximos a éstas.

La migración del pueblo de Fiambalá hacia los sectores del norte, debido al constante avance de los médanos desde el sector sur, es una problemática que la población viene soportando desde hace varias décadas.

## 5.2 PROCESOS EÓLICOS

El análisis y representación cartográfica del riesgo ante los procesos eólicos de la localidad de Fiambalá, permitió establecer que:

En la cuenca del Bolsón de Fiambalá, representada en el mapa de vulnerabilidad ante la acción eólica, se originan áreas vulnerables de deflación moderada y alta en el pie de monte de la ladera oriental de las Sierras de Narváez y de Las Planchadas. Los sedimentos resultantes de estas áreas, son transportadas por la acción del viento hacia la base y el pie de monte de la Sierra de Fiambalá, generando áreas vulnerables de acumulación media y máxima.

El estudio de los procesos eólicos que actúan sobre la Localidad de Fiambalá, permitió determinar dos tipos de geoformas: de acumulación de médanos debido al transporte de los sedimentos del sector sur de la cuenca; y de deflación que afectan la productividad de las tierras utilizadas para cultivos.

Las zonas de mayor riesgo se encuentran ubicadas en los sectores sudeste, este, oeste y norte.

Las zonas medias y de menor riesgo se encuentran en el sector central de la población, observándose pequeñas acumulaciones de arenas, en algunos lugares aislados o de poca concentración, lo cual permite esta clasificación.

El análisis de las áreas de deflación permitió determinar que en el sector este se ubican las áreas de menor riesgo de deflación; los sectores de mayor y mediano riesgo se localizan al oeste, sur y sudeste de Fiambalá, constituyéndose en el área de aporte principal para las áreas de acumulación al norte y este de la localidad.

### 5.3 MORFOMETRÍA DE CUENCAS

El análisis morfométrico permite conocer las características físicas de cuenca del Río Fiambalá y del Río Chaschuil de manera cuantitativa, desde del cálculo de diferentes parámetros, que permiten caracterizar la cuenca y a partir de ello establecer cómo será su comportamiento hidrográfico ante distintos eventos de precipitaciones ordinarios y extraordinarios. También permite determinar cómo llegara a perturbar a la Localidad de Fiambalá y su efecto población.

De acuerdo a los parametros obtenidos de la morfometria de cuencas se puede clasificar a la cuenca del Río Chaschuil como una cuenca grande con un gran potencial erosivo, reflejado por su curva hipsometrica, con alturas predominantes entre 4000 y 6876 m.s.n.m., cuya forma moderadamente alargada permite la generación de crecidas y con un fuerte escurrimiento. La red de drenaje del Río Chaschuil tiene una densidad moderada a alta, lo que indica un mayor escurrimiento superficial con velocidades elevadas y por lo tanto una menor capacidad de infiltracion. La pendiente media de la cuenca es otro factor que favorece estas características de la cuenca, que esta clasificada con un relieve fuerte en las sierras, mientras que para el cauce presenta una pendiente media suave.

Se puede decir que la cuenca del Río Chaschuil ante eventos de precipitaciones extraordinarias, es propensa a generar grandes avenidas con elevados caudales, al igual que aluviones por la gran potencial erosivo de la cuenca. que pueden llegar a afectar o provocar inundaciones en la Localidad de Fiambalá.

La morfometría de cuencas permite analizar de manera comparativa a las cuencas del Río Chaschuil y del Río Fiambalá, para poder determinar su respuesta hidrográfica frentes a los distintos eventos de precipitaciones.

Con el análisis de los Parámetros Generales se obtuvo como valor principal el área de las cuencas, dando para la cuenca del Río Chaschuil un área de 6016,22 km<sup>2</sup> y para la cuenca del Río Fiambalá un área de 5987,74 km<sup>2</sup>.

El análisis de las características geométricas entre el área que se encuentra presente entre las curvas de nivel, da valores que permite clasificar en intervalos, ordenar y generar una curva hipsométrica (Tabla N°4 y N°5). La curva hipsométrica para la cuenca del Río

Chaschuil corresponde a una “Curva de Tipo A” que refleja su gran potencial erosivo, en un estado de juventud, mientras que, para la cuenca del Río Fiambalá le corresponde una “curva hipsométrica de tipo B”, que representa una cuenca en equilibrio en fase de madurez..

Para el estudio de los Parámetros que caracterizan la forma de la cuenca se obtuvo un factor de forma (F) de 0,43 para la cuenca del Río Chaschuil y un (F) de 1,32 para la cuenca del Río Fiambalá. El factor de forma permitió clasificar a la cuenca del Río Chaschuil y del Río Fiambalá como “Moderadamente achatada con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas”.

Con el *factor adimensional de Horton* se obtuvo el valor de 0,32 para la cuenca del Río Chaschuil, lo que indica que es una cuenca ligeramente alargada pudiendo generar crecidas repentinas teniendo pocas posibilidades de concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa. Para la cuenca del Río Fiambalá le corresponde un valor de 0,52, que indica que es una cuenca ligeramente ensanchada y es más propensa a generar crecientes repentinas, ya que tiene más posibilidades de concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa.

El *Índice de compacidad* para la cuenca del Río Chaschuil el valor de 1,005, indica la tendencia que tiene a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento al pertenecer a una clase de compacidad “Redondeada a Oval Redonda”. Para la cuenca del Río Fiambalá el valor de 0,998, indica la tendencia que tiene a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento al pertenecer a una clase de compacidad “Redondeada a Oval Redonda”.

En el análisis de los Parámetros que caracterizan la red de drenaje se determinó que las cuencas del Río Chaschuil y Fiambalá presentan una jerarquía de orden 8 y 9, con valores de densidad de drenaje (Dd) de 3,494 y 2,63 respectivamente. Esto indica que presentan una “densidad moderada” cercana a los valores que corresponden a una densidad alta, asociada a grandes volúmenes 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.

El *tiempo de concentración* (Tc) se relaciona directamente con la forma de la cuenca. Para la cuenca del Río Chaschuil le corresponde un Tc de 100,03 minutos que se puede clasificar como “lento”, mientras que para la cuenca del Río Fiambalá es de 58,49 minutos que lo caracteriza como “moderado”.

Con los Parámetros que caracterizan el relieve para la cuenca del Río Chaschuil la pendiente media de la cuenca le corresponde un valor de 22,21% que la clasifica como un relieve muy fuerte, mientras que para la cuenca del Río Fiambalá su valor es de 26,12% perteneciente a la misma clasificación. La pendiente media del cauce del Río Chaschuil y Río Fiambalá es de 0,015 y 0,013 lo que representan una “pendiente suave” que se caracteriza por la divagación del cauce.

La cuenca del Río Fiambalá tiene un comportamiento similar, a la del Río Chaschuil, en los eventos de precipitaciones extraordinarias, aunque el mayor contenido de sedimentos no

consolidados en el centro de la cuenca, otorga un mayor material de aporte cuando se producen las grandes avenidas, siendo mas propensa a originar aludes y provocar erosión del cauce que afecta a las poblaciones del Valle de Fiambalá.

#### **5.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL**

El análisis multitemporal permitió determinar, con respecto a la actividad eólica, que el avance y retroceso de los médanos que afectan a la localidad de Fiambalá, en los diferentes periodos considerados, generan dificultades sociales, culturales y sobretodo económicas, entre otras, para los habitantes de la localidad pudiendo llegar a tomar medidas como el abandono de las áreas de cultivos productivas y hasta el abandono de sus hogares. En cuanto a la actividad fluvial se comprobó que los Ríos Fiambalá y Abaucán cambian su dinámica debido a la acción de los diferentes factores climáticos, geológicos, geomorfológicos y estructurales, entre otros; provocando la erosión de sus márgenes que avanzan hacia las áreas de cultivos de la comunidad.

El desplazamiento del Río Fiambalá y Abaucán es debido a la actividad tectónica que está ocurriendo en las sierras circundantes, como es la Sierra de Fiambalá. Están vinculados de tal forma que genera un cambio de pendiente y por lo tanto modificaciones en la morfología de estos ríos.

##### Respecto a la acción eólica

En la zona sur, para los distintos periodos analizados se determinó una serie de avances y retrocesos de la duna principal, proceso influenciado por la actividad antrópica del lugar, dado que, a medida que fue creciendo el casco urbano con el tiempo, se fueron utilizando las áreas de interés productivo que no eran en ese momento utilizadas. Para el año 2002 ésta duna retrocedió cerca de 80 metros con respecto al año 1982; posteriormente para el año 2013 se observó que continuo su retroceso, en este caso unos 35,5 metros, En el año 2017 está avanza cerca de 20 metros en dirección norte alcanzando en su parte central una altura de hasta 2 metros.

En la zona sudeste el análisis de los tres frentes del médano, marcan una secuencia de avances y retrocesos que actúan en forma independiente afectando directamente las áreas de cultivos de los viñedos de la zona.

El frente "A" tuvo su mayor impacto en el periodo 2002, cuyo avance con respecto al año 1982 fue de unos 63 metros en forma lateral y unos 41 metros aproximados en forma frontal; para el año 2013 el avance es de igual manera significativo, llegando a ocupar cerca de 110 metros y sobrepasando las barreras de contención de las parcelas cultivadas; en el 2017 el avance es de menor medida cercano a 4 metros dentro de las áreas de los viñedos.

El frente de médano "B" para el año 2002 presenta un retroceso cercano a los 61 metros, producto del crecimiento de la población que ocupo las áreas circundantes; para el año 2013 se produce un avance del frente de unos 6 metros aproximadamente, acompañado de un

incremento en la concentración de los sedimentos; en el año 2017 hay un notable retroceso cercano a los 26 metros principalmente en dirección lateral.

En el frente “C” para el año 2002 se observó un retroceso del médano de unos 107 metros debido a la incorporación de las barreras arbóreas del sector; para el año 2013 el avance fue de 30 metros pudiendo llegar a la base de estas barreras; en el periodo 2017 el avance no es significativo, pero la concentración de los sedimentos es mayor llegando a alcanzar los 3 metros de altura y superando las defensas que fueron implementadas.

#### Respecto a la actividad fluvial

El análisis multitemporal permitió determinar para el Río Fiambalá y el Río Abaucán, la formación de diferentes geformas principalmente meandros activos en cada periodo. El avance de los badlans se incrementó en el periodo considerado, formando incluso nuevas áreas afectadas.

## CAPÍTULO 6

## BIBLIOGRAFÍA



## 6.1 BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, E. (1996). "Problemas de desertificación en la República Argentina. Propuestas para un Plan de Acción. XI Seminario-Curso: Problemas da qualidade e quantidade da água em regiões semi-áridas". Centro Interamericano de Recursos da Água, Salvador-Bahía, 423: 435.
- Abraham, E. (2000). "Recursos y problemas ambientales de la Provincia de Mendoza. En: recursos y problemas ambientales de la zona árida. Provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja". GTZ, IDR (Univ. Granada), IADIZA, SDSyPA. Argentina, 15:24, 144p.
- Abraham, E. (2000). "La Región Andina Argentina. Recursos y problemas ambientales de la zona árida. Prov. de Mendoza, San Juan y La Rioja". GTZ, IDR, IADIZA, SDSyPA. Argentina, 7:14, 144p.
- Anguita, F., Moreno, F. (1994). "Procesos Geológicos Externos y Geología Ambiental". Madrid: Editorial Rueda.
- Ayala Carcedo, F. (1993). "Estrategias para la reducción de desastres naturales". Investigación y Ciencia 200: 6-13.
- Barazangui, M., Isacks B.L. (1976). "Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South American". Geology 4: 686-692.
- 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.
- Cacciabue, A., Niz, A., Oviedo, J., Lamas, C. (2008). "Influence of the urban scheme on the increase of eolic processes in the city of Fiambalá, Catamarca, Argentina" - International Geological Congress – Oslo – Noruega.
- Cardona, O.D: (2001). "Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos". Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Collantes, M., Sayago, J., Niz, A. (2008). "El proceso de desertificación en la región árida-semiárida del noroeste argentino: cambio climático o antropogénesis", 1° Jorn. Universitarias del Norte Grande Argentino JUNGRA, p. 58, ISBN 978-987-1366-23-1, S.M. de Tucumán.
- Cresta de Suarez, M. I., Suarez, M., T, (1972). "capítulo recursos hídricos, manual de historia y geografía de La Rioja, Tomo 2".
- González Bonorino, F. (1972). "Descripción Geológica de la hoja 13C, Fiambalá, Provincia de Catamarca. Boletín 127. Dirección Nacional de Geología y Minería".
- González Bonorino, F. (1950). "Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas". Revista de la Asociación Geológica Argentina 3: 81 110.
- Gregory, K., Walling D. (1973): "Drainage basin form and process: A geomorphological approach". Edgard Arnold. Londres-Inglaterra, 45 pp.
- Herzer, H., Rodríguez, C., Celis, A., Bartolomé, M., Caputo, G., (1986). "Convivir con el riesgo o la gestión del riesgo". Buenos Aires: Centro; 2002. Mimeo.
- Jordan E., Allmendinger R. W. "The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation".
- Lamas, C., Niz, A., Oviedo, J., Salas, A. (2009). "La actividad eólica como factor condicionante para los asentamientos humanos –Bolsón de Fiambalá- Tinogasta" -

VII Jornadas Prov. de Geología y I Jornadas Nacionales de Evaluación y Mitigación de Riesgos Geoambientales” Catamarca.

- Larraín, P.; Simpson., Housley, P. (1994). “Dimensiones de la personalidad en percepción y Prevención de catástrofes naturales en Chile”. Santiago. Ed. Universidad Católica de Chile, Capítulo II.
- López Cadenas de Llano, F. (1988). “Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería medioambiental”. España: Mundi Prensa-TRAGSATEC-Min. Medio Ambiente. 945 pp.
- Iramain, S., Niz, A. (2014). “La aplicación de la geomorfología y geofísica para la caracterización hidrogeológica del valle de Tinogasta, Catamarca-Argentina”. XIX Congreso Geológico Argentino, - Córdoba.
- Martínez, L. (1995). “Mapa Geológico de la Provincia de Catamarca”. Secretaria de Minería – Dirección Nacional del Servicio Geológico. Republica Argentina.
- Morlans, M.C. (1995). “Regiones naturales de Catamarca. Provincias geológicas y provincias fitogeográficas”. Revista de Ciencia y Técnica. Vol. II, Nº2, págs.1-36.
- Navone, S. et al. (1997). “La desertificación y su control en los valles del noroeste argentino”. Rev. Facultad de Agronomía, 22. Pag 185-193.
- Niz, A. Savio, M. et al. (2017). “caracterización geológica y geomorfológica del Valle de Tinogasta y el bolsón de Fiambalá”. Relatorio. XX CGA “Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA. Tucumán
- Niz, A., Sayago, J. (2010). “La evolución de la desertización en el Valle del Abaucán” XV Congreso Peruano de Geologia- Cusco – Perú.
- Niz, A., Oviedo, J., Lamas, C. (2013). “The migration of the human settlements due to the advance of the dunes in the south sector of the Valley of Fiambalá – Catamarca – Argentina - 8th IAG International Conference On Geomorphology- 27 al 31 de agosto - Paris- Francia.
- Niz, A., Oviedo J., Salas A., Lamas, C. (2009).”La migración de los asentamientos humanos debido al avance de los médanos en el sector sur del valle de Fiambalá – Catamarca”. IV Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología - XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário y II Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur - La Plata.
- Niz, A., Oviedo, J., Cacciabue, A., Lamas, C. (2008). “Paleogeomorphological evolution and geomorphological characterization of the middle basin of Abaucán River - Tinogasta – Catamarca- Argentina” International Geological Congress – Oslo Noruega, Agosto.
- Niz, A., Oviedo, J., Savio, M., Lamas, C., Cacciabue, A. (2008). “La migración de los asentamientos humanos en función del avance dunario - cuenca del Abaucán – Tinogasta – Catamarca” 1° Jorn. del Norte Grande Argentino JUNGRA. p. 86, ISBN 978-987-1366-23-1, S.M. de Tucumán.
- Niz, A. (2003). “Geomorfología del sector meridional del Dpto. Tinogasta, Provincia de Catamarca, Argentina”. Tesis Doctoral Inédita, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, UNCA, 333 p. S.F. del V. de Catamarca.
- Ortiz, E., Niz, A., Cejas, G., Duchowicz, P. (2015). “Identificación de áreas de aporte a acuíferos en la cuenca alta y media del rio Abaucán- Fiambalá utilizando PCA“. en el XI Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y el Ambiente- Área: Geología ambiental-Contaminación y degradación de recursos naturales-Buenos Aires.

- Penck, W. (1920). "Der Südrand der Puna de Atacama. Abhandlungen der Mathematisch-Physikalische Klasse der Sächsischen. Akademie Der Wissenschaften 37 (1): 3-420".
- Ramos, V.A. (2000). "Las provincias geológicas del territorio argentino". En: Caminos, R. (Ed.): "Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales". Anales 29(3): 41-96. Buenos Aires.
- Ramos, V.A. (1988). "Tectonics of the Late Proterozoic - Early Paleozoic: a collisional history of Southern South America". Episodes 11(3): 168-174.
- Ruiz, J. (2001). "Hidrología, evolución y visión sistemática, la morfometría de cuenca como aplicación". Unellez. Barines – Venezuela. 298p.
- Ruiz Huidobro, O. (1975). "Descripción Geológica de la Hoja 12c, Laguna Helada. Provincia de Catamarca. Ministerio de Economía. Buenos Aires, Argentina.
- Savio, M., Lestussi, M., Lamas, C., Niz, A. (2015). "Utilización de imágenes satelitales para la identificación de procesos geomorfológicos derivados de la acción glacial y periglacial -Valle de Chaschuil – Fiambalá" XI Simposio de Geología Aplicada a la Ingeniería y el Ambiente- Buenos Aires.
- Sayago, J., Collantes, M., Niz, A. (2009). "Evolución histórica de la desertificación en la región árida-semiárida del noroeste argentino: antropogénesis versus cambio climático" 53° Congreso Internacional de Americanistas México.
- Sayago, J., Niz, A., Collantes, M. (2008). "Resiliencia del paisaje y sostenibilidad productiva en la región árida del noroeste argentino" XVII Congreso Geológico Argentino ciencias de la Tierra para la Sociedad- San Salvador de Jujuy ISBN 978-987-22403-1-8.
- 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.
- Stelzner, A. (1873). "Comunicaciones sobre la geología y minería de la República Argentina". Anales de Agricultura de la República Argentina. Págs. 123-133, 142/3, 154/5, 184/5, 195.
- Socic, M.(1972). "Descripción Geológica de la Hoja 14 e Salar de Pipanaco", Boletín N° 137. Dirección Nacional de Geología y Minería.
- Tineo, A. (1978). "Ejecución de dos sondeos de exploración, un pozo de bombeo y seis pozos de observación en Saujil, departamento Tinogasta, Provincia de Catamarca. Inédito".
- Tineo, A. (1996). "Geología del Sistema de Famatina, hidrogeología", Pág. 389-399. Munchner Geologisch Hefte, A 19 (Reiche A).
- Turner, J. (1967). "Descripción Geológica de la Hoja 13b, Chaschuil. Provincia de Catamarca y La Rioja". Boletín N°106. Ministerio de Economía y Trabajo. Buenos Aires, Argentina.
- Viera, V. (1982). "Proyecto NOA Hídrico: Desarrollo de los Recursos Hídricos del Noroeste, Segunda Fase" – Salta, Argentina.
- Wilches-Chaux, G. (1993). "La vulnerabilidad global [versión electrónica]. En: Maskrey, A (Comp.). *Los Desastres No Son Naturales*". La Red.

## 6.2 LINK CONSULTADOS

**USGS SCIENCE FOR A CHANGING WORLD.GLOBAL DATA EXPLORER.** Tomado de <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>

**CLIMATE – DATA. ORG. CLIMA DE FIAMBALÁ.** Tomado de <https://es.climate-data.org/location/19879/>

**SLIDESHARE.DUNAS Y DESIERTOS- MARÍA ZARZO Y RAFAEL GONZÁLEZ.** Tomado de <https://es.slideshare.net/guestdb3d8d5/dunas-y-desiertos-rafa-y-mara>

**MONOGRAFIAS – EROSION EÓLICA - EVELIO LÓPEZ.** Tomado de <http://www.monografias.com/trabajos98/erosion-eolica/erosion-eolica.shtml#ixzz4uSltsqf>

**SCATERRA SOLUCIONES SATELITALES APLICADAS.** Tomado de <Http://www.scanterra.com.ar>

**DIARIO DIGITAL LA VOZ.** Tomado de <http://www.lavoz.com.ar/noticias/sucesos/catamarca-localidades-incomunicadas-fiambala-crecidas>

**DIARIO DIGITAL EL ANCASTI.** Tomado de <https://www.elancasti.com.ar/informacion-gral/2018/2/7/pueblos-incomunicados-fiambal-crecida-ros-361162.html>

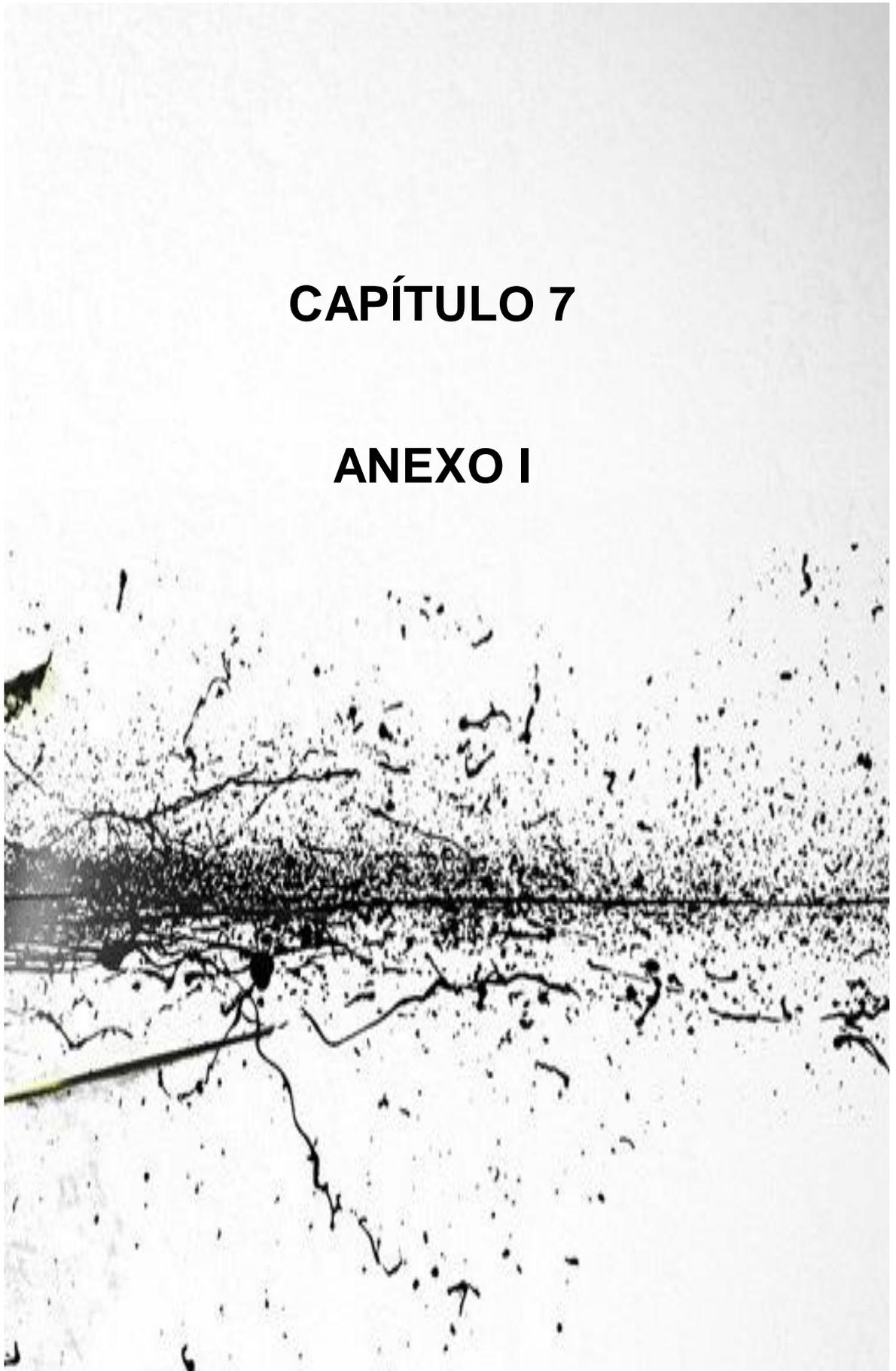
**DIARIO DIGITAL EL ANCASTI.** Tomado de <https://www.elancasti.com.ar/informacion-gral/2014/2/6/crecida-dejo-aisladas-termas-todo-norte-fiambala-223651.html>

**DIARIO DIGITAL EL ANCASTI.** Tomado de <https://www.elancasti.com.ar/informacion-gral/2015/1/21/preocupacion-vecinos-avance-creciente-248122.html>

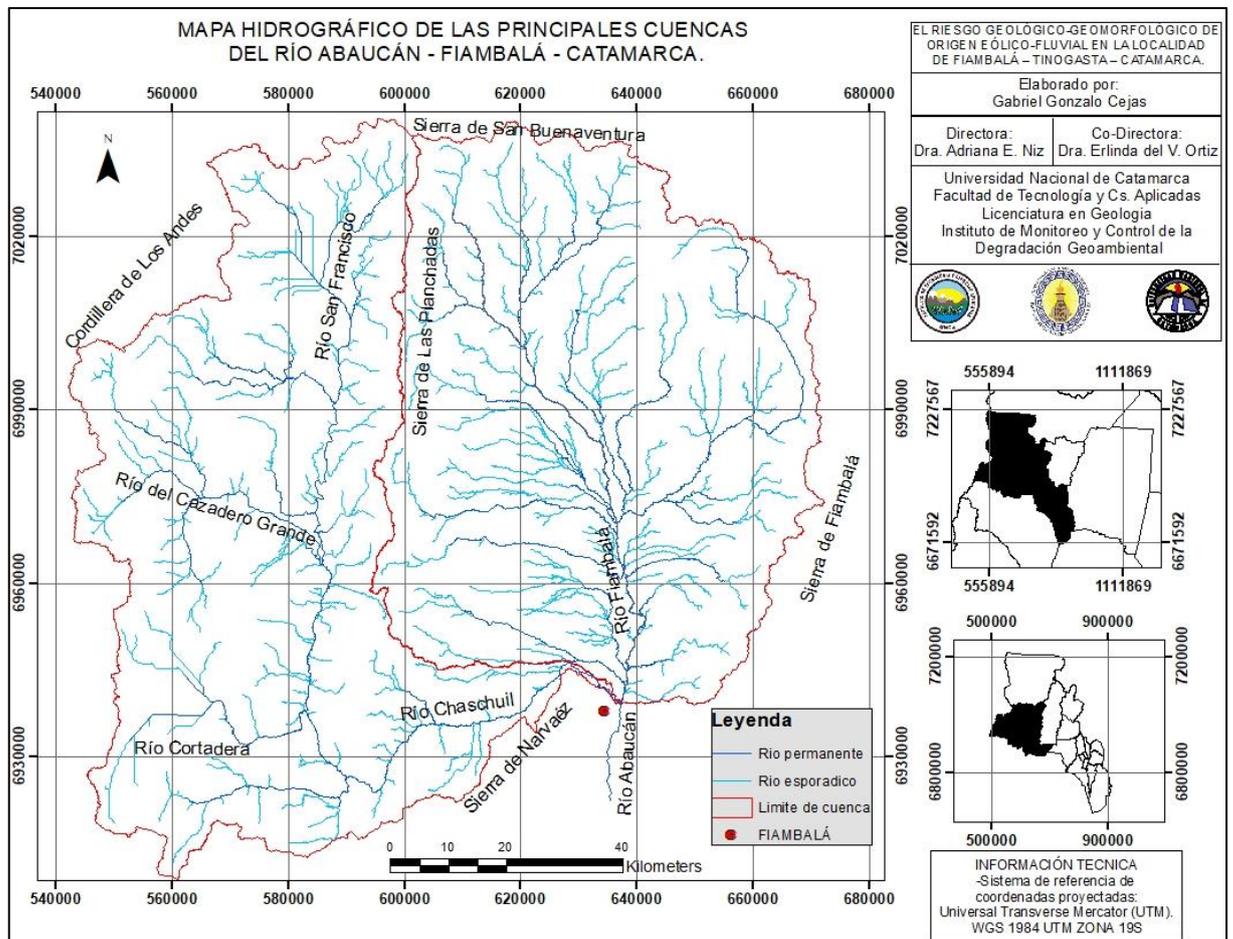
**DIARIO DIGITAL LA CAPITAL.** Tomado de <https://www.lacapital.com.ar/informacion-gral/catamarca-poblados-fiambalaacute-el-agua-y-aislados-temporal-n274707.html>

## CAPÍTULO 7

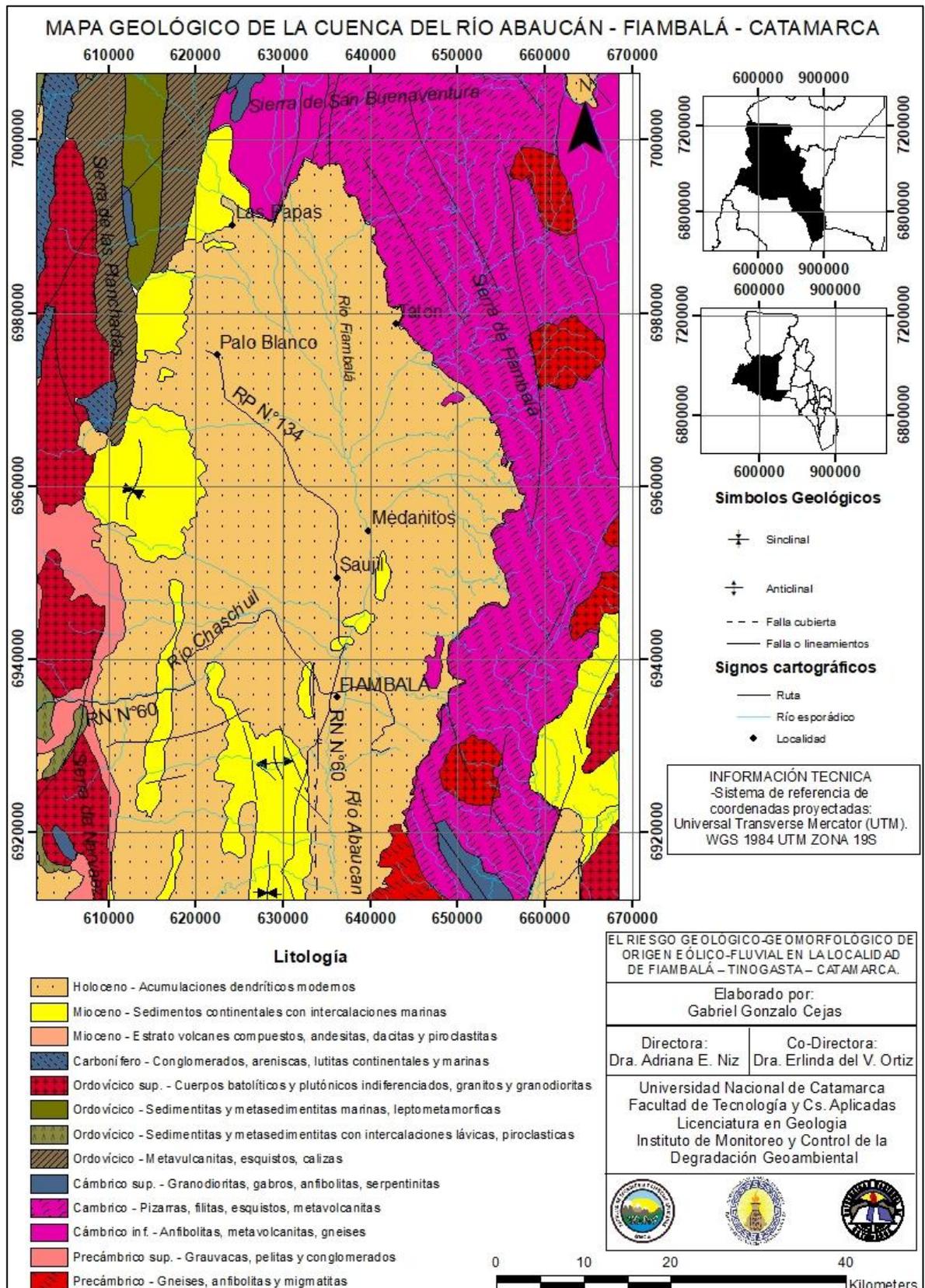
### ANEXO I



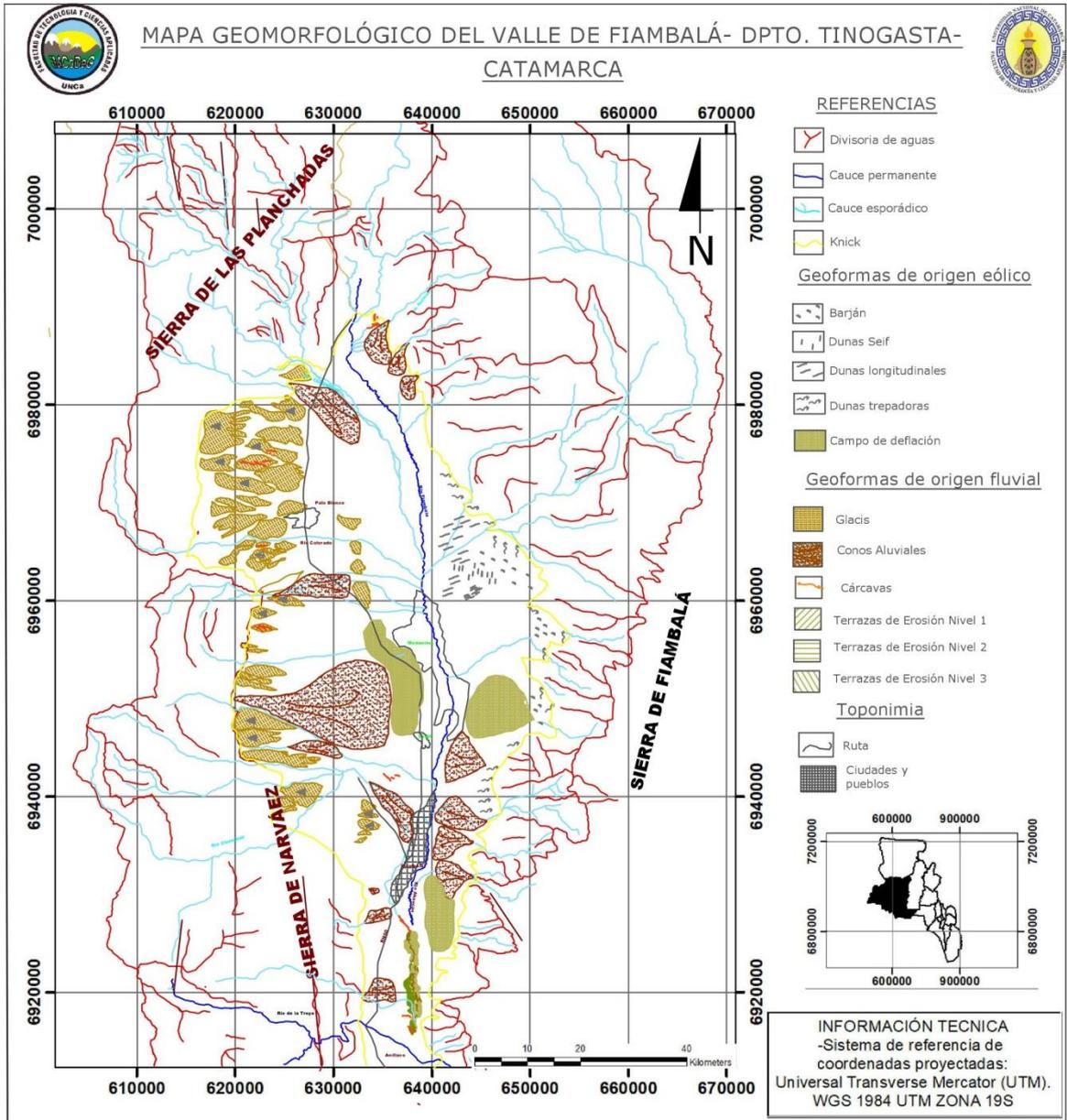
**A) MAPA HIDROGRÁFICO DE LAS PRINCIPALES CUENCAS DEL RÍO ABAUCÁN – FIAMBALÁ – CATAMARCA.**



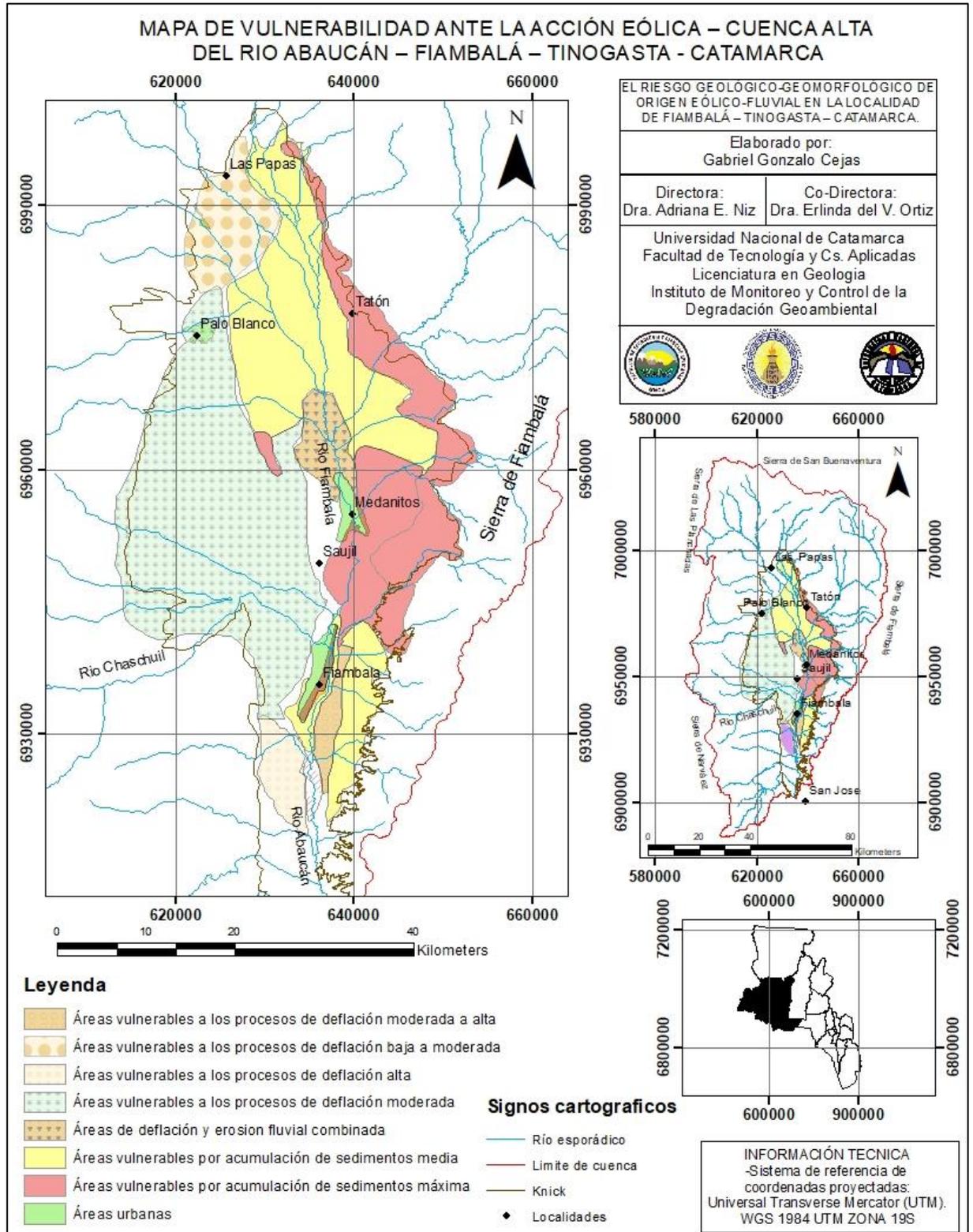
B) MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO FIAMBALA – CATAMARCA



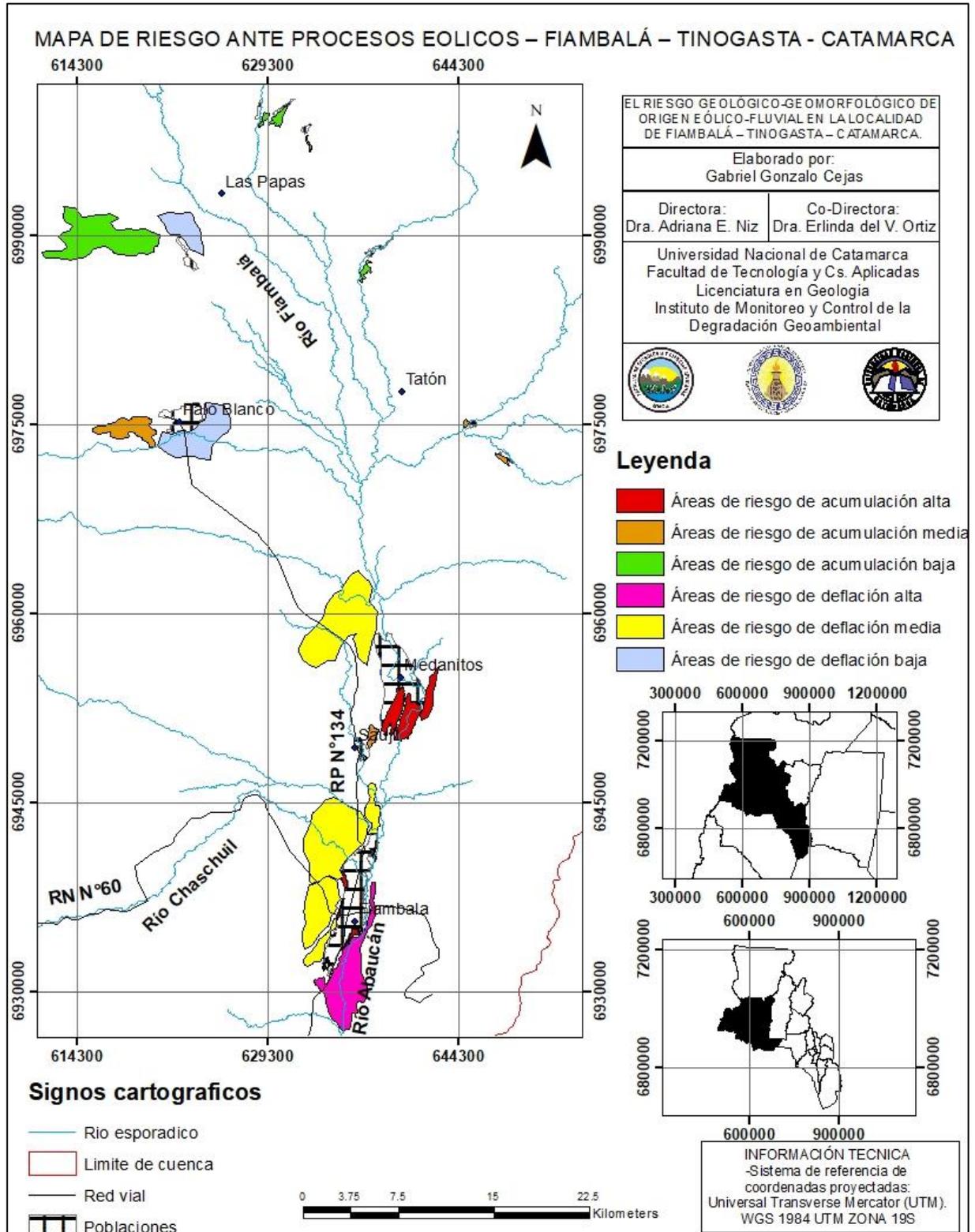
**C) MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL VALLE DE FIAMBALÁ – DPTO. TINOGASTA – CATAMARCA.**



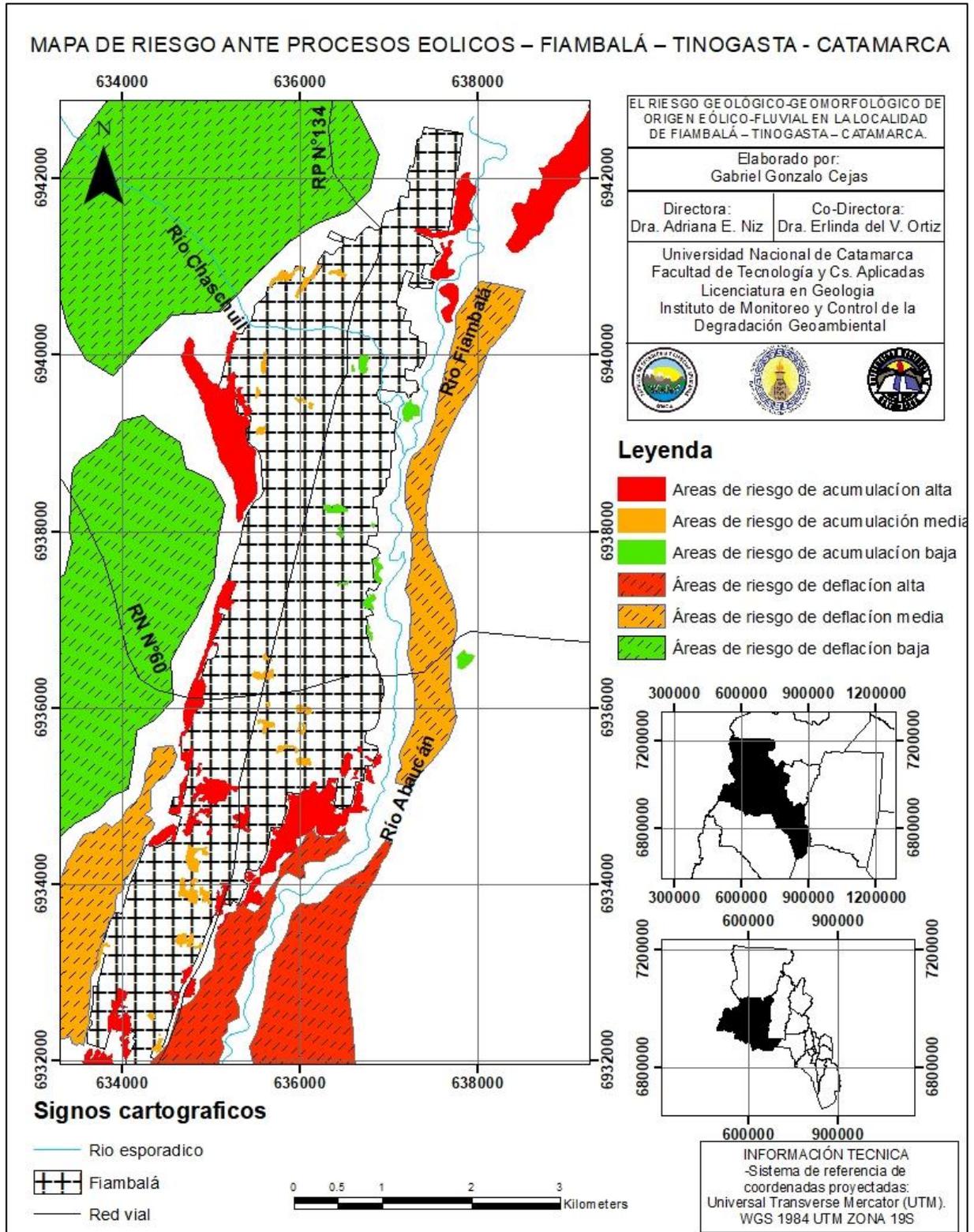
**D) MAPA DE VULNERABILIDAD ANTE LA ACCIÓN EÓLICA – CUENCA ALTA DEL RÍO ABAUCÁN – FIAMBALÁ - CATAMARCA**



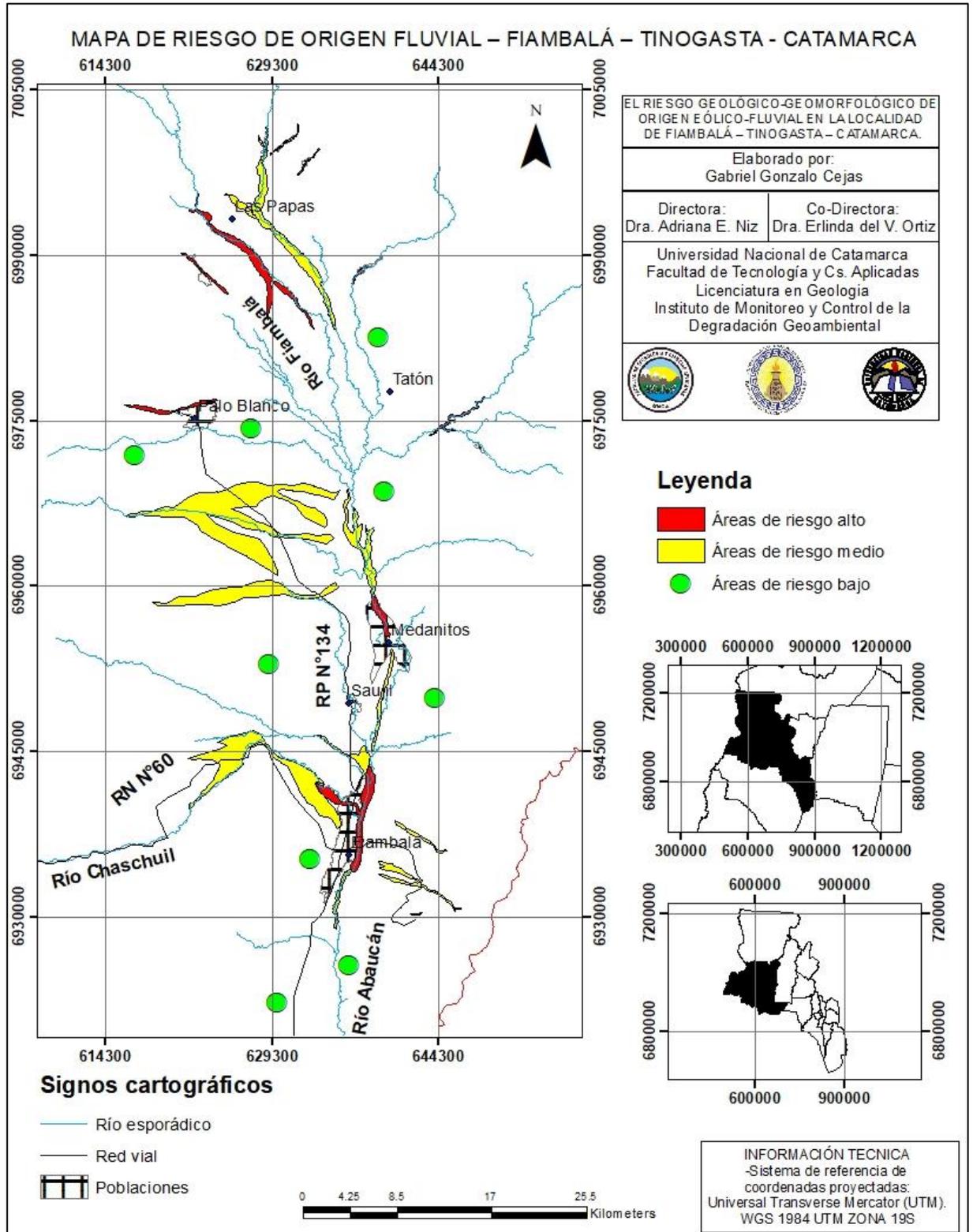
**E) MAPA DE RIESGO ANTE PROCESOS EÓLICOS – FIAMBALÁ – TINOGASTA - CATAMARCA**



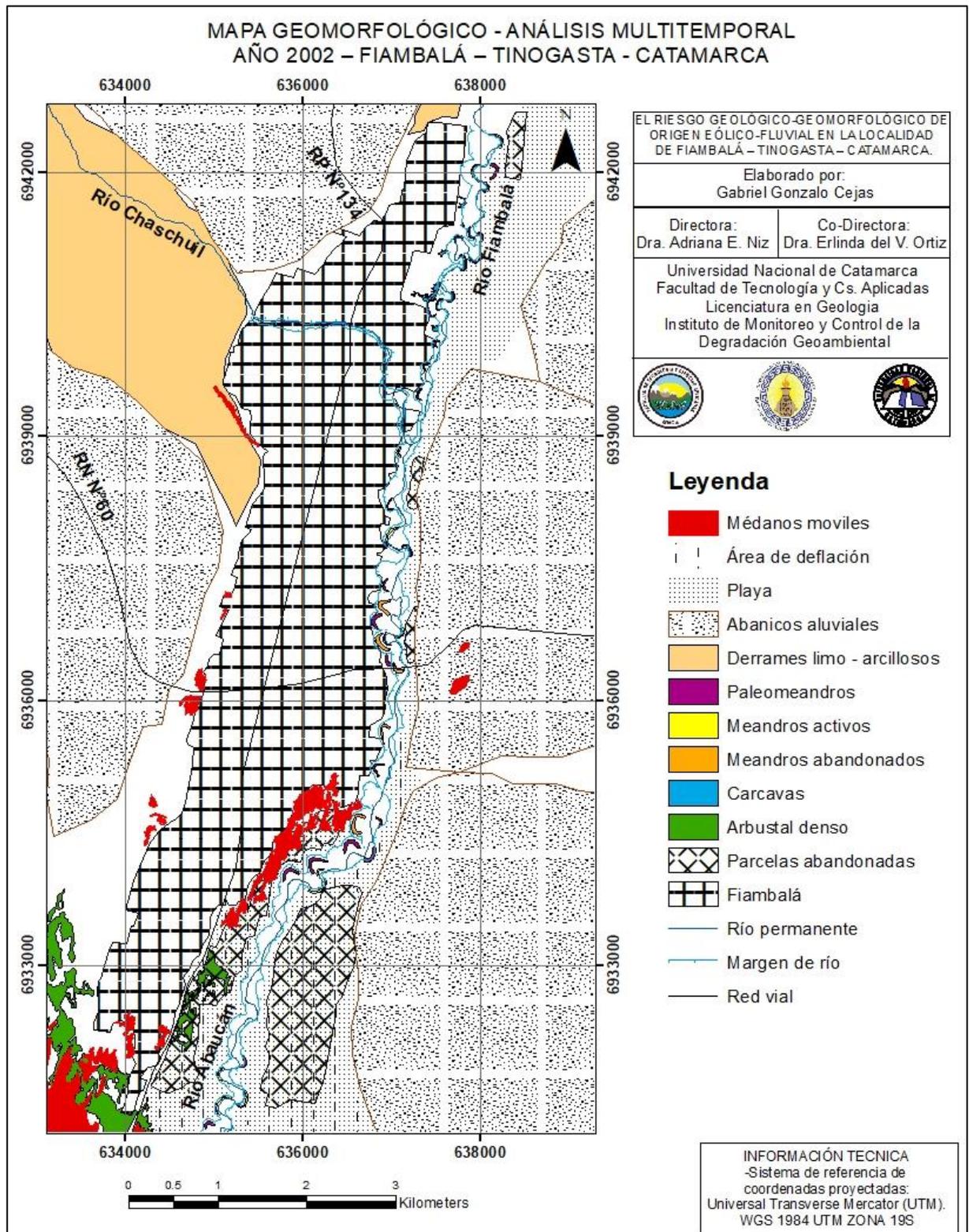
**F) MAPA DE RIESGO ANTE LOS PROCESOS EÓLICOS – FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA**



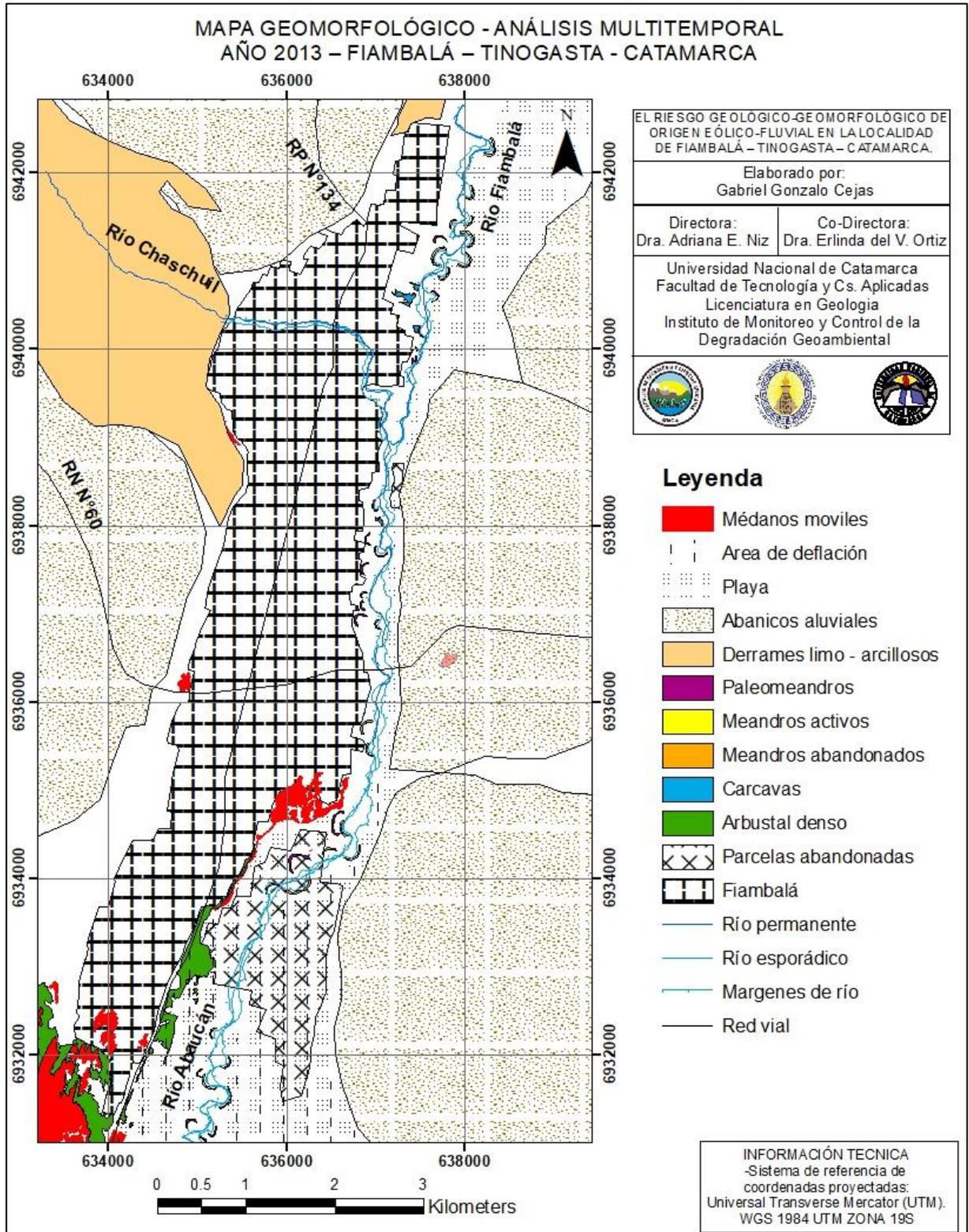
**G) MAPA DE RIESGO DE ORIGEN FLUVIAL – FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA**



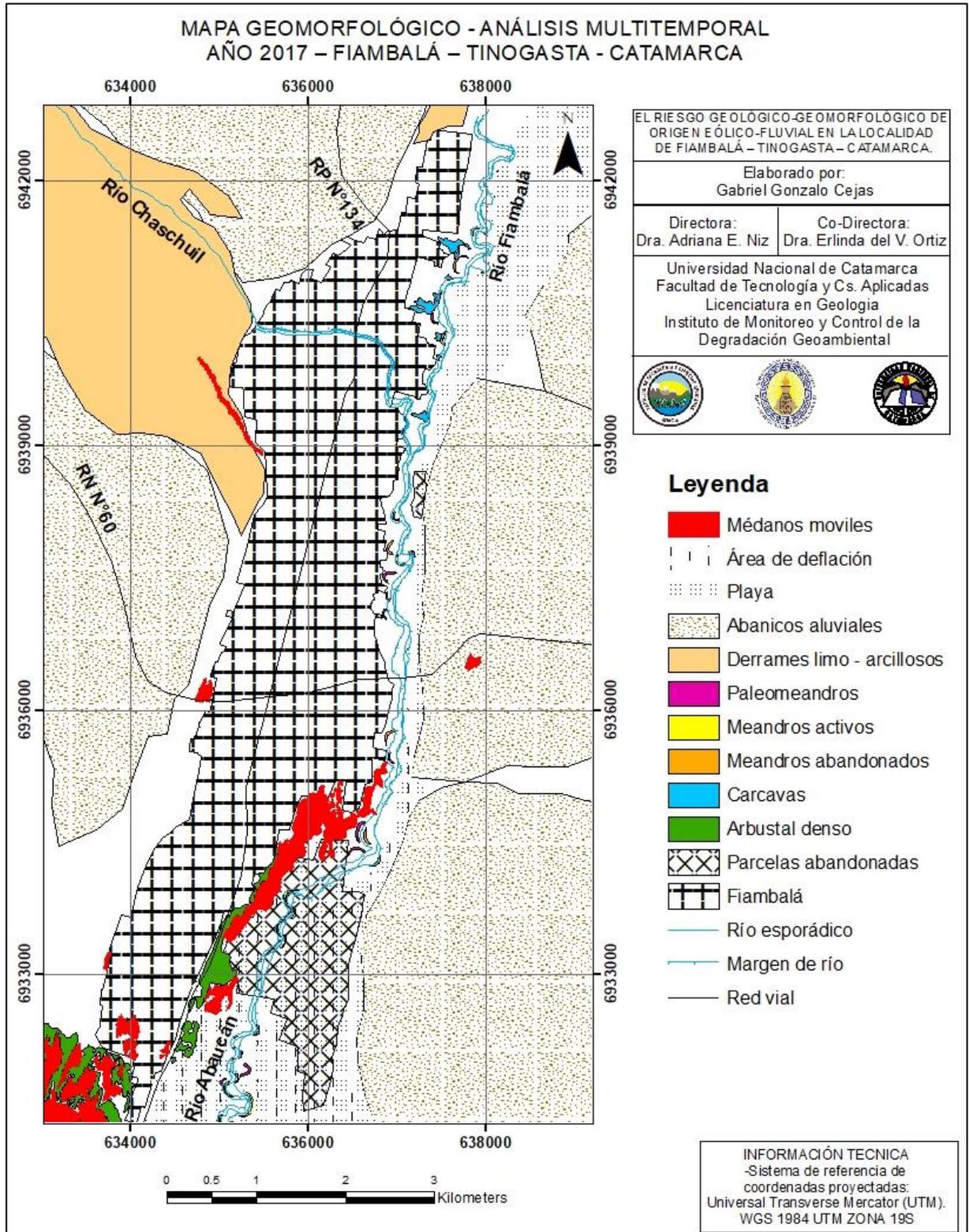
**H) MAPA GEOMORFOLÓGICO – ANÁLISIS MULTITEMPORAL AÑO 2002 – FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.**



I) MAPA GEOMORFOLÓGICO – ANÁLISIS MULTITEMPORAL AÑO 2013 – FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.

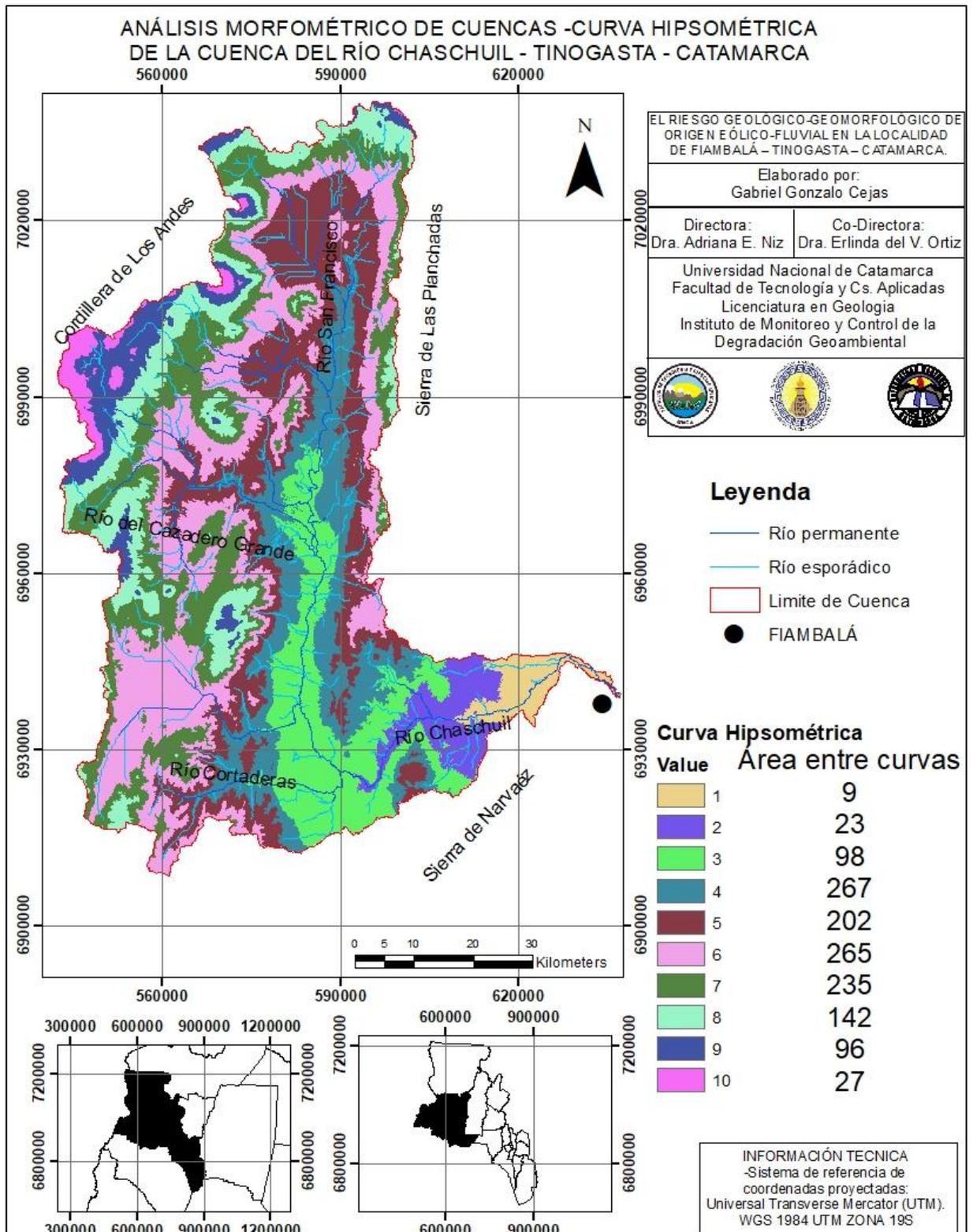


**J) MAPA GEOMORFOLÓGICO – ANÁLISIS MULTITEMPORAL AÑO 2017 – FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.**



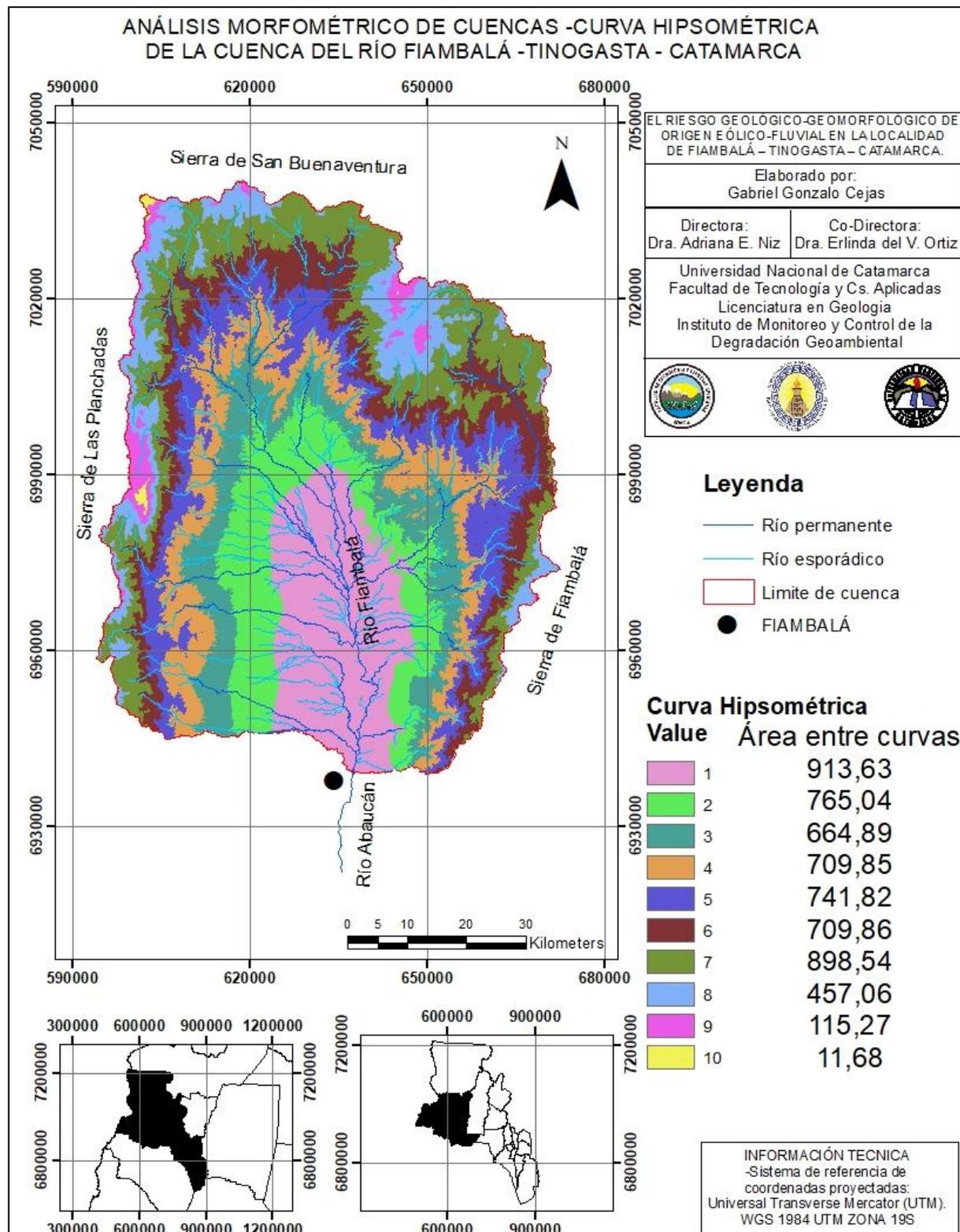
**ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS**

**K) CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RIO CHASCHUIL - CHASCHUIL –TINOGASTA – CATAMARCA.**



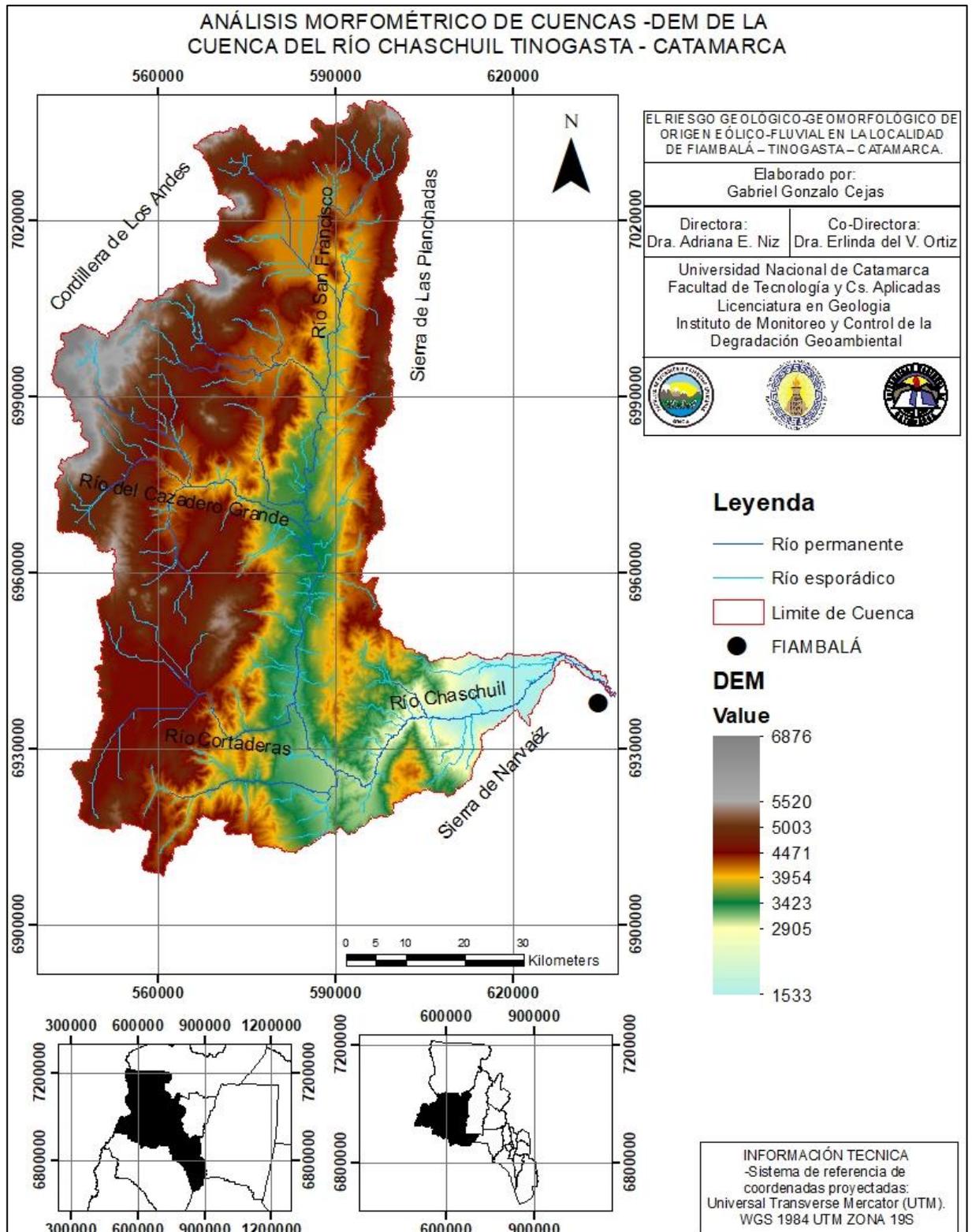
**ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS**

**L) CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RIO FIAMBALÁ - FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.**



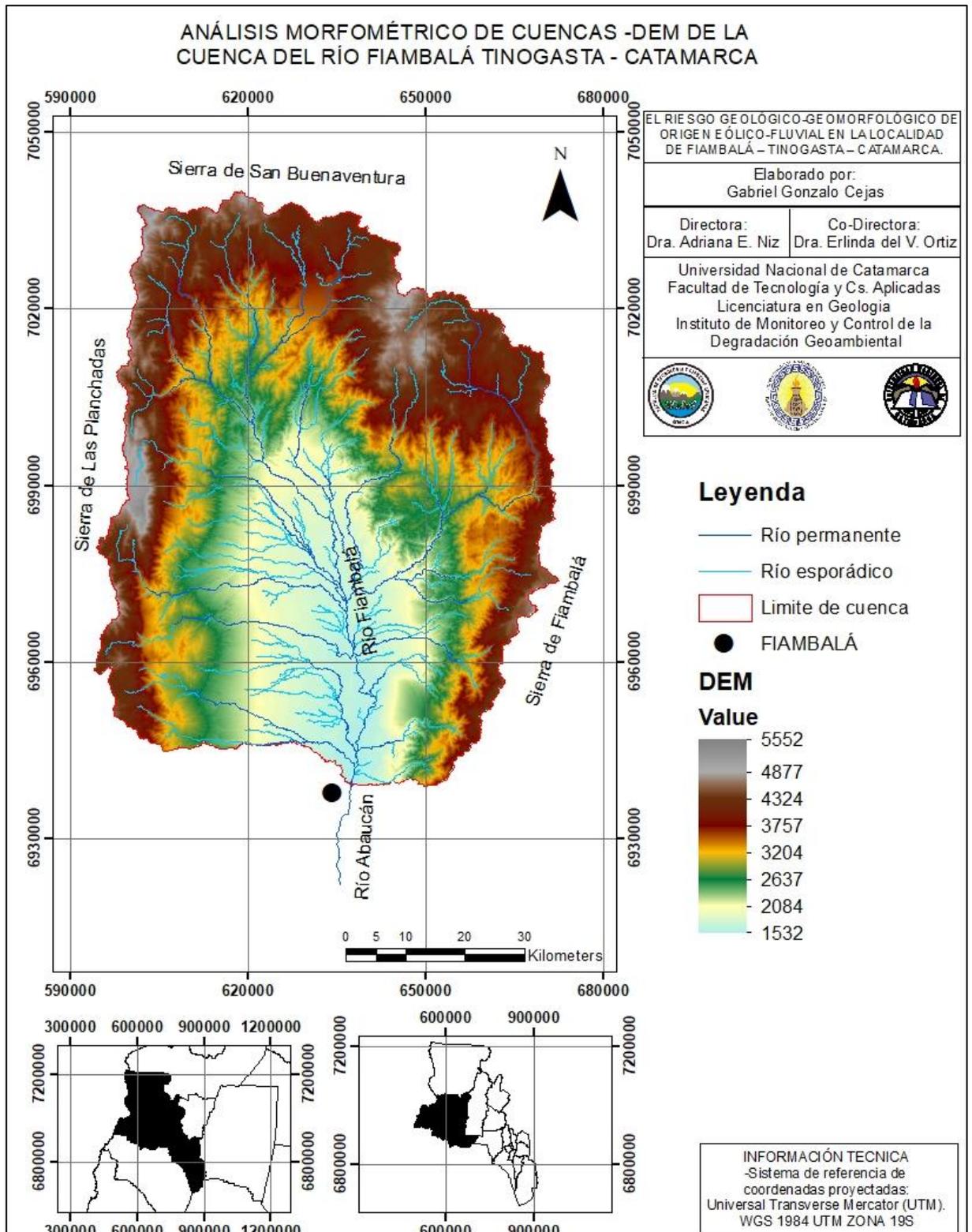
**ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS**

**M) MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DE LA CUENCA DEL RIO CHASCHUIL - FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.**



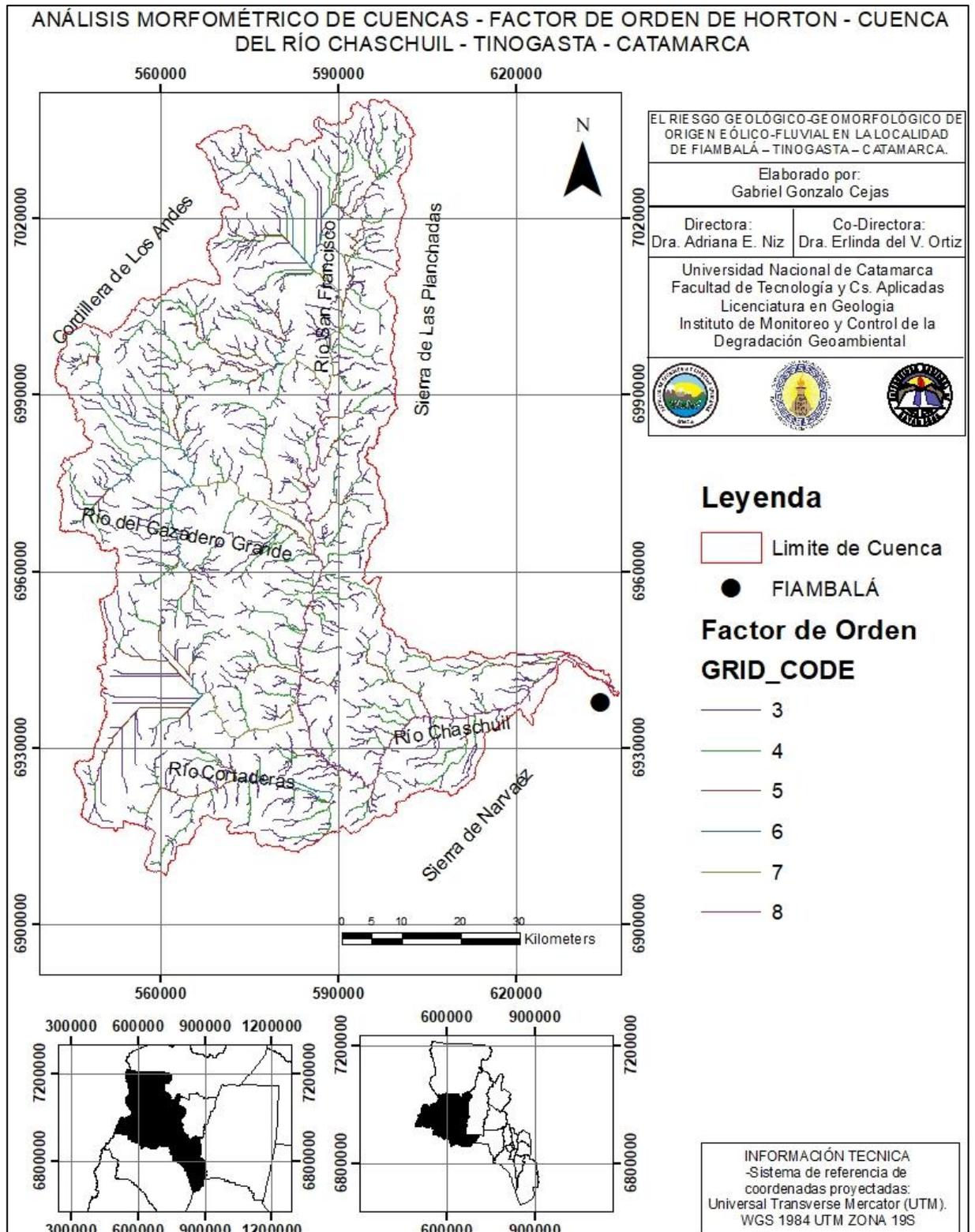
**ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS**

**N) MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DE LA CUENCA DEL RIO FIAMBALÁ - FIAMBALÁ –TINOGASTA – CATAMARCA.**



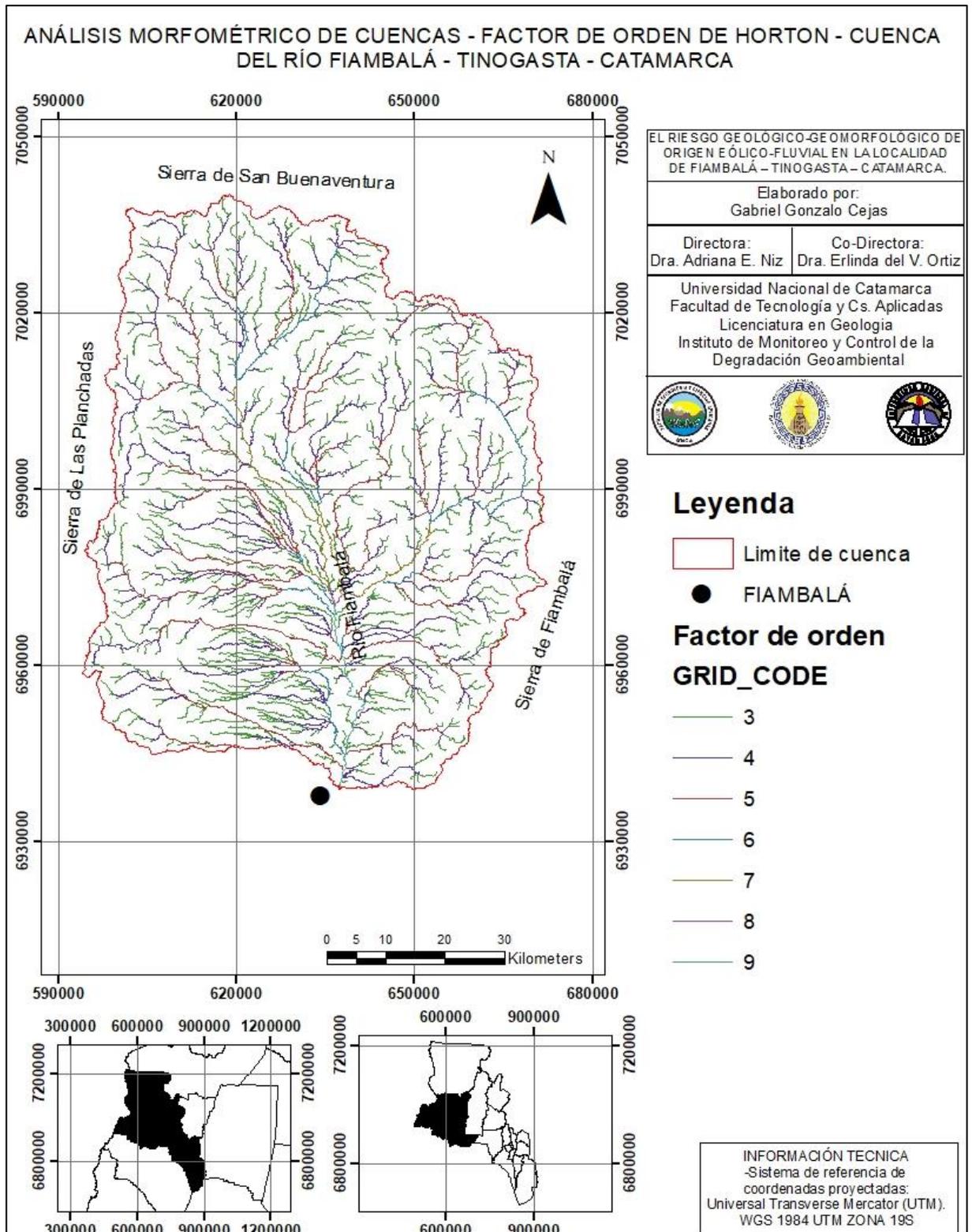
**ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS**

**O) FACTOR DE ORDEN DE HORTON DE LA CUENCA DEL RIO CHASCHUIL - FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.**



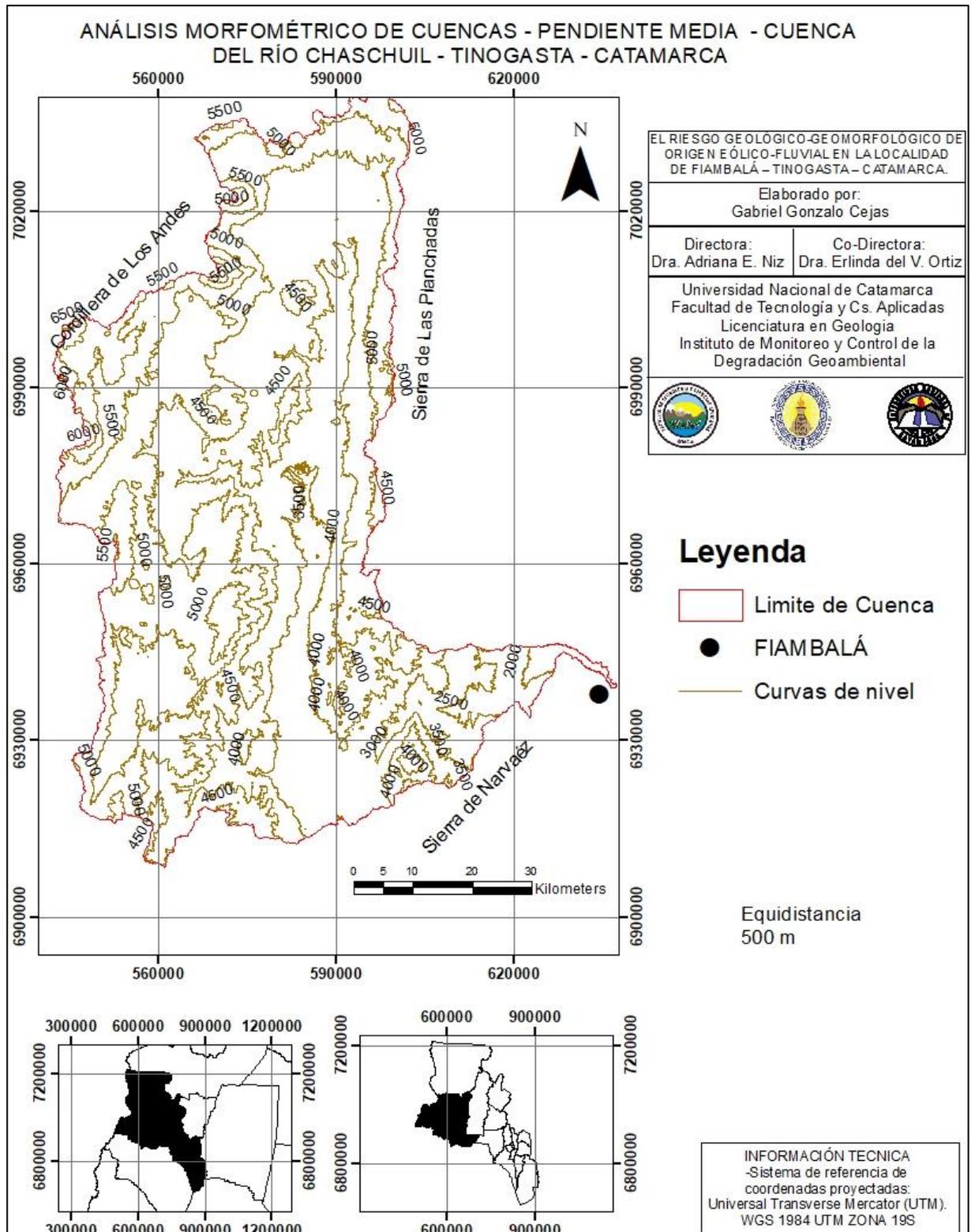
**ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS**

**P) FACTOR DE ORDEN DE HORTON DE LA CUENCA DEL RIO FIAMBALÁ - FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.**



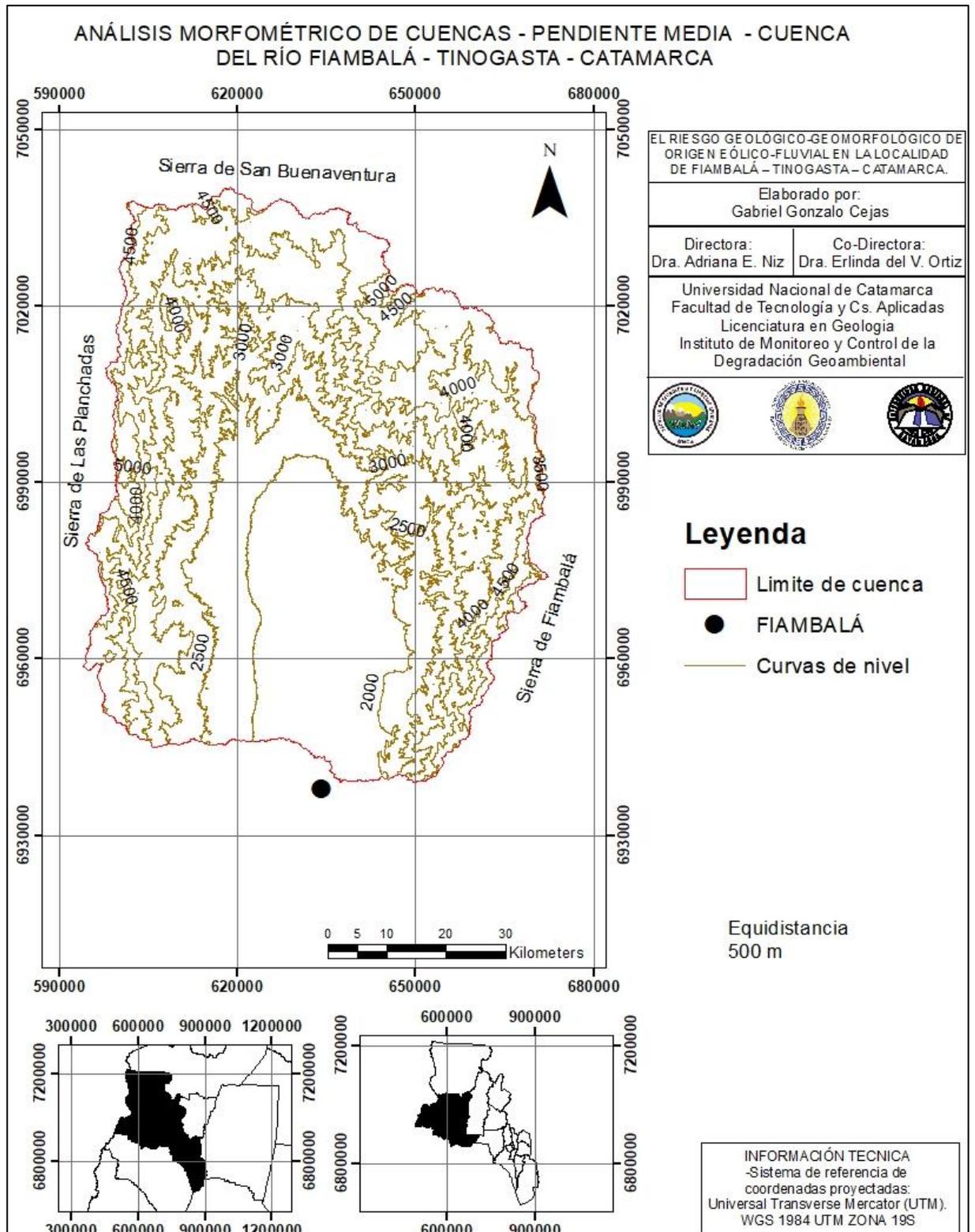
**ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS**

**Q) PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO CHASCHUIL - CHASCHUIL –TINOGASTA – CATAMARCA.**



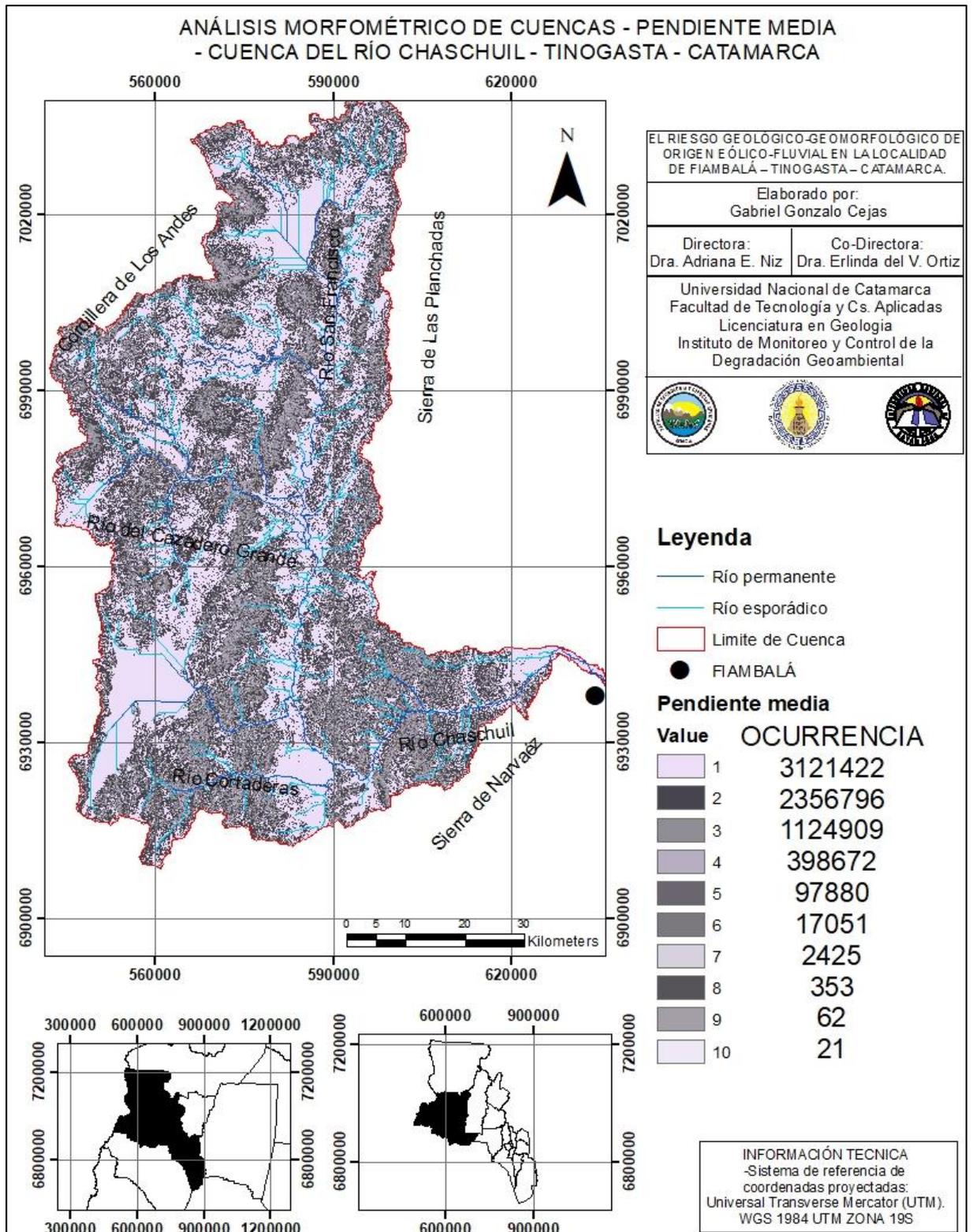
**ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS**

**R) PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO CHASCHUIL - FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.**



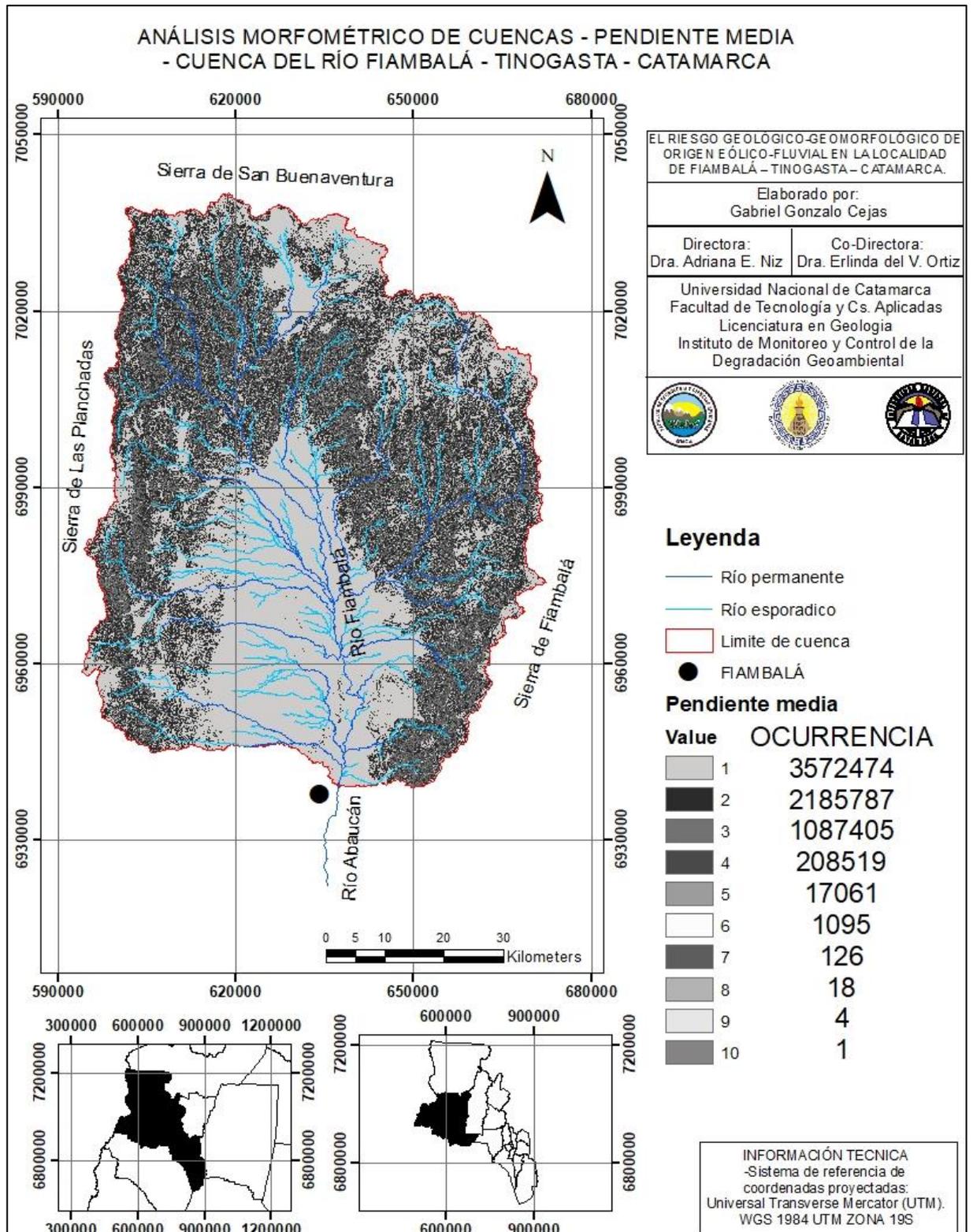
**ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS**

**S) PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO CHASCHUIL - CHASCHUIL –TINOGASTA – CATAMARCA.**



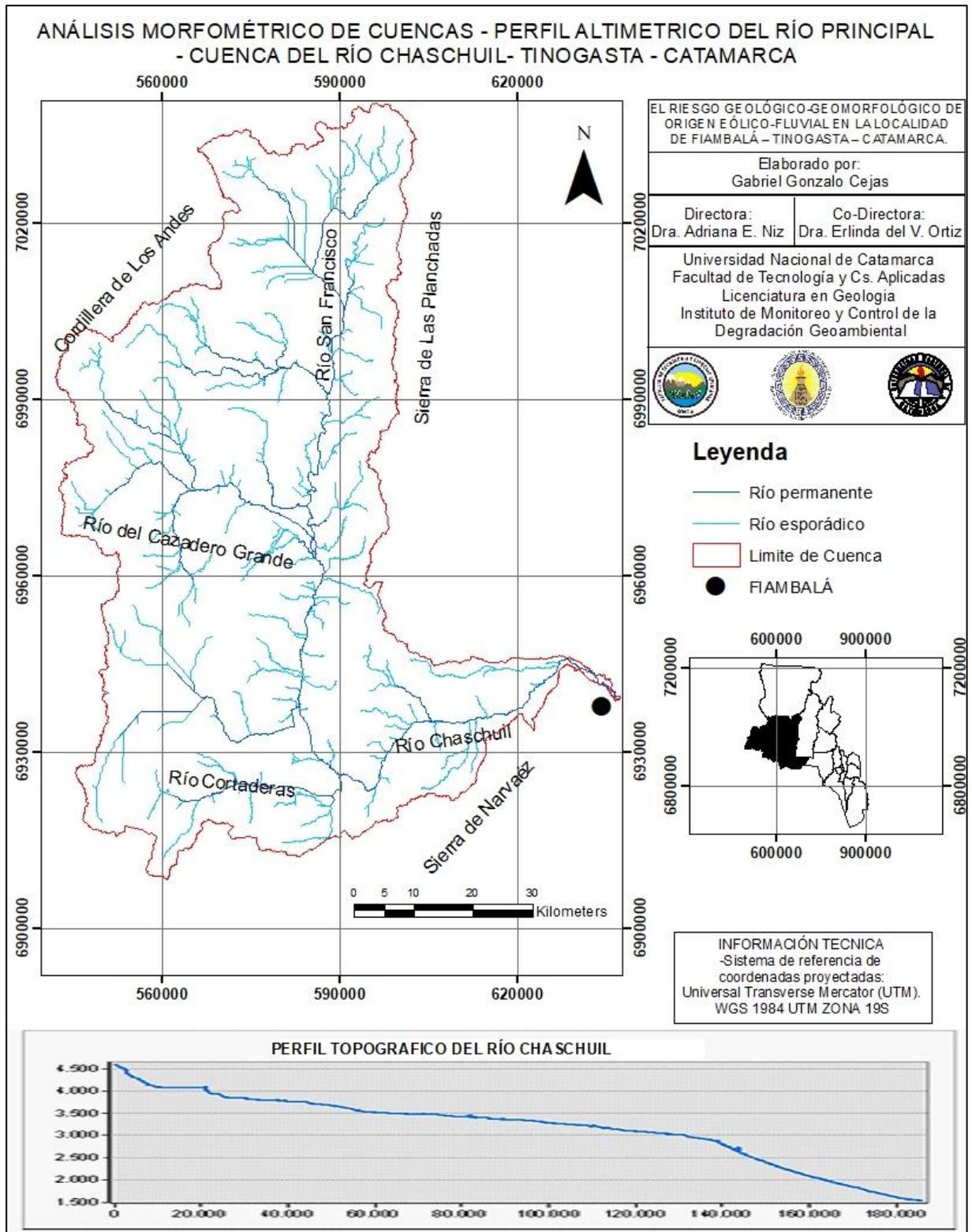
**ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS**

**T) PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA DEL RIO CHASCHUIL - FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.**



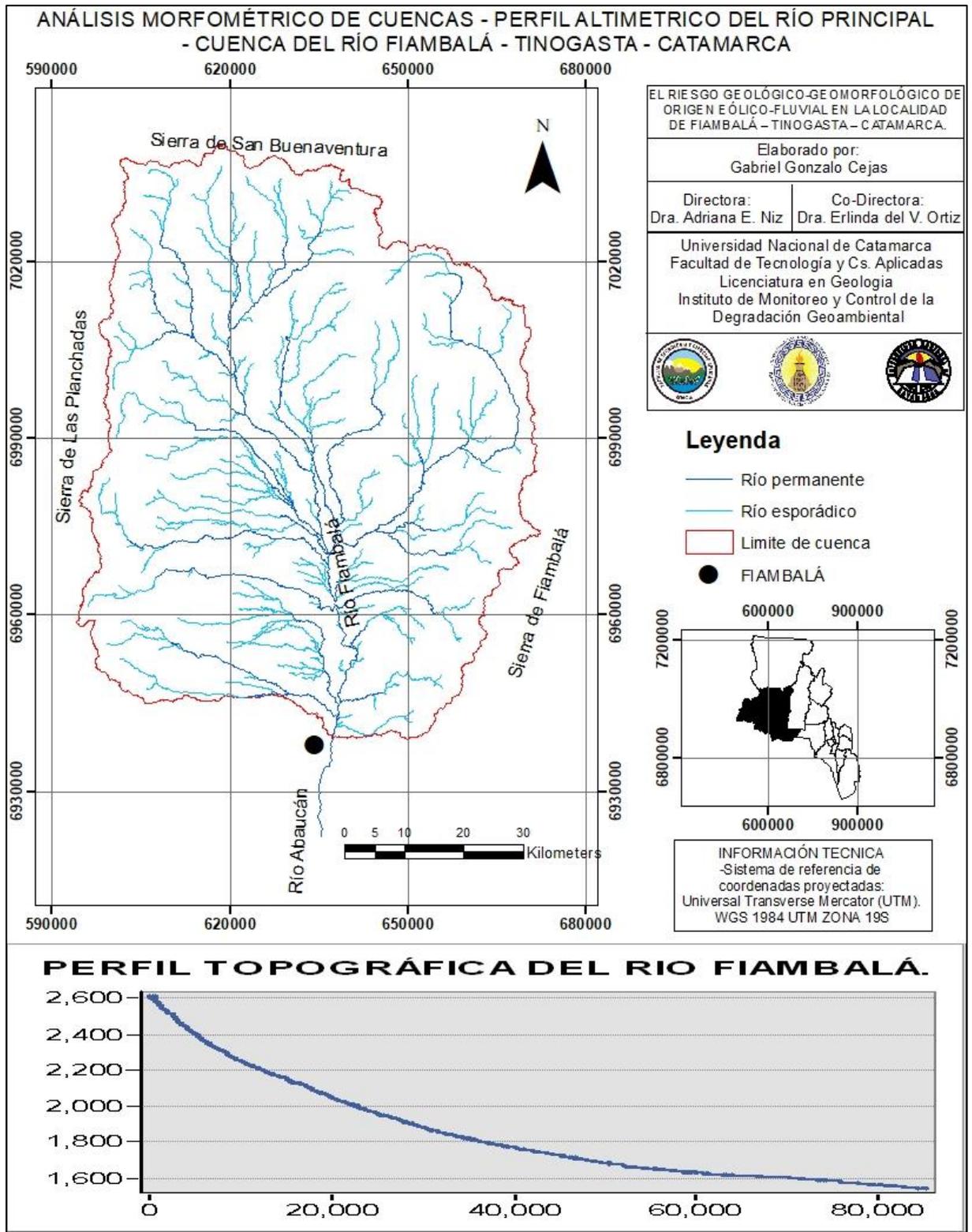
## ANÁLISIS MORFOMETRICO DE CUENCAS

### U) PERFIL ALTIMÉTRICO DEL RÍO PRINCIPAL DE LA CUENCA DEL RIO CHASCHUIL - FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.



**ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE CUENCAS**

**V) PERFIL ALTIMÉTRICO DEL RÍO PRINCIPAL DE LA CUENCA DEL RIO FIAMBALÁ - FIAMBALÁ – TINOGASTA – CATAMARCA.**



LINK CONSULTADOS

W) CATAMARCA: LOCALIDADES INCOMUNICADAS EN FIAMBALÁ POR LAS CRECIDAS – DIARIO LA VOZ

24/5/2018 Catamarca: localidades incomunicadas en Fiambalá por las crecidas | Noticias al instante desde LAVOZ.com.ar | La Voz

SUSCRIBITE



## Catamarca: localidades incomunicadas en Fiambalá por las crecidas

21 de febrero de 2012, 08:01 • Sucesos > Crecida

RÍO ABARCÁN. Foto del sitio [www.elabaucandigital.com](http://www.elabaucandigital.com).

Por Redacción La Voz y agencia DyN

f 19 t e c b

**Se declaró el "estado de emergencia" por el desborde del río Abarcán. Se busca evacuar la localidad de Tatón.**

Varios pobladores de Fiambalá, en Catamarca, continúan hoy aislados, otros perdieron sus cosechas de vid y algunos debieron ser evacuados a raíz de la crecida de ríos generada hace cinco días por lluvias fuertes, tras lo cual la comuna declaró el estado de emergencia.

El intendente Amado Quintar declaró ayer el "estado de emergencia" y dispuso un operativo para asistir a las personas que quedaron aisladas, dado que muchos fueron hospedados en albergues.

Asimismo, el gobierno de Catamarca pidió colaboración a Gendarmería Nacional y a La Rioja para que envíen helicópteros que permitan facilitar las tareas de ayuda a la localidad afectada por la crecida del río Abarcán.

<http://www.lavoz.com.ar/noticias/sucesos/catamarca-localidades-incomunicadas-fiambala-crecidas> 1/5

Fuente: <http://www.lavoz.com.ar/noticias/sucesos/catamarca-localidades-incomunicadas-fiambala-crecidas>.

## LINK CONSULTADOS

### W) CATAMARCA: LOCALIDADES INCOMUNICADAS EN FIAMBALÁ POR LAS CRECIDAS – DIARIO LA VOZ

24/5/2018 Catamarca: localidades incomunicadas en Fiambalá por las crecidas | Noticias al instante desde LAVOZ.com.ar | La Voz

[El Abarcán en Fiambalá, el gran río de la zona.](#)

"Desde el municipio se está trabajando para poder realizar una pasada en el río Abarcán a la altura de Medanitos y de esa manera poder acceder hasta Tatón", señala el medio.

"De igual manera desde el gobierno se está tramitando la llegada de un helicóptero proveniente de la ciudad de la Rioja para poder llegar hasta Tatón", agrega.

**Cauces desbordados.** Desde el jueves, la ciudad de Fiambalá quedó dividida por los desbordes del cauce generado por las lluvias fuertes de las últimas semanas.

En ese marco, varios turistas oriundos de Córdoba, Buenos Aires y Tucumán debieron ser rescatados por bomberos y policías cuando sus vehículos quedaron anegados por el agua barrosa de los ríos y arroyos de la región.

Las fuentes de la Dirección de Turismo dijeron que incluso hoy "no se puede llegar al complejo termal" de la zona, que es uno de los mayores atractivos de Fiambalá.

Los voceros estimaron que los operativos de asistencia se extenderán "al menos hasta el viernes" porque es "enorme el caudal" y la corriente del río.

**Al norte.** Las zonas más afectadas fueron localidades del norte de Fiambalá, que desde hace cinco días quedaron incomunicadas. Las lluvias provocaron, además, daños en gran parte de los viñedos, por lo que los productores señalaron que "perdieron toda la producción de vid".

El intendente Quintar dispuso que personal municipal, bomberos y de Defensa Civil trabajen en la evacuación de las poblaciones de Las Papas y Río Grande.

El jefe comunal señaló que eran nueve las localidades más afectadas por el fenómeno meteorológico y las inundaciones.

Quintar se comunicó ayer mañana con la gobernadora Lucía Corpacci para coordinar acciones de ayuda para la población y gestionar asistencia por vía aérea.

Organizaciones civiles de Catamarca convocaron, por su parte, a una colecta de ropa y alimentos para los evacuados, mientras la ciudad de Tinogasta envió una ambulancia con equipos médicos y personal para sumarse a las tareas de asistencia social.

 19

<http://www.lavoz.com.ar/noticias/sucesos/catamarca-localidades-incomunicadas-fiambala-crecidas> 2/5

**Fuente:** <http://www.lavoz.com.ar/noticias/sucesos/catamarca-localidades-incomunicadas-fiambala-crecidas>.

## LINK CONSULTADOS

### X) PREOCUPACIÓN DE VECINO POR EL AVANCE DE LA CRECIENTE – DIARIO EL ANCASTI.

24/5/2018 Preocupación de vecinos por el avance de la crecien... - El Ancasti - Diario de Catamarca

22º mas info (/clima/catamarca.html)

(/)

EN ANDALGALÁ

## Preocupación de vecinos por el avance de la crecien... - El Ancasti - Diario de Catamarca

Aseguran que la empresa que construye el puente no hizo las defensas como corresponden.

(whatsapp://send?text=Preocupaci%C3%B3n+de+vecinos+por+el+avance+de+la+crecien...  
https://www.elancasti.com.ar/info-gral/2015/1/21/preocupacion-vecinos-avance-crecien...-248122.html)



(/u/fotografias/fotosnoticias/2015/1/21/26160.jpg)

INFO-GRAL () miércoles, 21 de enero de 2015 - 08:43

Vecinos del barrio Abaucán (las 30 viviendas) de Barranco, Fiambalá, hacen conocer la preocupación después de la primer crecida del año, sucedida en la madrugada de ayer, por la nueva dirección que está tomando el lecho del Río Abaucán, avanzando de manera preocupante hacia este barrio.

Comentaron los vecinos que la ultima crecien... registrada hace un poco más de un año, comenzó a cavar hacia cercanías del barrio, llevándose más de 50 mts de barranca en un lapso de menos de una semana.

Esta vez siendo la primer crecien... del año 2015, quedó evidenciada el avance hacia el sector donde existen 30 casas habitadas, lo que provoca que los vecinos revivan la preocupación. Según ellos, la empresa Mogetta quien tiene a su cargo la construcción del puente, realizó una defensa para la obra, desviando de esa forma el río y alterando el cauce natural, sin prever la defensa hacia el sector del barrio en mención, el cual se encuentra en riesgo latente.

https://www.elancasti.com.ar/info-gral/2015/1/21/preocupacion-vecinos-avance-crecien...-248122.html 1/3

Fuente: <https://www.elancasti.com.ar/info-gral/2015/1/21/preocupacion-vecinos-avance-crecien...-248122.html>

## LINK CONSULTADOS

### Y) PUEBLOS INCOMUNICADOS EN FIAMBALÁ POR LA CRECIDA DE LOS RÍOS – DIARIO EL ANCASTI

24/5/2018 Pueblos incomunicados en Fiambalá por la crecida de los ríos - El Ancasti - Diario de Catamarca 22° mas info (/clima/catamarca.html)

(/)

EN EL NORTE LA SITUACIÓN ES CRÍTICA POR LAS LLUVIAS

## Pueblos incomunicados en Fiambalá por la crecida de los ríos

La intendenta Roxana Paulón y su gabinete conformaron un Comité de Urgencia para la asistencia.

(whatsapp://send?text=Pueblos+incomunicados+en+Fiambal%C3%A1+por+la+crecida+de+los+r%C3%ADos

<https://www.elancasti.com.ar/informacion-gral/2018/2/7/pueblos-incomunicados-fiambala-crecida-ros-361162.html>



(/u/fotografias/fotosnoticias/2018/2/6/127541.jpg)

---

**INFO-GRAL ()** miércoles, 07 de febrero de 2018 · 04:22

Varias poblaciones del norte de la localidad tinogasteña de Fiambalá se encuentran en grave situación después de las intensas lluvias que se registraron durante los últimos días en esta zona de la provincia.

Las precipitaciones causaron las crecidas de ríos, dejando incomunicados numerosos lugares, entre los que se pueden mencionar Tatón, Punta de Agua, Chuquisaca, La Mesada, Las Papas, entre otras.

Estas crecientes afectaron además de los caminos, algunas viviendas que están en serios riesgos de derrumbe por su ubicación cercana al cauce de los ríos.

<https://www.elancasti.com.ar/informacion-gral/2018/2/7/pueblos-incomunicados-fiambala-crecida-ros-361162.html> 1/4

Fuente: <https://www.lacapital.com.ar/informacion-gral/catamarca-poblados-fiambalaacute-el-agua-y-aislados-temporal-n274707.html>

## LINK CONSULTADOS

### Y) PUEBLOS INCOMUNICADOS EN FIAMBALÁ POR LA CRECIDA DE LOS RÍOS – DIARIO EL ANCASTI

24/5/2018

Pueblos incomunicados en Fiambalá por la crecida de los ríos - El Ancasti - Diario de Catamarca

Desde el municipio de Fiambalá se conformó un Comité de Emergencias, integrado por la intendenta, Roxana Paulón, y todos los funcionarios de las diferentes áreas del municipio. Por decisión de la jefa comunal, todos están afectados al trabajo de asistencia a los damnificados, a los que les entregaron agua mineral, alimentos, frazadas, colchones y medicamentos, como así también material para reforzar la mayoría de las viviendas.

#### Ayuda

Uno de los principales problemas de estas zonas afectadas es la falta de agua potable y de energía eléctrica, por lo que una empresa privada del departamento se puso a disposición del municipio para colaborar en todo lo que sea necesario y de mayor urgencia. Por otro lado, los integrantes de la Casa de la Juventud organizaron una campaña solidaria en la que solicitan agua mineral, alimentos no perecederos, pañales, entre otros elementos que sean de utilidad para los damnificados.

Esta cruzada solidaria se realizará en Plaza Fray Mamerto Esquiú de la ciudad de Fiambalá, de 9 a 13 y de 19 a 21 en esta semana.

Por su parte, desde el Gobierno de la Provincia llegaron diferentes autoridades para evaluar y asistir a los pueblos que se encuentran en esta crítica situación.

En Tatón, las autoridades manifestaron a un medio de Fiambalá que "nos reunimos con el pueblo para que ellos también opinen y se decida a dónde hacer las defensas con las máquinas. Mañana (por hoy) a primera hora se comenzará a trabajar en las defensas", anunciaron.

#### Rutas

Además algunas de las rutas del norte tinogasteño se encuentran intransitables por las constantes crecidas y volumen del agua que impide realizar cualquier trabajo.

Defensa Civil Municipal, Bomberos Voluntarios, Obras Públicas, Desarrollo Social, entre otras áreas y organismos estatales, están abocados en el trabajo de asistencias las 24 horas.

#### Lluvias

Cabe recordar que el Oeste provincial fue duramente castigado por las lluvias de los últimos días, causando numerosas complicaciones en rutas y en viviendas.

Los departamentos Tinogasta y Andalgalá fueron los más comprometidos por los daños provocados por las copiosas lluvias, al punto de necesitar la asistencia de sus respectivos municipios y, en algunos casos, de Defensa Civil y personal de Bomberos.

Tal fue el caso de la ciudad de Tinogasta, en donde algunas familias tuvieron que ser asistidas con el aporte de materiales para la construcción, mantas, agua potable y colchones.

Según se informó, los principales daños fueron en viviendas construidas con adobe, techos de caña, plásticos y chapas de metal.

Banda de Lucero, localidad del municipio de Tinogasta, también necesitó de ayuda, ya que familias de este lugar fueron afectadas por el temporal.

#### Noticias más leídas



##### Atacaron a un niño de 12 años en el baño de una escuela

<https://policiales/2018/5/24/atacaron-un-nino-de-12-anos-en-el-bano-de-una-escuela-372023.html>

(/policiales/2018/5/24/atacaron-un-nino-de-12-anos-en-el-bano-de-una-escuela-372023.html)



##### La Nación puso límites al alcance de los títulos universitarios

<https://info-gral/2018/5/24/la-nacion-puso-limites-al-alcance-de-los-titulos-universitarios-371986.html>

(/info-gral/2018/5/24/la-nacion-puso-limites-al-alcance-de-los-titulos-universitarios-371986.html)

<https://www.elancasti.com.ar/info-gral/2018/2/7/pueblos-incomunicados-fiambal-crecida-ros-361162.html>

2/4

Fuente: <https://www.lacapital.com.ar/informacion-gral/catamarca-poblados-fiambalaacute-el-agua-y-aislados-temporal-n274707.html>