UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA RIOJA
Dpto. de Ciencias y Tecnologías Aplicadas a la Producción, Ambiente y Urbanismo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas

**TESIS DOCTORAL**

# *"GEOMORFOLOGÍA APLICADA A LAS AMENAZAS DE INUNDACIÓN/ANEGAMIENTO EN LA CUENCA DEL ARROYO LA CAÑADA, PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA"*

Doctorando: Rubén Mario del Valle Menso

Director: Dr. Jorge Sanabria

Co-Director: Dra. Adriana Niz

**2021**

Geomorfología aplicada a las amenazas de inundación - anegamiento en la cuenca del Arroyo La Cañada, Provincia de Córdoba. Argentina

**Rubén Mario del Valle Menso**

Menso, Rubén Mario del Valle Geomorfología aplicada a las amenazas de inundación-anegamiento
en la cuenca del Arroyo La Cañada, Provincia de Córdoba, Argentina / Rubén Mario del Valle Menso. - 1a ed. - Catamarca : Editorial Científica Universitaria de la Universidad Nacional de Catamarca, 2021.
Libro digital, HTML

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-661-385-9

1. Geomorfología. I. Título.
CDD 551.41

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723.
E.C.U. 2021
Avda. Belgrano 300 - Pab. Variante I - Planta Alta - Predio Universitario - San Fernando del Valle de Catamarca - 4700 - Catamarca - República Argentina

Prohibida la reproducción, por cualquier medio mecánico y/o electrónico, total o parcial de este material, sin autorización del autor.
Todos los derechos de autoría quedan reservados por el autor.

Nombre y Apellido: Rubén Mario del Valle Menso

Título del trabajo: ***"Geomorfología aplicada a las amenazas de inundación/anegamiento de la Cuenca del Arroyo La Cañada, provincia de Córdoba (R.A.)"***

Tesis de Doctorado

V) La reproducción total o parcial de este libro en forma idéntica o modificada, escrita a máquina o por el sistema "multigraph", mimeógrafo, impreso, etc., no autorizada por los editores, viola derechos reservados.

Cualquier utilización debe ser previamente solicitada.

© 2019 by Centro Editor Universidad Nacional de Catamarca.
Hecho el depósito que marca la ley.
I.S.B.N. N° 978-987-661-385-9

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la Provincia de Córdoba (R.A.), en el ámbito geológico-geomorfológico de la Sierra Chica en su flanco oriental, en la cual se encuentra la cuenca del Arroyo La Cañada, donde suelen ocurrir situaciones delicadas, algunas de ellas, irreversibles, que provocan inundaciones en sectores urbanos y periurbanos de la ciudad de Córdoba, perjudicando aproximadamente a 200.000 habitantes; o catástrofes como sucedió en nuestro país en razón de las inundaciones de magnitud que en los últimos años afectaron a diversas poblaciones, entre las que se destacan por las pérdidas de vidas humanas y daños materiales: Santa Fe (2003), San Carlos Minas (1992), Mina Clavero (1993), Cañada de Molina (2000), Unquillo-Mendiolaza (2015) y Parque Santa Ana (2017) en las Sierras de Córdoba, y actualmente poblaciones e importantes obras viales en la Región NOA, como es el caso de la Ciudad de Tartagal.

La existencia de este tipo de riesgo hidrogeomorfológico se produce principalmente durante el verano térmico (setiembre-marzo) en donde las precipitaciones pluviales son de gran intensidad (tormentas convectivas), producto de la corriente del Niño.

La incorrecta intervención que se ha realizado del medio natural, se debe, al desconocimiento de sus características hidrogeomorfológicas y fundamentó la realización de la investigación, que está orientada a determinar y jerarquizar, los procesos hídricos de superficie, en particular aquellos que signifiquen una amenaza concreta para bienes y personas en los barrios periféricos y centro de la Ciudad.

En todos los casos, en mayor o menor medida la magnitud, dinámica y alcance de los procesos, tomaron totalmente desprevenidos tanto a los organismos encargados de la defensa civil, gobernantes, como a la población en general. No obstante, de que las características geológicas y geomorfológicas evidentes en el análisis de percepción remota, indican claramente la ocurrencia de eventos similares en un pasado geológico reciente, hecho además plenamente corroborado por datos históricos en algunos casos.

La investigación temática ha sido obtenida a partir del empleo de las técnicas de teledetección y fotointerpretación y software específicos, que fueron transferidas a una carta temática integral indicativa de las características geomorfológicas y de los procesos hidrodinámicos generadores de riesgo, según su localización, mecanismos, extensión e intensidad, centrados en reconocimiento, definición, jerarquización y delimitación de las amenazas en las áreas afectadas.

Con los resultados obtenidos se diseñó la Carta de Amenaza de Inundación y Anegamientos, encaminada a orientar, el conocimiento de la ubicación y el grado de amenaza a que están expuestos los distintos sectores. Como así también la contribución para la toma de decisiones en cuanto a prevención (obras de mitigación), control de eventos catastróficos y las factibilidades medio ambientales del uso territorial.

El material cartográfico logrado, conclusiones y recomendaciones, suple la información faltante en ese sentido y constituye la base para posteriores valoraciones de carácter geocientífico en lo referente a la planificación, prevención y gestión del territorio.

ABSTRACT

The present study was conducted in the Province of Córdoba, Argentina in the goelogical-geomorphological field of the Sierra Chica on its Eastern rim, where the Arrollo La Cañada basin is located. In this studied area, some serious, and sometimes irreversible, incidents often occur, causing flooding in urban and peri-urban areas affecting 200.000 inhabitants or leading to catastrophe as happened in our country due to floods of great magnitude, which in recent years have affected several populations.

Among these events, the following ones stand out for the death toll and damage caused: Santa Fe (2003), San Carlos Minas (1992), Mina Clavero (1993), Cañada de Molina (2000), Unquillo-Mendiolaza (2015) and Parque Santa Ana (2017) in Sierras Chicas and currently populations and important roadworks in the Northwest Region of Argentina, as is the case of Tartagal city.

The existence of this type of hydrogeomorphological risk is increased during the thermal summer (September – March) where rainfall is of great intensity (convective storms) as a result of El Niño.

The incorrect intervention against the environment is due to the ignorance of the hydrogeomorphological characteristics. This laid the foundations of this research, which is aimed at identifying and prioritizing the surface water processes, particularly those that pose a threat to goods and people in the suburbs and center of the city.

In all cases, to a greater or lesser extent the magnitude, dynamics and scope of the processes, took both, the organizations in charge of the civil defense and leaders, as well as the whole population unawares. Nevertheless, the geological and geomorphological characteristics evident in the remote sensing analysis clearly indicate the occurrence of similar events in a geological past. This is also fully confirmed by historical data in some cases.

The thematic research has been obtained from the use of remote sensing and photointerpretation techniques and specific software. The data obtained was transferred to a comprehensive thematic charter indicating the geomorphological and geological characteristics of the hydrodynamic processes generating risk, according to their location, mechanisms, extension and intensity; focused on recognition, definition, hierarchy and delimitation of threats in affected areas.

With the results obtained, the Flood Threat and Waterlogging Charter was designed to orient the knowledge of location and degree of threat to which various areas are exposed. As well as, contributing to decision making when it comes to prevention (mitigation activities), catastrophic events control and environmental feasibility of territorial use.

The cartographic material collected, conclusions and recommendations make up for the lack of information and constitute the basis for further geoscientific assessments in terms of land planning, prevention and management.

RIASSUNTO

Il presente lavoro si è svolto nella provincia di Córdoba, Repubblica Argentina, e riguarda l'ambito geologico-geomorfologico del fianco orientale della catena montuosa Sierra Chica, sul quale si trova il bacino del ruscello "Arroyo La Cañada".

In quest'area tendono spesso ad accadere situazioni di rischio ambientale, alcune di esse irreversibili, quali le alluvioni nelle aree urbane e in quelle periurbane della città di Córdoba, che mettono a repentaglio circa 200.000 abitanti, oppure catastrofi come quelle avvenute in altre zone dell'Argentina a causa delle copiose inondazioni che hanno causato a diverse popolazioni danni e perdite di vite umane, come quelle avvenute nelle città di Santa Fe (2003), San Carlos Minas (1992), Mina Clavero (1993), Cañada de Molina (2000), Unquillo-Mendiolaza (2015) e Parque Santa Ana (2017) nella regione montuosa Sierras de Córdoba. Altre calamità hanno persino danneggiato intere popolazioni e importanti opere stradali nel Nordovest argentino, di cui ne è un esempio la città di Tartagal.

Principalmente durante il periodo estivo (da settembre a marzo) aumenta il rischio idrogeomorfologico visto che le precipitazioni piovose sono notevolmente più abbondanti (piogge convettive) a causa della corrente marina "El Niño".
L'impatto negativo dell'uomo sull'ambiente è dovuto alla mancata conoscenza delle caratteristiche idrogeomorfologiche. Tale circostanza ha motivato la nostra ricerca, la quale è rivolta a determinare e a gerarchizzare i processi idrologici a livello di superficie, in particolar modo quei fenomeni che possano rappresentare una vera minaccia sui beni materiali e sulle persone che si trovano sia nei quartieri periferici sia nel centro della città.
In ogni modo, indipendentemente dal grado di intensità, l'ampiezza, la dinamica e la portata dei processi hanno preso alla sprovvista tanto gli organismi incaricati della difesa civile, quanto i governanti e l'intera popolazione; anche se le caratteristiche geologiche e geomorfologiche evidenziate nelle analisi di percezione remota indicano palesemente la presenza di fenomeni simili in un passato geologico recente. Questo fatto è stato inoltre corroborato in alcuni casi da dati storici.
La ricerca tematica è stata avviata tramite l'uso di tecniche di teledetezione e di fotointerpretazione e l'impiego di software specifici. I dati da essa ricavati sono stati

successivamente inseriti in una carta tematica integrale indicante le caratteristiche geomorgologiche e i processi idrodinamici generatori di eventi di rischio a seconda della loro posizione, dei meccanismi, dell'estensione e dell'intensità, destinati al riconoscimento, definizione, gerarchizzazione e delimitazione dei rischi nelle zone coinvolte.

Con i risultati ottenuti è stata creata la "Carta de Amenaza de Inundación y Anegamientos" (Mappa dei Rischi di Alluvioni e Allagamenti), per consentire di individuare la posizione dei fenomeni e il grado di rischio a cui sono sottoposte le diverse zone, nonché per contribuire alla presa di decisioni riguardanti la prevenzione (misure di mitigazione), il controllo di fenomeni catastrofici e la fattibilità ambientale inerente all'utilizzo del territorio.
Il materiale cartografico ottenuto, conclusioni e raccomandazioni, colma le lacune mancanti in merito e costituisce una base per ulteriori indagini sul piano geoscientifico riguardanti la pianificazione, prevenzione e gestione del territorio.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO UNO: INTRODUCCION ..... 1
1.1 Introducción ..... 2
1.2 Marco Teórico ..... 3
1.2.1 La cuenca hidrográfica como unidad de investigación ..... 6
1.2.2 Geomorfología fluvial ..... 8
1.2.3 Cartografía hidrogeomorfológica y de amenaza ..... 10
1.2.4 La amenaza de crecidas y sus consecuencias ..... 12
1.2.5. La conceptualización del término crecidas aplicado a inundaciones y anegamientos ..... 13
1.3. Hipótesis de trabajo ..... 16
1.4. Objetivos ..... 17
1.4.1 Objetivo general ..... 17
1.4.2 Objetivos específicos: ..... 17
1.5. Antecedentes ..... 18
CAPITULO DOS: Características Generales ..... 31
2.1. Ubicación ..... 32
2.2 Contexto Geológico ..... 34
2.2.1 La provincia geológica Sierras Pampeanas ..... 34
2.2.2 La Llanura Chacopampeana ..... 35
2.3. Geología. ..... 37
2.4. Estratigrafía ..... 38
2.5. Estructuras ..... 15
2.6. Geomorfología ..... 19
2.7. Hidrografía ..... 23
2.8. Síntesis Regional del Sistema Hidrográfico del Rio Suquía y sus subcuencas entre el Dique San Roque y la Ciudad de Córdoba ..... 24
2.9. Clima ..... 27
2.9.1. Régimen térmico ..... 28
2.9.2. Régimen de precipitaciones ..... 31
2.9.3. Evapotranspiración ..... 34
2.9.4 Caracterización Climática ..... 36
2.10. SUELOS ..... 36

2.10.1. Los Suelos de la Cuenca ..... 40
2.11 Vegetación ..... 43
2.11.1 Desmonte de Bosque Nativo en la Provincia de Córdoba. ..... 44
2.12. Uso del territorio ..... 50
CAPITULO TRES: Materiales y métodos ..... 54
3.1. Materiales ..... 55
3.2. Métodos ..... 57
3.2.1 Gabinete ..... 58
3.2.2. Control de campo ..... 59
CAPITULO CUATRO: Resultados ..... 60
4.1. Geomorfología de la cuenca arroyo La Cañada ..... 61
4.2 Cuenca Arroyo La Cañada ..... 82
4.3. Morfometría de la cuenca ..... 87
4.3.1. Parámetros asociados a la forma ..... 88
3.1.2 Parámetros asociados al relieve (Figuras 74, 75 y 76) ..... 97
4.4. Simulación critica de Amenaza de desborde del Arroyo La Cañada (Figura 78). .. 99
4.5. Régimen de precipitaciones ..... 100
4.6. Evolución del uso del territorio: ..... 102
4.7. Peligro de Incendio (Figuras 84) ..... 106
4.9. Resultados a nivel amenazas de inundación y anegamientos en la cuenca del Arroyo de la cañada (anexo 2) ..... 112
CAPITULO CINCO : Conclusiones y Recomendaciones ..... 118
Conclusiones ..... 119
Recomendaciones ..... 120
CAPITULO 6: Bibliografía ..... 123
6.1. Bibliografía ..... 124
ANEXOS

ANEXO 1 PLANO GEOLOGICO ..... **¡Error! Marcador no definido.**
ANEXO 2 PLANO DE PELIGROSIDAD DE INUNDACION Y ANEGAMIENTO 132

INDICES DE FIGURAS

Figura 1: Fotografía “Se construye el calicanto (1890) calle Belgrano esquina Bv. San Juan”. Fuente diario la Voz del Interior ..... 19
Figura 2: Plano con interpretación hidrogeomorfológica (monoscopica), más datos históricos de la inundación del año 1890 sobre fotomosaico del año 1929. ..... 20
Figura 3: Fotografía de la época arroyo La Cañada en Calle Belgrano y Bv. San Juan (1939). Fuente diario la Voz del Interior ..... 21
Figura 4: Fotografía del Diario de la época (1939), Fuente diario la Voz del Interior... 21
Figura 5: Plano con interpretación hidrogeomorfológica (monoscopica), más datos históricos de la inundación del año 1939 sobre fotomosaico del año 1929. ..... 22
Figura 6: Fotografía de La Cañada entre Av. Colon y calle Santa Rosa (1944). Fuente diario la Voz del Interior ..... 23
Figura 7: Fotografía de La Cañada entre Av. Colon y calle Santa Rosa (1946). Fuente diario la Voz del Interior ..... 23
Figura 8: Fotografía de La Cañada entre Av. Colon y calle Santa Rosa (2019). Fuente diario la Voz del Interior ..... 24
Figura 9: Fotografía del arroyo Saldan a su paso por la localidad de Mendiolaza (2015). Fuente diario la Voz del Interior..... 25
Figura 10: Fotografía del arroyo Saldan a su paso por la localidad de Unquillo (2015). Fuente diario la Voz del Interior..... 25
Figura 11: Fotografía de las noticias del día (1966). Fuente diario la Voz del Interior . 26
Figura 12: Fotografía de las noticias del día (1939) Calle Belgrano entre las calles San Luis y Montevideo. Fuente diario la Voz del Interior ..... 27
Figura 13: Fotografía de las noticias del día (1939) Avenida Colon entre calles Jujuy y José de Antonio Sucre. Fuente diario la Voz del Interior..... 28
Figura 14: Fotografía de las noticias del día (1939). Derrumbe de una Casa en la margen derecha del arroyo La Cañada entre las calles Francisco N. de Laprida y San Luis. Fuente diario la Voz del Interior..... 28
Figura 15: Imagen (Google Earth (c)) sobre la cual se muestran la distribución espacial de episodios de inundación históricos desde el año 1890 hasta el año 2017..... 30
Figura 16: Mapa político detallando la ubicación de la cuenca asociada al arroyo La Cañada. ..... 33
Figura 17 Provincias Geológicas de la República Argentina. (Tomado de Varela, 2014) ..... 36
Figura 18 Mapa Geológica de las Sierras Pampeanas de Córdoba Martino (2014)..... 37

Figura 19: Ubicación de la cobertura sedimentaria en el ámbito de las sierras de Córdoba (tomado de Astini, 2014). ..... 41
Figura 20 Distribución y localización de los principales depocentros asociados con rifting durante el Cretácico Inferior en el extremo sur de Sudamérica enfatizando el desarrollo de la franja central de la República Argentina que pasa por Córdoba, constituyendo el sistema de cuencas de General Levalle-Sierras Chicas-Las Salinas. Iniciales mayúsculas indican los límites entre terrenos proterozoicos y paleozoicos (RP: Río de la Plata, PEL: Pelotas, PE: Pampeano oriental, PW: Pampeano occidental, PC: Precordillera, CH: Chilenia, PAT: Patagonia. SJ: San Juan, SL: San Luis, C: Córdoba (tomado de Astini y Oviedo, 2014). ..... 43
Figura 21 Columna sintética de la Formación Saldán (Piovano, 1996). Nótese la unidad gravosa superior ("secuencia cuspidal" de Piovano 1996) que actualmente, se interpreta como una unidad Independiente (paleógena), separada por discordancia..... 3
Figura 22 Columna estratigráfica esquemática (no a escala) de la posición de la Formación Villa Belgrano en el flanco oriental de la Sierra Chica (tomado de Astini et al., 2014). ..... 5
Figura 23 Funciones de log y profundidad de las edades de OSL, Md. TiO2/ Na2O y % CaCO3 del perfil en Lozada, Kemps, et al, (2006) ..... 12
Figura 24: Foto en Lozada, perfil en margen de un canal excavado en los sedimentos del cuaternario de 9 metros de espesor. Kemps, et al, (2006) ..... 12
Figura 25 Descripción perfil paraje Mula Muerta, Sanabria, et al, (2017)..... 14
Figura 26 Foto perfil de cárcava en paraje Mula Muerta; 1. Reciente; 2. Fm. Cordobense; 3. Fm. Mula Muerta; 4. Fm. Pampiano. Sanabria, et al, (2017)..... 14
Figura 27: Foto de perfil de Corralito I, Frechen et al, (2009) ..... 15
Figura 28 a) Mapa geológico de la Sierra Chica de Córdoba entre los 31º y 32º de latitud sur mostrando las estructuras descriptas anteriormente y el área de estudio (recuadro azul). b) Cuadro estratigráfico general de la Sierra Chicas (tomado de Martino et al., 2 ..... 18
Figura 29a: Mapa geomorfológico de la Provincia de Córdoba, (Jarsun et al. 2006) .... 21
Figura 30 Mapa con los principales sistemas y regiones hidrológicas de la Provincia de Córdoba, tomado de Dasso et al., (2014). ..... 23
Figura 31 Mapa Imagen Satelital con las subcuencas que drenan hacia el Rio Suquía . 27
Figura 32 Mapas de temperaturas medias en la Provincia de Córdoba. a) Temperaturas medias de enero (°C; 1961-1990); b) temperaturas medias de julio (°C; 1961-1990); (Gorgas y Tassile, 2006)..... 29
Figura 33 Mapa de amplitud térmica anual de la provincia de Córdoba..... 29
Figura 34: Grafico de temperaturas medias mensuales (ºC) correspondientes a la serie Córdoba Aeropuerto 1981-2019..... 31
Figura 35 Mapas de evapotranspiración en la Provincia de Córdoba. a) Evapotranspiración Potencial Anual (mm; 1961-1990); b) Evapotranspiración Real Anual (mm; 1961-1990). (Gorgas y Tassile, 2006). ..... 35
Figura 36: Plano de deficiencia hídrica anual en la provincia de Córdoba (mm; 1961-1990)..... 35
Figura 37 Mapa de órdenes de suelos en la Provincia de Córdoba con indicación del área de estudio (Gorgas y Tassile 2006)..... 38
Figura 38 Plano de unidades cartográficas de suelos, definidas en el ámbito del área de estudio..... 40

Figura 39 Planos de variación de la Vegetación en la Prov de Córdoba. Cabido et al., 2004. ..... 46
Figura 40 Gráfico de evolución de la superficie sembrada con soja 1971-2002, Cabido et al., 2004. ..... 47
Figura 41 Fotografía de vegetación autóctona: Acacia y Molle..... 48
Figura 42 Fotografías de Molle y Espinillo..... 49
Figura 43 Fotografías de Fagara coco y Aromo. ..... 50
Figura 44 Síntesis de la metodología aplicada para el desarrollo de esta investigación es, tomado y modificado de la Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación (2017) ..... 59
Figura 45 Asociaciones que integran la geomorfología de la cuenca arroyo La Cañada63
Figura 46 Unidades que integran la geomorfología de la cuenca arroyo La Cañada..... 63
Figura 47 Sierra de Basamento, Sierra Chica, con Valle de fondo plano en el sector deprimido..... 65
Figura 48: Sierra de Basamento, Sierra Chica, litología metamórfica intruida por filón pegmatitico. ..... 66
Figura 49: Corte de Valle de fondo plano ..... 69
Figura 50: Corte de Valle de fondo plano, cuya base es basamento metamórfico, y sobre éste, sedimentos psamíticos y psefíticos..... 69
Figura 51: Bajos Planos cóncavos a la salida de La Lagunilla..... 72
Figura 52: Vista de laguna estructural La Lagunilla desde el NO ..... 75
Figura 53: Vista de las Lomas plano convexas, de un Bajo plano cóncavo interconectado (en primer plano) y la Sierra Chica (al fondo)..... 77
Figura 54: Vista de un Bajo plano cóncavo interconectado ingresando a un canal colector. ..... 78
Figura 55 Unidades; 1. Sierras de basamento, 2. Colinas de conglomerados, 3. Laguna Estructural, 4. Valles de fondo plano, 5. Bajos Plano cóncavos, 6. Bajos planos cóncavos interconectados, 7. Lomas plano convexas..... 79
Figura 56 Imagen con las líneas de perfil..... 80
Figura 57 Perfil A-A1..... 80
Figura 58 Perfil B-B1 ..... 80
Figura 59 Perfil C-C1 ..... 81
Figura 60 Perfil D-D1..... 81
Figura 61 Perfil E-E1 (nota: la profundidad del Arrollo La Cañada esta exagerada para que resalte en el perfil) ..... 81
Figura 62 Carta hidrogeomorfológica a partir de interpretación de fotografías aéreas.. 82
Figura 63 Cuenca del Arroyo La Cañada ..... 83
Figura 64 Subcuenca La Lagunilla S..... 84
Figura 65 Foto del desborde de la laguna La Lagunilla, naciente del arroyo La Cañada, Menso, (2017)..... 84
Figura 66 subcuenca La Lagunilla N..... 85
Figura 67 Subcuenca Arroyo la Cañada ..... 86
Figura 68 Fotografía de la desembocadura del Arroyo La Cañada en el Río Suquía. Fuente diario la Voz del Interior (2015)..... 87
Figura 69 DEM con áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsometrica Fuente: ArcGis 10.2 ..... 89
Figura 70 Curva Hipsométrica de la Cuenca La Lagunilla ..... 91

Figura 71 Diagrama de Polígono de Frecuencias ..... 93
Figura 72: Grafico de frecuencia de altitudes, con curva hipsométrica. ..... 95
Figura 73 Grafico del rectángulo equivalente. ..... 96
Figura 74 Mapa con clasificación en clases para trazado de Curva Hipsométrica..... 97
Figura 75 Mapa con orientación de laderas Lagunilla-La Cañada ..... 98
Figura 76 Mapa con pendiente Lagunilla-La Cañada ..... 98
Figura 77 Mapa con sistema de drenaje Lagunilla-La Cañada ..... 99
Figura 78 Curva del flujo generada con el software HEC-HMS..... 99
Figura 79 Grafico de precipitaciones medias mensuales (mm) correspondientes a la serie 1981-2019 de la estación Córdoba Observatorio dependiente del SMN. ..... 101
Figura 80: Grafico de la precipitación máxima mensual y máxima diaria (mm) correspondientes a la serie 1981-2019 de la estación Córdoba Observatorio dependiente del SMN de Córdoba (1961-2019) ..... 102
Figura 81 Mapa del uso del territorio presente en la cuenca del Arroyo La Cañada en el año 1987. ..... 103
Figura 82 Mapa del uso del territorio presente en la cuenca del Arroyo La Cañada en el año 2019. ..... 104
Figura 83 Mapa combinado que presenta la variación de la ocupación y uso del territorio en la cuenca del Arroyo La Cañada entre 1987 y 2019..... 105
Figura 84 Fotografías del incendio forestal que afectó a parte del Dpto. Punilla y Dpto. Colón en el año 2006, Fuente diario La Voz del Interior ..... 107
Figura 85 Mapa de la que indica la cobertura anual de los incendios ..... 109
Figura 86 Vista del barrio Ameghino S, un día de lluvia. Diario La Voz del Interior . 112
Figura 87 Av. Fuerza Aérea como colectora del escurrimiento ..... 112
Figura 88 Esquema de situación combinada Inundación/anegamiento..... 115
Figura 89 Esquema de situación combinada Inundación/anegamiento..... 115
Figura 90 Plano con interpretación hidrogeomorfológica (monoscópica) situación de Catástrofe, sobre fotomosaico del año 1929..... 117

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Modelos Digitales de elevación utilizados. ..... 55
Tabla 2: Imágenes Landsat utilizadas..... 57
Tabla 3 Clasificación geomorfológica de la cuenca arroyo La Cañada ..... 62
Tabla 4 Áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica ..... 90
Tabla 5 Áreas parciales entre curvas de nivel ..... 92
Tabla 6: Cota (msnm) y áreas parciales (%)..... 93
Tabla 7: Áreas, alturas, acumulado, acumulado (%) y áreas (%)..... 94
Tabla 8: Rectángulo Equivalente..... 96
Tabla 9: Precipitaciones, máximas mensuales y diarias..... 102
Tabla 10: Tabla indicativa de la variación del uso del territorio en la cuenca del Arroyo La Cañada, expresada en Km2 entre los años 1987 y 2019. ..... 106
Tabla 11: Indicativa de las fechas de los incendios que afectaron la Sierra Chica en los últimos cinco años ..... 108
Tabla 12: Clases y/o grados de amenaza de inundación fluvial, modificado de Quintana Salvat, et al. (2002-2015) ..... 113

Tabla 13: Clases y/o grados de amenaza de inundación por anegamiento en interfluvios, de Quintana Salvat, et al. (2002-2015) ..... 114
Tabla 14: Clases y/o grados de amenaza combinada de inundación fluvial y anegamiento (Figura 88 y 89) ..... 114

CAPITULO UNO

# INTRODUCCION

# CAPITULO UNO: INTRODUCCION

## 1.1 Introducción

En cada lluvia intensa, la ciudad de Córdoba y sus alrededores se ven seriamente afectados por inundaciones y anegamientos que perjudican aproximadamente a doscientos mil cordobeses. Casas inundadas e infraestructura parcial o totalmente dañada, además de algunos ciudadanos fallecidos ya sea por causas directas o indirectas del evento meteorológico, es el saldo resultante.
A quienes impacta de forma más violenta en cada tormenta de gran intensidad son los barrios del SO, S y centro del ejido municipal, juntamente con varios barrios ribereños del arroyo La Cañada, sin dejar de ser importantes las pérdidas que se ocasionan en otros barrios de la ciudad y adyacencias.

Cabe preguntarse entonces, por qué la ciudad de Córdoba resulta tan afectada durante e inmediatamente después de precipitaciones pluviales de cierta intensidad. La respuesta a este interrogante puede encontrarse al analizar determinados hechos y situaciones tanto en el aspecto natural, como en el antrópico.

En lo referente al primer aspecto, se debe prestar especial atención a la realidad física del territorio que ocupa la ciudad de Córdoba. Esta se encuentra emplazada sobre una superficie geométrica plano-cóncava con ligera inclinación hacia el ESE (con las lógicas variaciones locales de pendiente, tanto en intensidad como sentido), la cual constituye parte del piedemonte que arranca a partir del flanco oriental tendido de la morfoestructura que configura el cordón submeridiano de la Sierra Chica, pasando en forma transicional a la llanura pampeana desarrollada inmediatamente al este del citado piedemonte.

Esta situación es generadora de condiciones de drenaje natural bastante complejas, frecuentemente materializadas en diversos modelos de suelos escasamente drenados, en los que el exceso de agua se retiraba, bajo condiciones naturales, lentamente, sobre todo en la zona transicional entre el piedemonte distal y la llanura proximal.

El aspecto antrópico, en el del territorio, particularmente desde mediados del siglo pasado, de alterar radicalmente las condiciones de drenaje natural, algo inevitable en el emplazamiento de cualquier conglomerado urbano. Aquí se modificaron drásticamente

la permeabilidad y escurrimiento de esos suelos debido a una descontrolada urbanización, carente de las necesarias y suficientes obras de desagüe pluvial. Se taló y/o quemó la vegetación autóctona que ejercía una acción protectora, siendo reemplazada por cultivos como la soja y el maíz. Se emplazaron barrios y se realizaron obras de infraestructura dimensionadas para el momento y no para el futuro con nuevos desarrollos urbanos. Todo ello no hizo sino potenciar las acciones destructivas, tanto de la escorrentía elemental como del Arroyo La Cañada, traducidas en inundaciones, anegamientos, erosión acelerada y aluvionamiento, entre otras situaciones antrópicas.

Ante este cuadro de situación, se realizó la investigación que tiene como objetivo realizar el estudio, análisis, cartografía e interpretación de los eventos de crecidas repentinas del Arroyo La Cañada, que afecta la Ciudad de Córdoba, mediante la generación de información de base que permita evaluar y categorizar la amenaza por crecidas y anegamientos, en función de la dinámica y el alcance adoptado por las mismas, y, a partir de ello, proponer medidas de prevención y mitigación, ante la ocurrencia de futuros eventos y como producto final, la Carta de Amenaza por Inundación y Anegamiento dentro del territorio comprendido por la cuenca del arroyo La Cañada y su afectación en el ejido municipal de la ciudad de Córdoba.

La cartografía temática obtenida permitirá que los entes Gubernamentales dispongan de una eficaz herramienta para poder llevar a cabo las correspondientes acciones de prevención y mitigación ante situaciones de diversa peligrosidad promovidas por precipitaciones pluviales de alta intensidad (procesos convectivos).

## 1.2 Marco Teórico

En este ítem se desarrollan los fundamentos conceptuales básicos en que se sustenta esta investigación. Los ejes conectores a considerar en este punto son: el sistema fluvial, la geomorfología fluvial y la peligrosidad de crecidas, ya que constituyen las herramientas conceptuales necesarias para comprender y explicar la problemática abordada en esta tesis.

La geomorfología es definida por Schumm, (1991) como la ciencia que estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y se preocupa de las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos. Richards, (1987) considera que el objetivo

de la geomorfología fluvial es explicar las relaciones entre los procesos físicos del flujo en canales y las formas de los canales creados.

El alcance de la geomorfología fluvial está vinculado con la generación de nuevos conocimientos que son aplicables al estudio de los impactos naturales y antropogénicos (Campo, 2015).

Desde una concepción geológica se pretende integrar no sólo los procesos geomorfológicos, climatológicos y biogeográficos que confluyen en la superficie terrestre, sino también, enlazar estos procesos con la acción del hombre.

Este enfoque permite ofrecer soluciones a los nuevos problemas territoriales y ambientales, y abordar la manera en que se relacionan los componentes de una forma sistémica. De esta manera, se estudia cada componente para luego integrarlos y poder comprender sus relaciones.

Particularmente el sistema fluvial se puede definir como un conjunto de elementos o procesos físicos unidos a través de alguna interdependencia que actúa sobre un grupo de variables de entrada para convertirse en salidas del sistema. Cada uno de los elementos o procesos integrantes es el resultado de complejas interrelaciones de factores de gran variabilidad espacial y temporal, cuyas características físicas no son medibles ni calculables (Campos Aranda, 1998). La unidad básica del sistema fluvial es la cuenca, la cual constituye un sistema abierto en donde la energía y los materiales se intercambian con el medio ambiente circundante (Sheng, 1992).

El sistema fluvial presenta características topográficas, litológicas y fitogeográficas propias del ambiente en que se desarrollan y tales condiciones actúan sobre el escurrimiento. La topografía resulta relevante al momento de trazar la divisoria de aguas, calcular índices morfométricos y definir la velocidad de escurrimiento, la exposición del suelo a degradación, el tiempo de concentración de la crecida que permita dirimir las probabilidades de evacuación. Las condiciones climáticas también son de gran importancia para el sistema, donde las precipitaciones resultan de gran incidencia en la entrada al sistema, definen el tipo y cantidad de cobertura vegetal, y con ello la estabilidad del suelo, las características de la escorrentía. La litología hace referencia al papel que desempeñan las características físicas de las capas superficiales de la corteza sobre el escurrimiento fluvial, en cuanto contribuyen a mantener el caudal y a asegurar su continuidad en el tiempo (Bruniard, 1992).

La cubierta vegetal desempeña un papel importante por un lado interceptando las precipitaciones (disminuye la erosión e incrementa la infiltración) y la insolación o bien mediante la evapotranspiración del agua (perdida del sistema). Estas variables van a depender del tipo de formación fitogeográfica y del grado de cobertura en la cuenca.

En síntesis, el sistema fluvial a partir de sus propias características topográficas, litológicas y fitogeográficas cumple la función de recibir, almacenar y devolver el agua al circuito hidrológico, en proporciones que varían según se combinen esas características en relación con el clima.

Las sociedades estuvieron, desde sus inicios ligadas a los ríos, utilizándolos como recurso y como fuente de agua. A medida que el ser humano fue desarrollando mayor tecnología, las transformaciones sobre el sistema fluvial se incrementaron, de tal manera que actualmente son pocos los ríos que no se encuentran modificados (Allan y Castillo, 2007; Sabater, 2008). Estas transformaciones de la sociedad la mayoría de las veces resultan negativas para el ecosistema fluvial, ya que son cambios que perduran en el tiempo y que modifican el funcionamiento natural del sistema. También es importante considerar las consecuencias que tienen las actividades agrícola - ganaderas.

El ciclo hidrológico está compuesto por varios procesos interrelacionados de extensión continental, regional y local. Aunque el volumen de agua global permanece constante, la distribución del agua está cambiando continuamente a nivel de continentes, regiones y cuencas. A medida que la civilización progresa, las actividades humanas alteran el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e inician nuevos procesos y eventos (Chow et al, 1994). Este ciclo se basa en la consideración de que toda el agua de la tierra y de la atmósfera está involucrada en un sistema de interrelaciones continuo que se lleva a cabo a través de los tres estados del agua. Esta dinámica hidrológica, cuyos procesos ocurren en forma continua, afecta a la litósfera aproximadamente hasta 1 km de profundidad y a la atmósfera hasta unos 15 km de altitud (Strahler, 1974; Chow et al, 1994).

En el desarrollo del ciclo hidrológico es determinante la precipitación, tanto en su tipo como cantidad, duración y distribución, dado que constituye la entrada de agua en la cuenca hidrográfica. La evaporación y transpiración son dos causas estrechamente interrelacionados y de gran importancia porque determinan el regreso a la atmósfera de una parte de las precipitaciones, constituyendo las salidas de agua del sistema (Sala Sanjaume et al, 1996).

El ciclo hidrológico a escala de cuenca hidrográfica es un sistema abierto que posee como entrada la precipitación y la energía solar, como salida el caudal que se genera. Entre la entrada y salida ocurren varios fenómenos que condicionan esta relación y que están regulados por las características geomorfológicas de la cuenca y su antropización. Las precipitaciones que ocurren en la cuenca, en parte son absorbidas por la vegetación, otra se infiltra y parte discurre hasta llegar al sistema fluvial. Este ciclo se ve modificado por la acción del hombre a través de sus actividades y por las características físicas propias de la cuenca.

### 1.2.1 La cuenca hidrográfica como unidad de investigación

Las cuencas fluviales son sistemas complejos cuyas propiedades se definen a partir de la interrelación de características geomorfológicas, geológicas, climáticas, hidrográficas, biogeográficas, los procesos antrópicos, etc. Esto impone la necesidad de individualizar estas fisonomías particulares para integrarlas luego en sus conjuntos naturales y evaluar los resultados concretos del comportamiento de la cuenca. Estas no solo son reconocidas como unidades físicas – naturales, sino que también se consideran los distintos factores antropogénicos intervinientes en las mismas (Sheng, 1992; FAO, 2009).

Umaña Gómez, (2002) define la cuenca como una unidad territorial natural que capta la precipitación y por donde transita el escurrimiento hasta un punto de salida en el cauce principal. La superficie que abarca una cuenca es definida por la línea divisoria de agua cerrada en un punto, en la cual se desarrolla un sistema hídrico-superficial, formando una red de cursos de agua que concentran caudales hasta formar un río principal. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define a las cuencas hidrográficas como la zona geográfica drenada por una corriente de agua, este concepto lo aplica tanto a unidades que van desde una superficie agrícola atravesada por un arroyo hasta las grandes cuencas fluviales o lacustres (FAO, 2009).

Parra, (2009) la define como una unidad formada por un río con sus afluentes y un área colectora del agua. En las cuencas están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como el agua, el suelo, la vegetación y la fauna. Ellos mantienen una interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre. Sheng, (1992) explica que las cuencas hidrográficas, células constitutivas de

las cuencas fluviales, son unidades hidrológicas que han sido descritas y utilizadas como unidades físico-biológicas y también como unidades socioeconómico-políticas para la planificación y ordenación de los recursos naturales. Por otra parte, en la cuenca hidrográfica se producen relaciones, interacciones e interrelaciones y es un sistema natural dinámico de elementos físicos, biológicos, sociales, económicos y políticos que se relacionan entre sí evolucionando permanentemente en función de las actividades antropogénicas (Bruniard, 1992; Umaña Gómez, 2002).

Los principales componentes que determinan el funcionamiento de una cuenca son los elementos naturales y los antropogénicos. Los naturales interactúan y se influencian recíprocamente. Los componentes abióticos y bióticos están condicionados por las características geográficas (latitud, altitud), geomorfológicas (tamaño, forma, relieve, densidad y tipo de drenaje), geológicas (litología, orogénicas, volcánicas y sísmicas), climáticas. Los elementos antropogénicos pueden ser de caracteres socioeconómicos y jurídico-institucionales.

Entre los primeros se encuentra la tecnología, la organización social, la cultura y las tradiciones, la calidad de vida y la infraestructura desarrollada. Los elementos jurídico-institucionales incluyen las normas reguladoras, las políticas de desarrollo y gestión y las instituciones involucradas.

Las normas reguladoras hacen referencia al sistema de leyes en el cual se enmarca la gestión de recursos hídricos como así también a los espacios de diálogo entre los distintos actores involucrados.

Las instituciones son los organismos responsables de coordinar los diferentes niveles gubernamentales como los mecanismos de planificación y financiamiento.

Por último, la gestión se ocupa de evaluar los recursos hídricos (disponibilidad y demanda), establecer sistemas de comunicación e información, resolver conflictos sobre la asignación del agua, establecer normas, acuerdos financieros y la autorregulación (acciones voluntarias), fomentar la investigación y el desarrollo, emprender obras de aprovechamiento, garantizar la responsabilidad como así también desarrollar la capacidad de organización y coordinación (Sheng, 1992; Umaña Gómez, 2002; Global Water Partnership, 2009; Parra, 2009).

### 1.2.2 Geomorfología fluvial

La geomorfología fluvial estudia las formas de los ríos, arroyos y torrentes. Tiene un papel relevante en el estudio de la génesis y propagación de las crecidas y avenidas fluviales, así como en sus efectos de inundación por anegamiento de las márgenes en la corriente donde tienen lugar estos eventos. Esta influencia se manifiesta en una triple faceta: configuracional, en cuanto a las formas de la superficie terrestre; dinámica, referida a las acciones que desarrollan los procesos fluviales y los productos resultantes y evolutiva por la existencia de tendencias y ritmos en la modificación del relieve con repercusiones en las zonas inundables (Viers, 1983).

El objetivo fundamental de la geomorfología fluvial es la explicación de las relaciones entre procesos físicos del flujo en canales de lecho móvil, la mecánica del transporte de sedimentos forzado por el flujo y las formas de los canales aluviales creados por el transporte de sedimentos (Gutiérrez Elorza, 2008).

La geomorfología fluvial es el estudio de las interacciones entre las formas y procesos del río dentro de una escala de espacio y tiempo (Charlton, 2007)

La respuesta de cada cuenca desde el punto de vista hidrológico es única y las interrelaciones entre la estructura de la red de drenaje y los procesos hidrológicos son características particulares de cada una. El sistema morfogenético fluvial comprende formas y procesos que están determinados por la presencia de flujos de agua superficiales. El estudio de los mismos permite determinar características y dinámicas propias de cada cuenca (Pedraza Gilsanz, 1996; Marchetti,, 2000)

Dentro de los factores que intervienen en el sistema morfogenético fluvial se encuentran:

La topografía, la cual posibilita que las precipitaciones escurran hasta un cauce común a favor de la pendiente. Este factor permite delimitar el alcance de la cuenca identificando las líneas divisorias de aguas o líneas de altas cumbres que separan las cabeceras de los afluentes que convergen a un colector común. La rapidez del escurrimiento también dependerá del perfil transversal que tenga el cauce, es decir sus proporciones entre ancho y profundidad. Un cauce angosto y con laterales que tienen pendientes empinados favorecerá la escorrentía respecto de un cauce ancho y plano, es así que la fricción total depende tanto del tamaño como de la forma del canal, como asi también la pendiente que en suma controlan los caudales. La topografía también interviene en la

acción del agua, por erosión y deposición, sobre el modelado del perfil longitudinal del curso (Pedraza Gilsanz, 1996; Gutiérrez Elorza, 2008).

El factor litológico se refiere a la influencia que tienen las características físicas de las capas superficiales de la corteza (estructuras, suelos y litologia) sobre el escurrimiento fluvial. Una cuenca donde predominen superficies con alta permeabilidad favorecerá la infiltración del agua de lluvia. Ello repercutirá en una menor escorrentía superficial a favor de un aumento en el almacenamiento de agua subterránea que será restituida a superficie en temporadas de sequías. Los ríos que drenan cuencas impermeables adquieren características torrenciales mientras los terrenos permeables juegan un papel retardador y regulador (Senciales González, 1999 y Gutiérrez Elorza, 2008).

El factor fitogeográfico actúa interceptando las precipitaciones mediante la transpiración del agua que absorbe del suelo, disminuye las reservas de agua acumuladas en el suelo y con ello las posibilidades de incorporar agua a los cursos fluviales mediante vertientes. La acción de la vegetación dependerá del tipo de formación fitogeográfica, de su densidad y profundidad alcanzada por las raíces y del grado de cobertura sobre la superficie de la cuenca (Bruniard, 1992).

El factor edáfico resulta importante porque permite interpretar el comportamiento del suelo ante eventos extremos de precipitación. Va a variar en función de los rasgos texturales y estructurales, lo que a su vez controlan a través de la permeabilidad, la inflitración y el escurrimiento superficial y subsuperficial

El factor climático resulta fundamental en el origen del escurrimiento fluvial y en las características que adquieren los regímenes estacionales de precipitación. El carácter hidrológico de una cuenca dependerá de la alimentación y de las pérdidas por evaporación y evapotranspiración. El clima actúa principalmente a través de dos componentes: precipitaciones y temperatura. Las precipitaciones son una fuente directa de aporte de agua a los ríos y por ende inciden en el régimen fluvial tanto por su estacionalidad como por su intensidad y distribución geográfica, mientras que la temperatura es la responsable de la mayor o menor evaporación (Bruniard, 1992 y Campo de Ferreras et al., 2004).

El factor geomorfológico comprende las formas y procesos del modelado que se determinan a partir de la acción del agua superficial. Esta última constituye el principal

agente del modelado. Los agentes del modelado, en general contribuyen a una progresiva erosión y aplanamiento del relieve preexistente.

El factor antropogénico es variable dependiendo de la actividad que el hombre realice en la cuenca. Las modificaciones antropogénicas generan cambios morfológicos importantes, como, por ejemplo, nuevas urbanizaciones (countries), una canalización o la construcción de una represa activando y/o favoreciendo mecanismos de transporte y sedimentación.

### 1.2.3 Cartografía hidrogeomorfológica y de amenaza

La cartografía constituye un sistema de comunicación gráfica cuya función principal es la de facilitar la visión de los objetos a representar.

Un mapa es definido por Peña Monné, (1997) como una representación gráfica, simplificada y convencional de datos de todo tipo y relaciones espaciales que tienen lugar en un espacio bi o tri dimensional con una relación de similitud denominada escala.

Actualmente, la cartografía temática tiene un auge sin precedentes, independientemente de sus formas de representación y de sus soportes físicos. Su interés ha desbordado los tradicionales círculos científicos y técnicos de geógrafos, cartógrafos, diseñadores gráficos, expertos en Sistemas de Información Geográfica, etc. Un público cada vez más amplio explota las potencialidades de este lenguaje gráfico, tan flexible y potente para la transmisión y conceptualización de conocimientos. Además, particularmente la cartografía temática es una de las fuentes de la Geografía. Desde nuestra ciencia, la representación de los elementos en el espacio visibiliza las interrelaciones socioterritoriales y ayuda a comprender su organización y funcionamiento. Con ella, se pueden analizar, simultáneamente, los aspectos generales que marcan un modelo teórico, junto con las contingencias o particularidades que se dan en ese lugar (Régnauld, y Lefort, 2015)

Por su parte, el estudio integrado de una cuenca hidrográfica debe proporcionar un adecuado conocimiento de las características, jerarquía y dimensiones de los distintos cursos que la componen. La representación de la dinámica del escurrimiento, los procesos más relevantes, el régimen hídrico de los mismos y su relación con el tipo de suelo también debe ser integral. En este punto es que la carta hidrogeomorfológica

combina en un solo mapa las distintas formas de escurrimiento y las condiciones que las dominan (ITC, 1980; Marini, 2002; Mikkan, 2007). Permite establecer las condiciones del escurrimiento en una cuenca, derivadas de las combinaciones de los diferentes procesos que definen un comportamiento hidrológico una cuenca hidrográfica. Se torna de esta manera en una herramienta indispensable para la interpretación visual y espacial del comportamiento hidrológico (Tricart., 1965; Capitanelli, 1998).

Los mapas de peligrosidad de crecidas constituyen una herramienta eficaz de información y una base adecuada para el establecimiento de prioridades y la toma de decisiones adicionales de índole técnica, económica y política relativa a la gestión del riesgo de inundación.

Díez Herrero et al. (2006; 2008) explican que el análisis de la peligrosidad de inundaciones se realiza empleando de forma combinada y complementaria una serie de técnicas y procedimientos que, a grandes rasgos, pueden agruparse en tres aproximaciones metodológicas: métodos históricos, métodos geológicos-geomorfológicos y métodos hidrológicos (Etxeberría Ramírez et al., 2002; Díez Herrero et al., 2006; Díez Herrero et al., 2008; Pérez Morales, 2012).

Los métodos históricos se emplean para reconstruir la extensión cubierta o la cota alcanzada por las aguas durante una crecida desencadenada en el período histórico. Los métodos geológicos-geomorfológicos emplean la disposición y tipología de las formas de terreno y los depósitos generados durante o con posterioridad a un evento de crecidas. Con ello se pueden delimitar las áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes y por tanto los sectores susceptibles de ser inundadas en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial. Los métodos hidrológicos tienen como objetivo estimar caudales generados en una cuenca o corriente y el cálculo de velocidades medias que circula por un determinado tramo fluvial, además pueden calcular, en función de lluvias de diseño con recurrencias variadas, caudales y las áreas inundables
(Díez Herrero et al., 2008).

Existen distintos tipos de mapas de peligrosidad, por ejemplo: mapas de áreas inundadas en una determinada inundación; mapas de áreas potencialmente inundables, mapas de áreas o puntos anegados durante inundaciones históricas, entre otros (Díez Herrero et al 2006; Montecelos Zamora et al., 2011; Olcina Cantos, 2012).

### 1.2.4 La amenaza de crecidas y sus consecuencias

Las amenazas ambientales han sido siempre desarrolladas por las ciencias naturales.
Una definición ampliamente aceptada caracteriza a las amenazas naturales como "aquellos elementos del medio ambiente que son peligrosos al hombre y que están causados por fuerzas extrañas a él". En este documento el término "amenazas naturales" se refiere específicamente, a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos) y a los incendios que por su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y a sus actividades. La calificación de "natural" excluye a todos los fenómenos causados exclusivamente por el hombre, tales como las guerras y la contaminación. Tampoco se consideran amenazas que no estén necesariamente relacionadas con la estructura y función de los ecosistemas como por ejemplo, las infecciones. DDRMA- OEA (2000)
Asimismo, la terminología de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR) se generó con el propósito promover un entendimiento y la utilización en común de conceptos relativos a la reducción del riesgo de desastres, en ese contexto el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015 solicitó a la UNISDR que dedicara esfuerzos para “actualizar y divulgar ampliamente una terminología internacional normalizada sobre la reducción del riesgo de desastres, al menos en todos los idiomas oficiales de las Naciones Unidas, para que se utilice en la elaboración de programas y el desarrollo institucional, las operaciones, la investigación, los programas de formación y los programas de información pública”. Políticas que se continuaron cuando, en 2015 se realiza en la tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas en Sendai (Japón) donde se genera el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030.
En ese marco se define Amenaza como “Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.
Amenaza hidrometeorológica se define como “un proceso o fenómeno de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

Desde las ciencias sociales Natenzon et al. (2005 a) aportó la teoría social del riesgo para la caracterización de la vulnerabilidad social frente a riesgos de origen natural y tecnológico. Para abordar el análisis de situaciones catastróficas parte de considerarlas como un problema complejo. Utilizar como marco esta teoría implica ampliar el campo de análisis en el que habitualmente solo se pone énfasis en los aspectos físicos desencadenantes y en la magnitud del daño producido. El hecho de conceptualizar el riesgo en los términos mencionados permite dar cuenta de otras dimensiones que hacen a la complejidad de la problemática en cuestión. Según esta autora existen cuatro dimensiones del riesgo: la peligrosidad, la vulnerabilidad, la exposición y la incertidumbre.

La peligrosidad hace referencia al potencial peligro que tienen los fenómenos naturales, potencial inherente al fenómeno mismo, sea cual sea el grado de artificialidad.

La vulnerabilidad está definida por las condiciones socioeconómicas previas a la ocurrencia del evento catastrófico en tanto a la capacidad diferenciada de hacerle frente. Los niveles de organización e institucionalización de los planes de mitigación son un componente central de la vulnerabilidad.

La exposición se refiere a la distribución de los que es potencialmente afectable, la población y los bienes materiales “expuestos” al fenómeno peligroso. Es una consecuencia de la interrelación entre peligrosidad-vulnerabilidad y a la vez incide sobre ambas. Natenzon et al. (2005 a)

La incertidumbre se relaciona con las limitaciones en el estado del conocimiento y las indeterminaciones en cuanto a competencias institucionales y aspectos normativos. Al mismo tiempo estas limitaciones y la complejidad del fenómeno en cuestión impiden el manejo de la totalidad de las variables involucradas impregnando de incertidumbre el proceso de toma de decisiones. Natenzon et al. (2005 a)

### 1.2.5. La conceptualización del término crecidas aplicado a inundaciones y anegamientos

Los sistemas fluviales poseen un comportamiento hidrológico normal representado por el régimen estacional y presentan comportamientos extremos ya sea por el volumen del caudal (crecidas o estiajes) o por su frecuencia. Para la definición de la peligrosidad de

crecidas en ordenamiento territorial es fundamental conocer qué se entiende por crecida, inundación y anegamiento.

Hay que tener en cuenta las distintas definiciones de los conceptos mencionados anteriormente, según los siguientes autores:

Definición de inundación (flood) según Fuschini Mejia, (1994)

Se produce cuando los cursos o ríos reciben aguas de sus nacientes y la crecida consiguiente se traslada hacia aguas abajo superando los bordes de la sección transversal y extendiéndose por los terrenos adyacentes.

Definición de anegamiento según Fuschini Mejia, (1994)

Un anegamiento es la acumulación temporal de agua de lluvia en un determinado sector. Factores como la saturación o impermeabilización del suelo y microrelieves que obstaculizan el escurrimiento provocan la acumulación en sectores donde esta no puede escurrirse ni infiltrarse.

Definición de crecida (flash flood) según Ollero Ojeda, (1997)

Es un proceso natural, sin periodicidad y de grandes consecuencias ambientales, constituido por un incremento importante y repentino de caudal en un sistema fluvial.

Definición de inundación (flood) según Ollero Ojeda, (1997)

Corresponde a una masa de agua que desborda su cauce natural. Es una consecuencia derivada de procesos de recurrencia interanual, como son las crecidas de los cursos de agua, sumado a condiciones de insuficiencia de los sistemas de evacuación, sean estos cauces naturales, sistemas de drenaje artificiales, colectores urbanos, etc.

Definición de crecida (flash flood) según la Organización Meteorológica Mundial (2006; 2011)

Una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad. Son producto de fuertes lluvias con respuesta rápida en cuencas pequeñas. Se producen dentro de las 6 horas después de las fuertes lluvias.

Definición de inundación (flood), según la Organización Meteorológica Mundial (2006; 2011)

El desborde del agua fuera de los confines normales de un río o inundación por agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas.

Definición de anegamiento, según la Organización Meteorológica Mundial (2006; 2011)
Zona cubierta de agua cuando el caudal excede la capacidad del cauce, o como consecuencia de precipitaciones excesivas.

Definición de crecida (flash flood), según Díez Herrero et al. (2008)
Episodios temporales con caudales anormalmente altos que de manera periódica o excepcional registra un punto o tramo de la corriente

Definición de inundación (flood), según Díez Herrero et al. (2008)
Acción y efecto de inundar, es decir cubrir los terrenos y poblaciones, implica la sumersión temporal de terrenos normalmente secos, como consecuencia del aporte inusual y repentino de una cantidad de agua superior a la que es habitual en una zona determinada. Se pueden clasificar en diferentes tipos de acuerdo a: lugar geográfico donde se producen (terrestres o costeras); causa general que las produce (naturales o antrópicas); el agua que la produce (dulce o marina); según el origen y la tipología de las precipitaciones (frontales, convectivas u orográficas); según estación del año (estivales, invernales, etc.).

Definición de crecida (flash flood), según la National Weather Service (2012)
Son causadas por fuertes lluvias en un corto período de tiempo, generalmente menos de 6 horas. Suelen caracterizarse por su poder erosivo. También pueden producirse por causas antrópicas como por ejemplo la rotura de un dique.

Definición de inundación (flood), según la National Weather Service (2012)
Desborde de agua sobre tierra normalmente seca causada por el aumento de agua en una vía existente, como un río, un arroyo o canal de desagüe. Se caracteriza por ser un evento que puede durar días o semanas.

En esta tesis se utilizará el término crecidas diferenciándolas en ordinarias o extraordinarias de acuerdo al tiempo de recurrencia. El concepto de crecida ordinaria

hace referencia a aquella crecida que desborda el cauce y se establece estadísticamente asociándola a la frecuencia de aparición del caudal máximo. Para definir el concepto se tomó como base a Remenieras, (1974) y Ollero Ojeda, (1997). Estas crecidas máximas suelen presentarse entre 2 y 7 años en regímenes no alterados y determinan el umbral a partir del cual los cauces se desbordan y el agua ocupa las márgenes de la llanura de inundación. Las máximas crecidas extraordinarias se definen en función de un tiempo de retorno de 50 años o más.

Desde la hidrogeomorfología, se considera importante conocer las causas, intensidad, propagación, evolución y frecuencia de las crecidas, ya que suelen asociarse con importantes modificaciones morfológicas.

Su estudio presenta dos enfoques complementarios: 1) el hidrológico que estima caudales y/o su distribución temporal y 2) el geológico cuya finalidad es determinar efectos geomorfológicos. El enfoque antropogénico complementa los anteriores dado que, al considerar a las crecidas como un riesgo natural que afecta al sistema social permite integrar las características físicas (geomorfológicas e hidrográficas) con las de índole humana (Frécaut, (1972); Remenieras, (1974); Díez Herrero et al., (2006); Gil, (2010)).

El desarrollo propone que el mejor método de análisis de la amenaza de crecidas es el que combina métodos geomorfológicos, históricos e hidrológico-hidráulicos y antropogénicos. En esta línea, la aplicación en la cuenca del arroyo La Cañada permite abordar la problemática de una manera integral sobre la ciudad de Córdoba y aportar las propuestas de esta tesis en el primer paso para su divulgación en los organismos correspondientes y su posterior aplicación.

## 1.3. Hipótesis de trabajo

Las condiciones hidrogeomorfológicas del área de estudio y fundamentalmente el crecimiento urbano, influyen en la ocurrencia y magnitud de las crecidas del arroyo La Cañada que afectan a las actividades socio-económicas en la cuenca baja en el sector céntrico de la ciudad capital.

La cuenca del arroyo La Cañada que se inicia en un relieve montañoso y escurre por el pie de monte, potenciada por la presencia de la laguna La Lagunilla que embalsa aguas del arroyo homónimo, y que está sometida a la acción de los agentes naturales (principalmente de tipo hidrometereológico) y antrópicos generan y/o incrementan

procesos de anegamientos e inundaciones que afectan sitios urbanizados.

El estudio hidrogeomorfológico que se realiza en la presente tesis contribuye a generar nuevos conocimientos, una mejor comprensión de la dinámica hídrica que, consecuentemente, deriva en una carta de amenazas y proporciona las herramientas indispensables para la formulación de planes de gestión de crecidas.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Realizar el estudio, análisis, cartografía e interpretación de los eventos de crecidas repentinas del arroyo La Cañada, que afecta la Ciudad de Córdoba, mediante la generación de información de base que permita evaluar y categorizar la amenaza por crecidas y anegamientos, en función de la dinámica y el alcance adoptado por las mismas, y a partir de ello, proponer medidas de prevención y mitigación, ante la ocurrencia de futuros eventos.

### 1.4.2 Objetivos específicos:

1) Cumplimentar los requisitos reglamentarios vigentes en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, para optar al título de Doctor en Geología.

2) Contribuir al conocimiento detallado de las amenazas inundantes sobre la Ciudad de Córdoba, considerando como soporte los fundamentos hidrogeomorfológicos, mediante el reconocimiento y la interpretación geomorfológica del área de estudio.

3) Aportar información geomorfológica actualizada, que sirva para generar cartografía de amenazas, que podrían ser utilizadas durante el estudio de planificación territorial, que oportunamente llevarían a cabo los organismos pertinentes. Determinar la vinculación espacial y temporal de los procesos que derivan en eventos de inundaciones y/o anegamientos con las características de las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio.

4) Elaborar cartografía de amenazas a las inundaciones y anegamientos, de las áreas inundables ante las ocurrencias de crecientes ordinarias y en particular extremas,

considerando las situaciones potenciales de amenaza que pudieran derivar de la tendencia evolutiva de los cursos de agua.

5) Establecer las bases para la implementación de programas de alertas, mediante la evaluación y selección de las técnicas más adecuadas.

## 1.5. Antecedentes

Antecedentes de inundaciones extraordinarias del arroyo La Cañada sobre la ciudad de Córdoba con carácter de catástrofe.

En los últimos 130 años, se registraron varias crecientes de gran magnitud, que ocasionaron daños a viviendas, red de riego, calles, cultivos, distribución de agua potable y que se cobraran vidas.

Un de las inundaciones más trágicas de la historia argentina sucedió en la ciudad de Córdoba, durante la madrugada del 20 de diciembre de 1890. Una intensa lluvia provocó una impresionante crecida del Arroyo La Cañada, que arrasó con decenas de viviendas.

Según se cronicó en la prensa de entonces, la creciente llegó a las 2 a.m. y sorprendió a los cordobeses durmiendo. El saldo fue de 200 muertos, muchos de ellos niños que fueron arrastrados con sus cunas por la correntada de La Cañada.

Relató el historiador Bischoff , (1977) ….“Un ruido sordo como de carros que pasaban sobre el empedrado, a la distancia, puso en alerta a la población. El agua reunida en la Lagunilla rompió el dique de contención formado por el limo que comúnmente arrastraba el arroyo y se desató en torrente hacia la capital”, ….“El agua llegó a un metro en la plaza Central (hoy San Martín). Al amanecer del día siguiente se comprobó el desastre producido por el aluvión. La Cañada había vuelto a ser manso arroyuelo, pero quedó el lacerante recuerdo de sus horas sombrías”…., concluyó.

Esa tragedia obligó a las autoridades a que realizaran obras para intentar contener las crecientes repentinas del arroyo, que engaña con su habitual bajo caudal. Así fue que se construyó el calicanto (el calicanto se remonta a los orígenes del encauzamiento del arroyo La Cañada; calicanto es un muro construido en base a una mezcla de cal y canto rodado que se usaba para contener el agua del arroyo en ambas márgenes) (Figura 1 y Figura 2).

Sin embargo, eso no fue suficiente para contener la crecida y desborde que volvió a registrar La Cañada el 15 de enero de 1939. Tras una jornada de agobiante calor, a las 16.30 horas, comenzó una lluvia que en apenas una hora descargó 80 milímetros de agua sobre la ciudad. El arroyo desbordó y arrastró con su correntada todos los puentes ubicados desde barrio Bella Vista hacia calle Duarte Quirós. Las aguas arrastraban muebles, plantas y hasta ómnibus. La avenida Colón se convirtió en una ancha laguna con más de un metro de agua sobre su calzada. Pese a la creciente extraordinaria, hubo sólo dos muertos (Figura 3, Figura 4 y Figura 5).

Figura 1: Fotografía “Se construye el calicanto (1890) calle Belgrano esquina Bv. San Juan”. Fuente diario la Voz del Interior

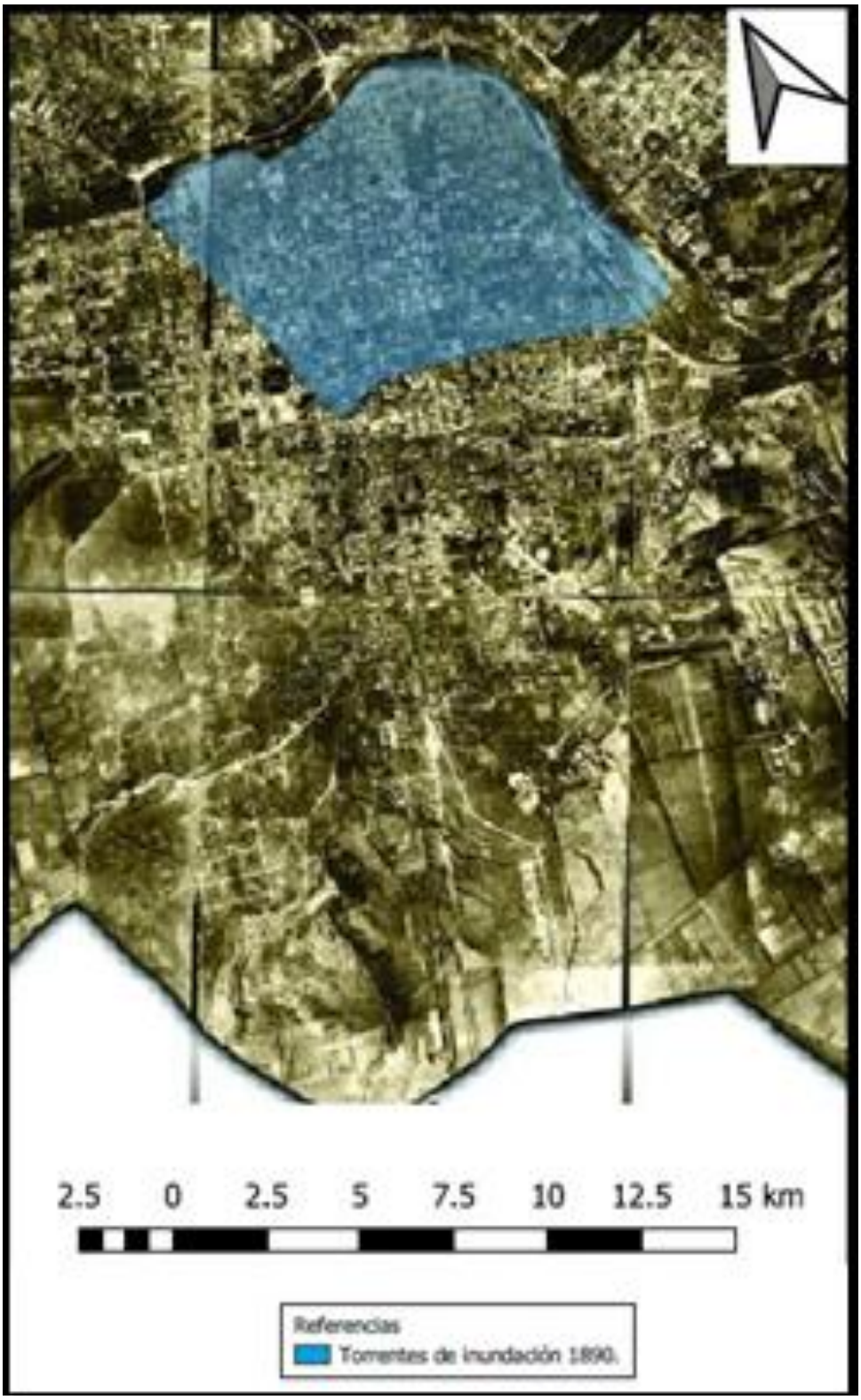


Figura 2: Plano con interpretación hidrogeomorfológica (monoscopica), más datos históricos de la inundación del año 1890 sobre fotomosaico del año 1929.

El 4 de julio de 1944, se daban por iniciadas las obras para sistematizar el arroyo que causaba graves problemas en épocas de inundaciones. Hoy, con sus tipas, es uno de los símbolos de nuestra ciudad (Figura 6, Figura 7 y Figura 8).

Figura 3: Fotografía de la época arroyo La Cañada en Calle Belgrano y Bv. San Juan (1939). Fuente diario la Voz del Interior

lo en la Epoca Colonial Tiene Precedentes la Extraordinaria
uvia Que Produjo la Inundación de Esta Ciudad Ayer por la Tarde

LA VOZ DEL INTERIOR

TARIFA REDUCIDA

Córdoba, (República Argentina). — Lunes 16 de Enero de 1939. DIARIO INDEPENDIENTE DE LA MAÑANA — VENTA LIBRE

JE UN SUCESO QUE CONMOVIO A TODOS

o Milimetros Caidos en
lora, en Forma Torrencial,
Producido Serios Daños

¡Se Derrumba Una Casa! • La Cañada Convertida en Turbión

Figura 4: Fotografía del Diario de la época (1939), Fuente diario la Voz del Interior

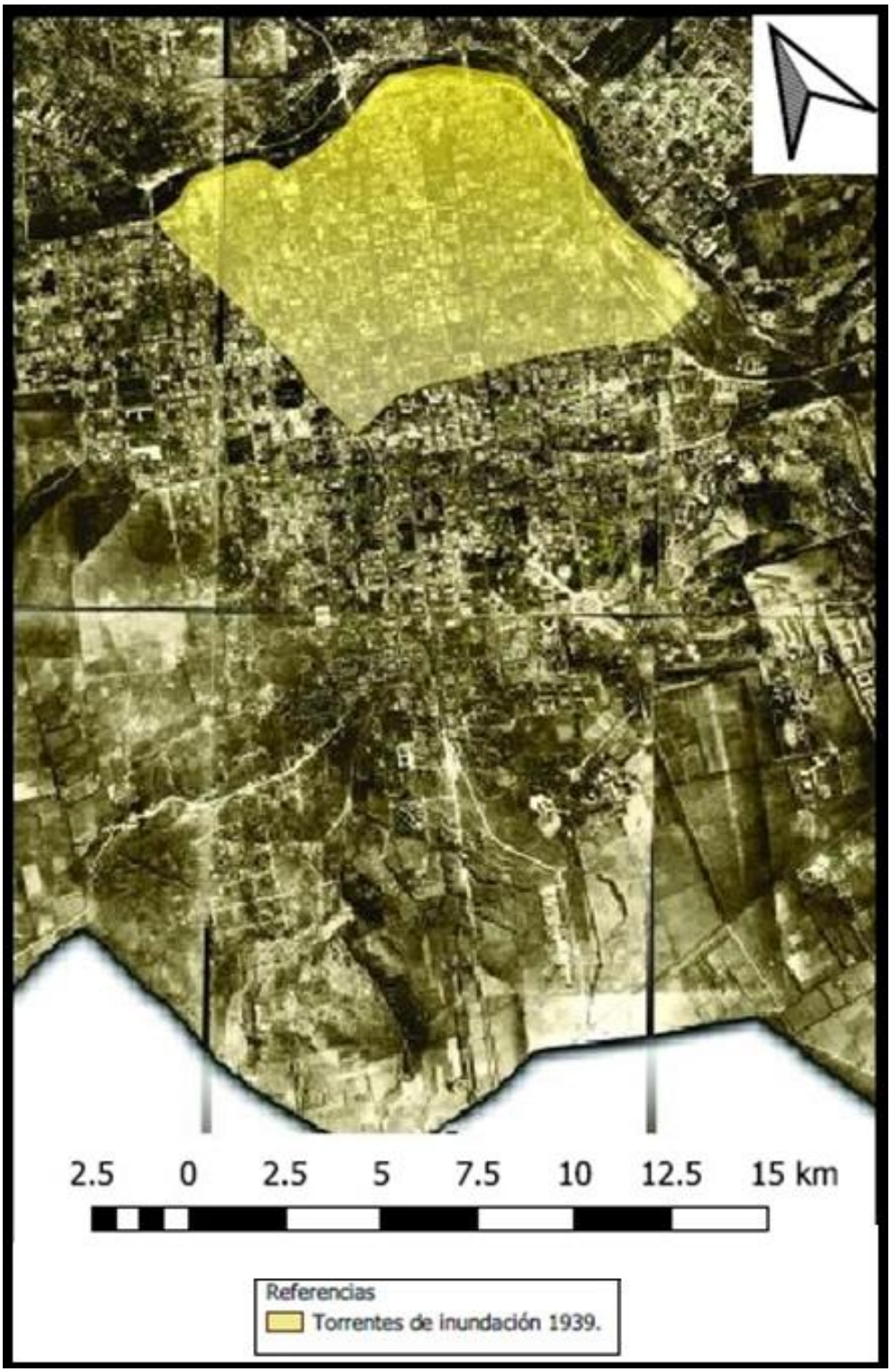



Figura 5: Plano con interpretación hidrogeomorfológica (monoscópica), más datos históricos de la inundación del año 1939 sobre fotomosaico del año 1929.

El 18 de octubre de 1939, cayeron 173 milímetros sobre la Capital, y La Cañada volvió a desbordar, causando pánico entre los cordobeses. Afortunadamente no hubo víctimas fatales.

La Cañada cumple 70 años: antes y después, en fotos (Figura 6, Figura 7 y Figura 8).

Figura 6: Fotografía de La Cañada entre Av. Colon y calle Santa Rosa (1944). Fuente diario la Voz del Interior

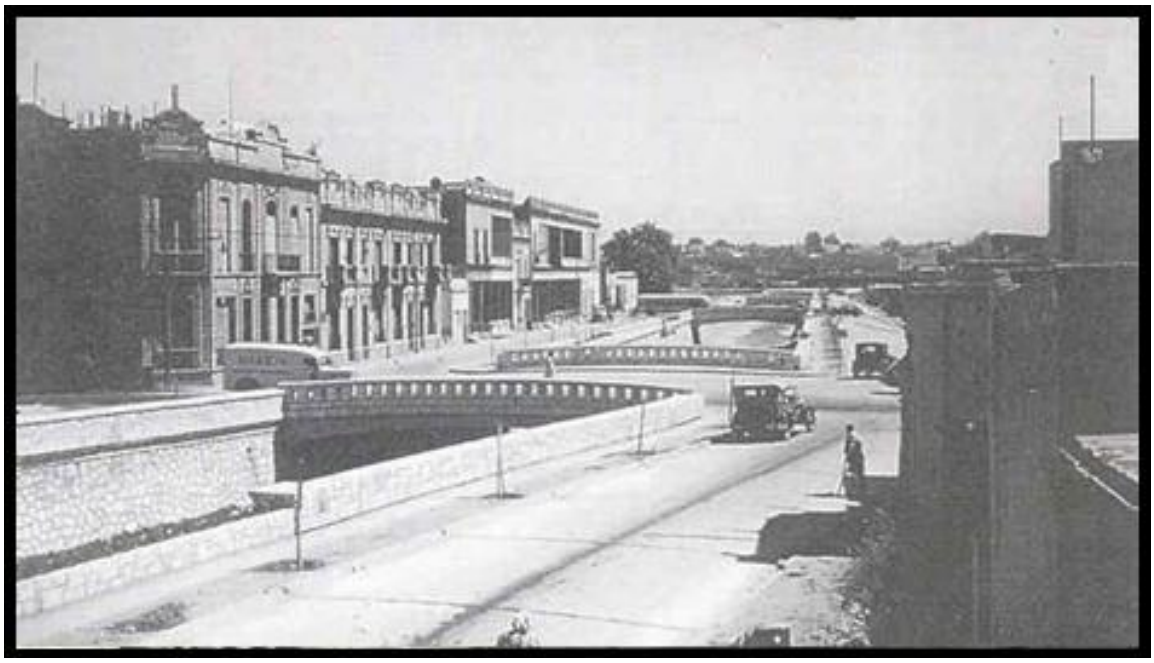


Figura 7: Fotografía de La Cañada entre Av. Colon y calle Santa Rosa (1946). Fuente diario la Voz del Interior

Figura 8: Fotografía de La Cañada entre Av. Colon y calle Santa Rosa (2019). Fuente diario la Voz del Interior

Episodios de inundación históricos en áreas con características hidrogeomorfológicas similares en un radio de 50 Km de la ciudad de Córdoba (Figura 15):

A) 15/02/2015, 250-350mm. 8 muertes y 1000 evacuados. Sierras Chicas.

Fuente Diario La Voz del Interior: Las fuertes lluvias (250-300mm. en pocas horas) que se registraron sobre la Sierra Chica y el Valle de Punilla, este domingo a partir de la madrugada en la provincia de Córdoba provocaron desbordes de ríos, inundaciones y cortes de luz tanto en la capital como en la zona de Sierras Chicas y Punilla, donde sorprendieron a miles de vecinos y turistas. Como consecuencia, hay hasta el momento ocho muertos y un total de "1.000 evacuados", al menos 300habitantes son de la capital cordobesa y se constató que se produjeron "enormes daños materiales". (Figura 9 y 10)

Figura 9: Fotografía del arroyo Saldan a su paso por la localidad de Mendiolaza (2015). Fuente diario la Voz del Interior

Figura 10: Fotografía del arroyo Saldan a su paso por la localidad de Unquillo (2015). Fuente diario la Voz del Interior

B) 01/12/1966, 236mm. La Calera.

Fuente: Diario La Voz del Interior: El 1º de diciembre de 1966. Llovieron 240 mm en la zona de La Calera y el Suquía se transformó en un monstruo de agua. La crecida llegó a las 22 horas y arrasó especialmente con los barrios Juniors y Chacra de la Merced de la ciudad de Córdoba. (Figura 11)

SE DESBORDO EL RIO PRIMERO

Lluvias Torrenciales Sacaron las Aguas del Cauce. Numerosos Barrios Quedaron Aislados y Fueron Evacuados los Vecinos

Momentos de Horda Dramáticos se Vivieron en el Puente Alvear

Figura 11: Fotografía de las noticias del día (1966). Fuente diario la Voz del Interior

C) 18/10/1939, 173mm. La Cañada.

Fuente: La Voz del Interior: «Fue un suceso que conmovió a todos», tras la gran inundación que arrasó con parte de Córdoba en 1939. La crecida que desbordó el arroyo «La Cañada» en esa oportunidad – por la intensa lluvia- destruyó y arrasó decenas de casas. (Figura 12)

Figura 12: Fotografía de las noticias del día (1939) Calle Belgrano entre las calles San Luis y Montevideo. Fuente diario la Voz del Interior

D) 15/01/1939, 80mm. La Cañada desborda en Duarte Quirós y Belgrano.

Fuente diario La Voz del Interior: Este meteoro -que de hecho rebasó La Cañada- , arrastró producto de la correntada, a puentes ubicados desde el barrio Bella Vista hacía la Duarte Quirós. La avenida Colón llegó a convertirse por varias horas en una amplia laguna, con más de un metro de agua sobre la calzada. (Figura 13 y 14)

Figura 13: Fotografía de las noticias del día (1939) Avenida Colon entre calles Jujuy y José de Antonio Sucre. Fuente diario la Voz del Interior

lo en la Epoca Colonial Tiene Precedentes la Extraordinaria
uvia Que Produjo la Inundación de Esta Ciudad Ayer por la Tarde

LA VOZ DEL INTERIOR

UE UN SUCESO QUE CONMOVIO A TODOS

¡Se Derrumba Una Casa! La Cañada Convertida en Turbión

Figura 14: Fotografía de las noticias del día (1939). Derrumbe de una Casa en la margen derecha del arroyo La Cañada entre las calles Francisco N. de Laprida y San Luis. Fuente diario la Voz del Interior

E) 28/03/2017, 130mm en 24hs. Villa Parque Santa Ana.

Fuente diario La Voz del Interior:….Por la gran cantidad de agua acumulada sobre la carpeta asfáltica, personal policial y de Defensa Civil tuvieron que cortar el tránsito vehicular en las rutas 5 (Córdoba-Alta Gracia), El Servicio Meteorológico Nacional informó que el pronóstico para las próximas horas y los días siguientes de esta semana continuarán las lluvias, por lo que los damnificados por esta situación temen por nuevas inundaciones y piden obras a las autoridades para corregir algunos desagües….-

F) Año 1890, 200 muertes. La Cañada.

Fuente la Voz del Interior:….”La madrugada del 20 de diciembre de 1890, una intensa lluvia provocó una impresionante crecida del arroyo La Cañada, que arrasó con todo. Murieron 200 personas”…. El Calicanto se construyó para frenar la furia del agua.

G) 04/10/2014, 123mm en 24hs. La Cañada tope

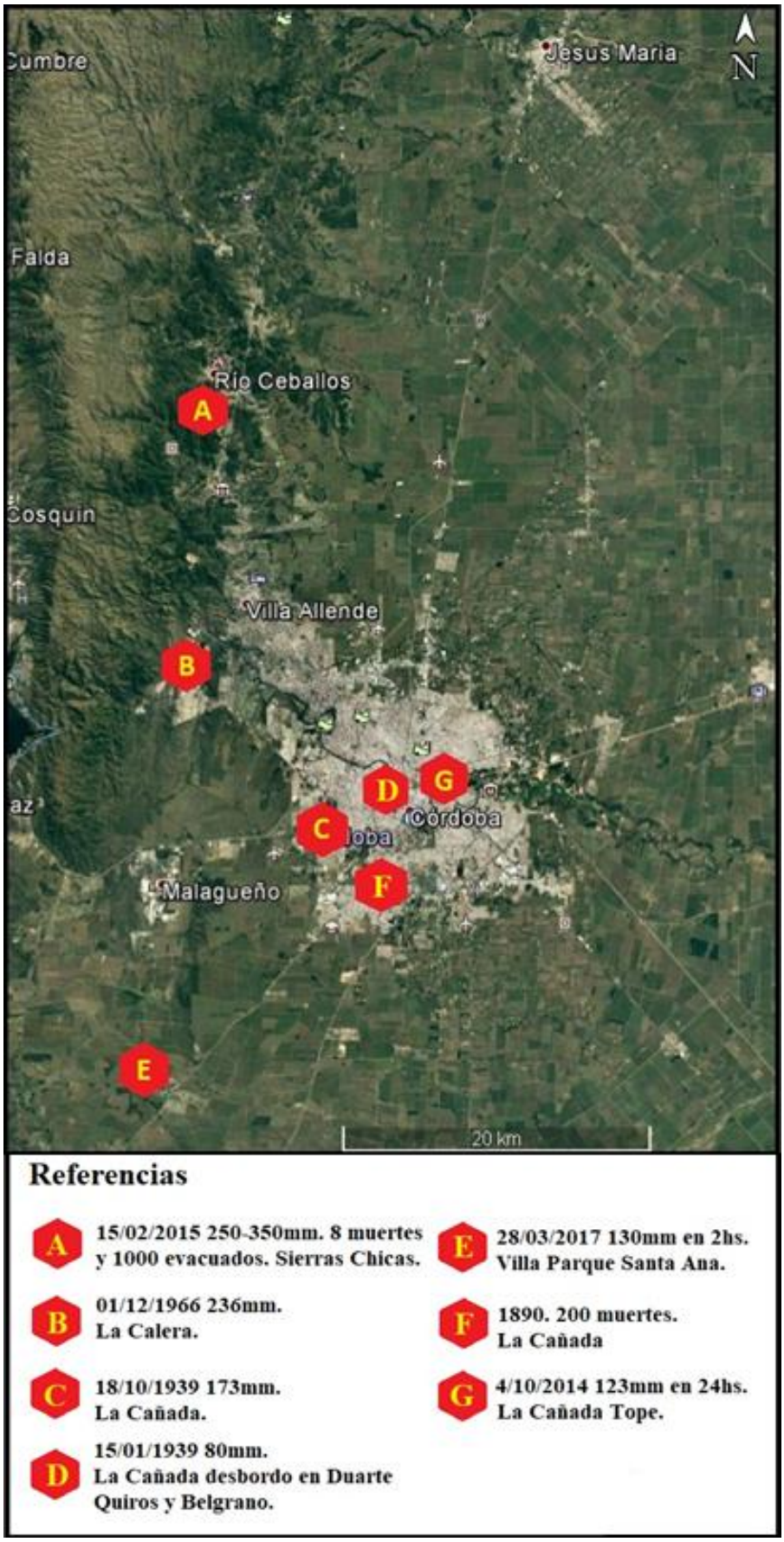



Figura 15: Imagen (Google Earth (c)) sobre la cual se muestran la distribución espacial de episodios de inundación históricos desde el año 1890 hasta el año 2017.

# CAPITULO DOS

# CARACTERÍSTICAS GENERALES

# CAPITULO DOS: CARACTERÍSTICAS GENERALES

## 2.1. Ubicación

La provincia de Córdoba se sitúa en la zona centro de la República Argentina, cuenta con una población de 3.304.825 habitantes. Cuenta con 26 Departamentos, de los cuales los departamentos Santa María, Punilla y Capital se encuentran en el área de interés de esta Tesis. El Departamento Capital, de forma rectangular y una superficie de 576 $km^2$, se emplaza en el centro de la provincia y su plaza San Martin (plaza central) se encuentra según las siguientes coordenadas 31º 25´ S y 64º 12´ O; Se organiza en 483 barrios con 1.329.000 habitantes

El sector de estudio considerado en esta investigación, constituye la cuenca imbrífera del "Arroyo La Cañada". Determinando sus límites entre los 31º 24' 50” y 31º 33' 40” de latitud sur y los 64º 11' 20” y 64º 30' 37” de longitud (Figura 16).

La cuenca hídrica está ubicada al O y SO de la ciudad de Córdoba abarcando, no solo parte del ejido rural urbano del Dpto. Capital, sino también las áreas de influencia de los municipios de la Localidad de Malagueño del Dpto. Santa María y la Ciudad de Villa Carlos Paz (en su sector rural E) del Dpto. Punilla.

Presenta un escurrimiento general O-E y tiene una forma piriforme o de embudo. Abarca una parte de la vertiente oriental de las Sierras Chicas, desde su divisoria de aguas, pasando por el piedemonte hacia dos valles interserranos, y en la Llanura Pampeana, penetra en el centro mismo de la ciudad de Córdoba por los barrios periféricos al centro, con identidad propia y conformando parte de nuestro acervo cultural como "Arroyo La Cañada", hasta su confluencia con el río Suquía (31º 24´ 23.57´´ S – 64º 11´ 14.55´´ O) en la intersección de la Avda. Figueroa Alcorta esquina Humberto 1º, en las proximidades del puente Antártida Argentina.

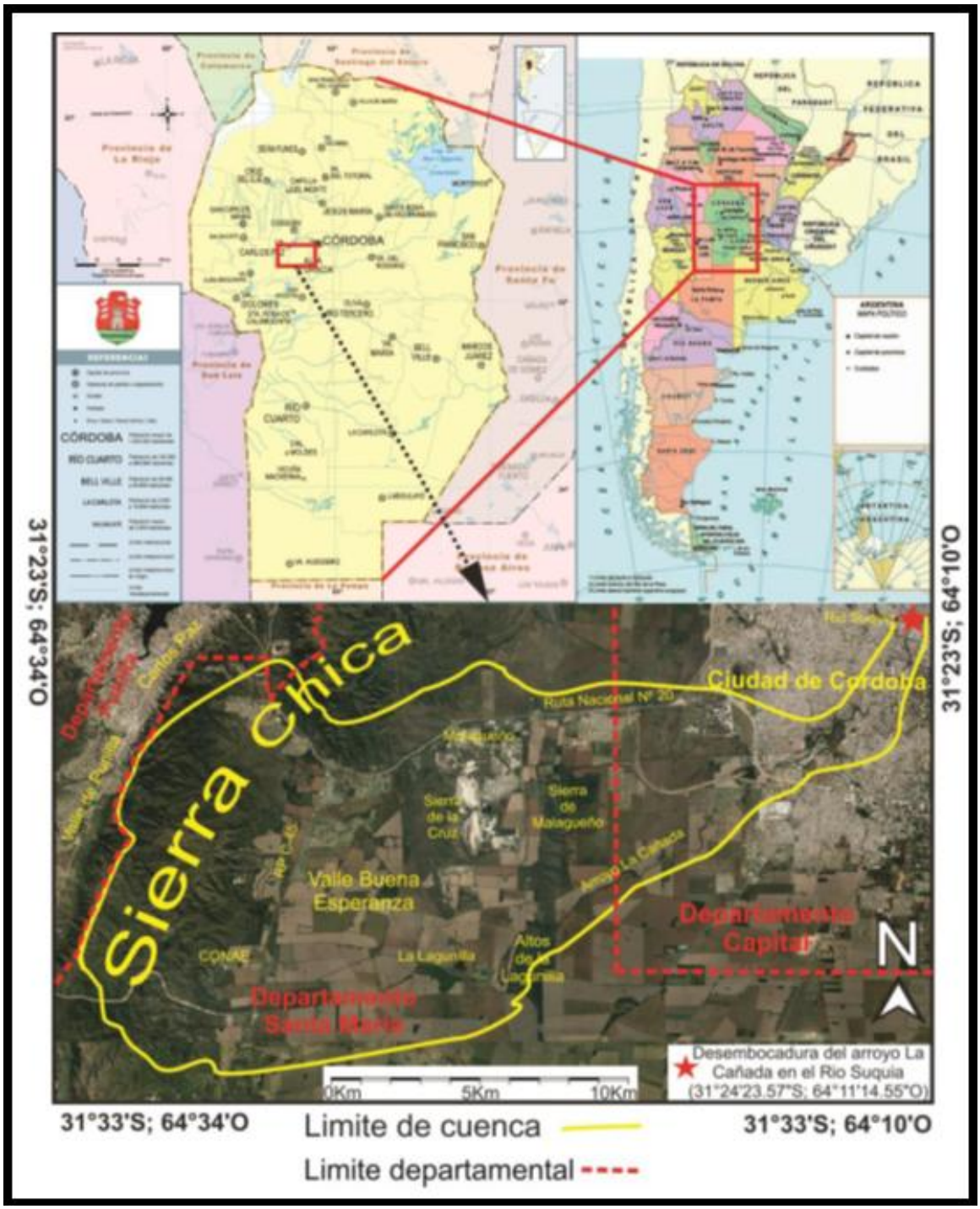



Figura 16: Mapa político detallando la ubicación de la cuenca asociada al arroyo La Cañada.

## 2.2 Contexto Geológico

El área de estudio se encuentra inmersa en la región de las provincias geológicas de las "Sierras Pampeanas" y "Llanura Chaco-Pampeana", tomado de Varela (2014) (Figura 17)

### 2.2.1 La provincia geológica Sierras Pampeanas

Comprende una serie de sierras formadas por rocas dominantemente ígneas y metamórficas, actualmente divididas en dos provincias con características diferentes, las Sierras Pampeanas Orientales y las Occidentales. Caminos, (1979), siendo las primeras las que más influencia tienen en el área por su cercanía, y por ser atravesadas por los ríos Suquía y Xanaes que junto con los depósitos eólicos son la principal fuente de aporte de sedimentos que se encuentran en la superficie y el subsuelo del área de estudio.

Las Sierras Pampeanas Orientales representan una etapa orogénica con una colisión cercana al límite Precámbrico- Cámbrico que sería coincidente con el magmatismo y metamorfismo de esa edad, incluidos dentro del denominado Ciclo Orogénico Pampeano. Abarcan las sierras Norte de Córdoba, de Guasapampa, Pocho, Grande y Chica de Córdoba y la de Comechingones, además de la parte oriental de la sierra de San Luis. Las sierras de Córdoba conforman los afloramientos más orientales de las Sierras Pampeanas. Están formadas en su mayor parte por rocas metamórficas de alto grado (facies de anfibolitas superiores a granulitas) y en menor proporción, por rocas de grado medio a bajo y por cuerpos intrusivos. Las rocas metamórficas son en su mayor parte esquistos, gneises y anatexitas. En menor proporción afloran mármoles, anfibolitas y fajas discontinuas de rocas básicas a ultrabásicas de afinidad ofiolítica. Existen también pequeños afloramientos de metapelitas en zona de clorita y biotita, que están restringidos al borde occidental de las sierras (Gordillo y Lencinas, 1979; Bonalumi et al., 1998; Rapela et al., 1998). Dentro de este contexto se reconocen en el basamento importantes fajas de cizallamiento dúctil que dan lugar a la formación de milonitas (Martino et al., 1993 a y b; Simpson et al., 2001; Lira et al., 2014).

En cuanto a la actividad intrusiva en términos generales se diferencia una etapa magmática de arco compuesta por granitoides calcoalcalinos de edad cámbrica inferior,

aflorantes predominantemente en el borde oriental de las sierras de Córdoba (sierras Chica y Norte de Córdoba), seguida por intrusivos más localizados de composición granodiorítica a tonalítica, del Ordovícico inferior, y por último la formación, en el Devónico-Carbonífero inferior, de grandes unidades batolíticas como la Pampa de Achala (Rapela et al., 1998; Sims et al., 1998). Los Complejos Metamórficos Sierra Chica y Sierra de las Peñas en consideración a sus diferentes asociaciones litológicas, representan al basamento de edad Proterozoico superior a Cámbrico inferior, y constituyen la base de la columna estratigráfica donde se intruyeron posteriormente cuerpos tonalíticos ordovícicos, y sobre los que se apoyan el complejo sedimentario y volcánico del Grupo Los Cóndores, atribuido al Cretácico Inferior, y los sedimentos terciarios y cuaternarios (Gordillo y Lencinas, 1979; Bonalumi et al., 1998; Rapela et al., 1998).

### 2.2.2 La Llanura Chacopampeana

La Llanura Chacopampeana es una extensa llanura cubierta por sedimentos, desarrollada desde los límites con Paraguay, Brasil y Uruguay por el N y E, la costa del Río de la Plata y Mar Argentino por el E, el curso del río Colorado por el S y las serranías y montañas que se levantan por el O, Varela (2014). Sus características principales están definidas por ser una cuenca de una historia compleja formada por diferentes procesos de subsidencia. Se correspondería con la extensión S de la cuenca de Paraná que alcanza su máximo desarrollo en territorio brasileño. A pesar de compartir parte del desarrollo paleozoico y mesozoico con esa cuenca, difiere mpliamente en las secuencias cambro-ordovícicas y las cenozoicas. (Aguirre, M. 2019)

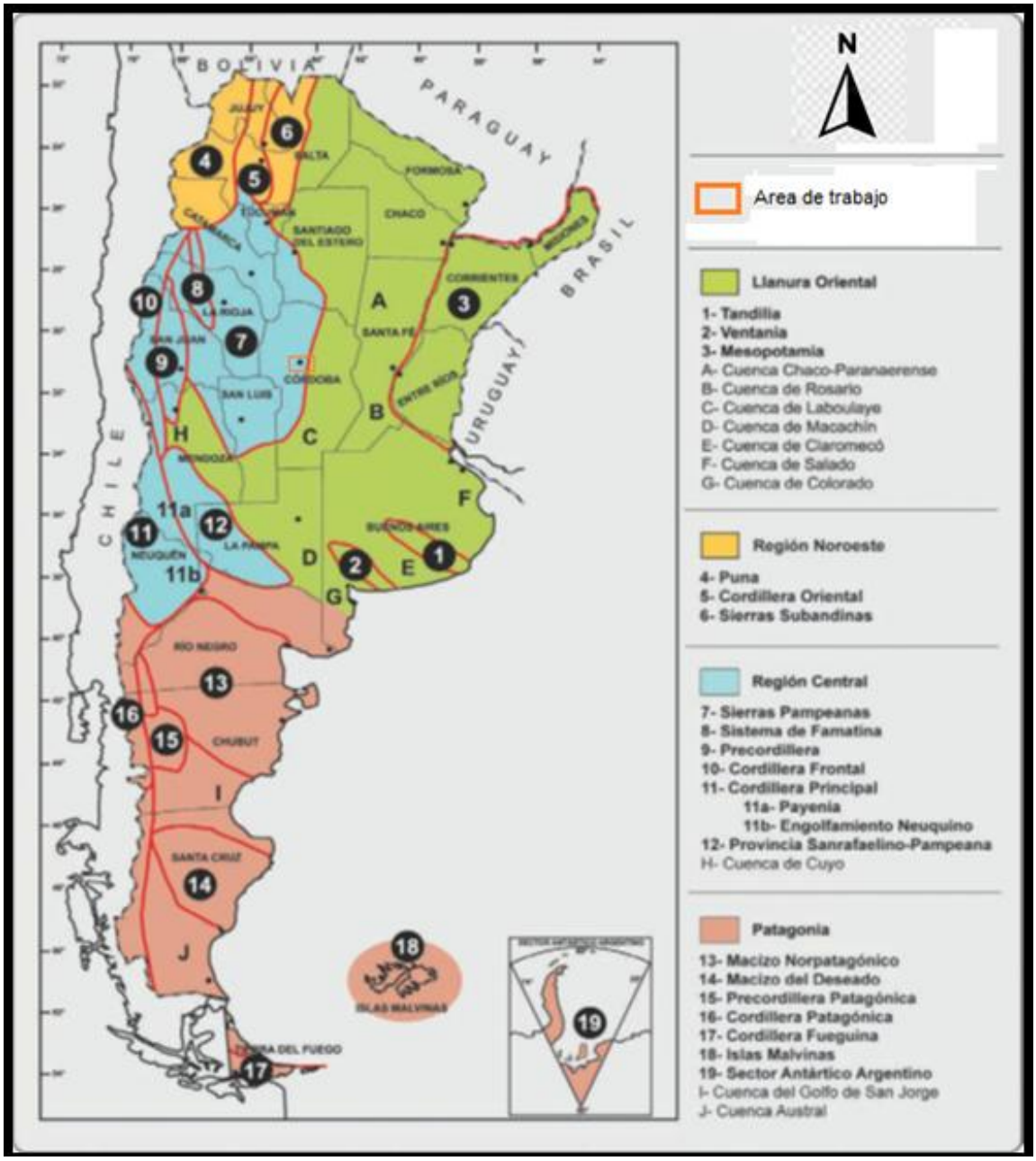


Figura 17 Provincias Geológicas de la República Argentina. (Tomado de Varela, 2014)

2.3. Geología.

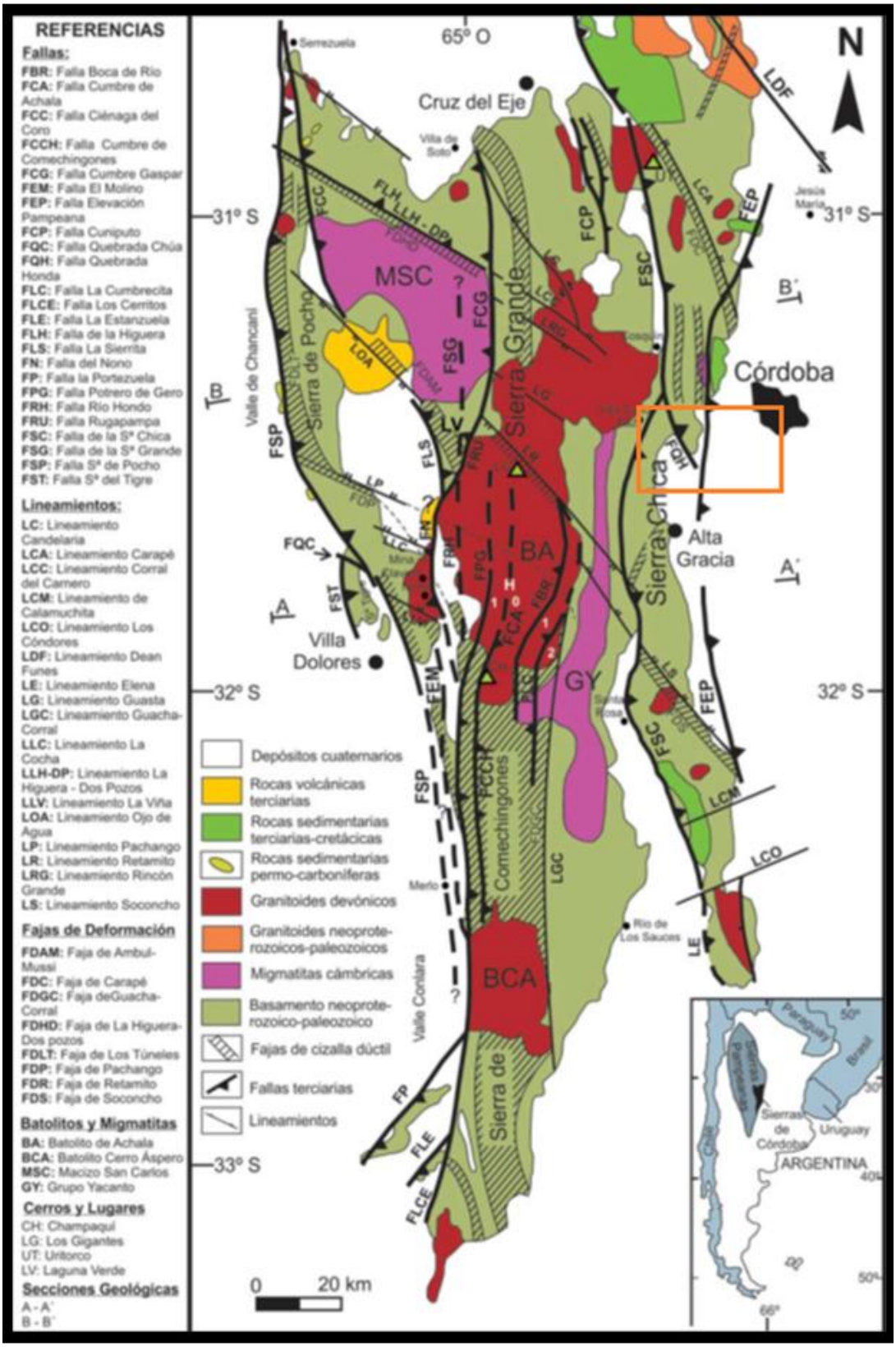



Figura 18 Mapa Geológica de las Sierras Pampeanas de Córdoba Martino (2014)

El área de estudio está enmarcada entre el faldeo oriental de la Sierra Chica de Córdoba y la llanura cordobesa (Figura 18). En este sector, la estructuración del área interrumpe la gradualidad de la transición y refleja algunas de las complejidades propias de la proximidad al orógeno Pampeano y su evolución. No obstante, no es motivo de este capítulo hacer una síntesis de la historia geológica sino más bien describir sintéticamente el marco geológico regional para tener una base sólida a la hora de evaluar la geomorfología y la hidrodinámica superficial del área.

Las sierras Pampeanas de Córdoba forman parte de la provincia geológica argentina de Sierras Pampeanas Orientales y están constituidas por cuatro cordones mayores: Sierra Norte, Sierra Chica-Las Peñas, Sierras Grandes-Comechingones y Sierras de Pocho-Guasapampa. El conjunto se extiende desde los 29º 00' S hasta los 33º 30' S, abarcando una longitud N-S de 430 km y un ancho máximo de 110 km (Vázquez et al., 1979). Siendo las altitudes variables desde los 550 msnm aproximadamente hasta los 2790 msnm, en la cima del Cerro Champaquí.

En lo que respecta a la Sierra Chica, es el cordón más oriental de las sierras Pampeanas de Córdoba. Se extiende desde el extremo N de las sierras del Pajarillo, Copacabana y Masa (30º 36´ S) hasta el S de la Sierra de Las Peñas (30º 38´ S), siendo la mayor elevación el cerro Uritorco (1950 msnm). La Sierra Chica está conformada por un bloque de basamento ígneo-metamórfico de sección asimétrica, con pendiente pronunciada al oeste y suave al este, alargado en dirección N-S. Dicho bloque está limitado al O por la falla de la Sierra Chica, que lo levanta por encima de los valles de Punilla y Calamuchita, que contienen rellenos sedimentarios del Terciario (Eoceno-Mioceno) y Cuaternario. Hacia el E, se adosan al flanco tendido del bloque, sedimentitas continentales cretácicas y pliocenas, las que se hunden suavemente bajo los sedimentos del Holoceno pertenecientes a la Llanura Chaco-Pampeana (Martino et al., 2012).

## 2.4. Estratigrafía

Según Martino et al., (2012-2014) las unidades litológicas que conforman los distintos afloramientos en el ámbito de la Sierra Chica de Córdoba se pueden sintetizar en una columna estratigráfica representada por: (a) metamorfitas del Proterozoico tardío-

Paleozoico temprano, (b) granitoides del Paleozoico temprano, (c) un complejo sedimentario-volcánico del Cretácico; y (d) sedimentitas de piedemonte y relleno de valles del Terciario, y sedimentos limoarcillosos y loéssicos del Cuaternario. Ésta síntesis permite una compresión rápida de la geología regional y de allí su importancia. No obstante, es necesario recurrir a algunas denominaciones formacionales, diferenciando a su vez, el basamento de la cobertera sedimentaria.

A. Basamento Cristalino

Tal como se describe tradicionalmente, el basamento cristalino de las Sierras Pampeanas de Córdoba está integrado principalmente por esquistos y gneis de edad proterozoica a paleozoica inferior (Linares y Gonzales, 1990) que fueron intruídos por granitoides de edades variadas, incluyendo el Paleozoico temprano y el Carbonífero (Rapela et al., 1991). La mayoría de las metamórfitas se encuentran en grado medio o facies de anfibolita, incrementándose en sectores hasta facies de alto grado metamórfico. Allí se evidencian distintos grados de fusión parcial, constituyendo fajas y macizos migmáticos (Gordillo, 1984). Subordinados con respecto a las litologías anteriores afloran cuerpos de mármoles, anfibolitas, metacuarcitas, esquistos filíticos y fajas discontinuas de rocas máficas y ultramáficas (Bonalumi et al., 1999).

En torno a la latitud del área de estudio se encuentra definido el Complejo Metamórfico La Falda constituido por gneises tonalíticos granatíferos, migmatizados en parte, con escasos mármoles y anfibolitas intercaladas (Martino, 2003). Este complejo metamórfico representanta el basamento cristalino aflorante en el flanco oriental de las Sierras Chicas y Sierra de la Cruz. Hacia el E se hunde gradualmente debajo de la cubierta sedimentaria hasta que, por efecto de la falla La Calera-Malagueño, asciende bruscamente detectándose próximo a la superficie (debajo de sedimentitas paleógenas) en el límite occidental de la Llanura Chaco-Pampeana.

B. Relleno Sedimentario

El registro sedimentario descripto para el área de estudio y la región es sintético básicamente debido a que el basamento cristalino de la región permaneció aflorante o subaflorante la mayor parte de la historia geológica luego de las etapas de engrosamiento cortical y alzamiento asociadas con la acreción de terrenos en el margen gondwánico entre fines del Proterozoico y el Paleozoico medio, como así también luego del Paleozoico superior.

No se registran en el área intervalos estratigráficos de las series paleozoicas ni del lapso Triásico-Jurásico. No obstante, durante el Cretácico la región fue afectada por extensión cortical, logrando acomodar sedimentos por debajo del nivel de base regional y preservarlos. Esta etapa de sedimentación está representada por los depósitos del Cretácico que ocuparon grábenes y hemigrábenes asociados con una etapa de fuerte extensión cortical, sincrónica con la apertura del Atlántico.

Posteriormente, el alzamiento y estructuración de las Sierras Pampeanas actuales ocurrido a partir del Mioceno tardío fundamentalmente (orogenia Andina), influyó en la compartimentación del registro más antiguo, el cual fue fragmentado y parcialmente expuesto, y en la formación de nuevos depocentros localizados y genéricamente denominados bolsones intermontanos.

La figura 19, muestra la distribución de los afloramientos de la cobertera sedimentaria. En el ámbito de las sierras de Córdoba el registro sedimentario carente de metamorfismo puede dividirse en un registro del Paleozoico superior que contiene series carbonífero-pérmicas, un registro del Mesozoico conteniendo series cretácicas y finalmente, un registro Cenozoico que contiene series paleógenas, neógenas y cuaternarias. Estos tres intervalos se vinculan con tres momentos geológicos durante los cuales se generó una estructuración regional y, en consecuencia, tuvo lugar la formación de cuencas sedimentarias en la región pampeana (Astini, 2014).

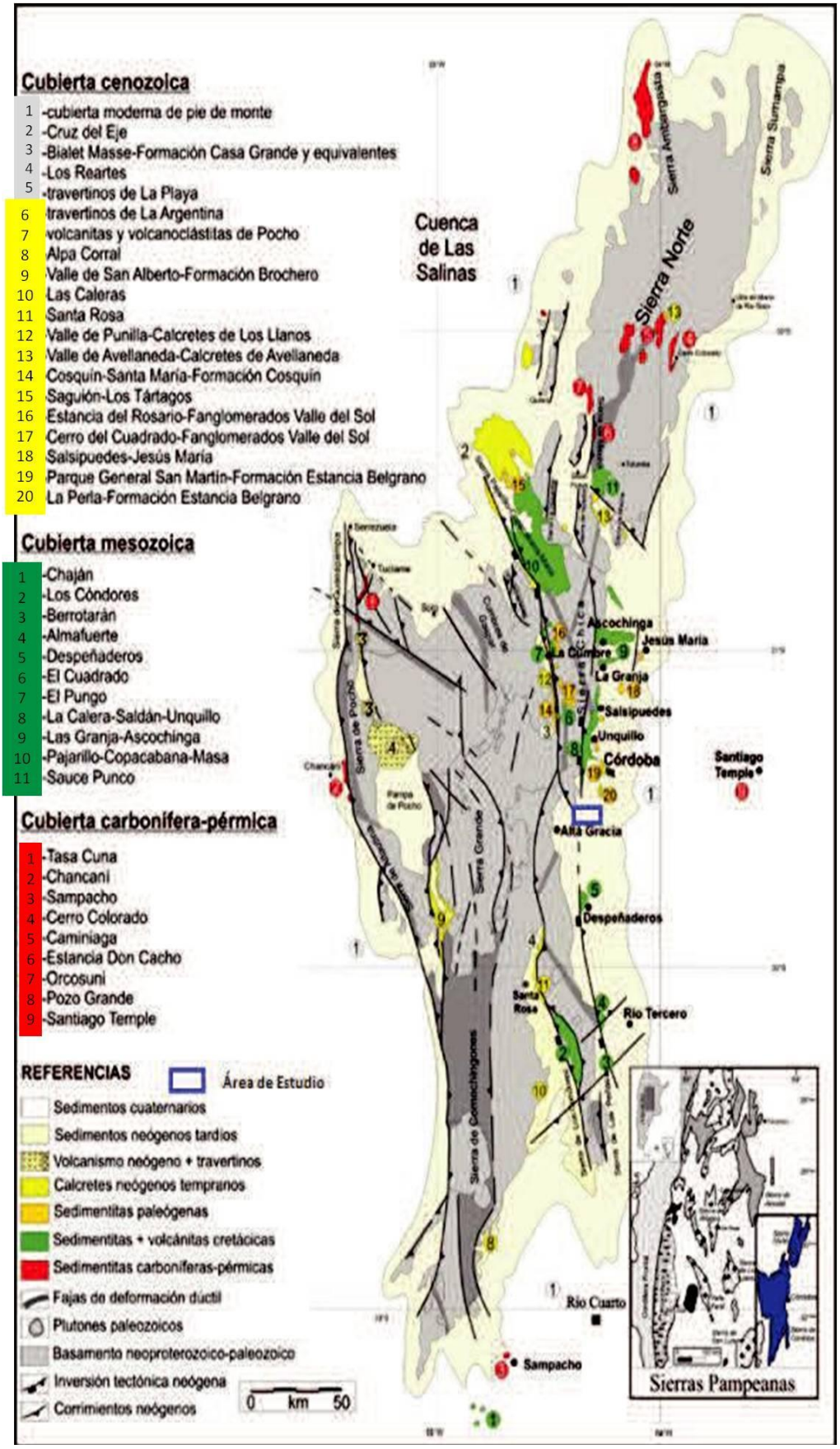



Figura 19: Ubicación de la cobertura sedimentaria en el ámbito de las sierras de Córdoba (tomado de Astini, 2014).

Nota: La cubierta del Paleozoico superior (Carbonifero-Permico) es la más antigua aflorando en las sierras de Cordoba y si bien existen registros en diversas partes, apoyándose siempre en no concordancia sobre distintos basamentos, no se encuentra en el área de estudio (ver Figura 19), cabe destacar que se ha hecho una mínima modificación en la numeración de referencia para mejor comprensión del lector, el mapa se conserva estrictamente como lo presenta el autor en su investigación.

B1. Cubierta Sedimentaria Paleozoica Superior

La cubierta sedimentaria del Paleozoico superior (Carbonífero-Pérmico) es la más antigua aflorando en las sierras de Córdoba y si bien existen registros en diversas partes, apoyándose siempre en no concordancia sobre distintos basamentos, no se encuentra en el área de estudio (ver Figura 19).

B2. Cubierta Sedimentaria Mesozoica

La cubierta Mesozoica de Córdoba incluye una serie de manifestaciones volcánicas, volcaniclásticas y sedimentarias que forman parte de la estratigrafía preservada en diversos sectores de las serranías y piedemonte cordobés, como así también en el subsuelo (Astini y Oviedo, 2014).

El estiramiento mecánico regional asociado con anomalías térmicas, durante la etapa de rifting y apertura del océano Atlántico, afectó toda la placa sudamericana y derivó en la generación de una serie fosas tectónicas formadas por grábenes y hemigrábenes. En Córdoba, estas regiones afectadas por adelgazamiento cortical localizado y acomodación (sedimentaria y sedimentario-volcánica) corren con disposición subparalela, constituyendo la franja central de cuencas cretácicas de la República Argentina, también conocida como Sistema de Rift Pampeano Central (Figura 20; Astini y Oviedo, 2014).

Este sistema de rift localizado en la zona de sutura entre el cratón del Río de La Plata, por el E, y el Terreno Pampeano Oriental, por el O (Schmidt et al., 1995), está constituido por un conjunto de depocentros o subcuencas elongadas en sentido N-S y que atraviesan la provincia con rumbo N-NO. También constituyen parte de este sistema de rifting un conjunto de subcuencas parcial o totalmente invertidas, producto de la tectónica andina, y alineadas con las Sierras Pampeanas de Córdoba (Astini y Oviedo, 2014). Entre estas últimas, las dos más importantes son la del extremo N expuesta en las sierras de Pajarillo-Copacabana-Masa y la del extremo S en la sierra de Los Cóndores y adyacencias, ambas alineadas con las Sierras Chicas (Schmidt et al.,

1995). Asimismo, tanto en la región cumbral como en el flanco oriental de las Sierras Chicas de Córdoba afloran unidades pertenecientes a este episodio.

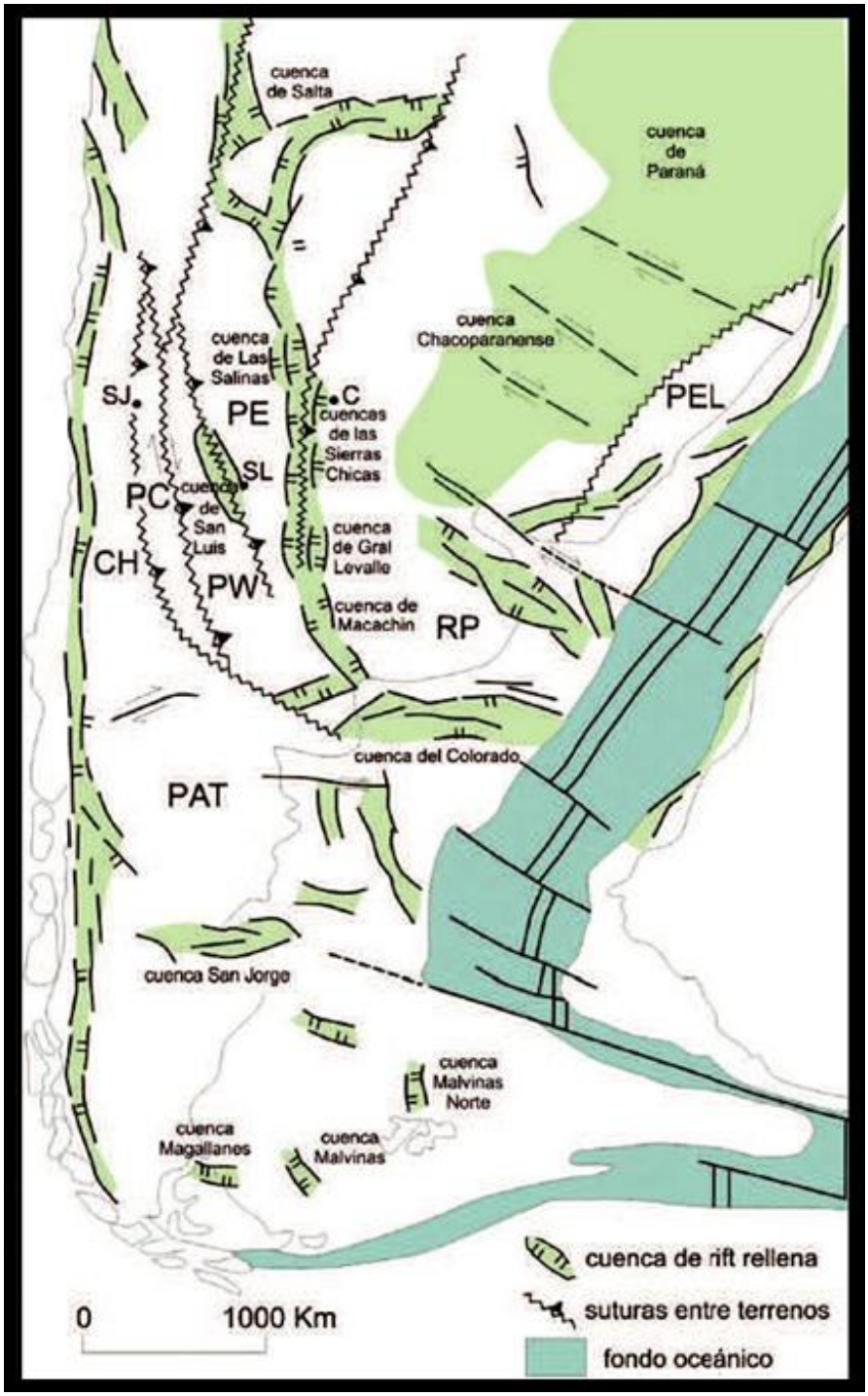



Figura 20 Distribución y localización de los principales depocentros asociados con rifting durante el Cretácico Inferior en el extremo sur de Sudamérica enfatizando el desarrollo de la franja central de la República Argentina que pasa por Córdoba, constituyendo el sistema de cuencas de General Levalle-Sierras Chicas-Las Salinas. Iniciales mayúsculas indican los límites entre terrenos proterozoicos y paleozoicos (RP: Río de la Plata, PEL: Pelotas, PE: Pampeano oriental, PW: Pampeano occidental, PC: Precordillera, CH: Chilenia, PAT: Patagonia. SJ: San Juan, SL: San Luis, C: Córdoba (tomado de Astini y Oviedo, 2014).

Si bien el conjunto fue analizado por numerosos autores, los estudios paleoambientales más detallados son los efectuados en los afloramientos expuestos sobre el curso del río Suquía (Santa Cruz 1972, Piovano y Astini 1990, Piovano et al., 1992, Piovano 1996), actualmente considerados el estratotipo del registro cretácico en el borde oriental de la Sierra Chica. Los afloramientos que se exponen pertenecen a una serie roja grano-estrato-decreciente de aproximadamente 230 m de espesor apoyada sobre el basamento del borde oriental de la Sierra Chica (Figura 19) y expuesta por inversión tectónica incompleta de una falla primariamente normal (Astini y Oviedo, 2014). La unidad fue denominada, Formación Saldán (Santa Cruz, 1972) y se encuentra muy bien expuesta y de manera continua sobre el curso del río Suquía y el arroyo Saldán. También se exhiben buenos cortes de esta unidad en la localidad de Villa Allende.

Los análisis paleoambientales realizados en dicha unidad, han permitido diferenciar tres asociaciones de facies principales, que se describen a continuación:

1.- Asociación de facies proximal. Domina los 120 m basales de la unidad y se corresponde con abanicos aluviales dominados por flujos de detritos. Está compuesta por brechas y depósitos polimícticos, mal organizados y muy mal seleccionados, de conglomerados gruesos, ricos en matriz, y con abundantes bloques sobredimensionados. Apareciendo en los primeros 10 m además de anfibolita y mármol, rodados y bloques de basaltos.

2.- Asociación de facies de abanico medio. Presenta desarrollo de estratificación cruda e intercalación de depósitos a partir de flujos de gravedad más diluidos con etapas intermitentes de retrabajo superficial por flujos. Está compuesta por bancos de conglomerados ricos en matriz mal seleccionada, relativamente macizos o gradados (en ocasiones con gradación inversa a la base) y con relaciones consistentes entre espesores de capa y tamaños máximos de clastos. Esta asociación domina en la sección media de la unidad, próximo a la falla inversa que la levanta y sobrepone sobre la asociación de facies distal.

3.- Asociaciones de abanico distal, barreales fangosos y lagos efímeros. Compuesta por una delicada interdigitación de depósitos de conglomerados finos y areniscas conglomerádicas tabulares y de carácter torrencial intercalados en paquetes psamíticos-pelíticos finamente estratificados. El conjunto posee coloración rojiza y algún bandeado

a colores blanquecinos indicando fluctuaciones temporales de la freática con concentración de carbonatos y evaporitas intrasedimentarias.

La totalidad de las paleocorrientes indican direcciones de transporte dominantes hacia el este. Según Astini y Oviedo (2014), puede especularse que es el tope de la Formación Saldán. Esta interpretación excluiría de la Formación Saldán a los depósitos del ciclo superior (secuencia cuspidal de Piovano, 1996, Figura 21) con una notable concentración de rodados basálticos. En este sentido, Bodenbender (1929) consideró a la "secuencia cuspidal" como una unidad fluvial cenozoica, generada por erosión de las series cretácicas de la región cumbral de la Sierra Chica. Más tarde la unidad fue denominada Formación Villa Belgrano (Santa Cruz, 1972) aunque su posición estratigráfica permaneció confusa.

A partir de las dataciones efectuadas sobre las vulcanitas pudo establecerse que el conjunto volcaniclástico del Pungo y Despeñaderos (119 ± 6 Ma., Gordillo y Lencinas, 1979), se correlaciona con los bloques de basaltos en la facies basal de la Formación Saldán. Esto permite considerar para los conglomerados con clastos de vulcanitas del flanco oriental de la Sierra Chica una edad máxima, más joven que Aptiano. Asimismo, dataciones radimétricas realizadas en los bloques de basaltos ubicados en la base de la "secuencia cuspidal de la Formación Saldán han provisto edades de 100,6 ± 2,8 (Piovano, 1996), consistentes con el límite Albiano-Cenomaniano (Cretácico Inferior-Cretácico Superior). Este sería el intervalo mínimo de edades que constituirían el lapso del magmatismo de sinrift que afectó a esta región (Astini y Oviedo, 2014).

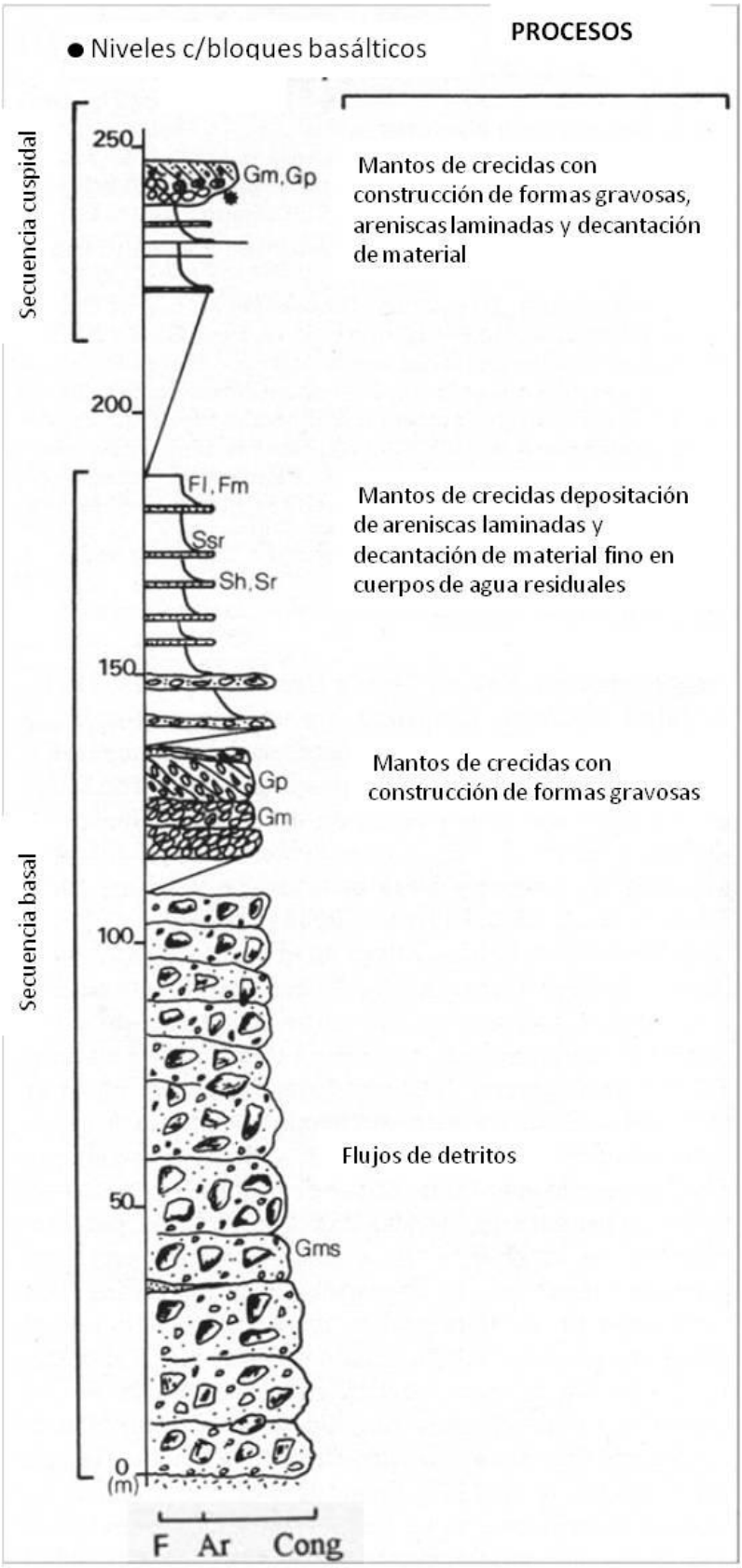



Figura 21 Columna sintética de la Formación Saldán (Piovano, 1996). Nótese la unidad gravosa superior ("secuencia cuspidal" de Piovano 1996) que actualmente, se interpreta como una unidad Independiente (paleógena), separada por discordancia.

## B 3. Cubierta Sedimentaria Cenozoica

No se encuentra en el área de estudio un perfil completo representativo de la cubierta sedimentaria Cenozoica. No obstante, es posible hacer una descripción generalizada del mismo a partir de los afloramientos en localidades vecinas, destacándose principalmente los correspondientes a la quebrada del Río Suquía al O de la ciudad de Córdoba, más precisamente en la Reserva Natural General San Martín. Asimismo, el registro sedimentario del piedemonte oriental de la Sierra Chica y de la llanura cordobesa fue vislumbrado en muchos casos a partir de perforaciones.

### B 3.1 Formación Villa Belgrano

Esta unidad fue originalmente descripta por Bodenbender (1929) como

"conglomerados arenosos con meláfidos". Este autor la reconoció en el faldeo oriental de la Sierra Chica y la ubicó por encima de la Formación Saldán, pero fue Santa Cruz (1972) quien posteriormente la definió formalmente, aunque su posición estratigráfica permaneció confusa durante un tiempo. Recientemente, los últimos trabajos consideran que la formación Villa Belgrano yace sobre la Formación Saldán a la que trunca erosivamente y es cubierta en aparente concordancia por una serie de depósitos gravoso-arenosos y limo arcillosos con intercalaciones de calcretes tabulares y costriformes que han sido correlacionados con la Formación Los Llanos (Figura 19, Astini y del Papa 2012), aunque para esto último, no existe un consenso generalizado. Sus afloramientos se extienden entre la Estancia Villa Belgrano y la Reserva Natural General San Martín (Figura 19), inmediatamente al O de la ciudad de Córdoba, sobre la margen N del Río Suquía.

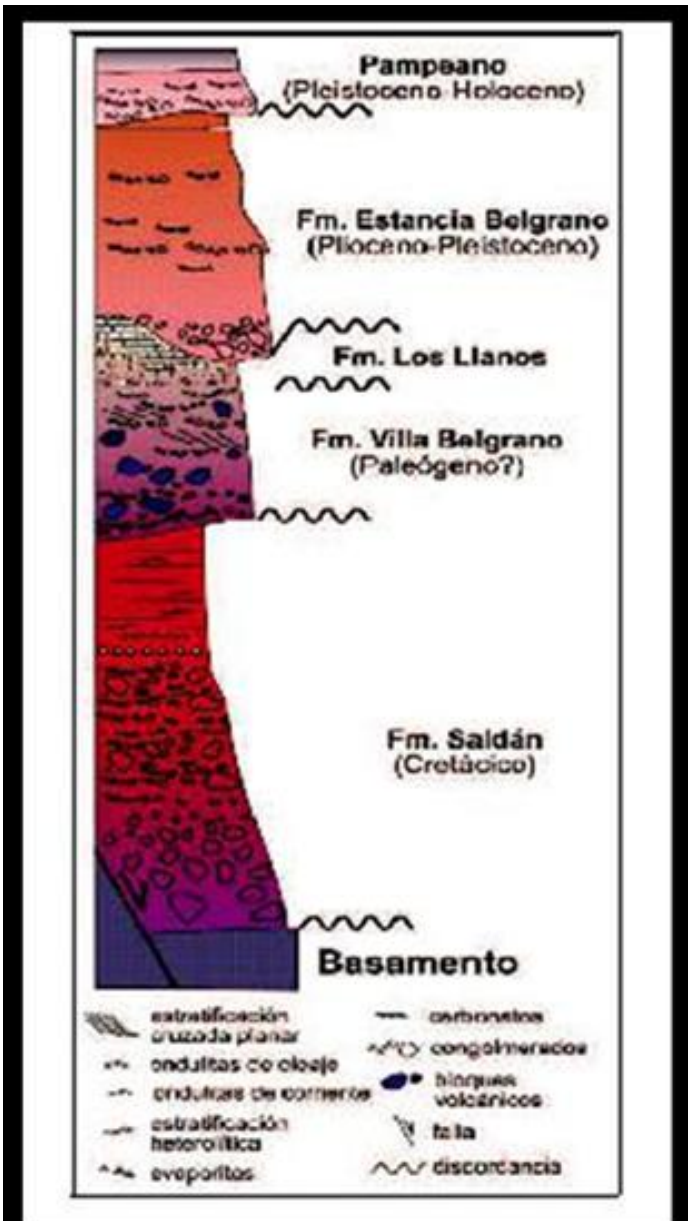



Figura 22 Columna estratigráfica esquemática (no a escala) de la posición de la Formación Villa Belgrano en el flanco oriental de la Sierra Chica (tomado de Astini et al., 2014).

Dentro de ésta última, afloran las mejores exposiciones de la unidad, mostrando relaciones de base y techo claras. Con posterioridad, aunque con diferencias composicionales, la unidad fue cartografiada por Santa Cruz (1973a) en gran parte del piedemonte cordobés entre Villa Allende y Salsipuedes. Asimismo, en las lomas de La Perla, sobre la Ruta Nacional Nº 20 (véase localidad 20, Figura 19), también afloran asomos de esta unidad (Astini et al., 2014). En general, la formación inclina con muy

bajo ángulo hacia el E y ha sido reconocida también en el subsuelo de la ciudad de Córdoba en varias perforaciones.

La Formación Villa Belgrano está representada por conglomerados arenosos de un color rojizo menos intenso que el del Cretácico infrayacente, con estratificación bien marcada y con buena organización interna. Incluye abundantes cuñas de arena y, lentes areno-conglomerádicos y gravosos. Texturalmente presentan una selección moderada con un buen grado de redondeamiento (clastos subredondeados a redondeados en general) y composicionalmente son polimícticos (clastos de granitos, granitoides, migmatitas, anfibolitas y escasos mármoles), resaltando los bloques de vulcanitas basálticas de hasta >35 cm de diámetro máximo (Astini et al., (2014) Figura 22).

Esta unidad conglomerádica difiere notablemente con la unidad infrayacente (la Formación Saldán del Cretácico) en el grado de compactación, cementación y deformación que justifican su posición estratigráfica más joven y el desarrollo de una discordancia separándola (Astini et al., 2014).

Genéticamente la Formación Villa Belgrano ha sido interpretada como depósitos fluviales cenozoicos (tentativamente paleógenos) producto del destechado y erosión de las series rojas cretácicas que habrían cubierto la región cumbral de la Sierra Chica y fueron convertidos en áreas de aporte a partir de los movimientos ándicos. Esta idea tiene sustento en el escaso grado de consolidación y cementación alcanzada por estos conglomerados rojos a diferencia de los que forman parte del Cretácico. Además, el ordenamiento interno de estos depósitos fluviales también contrasta notablemente con los conglomerados de la Formación Saldán que son mucho más desorganizados (Astini et al., 2014).

B 3.2 Formación Los Llanos

Si bien actualmente existe una controversia sobre el alcance del nombre Formación Los Llanos y su edad, algunos autores engloban dentro de esta formación un conjunto de calcretes y a veces niveles subordinados de silcretes blanquecidos encontrados en el ámbito de las Sierras Pampeanas. Asimismo, algunos otros autores utilizaron la denominación Calcretes de Avellaneda para intervalos similares ubicados en el extremo NE de la Sierra Chica.

En general, los afloramientos de esta unidad en el ámbito de las sierras de Córdoba están constituidos por una serie de depósitos gravoso-arenosos y limo arcillosos con intercalaciones métricas de calcretes tabulares y costriformes. Se encuentra formando "mesadas" dentro del paisaje serrano y apoya sobre diversos sustratos, siendo común su relación de solapamiento tanto con unidades paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas, como también directamente sobre el basamento (Astini et al., 2014).

Esta unidad ha sido interpretada como una paleosuperficie de peneplanización regional con una posición horizontal o subhorizontal que permite separar, a grandes rasgos, la historia pre-miocena de la mio-pliocena (Dávila et al., 2007). Este conjunto estaría indicando una etapa prolongada de tranquilidad tectónica que ocurrió en esta región del centro O argentino con posterioridad a la etapa de rifting cretácica y con anterioridad a la estructuración de cordones serranos y valles que caracterizan al antepaís fragmentado de las Sierras Pampeanas (Astini et al., 2014).

Si bien los mejores afloramientos ocurren en el extremo N de la Sierra Chica, entre Avellaneda y Deán Funes, es importante subrayar que éstos se encuentran distribuidos en la Sierra Norte, en varios valles intermontanos y han sido también descriptos en el flanco este de la Sierra Chica y en el subsuelo en la misma posición estratigráfica.

Los calcretes desarrollados en el flanco E de la Sierra Chica inmediatamente al O de la ciudad de Córdoba. Los mismos se encuentran apoyados sobre los conglomerados de la Formación Villa Belgrano (Bodenbender, 1929). Se trata de un intervalo muy calcáreo, descripto con aspecto poroso, seudotravertínico o bien como calizas lacustres en varias localidades del flanco E de la Sierra Chica entre el Río Suquía y el Río Xanaes, sobre el plano de denudación de la Formación Villa Belgrano. Asimismo, el intervalo puede correlacionarse en el subsuelo de la ciudad de Córdoba con una serie de calcretes que también han sido identificados al tope de la Formación Villa Belgrano y bajo la Formación Estancia Belgrano o equivalentes (Astini et al., 2014).

B 3.3 Formación Estancia Belgrano

Corresponde a un conjunto de depósitos areno-psefíticos que apoyan discordantemente sobre las unidades rojas del piedemonte cordobés (Formaciones Saldán y Villa Belgrano) e infrayacen al intervalo Pampeano. Si bien no habría afloramientos de la Formación Estancia Belgrano en el área de estudio, éstos se pueden observar en las barrancas del río Suquía donde la unidad fue definida originalmente (Santa Cruz, 1972),

como así también al N entre la localidad de Saldán y Villa Allende. Además, hay niveles en el subsuelo de la ciudad de Córdoba que son correlacionables con estas sedimentitas. La unidad comienza con conglomerados medianos a finos, pobremente seleccionados pero en general bien redondeados que se disponen en cuerpos mantiformes a lenticulares. Los clastos flotan en una matriz fina con abundante contenido de arcillas y limos, y sus litologías corresponden al basamento aflorante en la Sierra Chica y a la Formación Saldán. Internamente, se observa gradación inversa en la base seguida de gradaciones normales o estructuras macizas. Hacia arriba la granulometría de la unidad disminuye, observándose areniscas desde muy finas a gruesas que gradan a fangolitas, dispuestas en capas delgadas y tabulares, con frecuencia afectadas por bioturbación y moteados. Entre estas últimas intercalan delgadas pelitas con concentraciones de manganeso, hierro, restos carbonosos y capas de calcretes (Piovano et al., 1992). Posiblemente estos depósitos se generaron a partir de abanicos aluviales; mientras que los depósitos más finos se corresponderían con mantos de crecidas posteriormente afectados por bioturbación y pedogénesis. Asimismo, se interpretan cuerpos de agua estacionales con condiciones reductoras en los cuales se habrían depositado pelitas con restos carbonosos conteniendo concreciones., y se explica la alternancia de calcretes a partir de una sucesión de periodos de exposición subaérea y anegamiento (Piovano et al., 1992).

Sobre el piedemonte oriental de la Sierra Chica existe una serie de afloramientos de reducida extensión, donde se puede observar una secuencia compuesta predominantemente por limolitas y areniscas arcillosas pardas rojizas, con cuerpos lenticulares de conglomerados (Astini et al., 2014).

Finalmente, cabe destacar que estas unidades poseen centenares de metros en el subsuelo de la ciudad de Córdoba y se encuentran yaciendo alternativamente sobre la Formación Villa Belgrano (Paleógeno) o directamente sobre el basamento (como lo evidencia la perforación en el Barrio General Paz (Frenguelli, 1918).

En cuanto a la edad, Santa Cruz (1972, 1973a y b) asigna esta formación al Terciario superior-Pleistoceno bajo. Además, es correlacionable con la Formación Alpa Corral (Cantú, 1992), con la Formación Río Cruz del Eje (Carignano, 1997) y con la unidad informal “Conglomerados” de Sanabria y Argüello (2003).

B3.4 Formación Pampeana

Por encima de la Formación Estancia Belgrano, y apoyados en discordancia, se depositaron materiales predominantemente eólicos que fueron agrupados bajo la denominación de Formación Pampeana y se encuentran aflorando en distintos cortes naturales dentro de la Reserva Natural General San Martín (Piovano et al., 1992). Estos materiales conforman una acumulación loéssica antigua a la que se le atribuye una edad Pleistoceno Medio-Superior. No obstante cabe remarcar que la unidad no presenta homogeneidad regional y hacia el S, en la región pedemontana de las Sierras de Comechingones, la unidad fue referida por Cantú (1992) para designar materiales aflorantes en perfiles resultantes de la incisión de canales fluviales.

En la Reserva Natural General San Martín, al O de la ciudad de Córdoba, los depósitos se caracterizan por la presencia de sedimentos limosos y limo-arenoso, masivos a débilmente laminados, pardo rojizos, con carbonato de calcio disperso en la masa y en forma de calcretes. Y se interpretan como depósitos eólicos seguidos de un retransporte fluvial. Asimismo, los calcretes de carbonato de calcio podrían haberse originado por procesos pedogenéticos (Gaido et al., 2010).

B3.5 Formación Río Primero

Esta unidad fue definida por Santa Cruz (1973a) en afloramientos de las barrancas del río Suquía en el piedemonte oriental de la Sierra Chica. La misma se encuentra yaciendo en discordancia erosiva sobre la Formación Estancia Belgrano y está cubierta por el loess de la Formación General Paz (Santa Cruz, 1972). Posiblemente la unidad sea del Pleistoceno Medio a Superior. La descripción de los afloramientos permite reconocer o subdividir la unidad en dos miembros. Mientras que el miembro inferior sería correlacionable con la Formación Pampeano de Cantú (1992) (denominada Fm. Pampiano según Fidalgo et al., 1973) y con la unidad informal “Limos Arcilloso” de Sanabria y Argüello (2003), el miembro superior lo sería con la Formación Chocancharava de Cantú (1992) y con la unidad informal “Sedimentos arenosos con gravas e intercalaciones de limos y arcillas” de Sanabria y Argüello (2003).

Litológicamente, el miembro inferior (con un espesor aflorante de 10 m.), está integrado por limos arcillosos rosados, con intercalaciones arenosas lenticulares. Presenta estratificación entrecruzada y laminación horizontal y localmente laminación convoluta en paquetes de 10 cm de espesor. Además, incluye paleosuelos representados por restos de horizontes B, (Santa Cruz, 1979).

El miembro superior está integrado fundamentalmente por gravas gruesas y medianas con matriz arenosa y abundante $CO_3Ca$ precipitado en su techo. Está organizado en estratos texturalmente granodecrecientes. Localmente las gravas se concentran en paleocanales distribuidos a diferentes alturas en el perfil. Predominan los clastos de origen plutónico y migmatítico, y en menores proporciones los de esquistos y pegmatitas (Santa Cruz, 1979).

Las distintas interpretaciones realizadas indican que los materiales que componen el miembro inferior han sido transportados y depositados por acción fluvial en un ambiente de baja energía general (amplias llanuras aluviales con cauces de diseño entrelazado); y los materiales del miembro superior se corresponden con depósitos de canal de alta energía (paleo-río Primero). Siendo los materiales detríticos un producto de la erosión del basamento cristalino y, de las formaciones Estancia Belgrano y Saldán (Kröhling y Carignano, 2014).

B 3.6 Formación General Paz

Esta unidad definida originalmente por Santa Cruz (1972, 1973a, 1979) corresponde a un manto loéssico que cubre discordantemente a las formaciones Saldán, Estancia Belgrano y Río Primero en los afloramientos situados inmediatamente al E de la Sierra Chica. La edad inferida es Pleistoceno Superior-Holoceno Inferior y sería correlacionable con la Formación La Invernada definida por Cantú (1992) en el sur de la provincia de Córdoba y con la unidad informal “Limos” de Sanabria y Argüello (2003). El material sedimentario típico corresponde a limos medianos a finos, con arcillas subordinadas y escasas arenas. Localmente se intercalan lentes formados por arenas gruesas a guija de tipo torrenciales (Kröhling y Carignano, 2014).

B3.7 Formación Río La Granja

Esta unidad, definida por Santa Cruz (1973b), culmina en general la secuencia cuaternaria del piedemonte oriental de la Sierra Chica. Está formada por limos medianos y finos, masivos; y se encuentra rellenando depresiones. Asimismo, Santa Cruz (1973b) interpreta a las formaciones Estancia Belgrano y General Paz como fuente de los materiales, a partir de procesos de lavado de pendientes y procesos de erosión fluvial de baja energía, con un aporte pelítico posiblemente continuo y bastante regular que otorgó una característica masiva a los depósitos. Kröhling y Carignano (2014) correlacionan la parte superior de esta formación con la Formación Arroyo Las Lajas

definida por Cantú (1992). Además, sería posible correlacionarla con la unidad informal "Arenas y gravas" de Sanabria y Argüello (2003) correspondiente al Holoceno Medio.

B 3.8 Depósitos Modernos

Son sedimentos fluviales que cobran relevancia sobre las márgenes de los ríos, en las terrazas. En la zona de estudio se encuentran en las adyacencias del arroyo La Cañada y serían correlacionables con la unidad informal "Arenas y gravas" de Sanabria y Argüello (2003) asignable presumiblemente al Holoceno tardío. En su mayoría son de naturaleza areno-psefítica con variable cantidad de materiales finos, trizas de vidrio volcánico y micas (Santa Cruz, 1972).

A partir del inicio del siglo 21, después de un lapsus desde el último trabajo en la región central de la Provincia de Córdoba de Santa Cruz, (1978), el estudio de la geología del Cuaternario se incrementó de manera importante, a través de proyectos de investigación, que, entre otras cosas, dio lugar a la realización de tesis doctorales, de maestría y trabajos finales en la carrera de Geología.

Durante este último período se incorporaron a los estudios cronoestratigráficos del período Cuaternario, los análisis micromorfológicos, de mineralogía de arenas finas y arcillas, de biolítos, relación $TiO_2$/ $Na_2O$ y otros.

Los aportes más importantes los dan la aplicación de los métodos modernos de datación, como los de luminiscencia (TL, IRSL y OSL) y AMS, porque permiten acotar en el tiempo cada estrato identificado en las columnas estratigráficas.

Como ejemplo podemos citar las siguientes publicaciones.

Kemps, et al. (2006) realizan un estudio de un perfil cronoestratigráfico (Figura 21), denominado Lozada, por su proximidad a la ciudad homónima, sobre la ruta provincial 45, en la Provincia de Córdoba, con coordenadas 31 40,00' S y 64 09' O. Dando la secuencia estratigráfica que presenta, desde abajo hacia arriba, tres estratos. En la base, desde los -9,50m, hasta los -6,70m, un paleosuelo con una edad en la base de 105 ka. Por encima un estrato fluvial hasta los -2,0m. Este estrato fue definido por estudios micromorfológicos debido a su aspecto muy parecido a loess, con una edad en la base de 78 ka y en el techo 22 ka. Desde está profundidad hasta la superficie, se encuentra un estrato loéssico, franco limoso, con edad de 5,7 ka a los -0,80m. (Figuras 23 y 24)

Todo el perfil se ubica dentro del ciclo de Milancovitch, de aproximadamente 100 ka (IS 5), que se debe a las variaciones de excentricidad orbital y que es el tiempo que se toma como referencia para las interpretaciones paleoclimáticas.

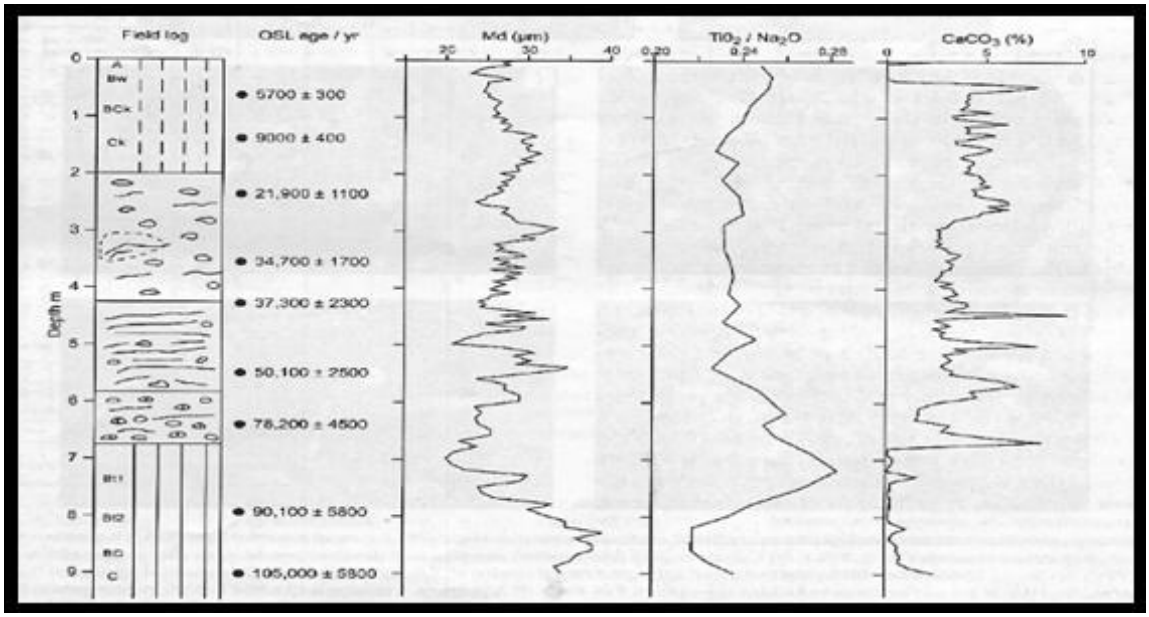



Figura 23 Funciones de log y profundidad de las edades de OSL, Md. TiO2/ Na2O y % CaCO3 del perfil en Lozada, Kemps, et al, (2006)

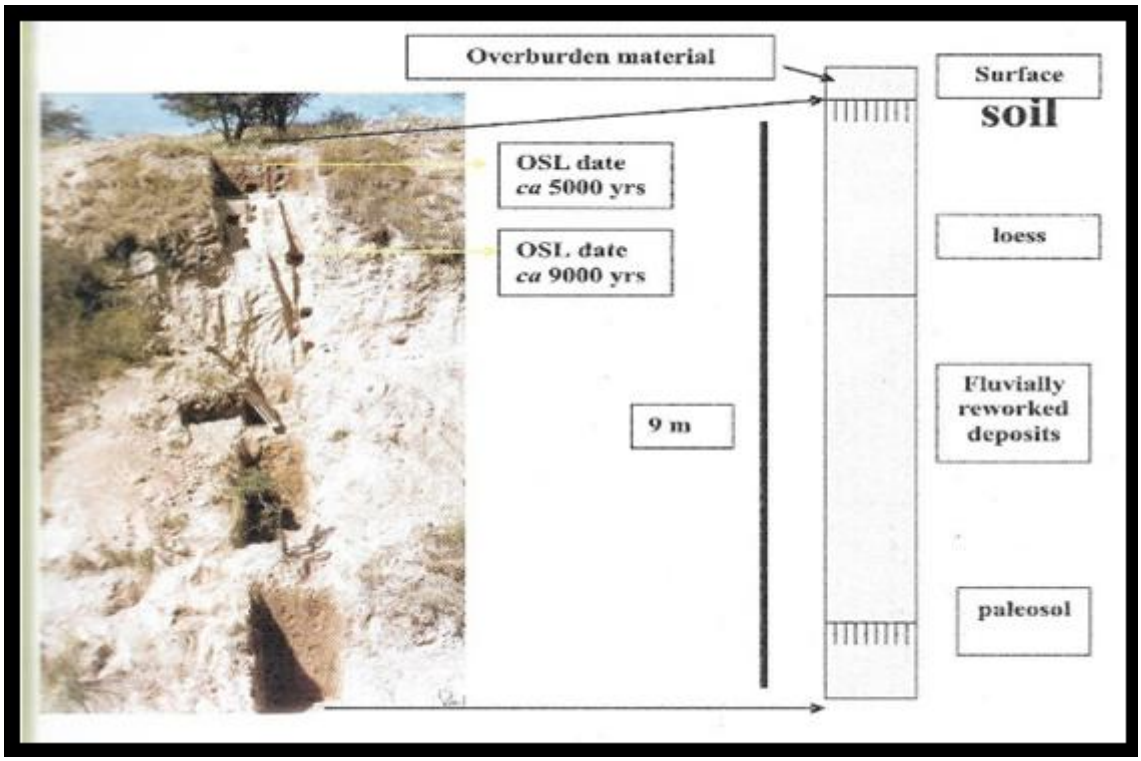



Figura 24: Foto en Lozada, perfil en margen de un canal excavado en los sedimentos del cuaternario de 9 metros de espesor. Kemps, et al, (2006)

Sanabria, et al, (2017), en el Paraje Mula Muerta, Departamento Totoral, Córdoba, Argentina (30º 53’ 53” S - 64º 00’ 37” O) realizaron un estudio en el que presentan una secuencia estratigráfica con las siguientes características;

Desde la base al techo el perfil está definido por las siguientes formaciones (Figura 25):

Formación Pampiano: Desde los -10m hasta los -7,50m Se encuentra constituida por sedimentos limosos de color amarillento a pardo rojizo (10 YR5/5) y en menor medida por arenas gruesas que aparecen muy dispersas en la masa, siendo su espesor promedio expuesto 2,5 m. Como material cementante se reconoce $CaCO_3$. La paleosuperficie de esta formación muestra evidentes muestras de erosión hídrica. Se puede observar en la foto de la Figura 26, la presencia de un paleocauce y que erosiona dos niveles de paleosuelos.

Formación Mula Muerta: Desde los -7,50m hasta los -3,00m. Se apoya en discordancia erosiva sobre la Fm Pampiano. Esta unidad informal, se encuentra integrada por gravas medianas a gruesas inmersas en una matriz arenosa gruesa a muy gruesa. La unidad en general presenta un arreglo granodecreciente, que se repite y la estructura es laminar fina paralela.

Formación Cordobense: Desde los -3,00m hasta la superficie. Se apoya en discordancia sobre la formación Mula Muerta. Se compone de limos medianos a finos conjuntamente con arenas finas a muy finas subordinadas, de color amarillento claro (10 YR3/4), de consistencia friable y pulverulento, cuyo espesor oscila entre 2,50 y 3m. El $CaCO_3$ aparece en forma dispersa en la masa o bien puede a llegar a presentarse a modo de pequeñas concreciones. La estructura de este estrato es masiva, además se observan signos de bioturbación. En esta última se realizaron dos dataciones por AMS, que dieron 12593±88 AP a los -2 m y 5113±22 AP a -0,80 m.

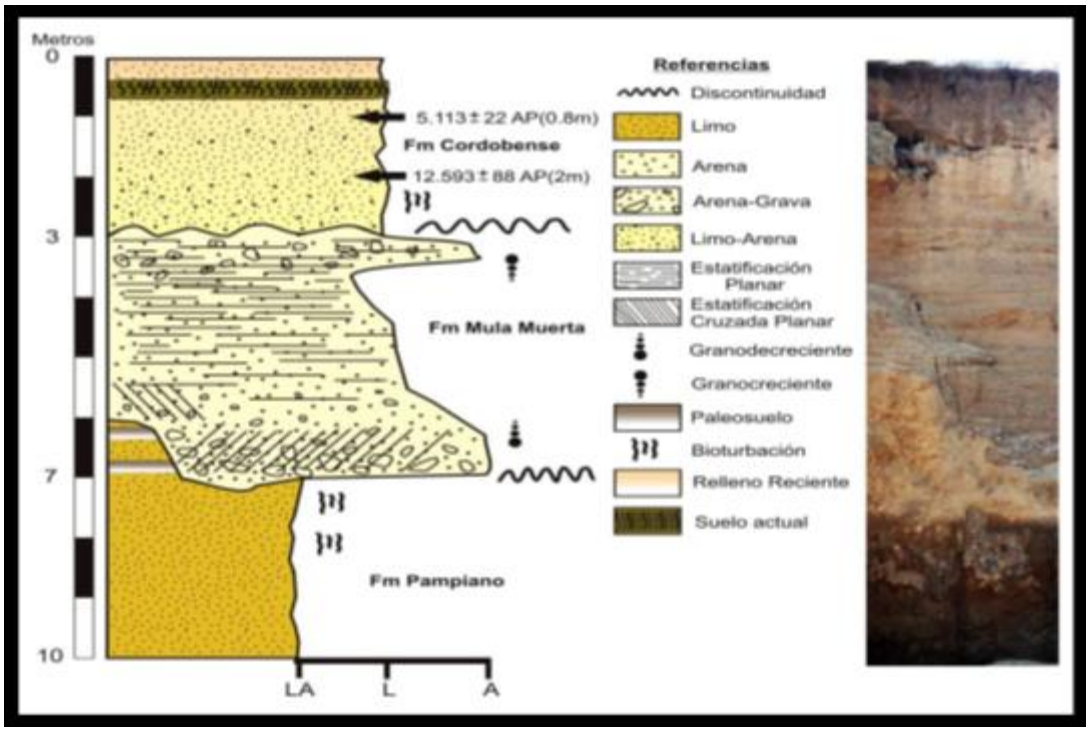



Figura 25 Descripción perfil paraje Mula Muerta, Sanabria, et al, (2017)

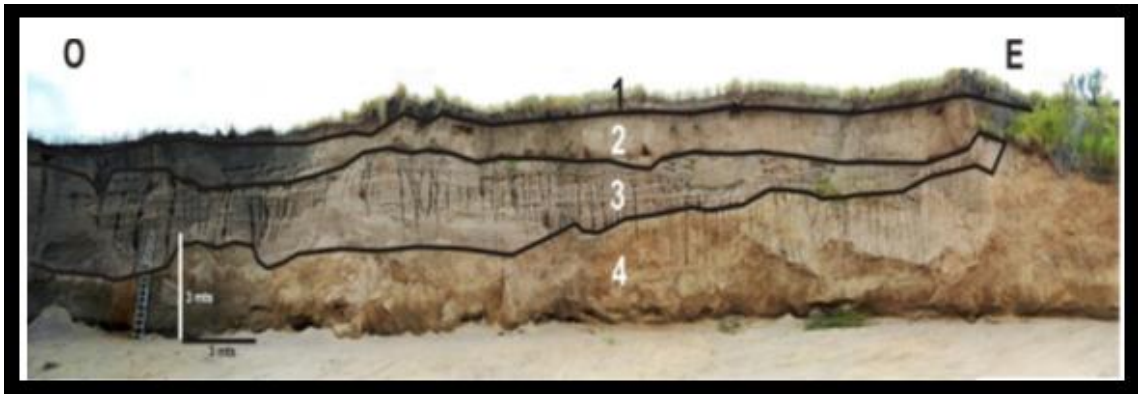



Figura 26 Foto perfil de cárcava en paraje Mula Muerta; 1. Reciente; 2. Fm. Cordobense; 3. Fm. Mula Muerta; 4. Fm. Pampiano. Sanabria, et al, (2017)

Frechen, M. et al, (2009), realizan un trabajo en las cercanías de la localidad de Lozada (31º 60’ 00” S y 64º 11’ 05” O) departamento Tercero Arriba, provincia de Córdoba, donde presentan un modelo conceptual de perfiles en situaciones de interfluvios en el que la secuencia clásica es de sedimentos fluvio-eólicos subyacente a sedimentos eólicos, sin presencia de sedimentos fluviales interpuestos. (Figura 25) y perfiles con una secuencia desde la base, de sedimentos fluvio-eólicos, por encima fluviales y arriba en superficie eólicos. (Fm. Mula Muerta y Fm. Lozada)

Figura 27: Foto de perfil de Corralito I, Frechen et al, (2009)

Desde el punto de vista paleoclimático se puede señalar que, la presencia de paleosuelos en la formación Pampiano nos indicaría para ese período cambios de condiciones húmedas y secas, posiblemente de corta duración temporal y la secuencia estratigráfica períodos similares, pero de mayor período de tiempo. Las paleosuperficie que presentan son indicativas antes del cambio a una condición húmeda. Los procesos erosivos fueron muy intensos, como queda reflejado por la presencia del perfil de una cárcava que corta los niveles de paleosuelos; y sobre esta, la formación Cordobense que es típica para toda la Plataforma Basculada en la región central cordobesa, definida por un período árido, con depositación de sedimentos eólicos, con un desarrollo de suelo en el techo, que se corresponde al clima actual.

## 2.5. Estructuras

La litósfera continental del sudoeste de Gondwana fue estructurada hacia fines del Proterozoico. Esta estructuración introdujo anisotropías planares en el basamento que controlaron el desarrollo de las cuencas fanerozoicas. Asimismo, la acreción de terrenos

en el margen pacífico de Gondwana durante el Paleozoico temprano reactivó esas anisotropías y creó otras, principalmente durante la fase Oclóyica del ciclo orogénico Famatiniano (Martino et al., 2012).

En el ámbito pampeano, dos grandes lineamientos controlaron las cuencas cretácicas continentales de Argentina central: el lineamiento de Valle Fértil (sería la sutura paleozoica de la acreción de la Precordillera argentina al margen O de Gondwana) y el lineamiento Pampeano Oriental (sería la expresión superficial de la sutura del cratón del Río de la Plata con el terreno de Pampia en tiempos precámbricos), hoy reactivado y que conforma la actual falla de la Sierra Chica de Córdoba (Martino et al., 2012).

La falla de la Sierra Chica (ver Figura 28), una de las más importantes de las Sierras Pampeanas de Córdoba, es una estructura inversa producida durante la orogenia Andina pero que registra una larga historia deformacional, ya que ha sido controlada por estructuras previas a la tectónica contraccional terciaria. Estos controles fueron ejercidos por la foliación regional penetrativa en todo el basamento metamórfico Proterozoico tardío-Cámbrico (orogenia Pampeana) y por el fallamiento directo producido por la tectónica extensional cretácica, parcialmente invertida durante la tectónica terciaria (Martino et al., 2012).
La compresión andina terciaria, producto de la subducción de bajo ángulo de la placa de Nazca, no sólo produjo la inversión tectónica de la cuenca cretácica de la Sierra Chica, parcialmente delimitada con las actuales fallas de la Elevación Pampeana (o Falla de Salsipuedes- La Calera-Malagueño), y de la Sierra Chica, sino también el fallamiento en bloques y su basculamiento en sentido horario. El alzamiento de los bloques del basamento, por su parte, habría comenzado hace unos 10 Ma de años (Mioceno Superior) a través de una serie de fallas de bajo ángulo (corrimientos) modificados localmente a ángulos mayores por apilamiento de la cuña bajocorrida, y reactivación por inversión tectónica de fallas directas de alto ángulo del rift cretácico. Además, otras fallas más antiguas, oblicuas al rumbo dominante actual, también habrían sido reactivadas (Martino et al., 2012-2014).

Como fue descripto anteriormente (véase contexto geológico), la Sierra Chica es el cordón más oriental de las sierras de Córdoba y está conformada por un bloque de basamento ígneo-metamórfico de sección asimétrica, con pendiente pronunciada al O y suave al E, alargado en dirección N-S. Dicho bloque está limitado al O por la falla de la

Sierra Chica, que lo levanta por encima de los valles de Punilla y Calamuchita. Asimismo, este bloque levantado está afectado por una serie de estructuras oblicuas al rumbo general, que lo segmentan en dirección N-S, como los lineamientos Carapé, Quebrada Honda y Soconcho, entre los más importantes (Martino et al., 2012). Hacia el E, el flanco tendido se ve interrumpido por un pequeño cordón denominado Elevación Pampeana (Bodenbender, 1929).

La falla de la Sierra Chica es una de las más extensas de las sierras de Córdoba y su escarpa de falla puede recorrerse por más de 200 km de largo. Regionalmente también ha sido mencionada como falla oriental de la Sierra Chica o falla de Punilla. Asimismo, en aquellos tramos locales donde fueron profundizados los estudios ha recibido también distintos nombres (falla Cosquín, falla Potrero de Garay y falla Santa Rosa). En general, estos segmentos o tramos locales de la falla de la Sierra Chica se encuentran delimitados por los lineamientos oblicuos anteriormente mencionados. La falla presenta un rumbo predominantemente meridiano aunque localmente presenta inflexiones con tramos rectos y curvos. Los tramos rectos tienen orientación NNO, altos ángulos de buzamiento (50-60º) y se vinculan a depósitos cretácicos. Los tramos curvos, en tanto, son cóncavos y convexos, tienen bajos ángulos de buzamiento (~30º), no se asocian a ningún depósito en particular y han sido interpretados como corrimientos de basamento por Martino et al., (1995).

Además de la falla de la Sierra Chica que exhuma el bloque de basamento ígneo-metamórfico de sección asimétrica constituyendo así, el rasgo morfoestructural más importante del área. Es necesario destacar, por su influencia en el comportamiento hidrológico e hidrogeológico de la región, otras dos estructuras de importancia primaria: el lineamiento Quebrada Honda y la falla Elevación Pampeana (Figura 28). El lineamiento Quebrada Honda es coincidente con la traza de la autopista Córdoba – Villa Carlos Paz a la altura de la Sierra Chica y se continua hacia el SE hasta truncarse con la falla Elevación Pampeana. El mismo surge como consecuencia de una falla inversa de rumbo NNO y traza vertical que ha elevado el bloque N respecto al bloque S condicionando el escurrimiento superficial y subterráneo del agua. Finalmente, la falla Elevación Pampeana (o Falla de Salsipudes-La Calera-Malagueño) correspondería a una falla directa de rumbo meridiano, probablemente invertida durante la orogenia terciaria. La misma finaliza sobre el lineamiento oblicuo de Soconcho que segmenta la Sierra Chica (Martino et al., 2012) y genera localmente una dorsal transversal a la Elevación

Pampeana llamada Dorsal de Las Bajadas. El movimiento de la falla ha permitido el basculamiento del bloque oriental hacia el ESE, con un valor de 10º a 12º en las cercanías de la fractura para disminuir a 4-5º a la altura de la ciudad de Córdoba (Martino et al.,2012).

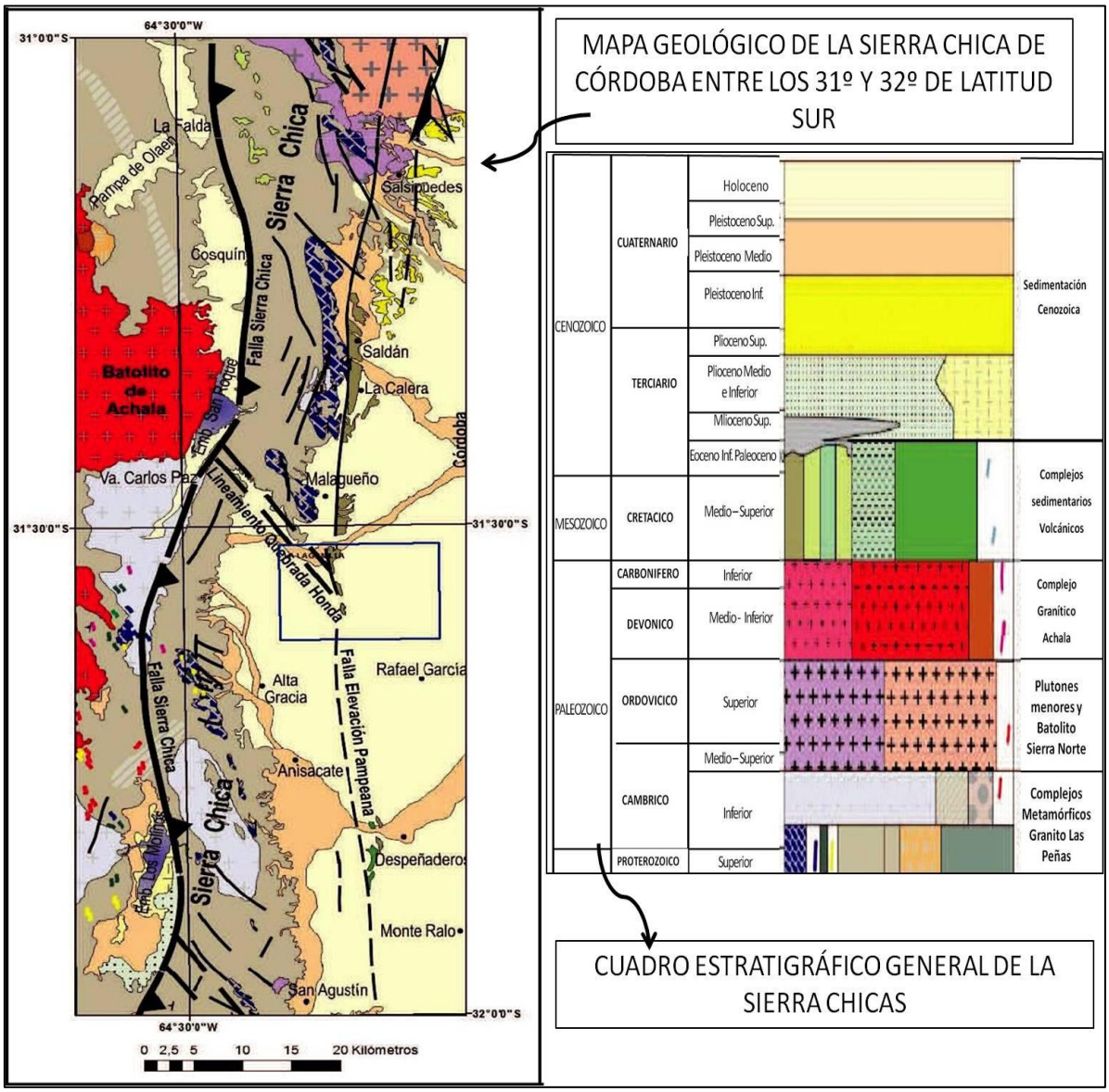



Figura 28 a) Mapa geológico de la Sierra Chica de Córdoba entre los 31º y 32º de latitud sur mostrando las estructuras descriptas anteriormente y el área de estudio (recuadro azul). b) Cuadro estratigráfico general de la Sierra Chicas (tomado de Martino et al., 2012)

## 2.6. Geomorfología

Geomorfológicamente, el área comprende parte de tres grandes unidades situadas al este de las Sierras Chicas de Córdoba: Sierra Chica, la Depresión Periférica y la Pampa Loéssica Alta.

Una visión de la geomorfología provincial, fue planteada por Kröhling y Carignano, (2014). En la Figura 30, se puede observar claramente, sobre un modelo de elevación digital, las diferentes unidades geomorfológicas. Cabe destacar entonces, que el área de estudio comprende parte de las unidades denominadas, Sierra Chica, Valle Estructural Alta Gracia o -San Agustín o Depresión Periférica y Elevación Pampeana.

### Unidad de La Sierra Chica

En el nivel de Unidad geomorfológica está integrada por la vertiente oriental tendida de la Sierra Chica, en donde a partir de la línea de cumbres que oficia de divorcio de aguas con las subcuencas que drenan hacia el Valle de Punilla, tienen sus nacientes las subcuencas hídricas con aporte a la zonas urbana y suburbana de la Ciudad y entre ellas la del Arrollo La Cañada.

Esta unidad geomorfológica presenta pendiente regional hacia el este, constituyendo el bloque basculado en ese sentido y sobreelevado en forma abrupta hacia el oeste (Valle de Punilla). En el nivel de unidad geomorfológica se distinguen: Las superficies estructurales accidentadas que responden al modelado del basamento cristalino y vallecitos plano-cóncavos evolucionados en él, a partir de líneas de debilidad que conforman fallas y fracturas en general. Las Superficies Estructurales Accidentadas, es el modelado del basamento cristalino de la vertiente oriental de Las Sierras Chicas, se manifiesta en un relieve accidentado con pendientes medias comprendidas entre un 20% y 35%, cuya distribución e intensidad, está regida en gran parte por la tectónica.

Sobre líneas de debilidad del basamento cristalino debido a fallas y fracturas, han evolucionado Valles de fondo plano-cóncavo de extensión variable, con frecuencia, ajustados al trazo de las fallas regionales N-S. Estas depresiones que siguen la estructura, tienen un ancho promedio no superior a 1 km con pendientes sobre el eje comprendidas entre 2 y 3%.

El Valle Estructural Alta Gracia-San Agustín (equivalente a la Depresión Periférica) presenta unos 60 km de longitud y una anchura media de 7 km, conformando una pequeña cuenca de sedimentación continental rellena tanto por sedimentos aluviales gruesos, provenientes de las sierras vecinas, como por sedimentos fluviales de los cursos mayores, loess y sedimentos loessoides. Mayormente los sedimentos que se encuentran en la superficie son loess y sedimentos loessoides intercalados con arenas y limos fluviales del Pleistoceno tardío-Holoceno y afloramientos de conglomerados cretácicos (Carignano et al., 2014). Dentro de esta concavidad tectónica longitudinal el relieve es ondulado a suavemente ondulado en su parte central, siendo el gradiente regional de 0,5 a 1%, variando entre 2 a 6% en el contacto con afloramientos (Sanabria et al., 2003) y llegando a más del 30% en los cerritos aislados (complejo metamórfico y sedimentos clásticos gruesos). Por su parte, la Elevación Pampeana (equivalente a la Plataforma Basculada), (Capitanelli, (1979); Jarsun et al., ~~Figura 29a,~~ (2006) Carignano et al., ~~Figura 29b,~~ (2014) y Sanabria, et al, (2017)); representa una dorsal de origen tectónico que interrumpe y modifica el declive general del piedemonte oriental de las Sierras Chicas hacia el E. Esta dorsal, visible como una pequeña cadena de colinas que se extiende hacia el S desde la localidad de La Calera hasta Las Bajadas, pasando al E de Malagueño, Despeñaderos y San Agustín., está controlada por la falla Elevación Pampeana (o falla Salsipuedes-La Calera-Malagueño) que desplaza un bloque de basamento y su cubierta sedimentaria (una secuencia de estratos cretácicos, paleógenos, neógenos y del pleistoceno temprano).

El máximo desplazamiento se encuentra en la zona N, donde afloran el basamento y los sedimentos más antiguos (La Calera y Malagueño), con una disminución gradual hacia el S. Fuera del área de colinas bien definidas (Altos de El Durazno, Alto de Fierro y Alto de La Piedra, etc.) presenta la morfología de una planicie ondulada con pendientes medias próximas al 5 %. Asimismo, el loess del Pleistoceno tardío que cubre la región enmascara los rasgos morfológicos asociados a la neotectónica, sin ocultarlos totalmente debido a la presencia de basamento cristalino próximo a la superficie (Carignano et al., 2014).

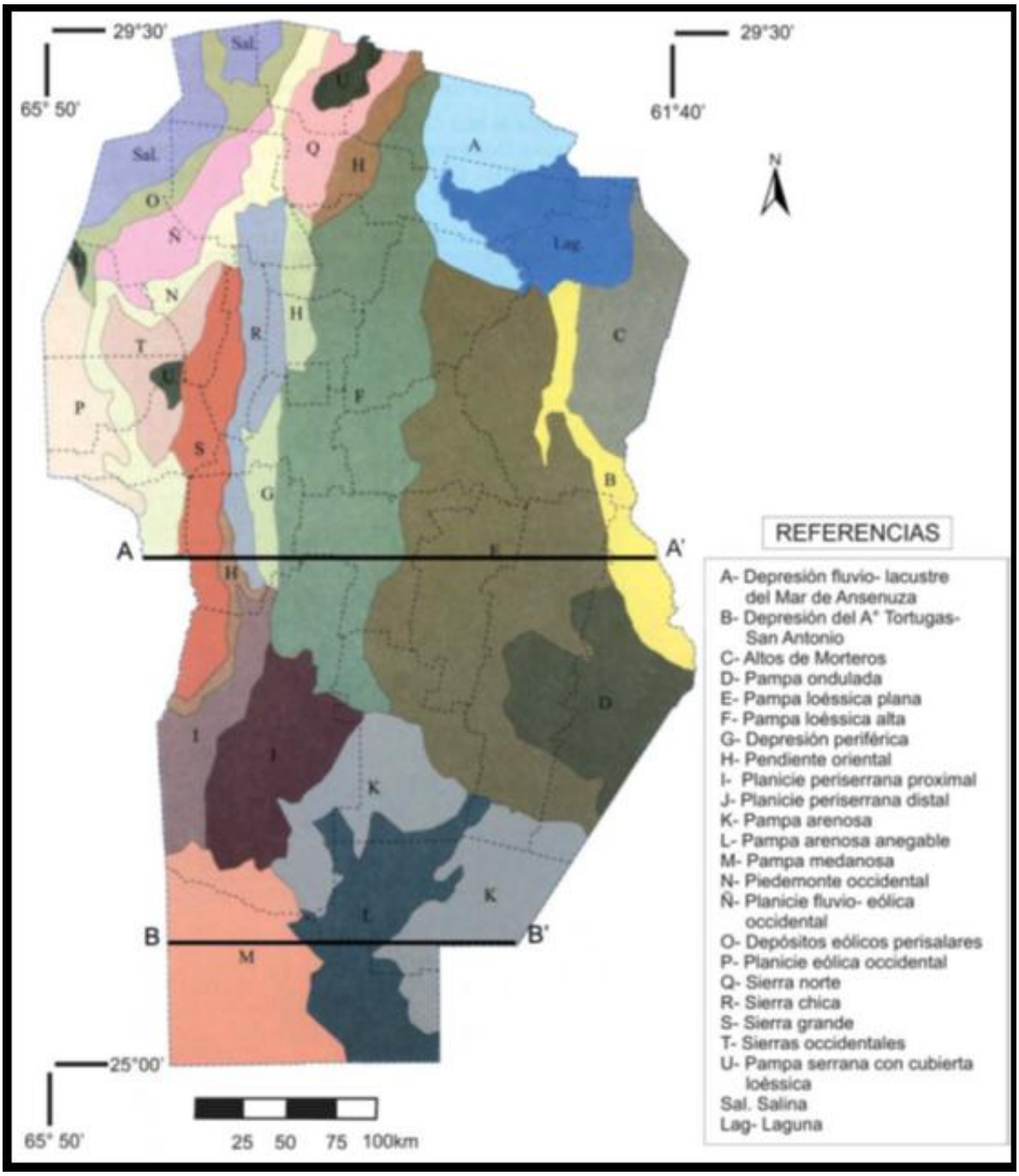


Figura 29a: Mapa geomorfológico de la Provincia de Córdoba, (Jarsun et al. 2006)

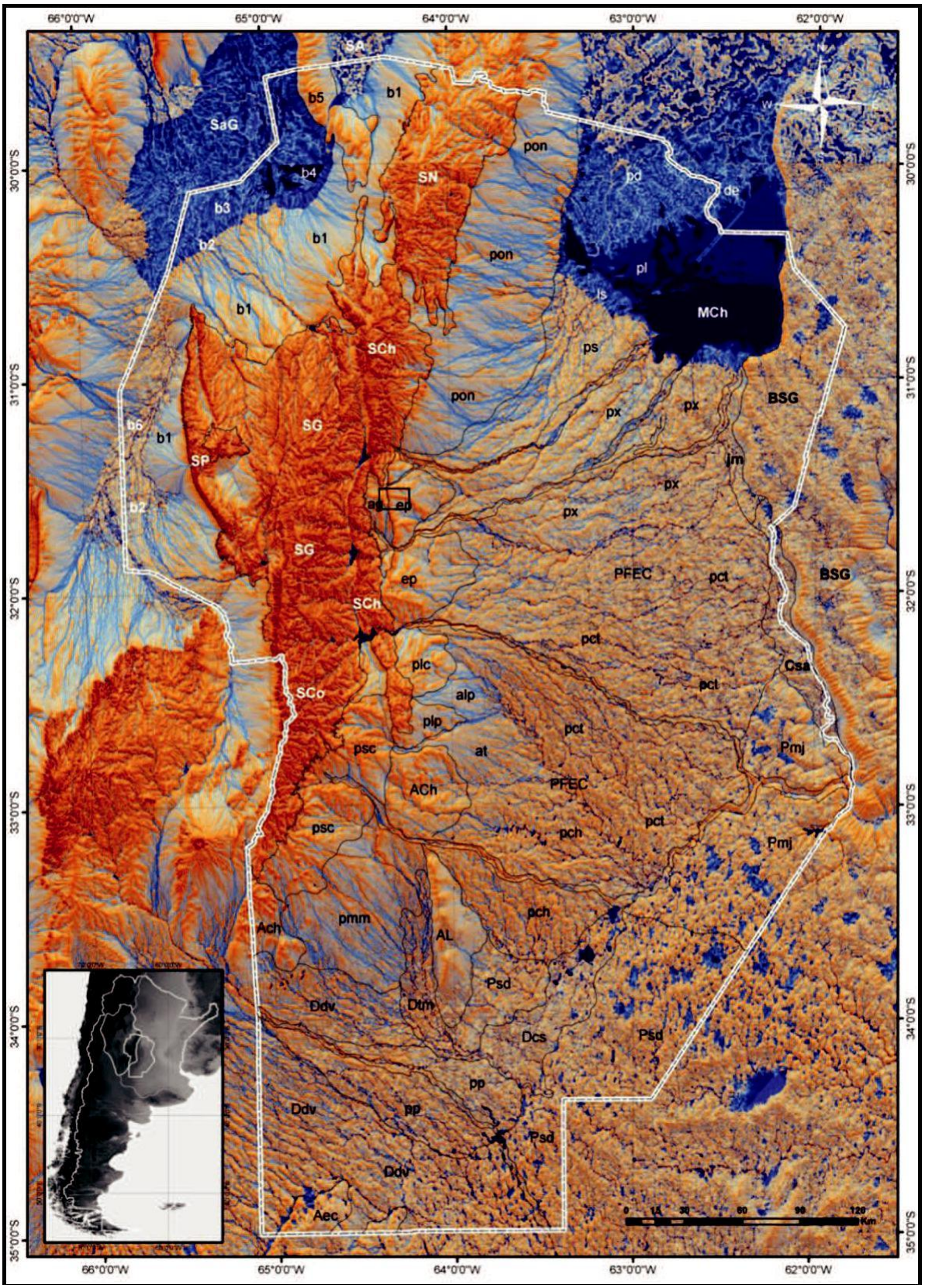



Figura 29b Modelo digital del terreno de Córdoba (tomado de Carignano et al., 2014) donde se resaltan las zonas deprimidas y concentración de drenajes (tonos de azul y celeste) y sectores elevados (tonos de marrón y naranja). Notar que del área de estudio (rectángulo negro) comprende parte de la Sierra Chica (SCh), Valle Estructural Alta Gracia-San Agustín o Depresion Periferica (ag) y la Elevación Pampeana (ep).

2.7. Hidrografía

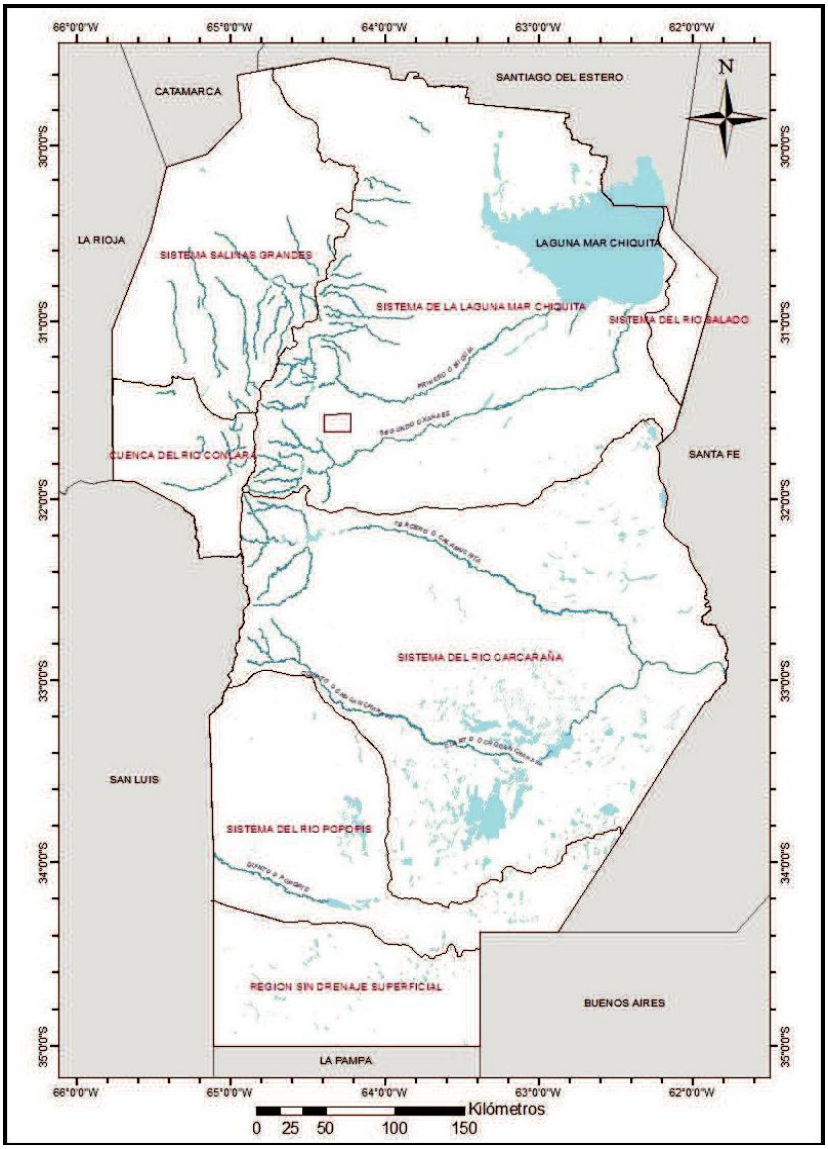



Figura 30 Mapa con los principales sistemas y regiones hidrológicas de la Provincia de Córdoba, tomado de Dasso et al., (2014).

Las diferentes unidades geomorfológicas de la Provincia de Córdoba dan lugar a la configuración espacial de seis sistemas hidrológicos principales (Figura 30, Dasso et al., 2014). La presencia de las Sierras Pampeanas de Córdoba determina dos vertientes principales, oriental y occidental. La vertiente oriental incluye los ríos que drenan hacia la laguna Mar Chiquita (ríos Suquía y Xanaes), sistemas del Río Carcarañá (Calamuchita, Chocancharava y Saladillo) y del Río Popopis. La vertiente occidental comprende el Sistema del Río Conlara hacia la Provincia de San Luis y arroyos del O de la Provincia de Córdoba, que drenan principalmente hacia los bolsones de las Salinas Grandes y Ambargasta. El Sur de la provincia está caracterizado por sistemas

hidrológicos no típicos (bañados y lagunas), comprendidos en la región sin drenaje superficial de San Luis, Córdoba, La Pampa y Buenos Aires.

Bajo este contexto, el área de estudio se encuentra ubicada en la zona fluvial del Río Suquía perteneciente, al sistema hidrológico de la laguna Mar Chiquita. La cuenca alta del Río Suquía se ubica en las Sierras Pampeanas de Córdoba (Sierras Grandes y Sierra Chica). Se caracteriza por ser de alta densidad debido a la baja permeabilidad del material geológico (rocas cristalinas) y por tener diseño dendrítico angular arborescente, en donde los colectores presentan tramos rectos encajados en valles transversales en "V" y confluencias angulares, por el efecto de un fuerte control por fallas y fracturas (Barbeito et al., 2006). Luego de atravesar las Sierra Chica, el río discurre por la llanura con un diseño del tipo meandriforme. Al cruzar la cota de 150msnm, el cauce principal se separa en distintos brazos que, en función a fluctuaciones temporales del balance hídrico, puede infiltrarse, originar bañados o desembocar en la laguna Mar Chiquita (Dasso et al., 2014).

El sistema hidrológico de la cuenca del Arroyo La Cañada tiene nacientes en la vertiente oriental de la Sierra Chica, desde la altura de la autopista Córdoba-Carlos Paz al N, hasta las cercanías del establecimiento de la CONAE, al S, y desagüe en el Río Suquía en la Ciudad de Córdoba (a la altura del puente Antártida), abarcando una superficie total de 297 $km^2$ (Menso, 2006). Ha sido causante de sucesivas inundaciones (con importantes pérdidas humanas y económicas).

2.8. Síntesis Regional del Sistema Hidrográfico del Rio Suquía y sus subcuencas entre el Dique San Roque y la Ciudad de Córdoba

Cuenca del Río Suquía:

Superficie: 1.750 $km^2$, considerando el área total de desarrollo de la cuenca alta, hasta el Dique San Roque, y desde el este hasta la ciudad de Córdoba, tenemos un área de 1542 $km^{2,}$ que hace un total hasta la ciudad de Córdoba de una superficie de 3.292 $km^2$

Nacientes: Sierra Grande, flanco occidental de la Sierra Chica y el Valle de Punilla

Zonas afectadas: Carlos Paz, Casquín y Bialet Massé

NOTA: Si bien el Dique San Roque produce un importante efecto regulador de la alta cuenca, la probabilidad de la ocurrencia de tormentas de magnitud en las subcuencas de

montaña con desagüe inmediatamente aguas abajo del paredón, representa una amenaza que debe ser considerada.

Subcuencas: que aportan sobre la Ciudad de Córdoba y al Rio Suquía con un área de 1542 $km^2$ (figura 31)

"A" - Arroyo Saldán (*)

Superficie: 235 $km^{2.}$

Nacientes: Sierra Chica.

Zonas afectadas: Río Ceballos, Unquillo, Mendiolaza, Villa Allende y Saldán

"B" - Conjunto de Pequeñas Subcuencas con desagüe en el Río Suquía, entre el Paredón del dique San Roque y la desembocadura del Río Saldán. (*)

Superficie total del sistema: 155 $km^2$.

Nacientes: Sierra Chica.

Zonas afectadas: La Calera

"C" - Arroyo La Cañada

Superficie: 297 $km^2$.

Nacientes: Sierra Chica, Sierra de La Cruz y Sierra de Malagueño.

Zonas afectadas: barrios, Suarez, Bella Vista, Güemes y zona Centro.

"D" - Santa Isabel (*)

Superficie: 31 $km^2$.

Nacientes: Piedemonte de Los Cerrillos.

Zonas afectadas: barrios Vicor, Santa Isabel, Congreso, Residencial Sur, Los Olmos, Parque Atlántida, Horizonte, Parque Latino, California, Las Flores, San Fernando, Iponá, Villa Revol y Crisol.

"E" - Camino a 60 cuadras (*)

Superficie: 352 $km^2$.

Nacientes: Los Cerrillos.

Zonas afectadas: rutas de acceso a la ciudad como en la Nacional Nº 36, la ruta Provincial Nº 5 y la ruta Nacional Nº 9.

“F” - Aeropuerto Córdoba (*)

Superficie: 271 $km^2$.

Nacientes: Piedemonte Sierra Chica

Zonas afectadas: barrios Guiñazú, Marqués de Sobremonte, Los Paraísos, Alta Córdoba, Pueyrredón, Jorge Newbery y Parque Liceo

“G” - Ciudad Norte (*)

Superficie: 53 $km^2$.

Nacientes: borde entre el plano aluvial del río Suquía y la planicie.

Zonas afectadas: barrios Santa Cecilia, Centeno, Poeta Lugones, Cerro de Las Rosas, Los Paraísos, Cofico, General Paz, Juniors y Yapeyú.

“H” - Lomas de San Pedro (*)

Superficie: 23 $km^2$.

Nacientes: Lomas de San Pedro.

Zonas afectadas: barrios Las Delicias y Villa Warcalde.

“I” - Arguello (*)

Superficie: 70 $km^2$.

Nacientes: piedemonte de la Sierra Chica

Zonas afectadas: ruta Provincial Nº 55 y Av. Padre Lucchese, y los barrios Argüello Norte, Uocra, Villa 9 de Julio, Mercantil, Villa Cornú, Policial y Cerro Norte.

“J” - Quebradas Las Rosas (*)

Superficie: 32 $km^2$.

Nacientes: Lomas del Torito

Zonas afectadas: zona del Tercer Cuerpo de Ejército, El Tropezón, y los barrios General Deheza, Quebrada de Las Rosas, 2O de Junio y Residencial Los Robles

“K” - Ciudad Oeste (*)

Superficie: 20 $km^2$.

Nacientes: borde entre la planicie y el valle del Río Suquía.

Zonas afectadas barrios: Ameghino, Rosedal, y Matienzo.

(*) Subcuencas que cuentan con trabajos profesionales sobre amenazas de inundación

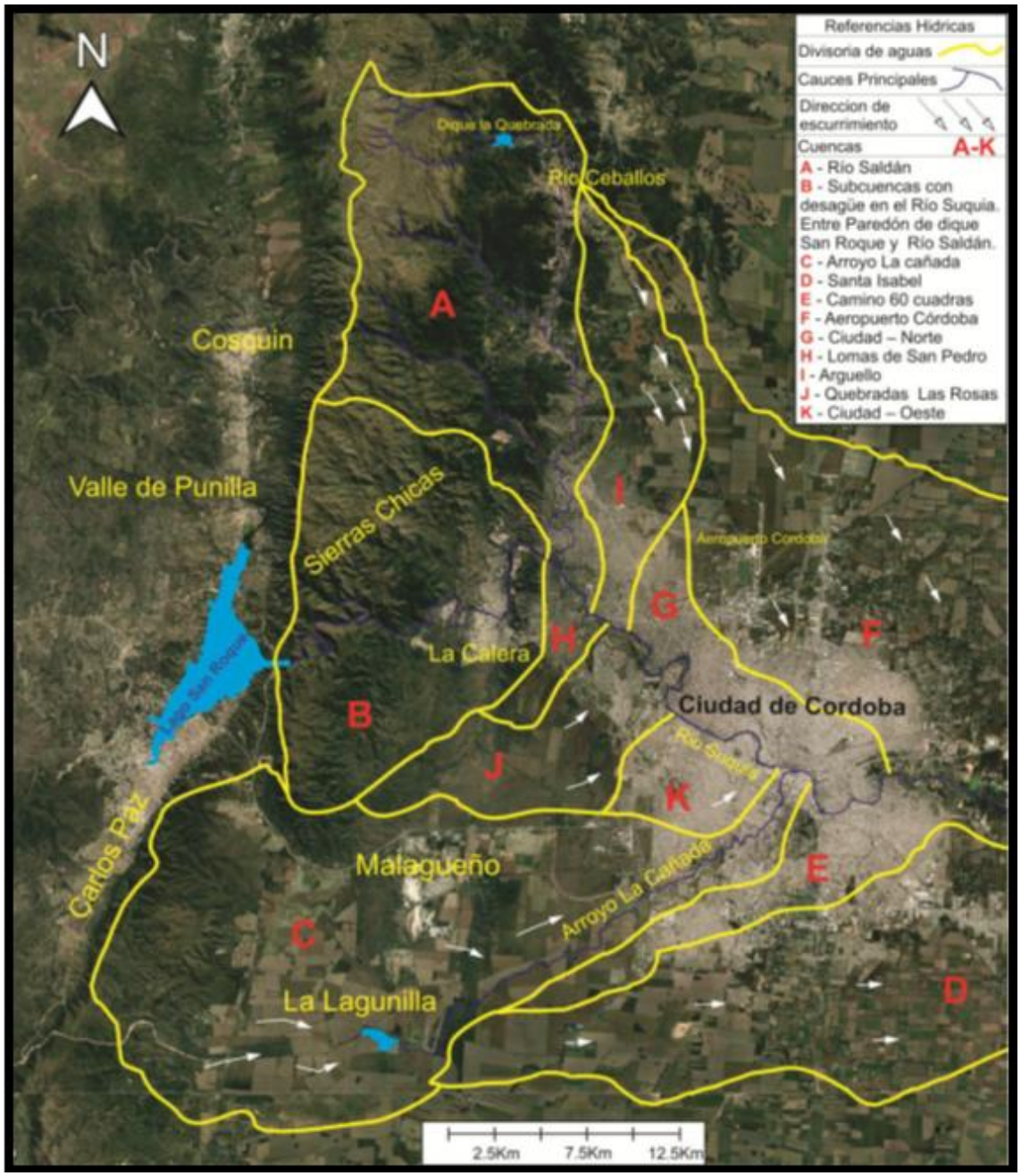


Figura 31 Mapa Imagen Satelital con las subcuencas que drenan hacia el Rio Suquía

## 2.9. Clima

El clima de un lugar o de una región es el resultante de la compleja conjunción de elementos y la acción de diversos factores, por lo general, de índole geográfica (Capitanelli, 1979a).

La Provincia de Córdoba se extiende en su totalidad en la zona templada de Argentina (Gorgas, y Tassile, 2006). A estas latitudes, la relación entre las superficies oceánicas y de los continentes (entre 15 y 85% respectivamente) determina una atenuación de los

extremos anuales de temperatura. Las particularidades del medio físico que caracterizan al territorio provincial, su extensión, el predominio de planicies o llanuras suavemente onduladas y la presencia de las Sierras Pampeanas de Córdoba, que integra un cordón serrano en dirección N-S, influyen claramente en la dinámica atmosférica y climática.

El efecto más notable de estas particularidades geográficas, es el de facilitar el desplazamiento de las masas de aire en el sentido predominante NE-SO caracterizadas como de tipo monzónica (Dasso et al., 2014). A su vez, el aumento de la deficiencia hídrica hacia el O determina la cubierta vegetal que acompaña a dicha deficiencia. En el extremo oriental la cubierta vegetal permanente determina una absorción mayor de la radiación recibida, una mayor evaporación y una menor energía remanente para el calentamiento del aire en comparación con la región central y occidental (Gorgas y Tassile, 2006).

### 2.9.1. Régimen térmico

Las características del régimen térmico de la provincia de Córdoba están determinadas por las temperaturas del mes más cálido (Figura 32a), del mes más frío (Figura 32b) y su amplitud térmica anual (Figura 33) (Gorgas y Tassile, 2006).

Los valores térmicos del mes de enero, que representa aquí a las temperaturas estivales, se distribuyen en la Provincia en un rango que oscila entre los 23,5°C en el S provincial hasta valores superiores a los 26,0°C en el extremo N. El efecto del cordón serrano sobre el patrón de isotermas es difícil de establecer por la ausencia de registros termométricos, y por lo tanto en las figuras 32 (a y b) y 33 se omite el trazado de isolíneas en esa zona.

Las temperaturas del mes de julio, que representan a la estación invernal, evidencian un rango de valores que van desde los 8° C en el S hasta los 11,5°C en el N.

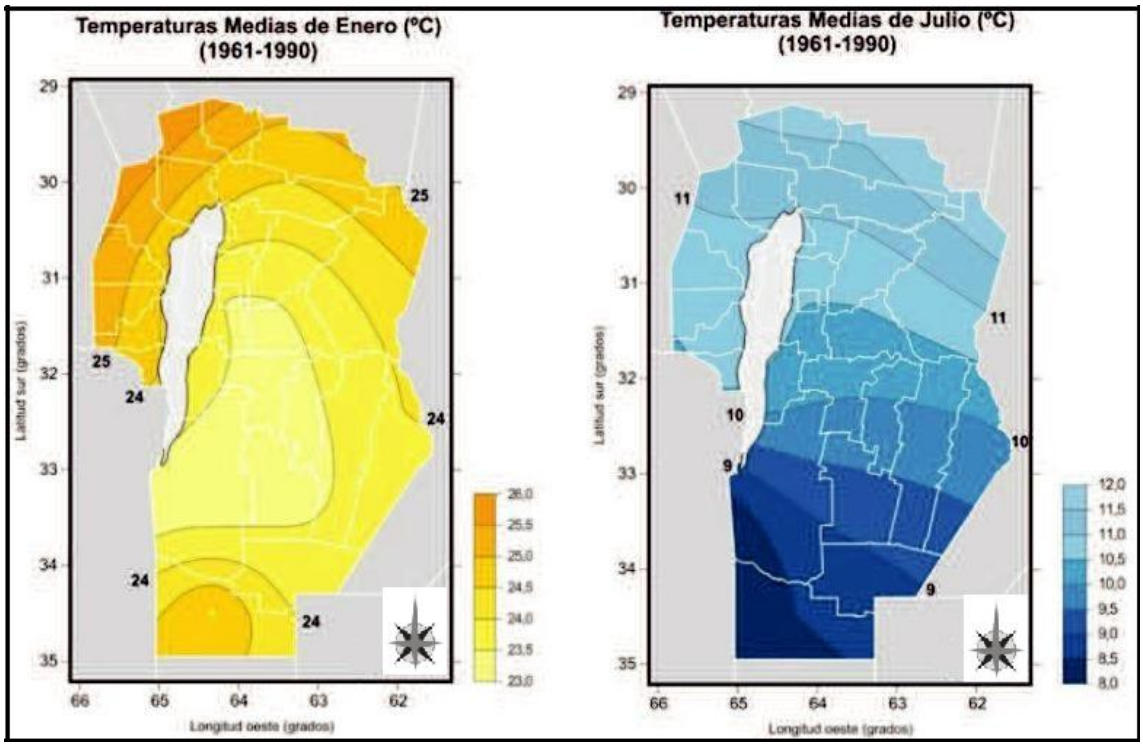



Figura 32 Mapas de temperaturas medias en la Provincia de Córdoba. a) Temperaturas medias de enero (°C; 1961-1990); b) temperaturas medias de julio (°C; 1961-1990); (Gorgas y Tassile, 2006).

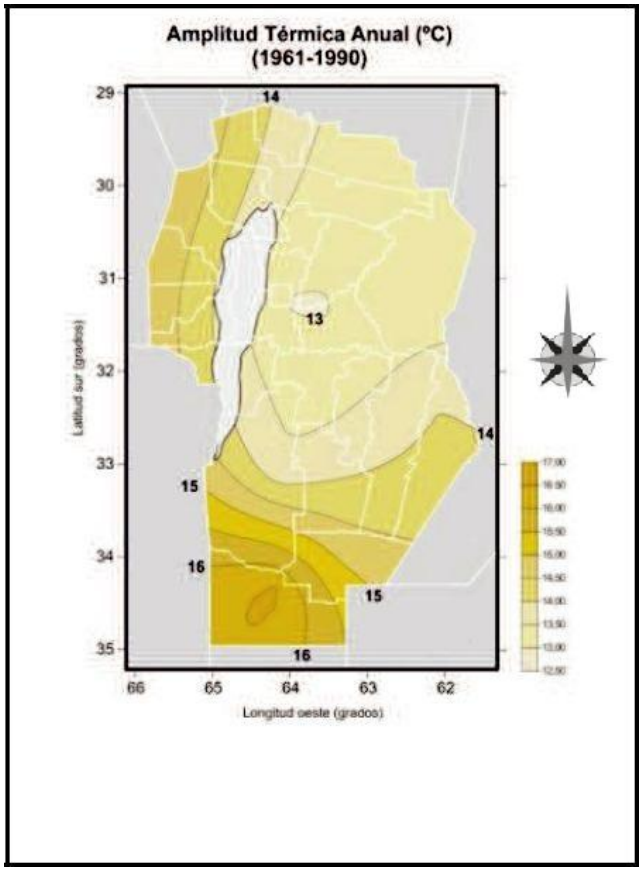



Figura 33 Mapa de amplitud térmica anual de la provincia de Córdoba

La amplitud anual de la temperatura representa la variación de los meses extremos, presentando mayores amplitudes en el S y O del territorio. Puede apreciarse que la temperatura no alcanza registros extremos y el rango o amplitud térmica anual no supera los 16° C en toda la provincia.

Por otro lado, al analizar los registros históricos de temperaturas correspondientes a las estaciones "Córdoba Aeropuerto", "Córdoba Observatorio" y "Pilar Observatorio", dependientes del Servicio Meteorológico Nacional y localizadas próximas a la zona de estudio, se pueden hacer las siguientes observaciones. Si bien la temperatura es una variable relativamente homogénea y constante en la Llanura Pampeana cordobesa dada la ubicación de las estaciones meteorológicas, es influenciada por la altitud y, en el ejido urbano de la ciudad de Córdoba, de manera que se percibe una diferencia considerable entre el área céntrica y la periferia en función de su desarrollo urbano.

La temperatura media anual de la serie 1960-1990 correspondiente a la estación Córdoba Observatorio emplazada en un área densamente urbanizada (Barrio Observatorio) a unos 425 msnm es de 17,94ºC, mientras que, para el mismo período, la estación Córdoba Aeropuerto emplazada en la periferia de la ciudad a unos 474 msnm registra una temperatura media anual de 16,23ºC. Esta diferencia se puede explicar, como se estableció anteriormente, a partir de la variación altitudinal entre las estaciones (50 metros aproximadamente) y de la isla de calor generada en el centro de Córdoba por su intensa urbanización. Finalmente, para un período similar de tiempo la estación Pilar ubicada en la ciudad homónima a unos 338 msnm registra una temperatura media anual 17,13ºC.

Por ubicación geográfica y altitudinal se concluye que la estación meteorológica Córdoba Aeropuerto representan más fielmente los valores de temperatura del área de estudio. La Figura 34, muestra la temperatura media mensual para la serie Córdoba Aeropuerto correspondiente al período 1981-2019.

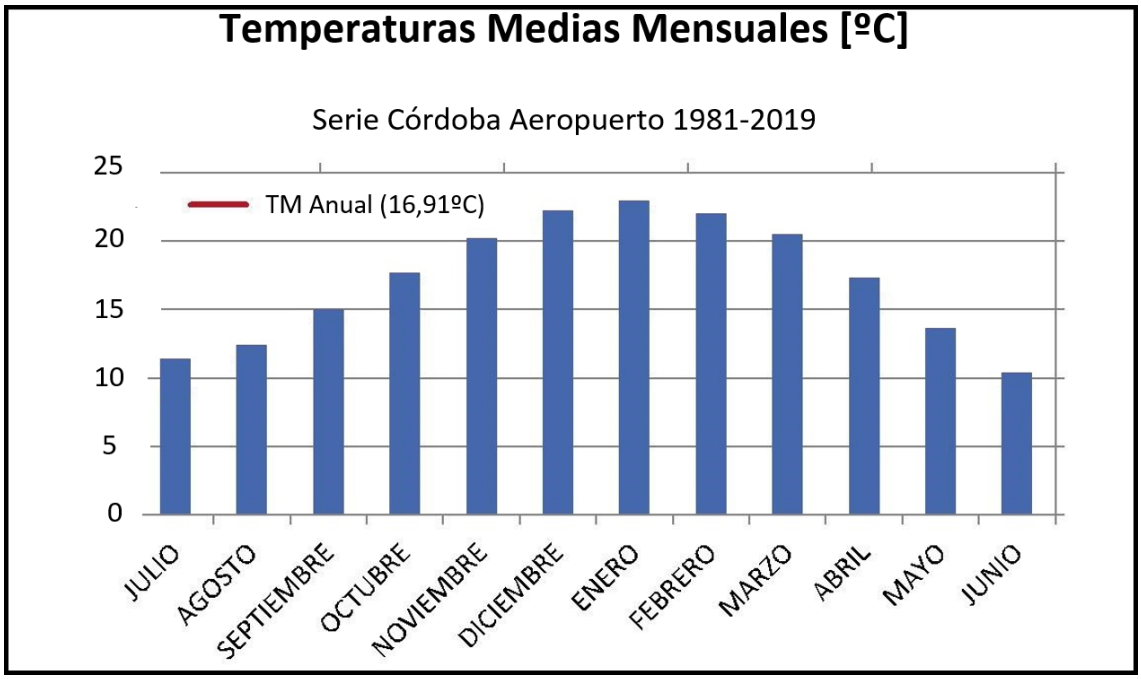


Figura 34: Grafico de temperaturas medias mensuales (ºC) correspondientes a la serie Córdoba Aeropuerto 1981-2019.

2.9.2. Régimen de precipitaciones

Al evaluar las precipitaciones se consideró la serie de datos que va desde el año 1981 al año 2019, correspondiente a la estación Córdoba Observatorio. Se observa que la mayor parte de las precipitaciones ocurren entre los meses de octubre y abril, mientras que el semestre frío (mayo-setiembre) exhibe escasas precipitaciones. Cabe mencionar que los mayores valores medios se dan en el mes de diciembre con 123,8 mm y los menores en julio con 9,08 mm.

Dasso et al., (2014) realizan una buena síntesis explicativa del régimen de precipitaciones de la provincia y la influencia de la circulación atmosférica.

En el ámbito de la Provincia de Córdoba, la distribución de las precipitaciones a lo largo del año define principalmente su régimen climático, que se denomina de tipo monzónico. Durante el verano, el Sistema Monzónico Sudamericano se desplaza hacia el S desde las latitudes tropicales hasta aproximadamente el NE de Argentina, produciendo el aumento de las precipitaciones. Este sistema conecta la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) con la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) a través de una circulación atmosférica de gran escala que contiene una corriente en chorro. Esta corriente “Chorro de Capas Bajas de Sudamérica” se origina

en el Amazonas, y es la responsable de transportar humedad a una amplia región del SE de Sudamérica incluyendo el centro de Argentina. Este mecanismo que da lugar al control temporal de las precipitaciones presenta marcadas variaciones que ocurren desde 15 escalas estacionales hasta miles de años y determina en gran medida el balance hidrológico en toda la extensión de la provincia.

La Provincia de Córdoba (al igual que una gran porción del SE de Sudamérica), ha evidenciado un aumento importante de las precipitaciones medias anuales en las últimas tres décadas del siglo pasado (mayor al 10 %). Además, el número de episodios de fuertes lluvias también se han incrementado. Así, las fuertes precipitaciones son una característica distintiva del clima de la provincia, y su tendencia positiva ha resultado en inundaciones más frecuentes (Dasso et al, 2014).

Tipos de lluvias (síntesis)

En forma sintética los cuatro procesos generadores de nubes (ascenso convectivo: ascenso orográfico, ascenso frontal y ascenso por convergencia horizontal, (Jackson 1977), como consecuencia de la forma en que se produce el ascenso del aire. Estos procesos definen los cuatro tipos principales de lluvias, los que a continuación se detallan, indicando además su incidencia en distintas regiones del país.

Lluvias convectivas

El calentamiento diferencial de la superficie terrestre provoca que el aire en contacto con las áreas más calientes, se vuelva relativamente menos denso que en otros lugares y comience a ascender como un globo aerostático. Con el ascenso del aire se desencadenan los procesos formadores de las nubes, que en este caso frecuentemente generan nubes de gran desarrollo vertical (cumulonimbos), las que se caracterizan por producir precipitaciones fuertes o puede originar las tormentas más violentas, en el centro-este del país. Además se incentivan por convección los procesos formadores de lluvias orográficas.

Lluvias frontales

En las zonas de contacto entre dos masas de aire de distintas características térmicas, por ejemplo una fría y otra caliente, se produce el ascenso de masa más cálida, sobre la más fría, dando lugar a la formación de nubes de gran desarrollo vertical como los cumulonimbos, generadores de fuertes lluvias

En el territorio nacional por ejemplo, el aire frío polar que ingresa por el sur y el oeste, produce lluvias orográficas sobre las sierras Pampeanas de Córdoba al ponerse en

contacto con las masas cálidas tropicales, se manifiestan los frentes fríos que en forma continua recorren el país de sudoeste a noreste. El aire frío, más denso, se introduce como cuña por debajo del aire cálido tropical, obligándolo a subir y a comenzar su enfriamiento, el que desencadena los procesos formadores de nubes. Estos frentes fríos producen lluvias intensas sobre largas líneas de inestabilidad frecuentemente orientadas de noroeste a sudeste y son los responsables de importantes lluvias sobre la región pampeana.

Lluvias orográficas

El aire que enfrenta una cadena montañosa se ve forzado a ascender para franquear el obstáculo, al elevarse se enfría por expansión, se reduce su capacidad para contener vapor de agua, comenzando éste a condensarse. Se forman de esta manera las nubes que producen precipitaciones sobre las laderas montañosas y el vecino piedemonte.

La orografía influye, tanto sobre la precipitación total anual, como en su distribución espacial. Ocasiona una marcada irregularidad en la distribución geográfica de las lluvias y quizás no produzca un aumento de la precipitación neta sobre una región en particular, pero como obliga a que el agua precipite repetidamente más o menos en los mismos sitios, se producen totales de lluvias muy elevados en ellos, en detrimento de otros lugares ubicados al reparo de los vientos húmedos. (Barry y Chorley 1984).

Las cadenas montañosas pueden provocar inestabilidad condicional o convectiva por obligar al aire a un movimiento ascendente o, por el calentamiento desigual de las laderas y tierras bajas circundantes, produciendo conjunción del efecto orográfico y el convectivo sobre el ascenso del aire y sus consecuencias climáticas.

En este caso, las nubes formadas alcanzan gran desarrollo vertical y pueden superar las sierras en su deriva hacia el oeste. Por esta razón se registran mayores precipitaciones una vez transpuesta la cadena montañosa (Bianchi y Yáñez 1992).

Lluvias por convergencia de aire

En los valles intermontanos durante la noche, el aire frío y más denso de los niveles superiores, se hunde en las depresiones y valles produciendo un área de convergencia hacia el centro de los mismos (Jackson 1977). El aire acumulado se ve obligado a ascender posibilitando la formación de nubes sobre los ejes de los valles principales. Es por eso qué, en las áreas centrales de los valles subandinos, las lluvias son más frecuentes durante las primeras horas de la noche.

### 2.9.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración es un importante componente del balance hídrico de una región y conceptualmente surge de la suma de dos términos: la evaporación y la transpiración.

La evaporación es una de las fases del ciclo hidrológico, constituida por un conjunto de fenómenos de naturaleza física, que transforman en vapor, al agua del suelo, ríos, lagos, mares, océanos, hielo, nieve y al agua almacenada sobre la vegetación proveniente del rocío o la intercepción. Mientras que la transpiración, por su parte, es el fenómeno fisiológico de la transformación del agua del estado líquido al vapor, realizado por los seres vivos (principalmente por la vegetación) (Vich, 1996).

De esta manera, la evapotranspiración puede ser definida como la cantidad de agua que evapora el suelo y transpiran las plantas bajo determinadas condiciones atmosféricas y de humedad edáfica. Por ello es importante diferenciar entre dos tipos de evapotranspiración: la potencial y la real. La potencial ocurre cuando la humedad edáfica se encuentra en el punto de capacidad de campo y el suelo se encuentra totalmente cubierto por una vegetación herbácea de baja altura. Cuando alguna o ambas de las condiciones precedentes no están presentes se produce la evapotranspiración real.

Para la Provincia de Córdoba, la evapotranspiración potencial estimada por el método de Penman, (1948) fluctúa entre los 880 y los 1.080 mm/año (Figura 35a). La evapotranspiración real, estimada a través del balance hídrico, varía entre los 640 y los 800 mm/año (Figura 35b).

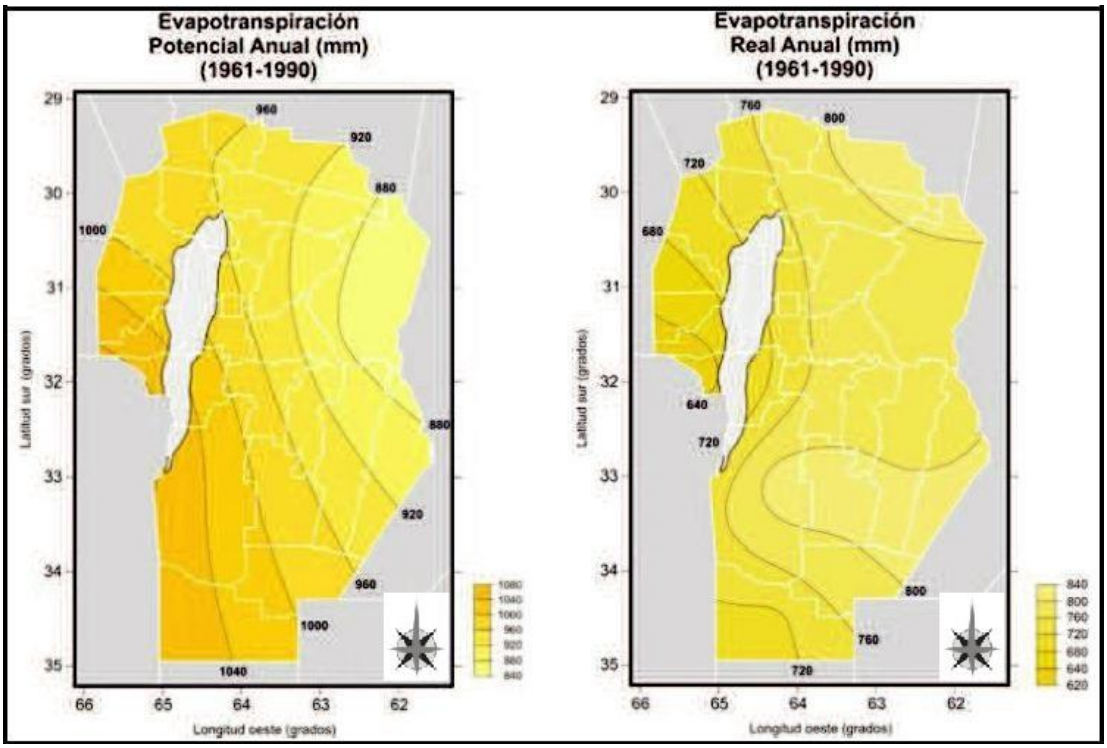



Figura 35 Mapas de evapotranspiración en la Provincia de Córdoba. a) Evapotranspiración Potencial Anual (mm; 1961-1990); b) Evapotranspiración Real Anual (mm; 1961-1990). (Gorgas y Tassile, 2006).

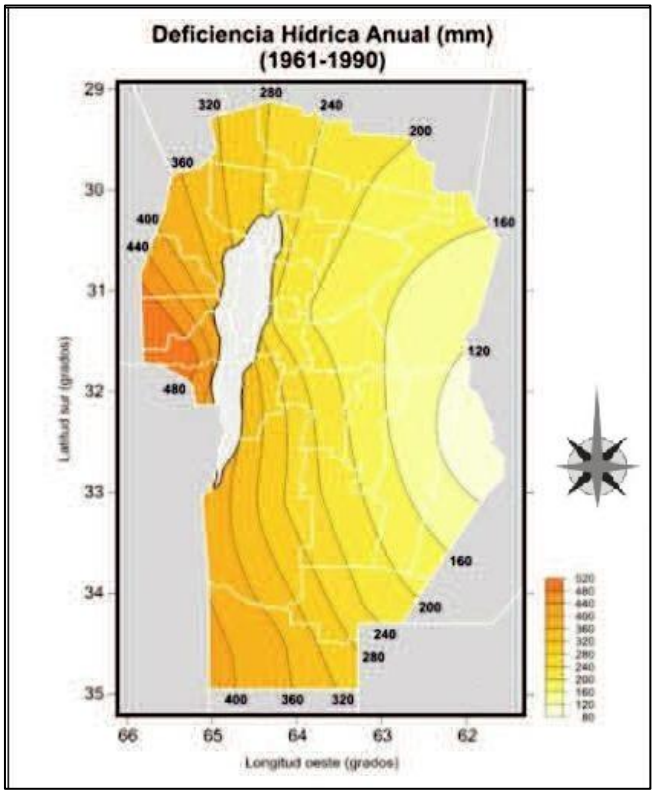



Figura 36: Plano de deficiencia hídrica anual en la provincia de Córdoba (mm; 1961-1990)

La deficiencia hídrica es el resultado de la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la real. Esta adquiere valores anuales de unos 80 mm en el área de Marcos Juárez (sudeste provincial) y asciende hasta los 480 mm en Villa Dolores (oeste provincial, Figura 36).

### 2.9.4 Caracterización Climática

En función de los valores de precipitaciones medias anuales y los de evapotranspiración media anual real y potencial, es posible arribar a una clasificación climática del área.

Según la clasificación de Thornthwaite (1948), el clima la región corresponde al tipo sub-húmedo seco, con nulo exceso de agua, mesotérmico, templado cálido, con baja concentración de la eficacia térmica ($C_1$d B'$_3$a'). Por otra parte, según el método de Penman, H.L., una zona de clima templado húmedo, con estación invernal seca y con verano caluroso. Finalmente, según el esquema de Köppen clima templado húmedo con estación invernal seca y con verano caluroso (Cwa)

## 2.10. SUELOS

La mayor información actualizada acerca de los suelos de la Provincia de Córdoba, proviene de los estudios realizados por el Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Córdoba, generado a partir de un convenio entre el INTA y el Ministerio de Agricultura Ganadería y Recursos Renovables de la provincia durante el final de la década de 1960.

Los principales documentos fueron las Cartas de Suelos a escala 1:50000 y algunas Cartas a escala 1: 100.000.

Una síntesis de toda esa información se plasma en el Mapa de Suelos a escala 1:500.000 de toda la provincia de Córdoba (Gorgas y Tassile (2006) clasificaron los suelos y presentaron los resultados en mapas departamentales, de manera tal que para abordar la clasificación taxonómica de los suelos en el área de estudio fue necesario contemplar la información referida al sector norte del departamento Santa María y Capital. En lo que respecta a la porción suroeste del departamento Capital, los órdenes de suelos son indiferenciados y se los ha mapeado como área miscelánea.

Clasificar taxonómicamente los suelos lleva implícito la comprensión de su génesis y de los factores ambientales que controlaron su evolución. Actualmente el sistema de clasificación más difundido es el sistema americano, conocido como Soil Taxonomy (U.S.D.A 1999).

Esta clasificación es de permanente actualización generadas a partir de los informes de las comisiones establecidas para cada orden de suelos.

El mismo presenta un modelo de relaciones genéticas entre los suelos y está estructurado en un esquema jerárquico de seis categorías: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie. Sin embargo, de acuerdo a la finalidad del presente trabajo sólo se alcanzará una identificación de los suelos hasta la categoría de Subgrupo.

La figura 37, muestra los principales órdenes de suelos reconocidos en el ámbito provincial, destacándose en el área de estudio (recuadro rojo) los Molisoles y Entisoles, (Sanabria y Argüello, 2003).

Los Molisoles se caracterizan por ser suelos de colores oscuros, desarrollados bajo una cobertura vegetal integrada fundamentalmente por gramíneas, lo que los hace ricos en materia orgánica (epipedón mólico). Además, el calcio domina el complejo de intercambio facilitando la floculación de coloides y la buena estructuración. En tanto que los Entisoles, se caracterizan por no evidenciar o tener escaso desarrollo de horizontes pedogenéticos. La mayoría poseen solamente un horizonte superficial claro, de poco espesor, y relativamente pobre en materia orgánica (epipedón ócrico). Y no presentan otros horizontes diagnósticos, lo que se debe en gran parte al escaso tiempo transcurrido desde la acumulación de los materiales parentales e iniciación de los procesos pedogénicos.

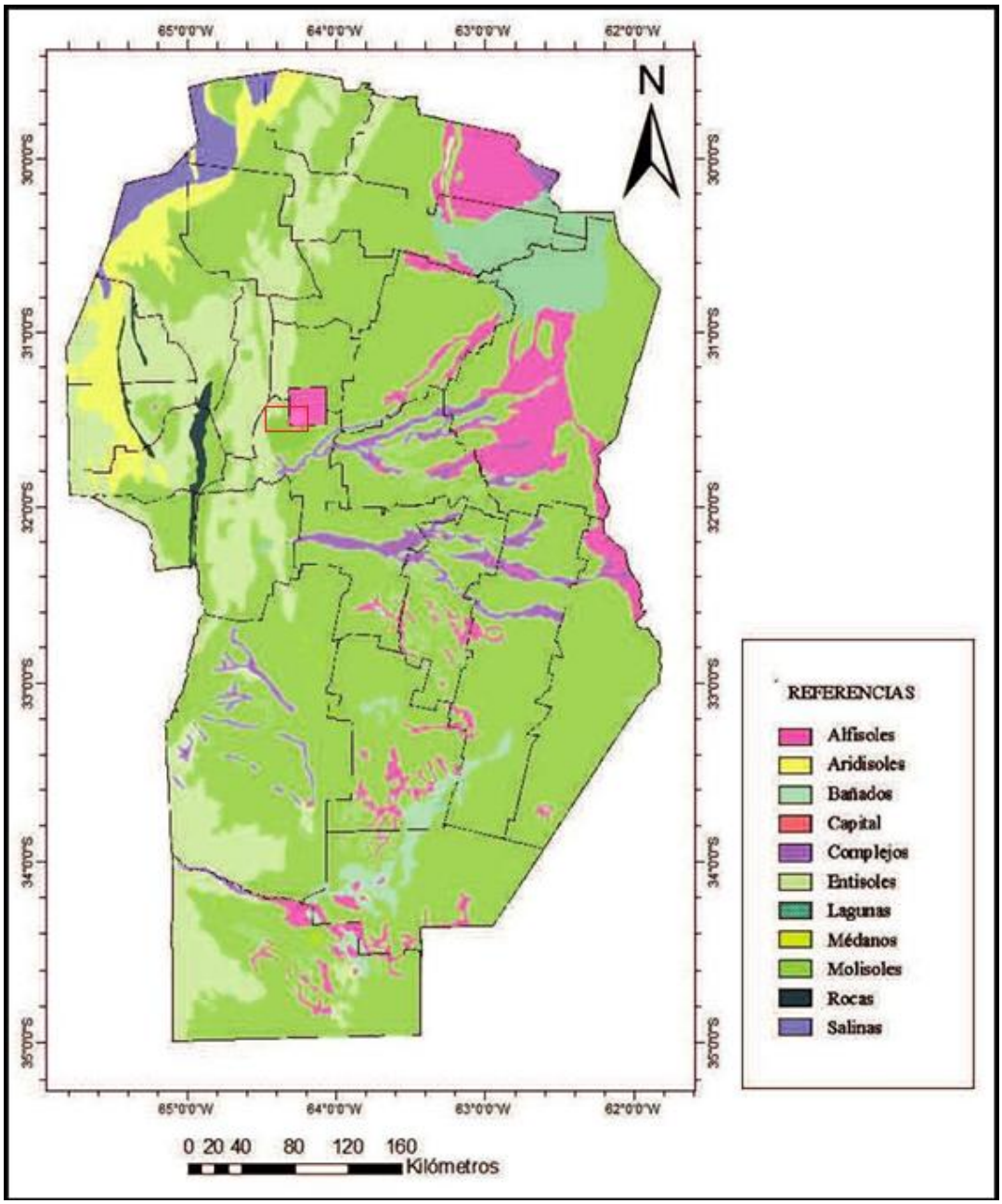



Figura 37 Mapa de órdenes de suelos en la Provincia de Córdoba con indicación del área de estudio (Gorgas y Tassile 2006)

Tomando como base los datos aportados por las Cartas de Suelos en cuanto a la distribución geográfica de los mismos en la provincia, en las cátedras de Pedología de las Universidades Nacionales de Córdoba y Río Cuarto, se han desarrollado númerosos proyectos de investigación, ya no de mapeos, sino más bien concentrados en objetivos sobre aspectos genéticos, analizando materiales parentales, mineralogía, suelos enterrados y paleosuelos, dataciones, etc.

Al respecto, desde la perspectiva del análisis de la génesis de los suelos, principalmente como indicadores paleoclimáticos y paleoambientales, Sanabria, et al. (2014). actualiza la información sobre los estudios de suelos realizados en el ámbito de la provincia, a partir del año 1979, cuando se les dedicó un capítulo al publicarse la Geografía Física de la Provincia de Córdoba.

Gorgas, et al (2014) hacen un análisis centrado en la importancia del recurso suelo en la actividad económica de la provincia y del país "Por ser un bien vital para la humanidad, y que está siendo explotado de forma cada vez más intensiva, se hace necesario monitorear y planificar esos cambios de uso que impliquen mayores exigencias. En esta dirección, se aportan elementos para cuantificar los márgenes de la expansión física a la producción de cereales y oleaginosas (agriculturización), fuertemente condicionada por la disponibilidad de tierras. La expansión de la frontera agrícola, avanzó sobre tierras que fueron tradicionalmente consideradas como marginalmente agrícolas y en desmedro de otras actividades y, en general, se viene produciendo a expensas de sistemas ecológicos frágiles. El análisis realizado consistió en comparar la vocación natural de las tierras con el uso que se les está dando. La aptitud de uso es la definida en los relevamientos (Mapa de Suelos, 1:500.000) mientras que se usaron datos de teledetección (Imágenes Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer) para mostrar una perspectiva del uso actual (2006-2007). Las 8,2 millones de hectáreas de tierras con uso predominantemente agrícola de la provincia son comparables con los 8,3 millones de hectáreas de tierras de Clases I, II, III y IV. Esta compatibilidad estaría indicando que a nivel provincial, se ha llegado a una relación que es a la vez un punto de equilibrio pero también un techo para una expansión significativa de la frontera agrícola por incorporación de nuevas superficies. Los análisis a nivel de Departamentos, señalan que si bien hay casos en que predomina un equilibrio semejante al provincial, como son los de departamentos de más antigua ocupación por la agricultura (Marcos Juárez, Unión, General San Martín, Río Segundo, Juárez Celman,), hay departamentos donde se había superado la capacidad de uso potencial, y por lo tanto, se estarían utilizando suelos sin aptitud agrícola. Las tres metodologías utilizadas son de índole general y solo permiten definir tendencias. Los datos de teledetección son de sensores de resolución media y fueron, además, generalizados, por lo que algunas situaciones locales no se expresen ni en los mapas ni en los inventarios.

2.10.1. Los Suelos de la Cuenca

La figura 38 muestra la ubicación de las unidades cartográficas de suelos y el nombre que se le ha adjudicado a cada una de ellas en la cuenca en cuestión.

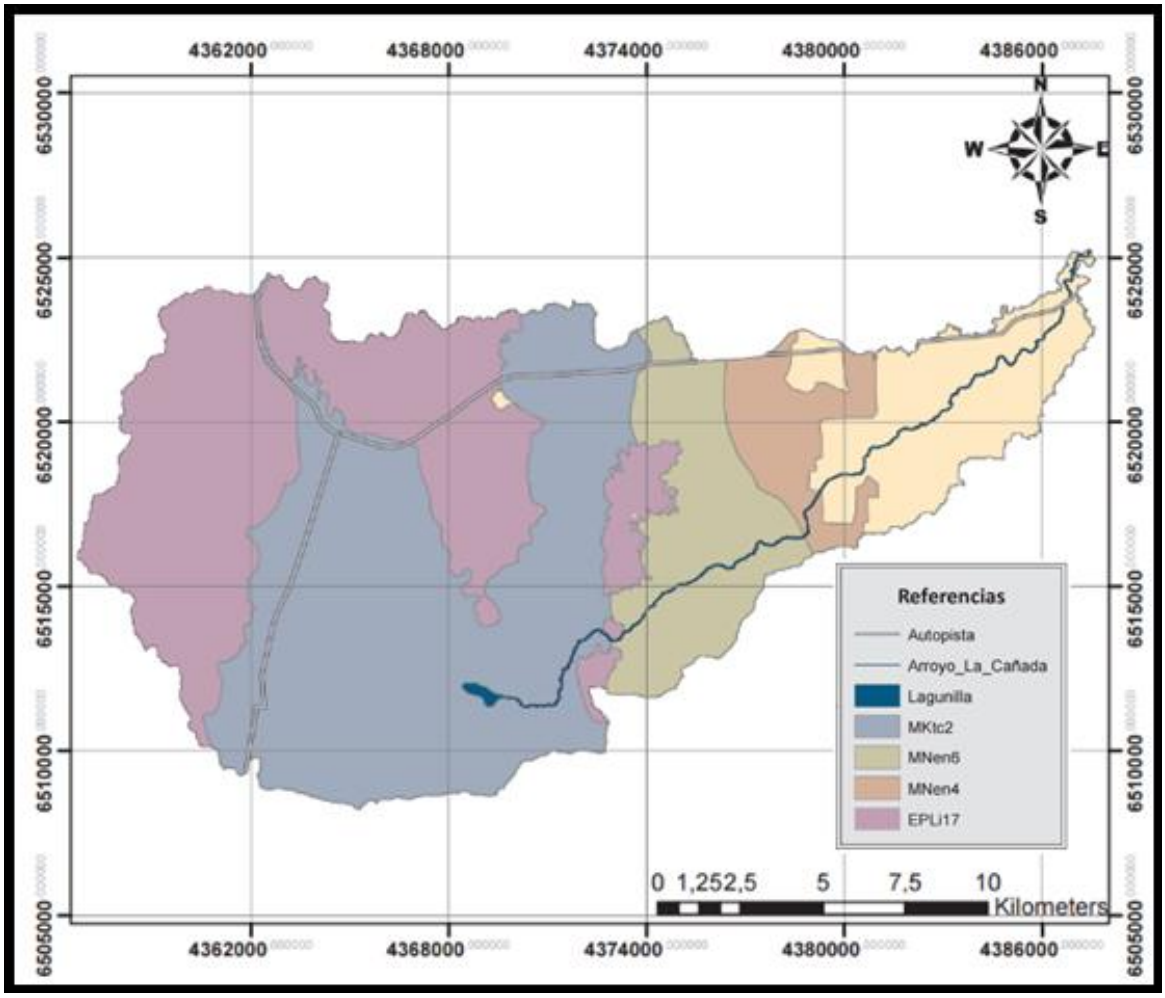



Figura 38 Plano de unidades cartográficas de suelos, definidas en el ámbito del área de estudio.

Se detallan a partir del trabajo de Gorgas, J. y Tassile, J (2006), las principales características de las unidades cartográficas de los suelos definidas en el área investigada:

Molisol; Ustol, Haplustol (MN)

MNen Haplustoles énticos

La característica principal de este Subgrupo es la presencia de un horizonte superficial oscuro, con moderado contenido de materia orgánica y bien estructurado (epipedón

mólico), seguido de un horizonte de transición (AC) con escaso desarrollo y poco alterado, pasando gradualmente al material originario, constituyendo un suelo poco evolucionado, de características énticas, que lo diferencia de los Haplustoles típicos que presentan un horizonte subsuperficial con alteraciones y acumulación de arcillas iluviadas (horizonte B).

Presentan, por lo tanto, una secuencia de horizontes A, AC y C. Tienen buen a algo excesivo drenaje, vinculados a lomadas onduladas o suavemente onduladas, con la capa freática profunda que no afecta el perfil del suelo y desarrollados en condiciones climáticas de semiaridez (régimen ústico de humedad).

Los materiales que dieron origen a estos suelos, constituyen sedimentos eólicos de granulometría variada, desde franco arenoso, francos a franco limosos. En general, son suelos agrícolas, que presentan en todos los casos limitación climática de moderada a severa, según su ubicación geográfica. La granulometría de los materiales de estos suelos tiene, además, incidencia directa en la producción. En los franco arenosos por problemas de baja retención de humedad que acentúan el estrés hídrico de los suelos y en los franco limosos por problemas de "planchado" de los suelos excesivamente laboreados.

Unidad: MNen-4

Índice de productividad de la unidad: 68

Aptitud de uso: Clase III.

Fisiografía: Pampa loéssica alta, sectores planos.

Unidad: MNen-6

Índice de productividad de la unidad: 58

Aptitud de uso: Clase III

Fisiografía: Pampa loéssica alta, lomas onduladas.

Molisol; Ustol, Argiustol (MK)

MKtc Argiustoles típicos

La combinación de un horizonte superficial parduzco oscuro, profundo, relativamente fértil y bien estructurado (epipedón mólico) con un horizonte subsuperficial de

enriquecimiento de arcilla secundaria (horizonte argílico) desarrollados en condiciones de libre drenaje y bajo regímenes de semiaridez, es la característica esencial de este Subgrupo de suelos. La falta de humedad es la limitante principal, aunque ésta se encuentra presente en cantidad suficiente en el momento apropiado para el crecimiento de las plantas.

En general, los carbonatos aparecen relativamente cercanos a la superficie ya que las condiciones climáticas no favorecen su lavado profundo. El perfil típico muestra una sucesión de horizontes A, Bt, BCk, Ck. Son suelos profundos y bien drenados, sin sales ni sodio en cantidades significativas.

Unidad: MKtc-2

Índice de productividad de la unidad: 61

Aptitud de uso: Clase III.

Fisiografía: Depresión periférica, valles longitudinales.

Entisol; Orthent, Ustorthentes (EP)

EPli Ustorthentes líticos (paralíticos)

Tanto los Ustorthentes líticos como los paralíticos están comprendidos en regiones de clima subhúmedo a semiárido (régimen ústico de humedad); son suelos muy poco desarrollados con un horizonte superficial de color claro, pobre contenido de materia orgánica, estructura muy débil, textura gruesa y pedregosa, siendo la diferencia fundamental entre ambos subgrupos la profundidad efectiva del suelo y el grado de alteración de la roca subyacente. Mientras que el subgrupo lítico descansa sobre la roca subyacente sin o con muy poca alteración (contacto lítico), que se encuentra generalmente a menos de 50 cm de profundidad, el subgrupo paralítico lo hace sobre una roca intensamente alterada (que permite a las raíces de las plantas explorar el subsuelo a mayor profundidad) siendo ésta más friable, aunque conserva su estructura original.

Unidad: EPli-17

Índice de productividad de la unidad: 5

La Aptitud de uso: Clase VII.

Fisiografía: Sierra Chica, sector oriental.

## 2.11 Vegetación

La zona de estudio se integra al Distrito Chaqueño Serrano (Cabrera, 1976). La vegetación se distribuye a lo largo del gradiente altitudinal formando pisos o "zonas de vida". Las diferencias de altitud determinan cambios en la vegetación que se manifiestan con la aparición de especies típicas (Luti en Vázquez et al., 1979). Entre los 500 y 1300 msnm, se desarrolla el "bosque serrano" en forma discontinua y con distintas fisonomías debidas a diferencias de exposición, a la heterogeneidad propia de esos ambientes y a las alteraciones provocadas por las actividades antrópicas (principalmente agroganadería, countries y minería).

El bosque serrano tiene como principal representante de la flora al molle (Lithraea molleoides (Vell.) Engl), al coco (Fagara coco (Gill) Engl), que generalmente se distribuyen como individuos aislados sin formar bosques densos y orco quebracho o quebracho de las sierras (Schinopsis lorentzii (Griseb.) Engl), molle blanco (Schinus molle L. var. Molle), talas (Celtis tala Gillies ex Planch) y mistoles (Condalia microphylla Cav).

En el estrato arbustivo dominan especies espinosas del género Acacia como espinillos (Acacia caven (Molina) Molina), aromitos, garabatos (Acacia praecox Griseb), piquillín de las sierras (Acacia montana Castell) y manzano del campo (Ruprechtia apetala Wedd)

En lugares abiertos y pedregosos encontramos carqueja (Baccharis articulata (Lam.) Pearson) y carquejilla (Baccharis crispa Spr), aromáticas como peperina (Minthostachys verticillata (Griseb) Epling) y tomillo (Hedeoma multiflora Benth)

Los chaguares, bromeliáceas de hojas de bordes espinosos, forman matas sobre las rocas, también se presentan numerosas cactáceas de vistosas flores y trepadoras, epífitas y hemiparásitas.

El estrato herbáceo aparece en forma discontinua. Las especies más frecuentes son los helechos como doradilla (Anemia australis (Mickel) M. Kessler & A.R.Sm), acompañados por numerosas dicotiledóneas herbáceas y gramíneas. A medida que se asciende, los elementos del bosque serrano van disminuyendo en tamaño y en densidad, confundiéndose con el matorral serrano o romerillal.

Por arriba de las comunidades de bosque y matorral serranos, a partir de los 1.000 metros de altitud, se presentan los pastizales y bosquecillos de altura. Los pastizales varían su composición de acuerdo con la altitud. En los sectores más bajos (entre los 1.000 y 1.500 msnm) predominan especies de linaje chaqueño. Los pastizales y pajonales a menor altitud, están dominados por Festuca hieronymi y distintas especies de Stipa, como S. tenuissima, S. filiculmis, S. Tricótoma, entre otras.

En el sector correspondiente a la llanura pampeana, la vegetación original corresponde a la del Espinal (Luti en Vázquez et al, 1979; Ragonese, 1967; Parodi, 1964), que es un gran ecotono entre las provincias chaqueña y pampeana. Las prácticas forestales y agropecuarias han llevado a la desaparición de gran parte de los bosques de esta región, aunque existen algunas áreas remanentes aisladas y de poca extensión, que han permitido reconstruir parcialmente, las características del bosque que la constituía.

Los relictos que aún se encuentran de la vegetación original están formados por bosques bajos, de algarrobo blanco (Prosopis alba Griseb) y algarrobo negro (Prosopis nigra (Griseb.) Hieron), como especies dominantes. En el sector septentrional suelen estar acompañadas por quebracho blanco (Aspidosperma quebracho-blanco Schlecht), itín (Prosopis kuntzei Harms) y chañar (Geoffroea decorticans (Gill.) burk), (Figuras 44, 45 y 46). Las cactáceas son menos abundantes que en el bosque chaqueño y corresponden a los géneros Opuntia, Cereus, Gymnocalycium y Harrisia. En los sitios en los que las actividades agrícolas han sido abandonadas se presentan pastizales dominados generalmente por especies de la región pampeana. En los contactos de esta región con la zona serrana, se observan especies típicas de las montañas bajas. A lo largo de los cauces de algunos arroyos (intermitentes) y otros ambientes relativamente húmedos, aparecen: sauce criollo (Salix humboldtiana Willd. var. Humboldtiana), sauce mimbre (Salix fragilis L), sauco (Sambucus australis Cham et. Schelchtl), tala falso (Bougainvillea stipitata Griseb) y cina-cina (Parkinsonia aculeata L), (Figuras: 41, 42 y 43)

En las cuencas sin avenamiento o depresiones y en las áreas sujetas a inundaciones prolongadas o de bañados (laguna La Lagunilla), se desarrolla una vegetación particular, similar a la de los esteros de la estepa pampeana.

2.11.1 Desmonte de Bosque Nativo en la Provincia de Córdoba.

Los procesos de desmonte de bosque nativo se inician a partir de principios del siglo XX, como el resultado de la gran expansión de la agricultura. Estos bosques se distribuían en un área de 110.000 $km^2$, entre las sierras y la llanura. Durante el siglo pasado, y hasta la actualidad, la provincia de Córdoba perdió unos 93.500 $km^2$ (9.3 millones de ha) de bosques nativos, lo que corresponde al 85% del total de bosques nativos provinciales, Cabido, et al, 2004. (Figura 39).

En 1960, los bosques nativos se restringían a la zona N y NO de la provincia; donde entre 1960 y 1999 se perdieron más de 1.200 $km^2$ (1.2 millones de ha), ya sea en las zonas serranas como pampeanas.

Según estadísticas de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, la provincia de Córdoba tuvo entre 1998 y 2006 una tasa de deforestación que osciló entre 2,52% y 2,93% (la más alta del país), lo que significó la pérdida de 2.167 $km^2$ (216.728 ha) de bosques.

En la Provincia de Córdoba los procesos de expansión de la agricultura en los departamentos situados hacia el N, entre los años 1970 y 2000, ocasionaron la pérdida de más de 10.000 $km^2$ de bosques xerófilos estacionales (chaqueños) por conversión a cultivos anuales, principalmente soja (Figura 40).

El precio diferencial de la tierra en relación a sus altos valores en la ecorregión pampeana, sumado a un proceso de concentración de su propiedad en manos de grandes capitales, han promovido elevadas tasas de deforestación. En este contexto el N de Córdoba se presenta como un paradigma de la deforestación; ya que tales tasas han alcanzado valores entre los más altos del mundo, (Cabido et al, 2004).

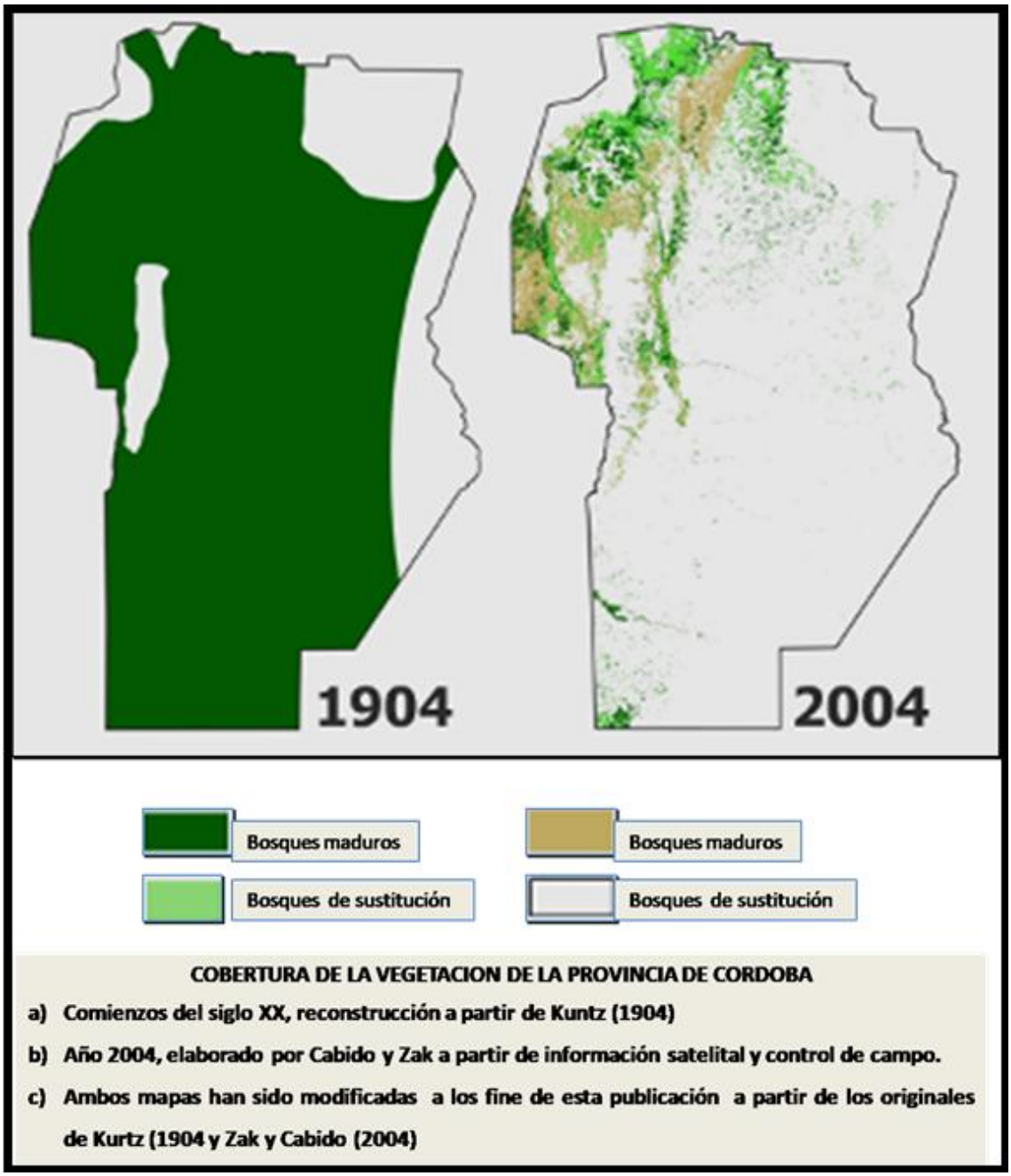



Figura 39 Planos de variación de la Vegetación en la Prov de Córdoba. Cabido et al., 2004.

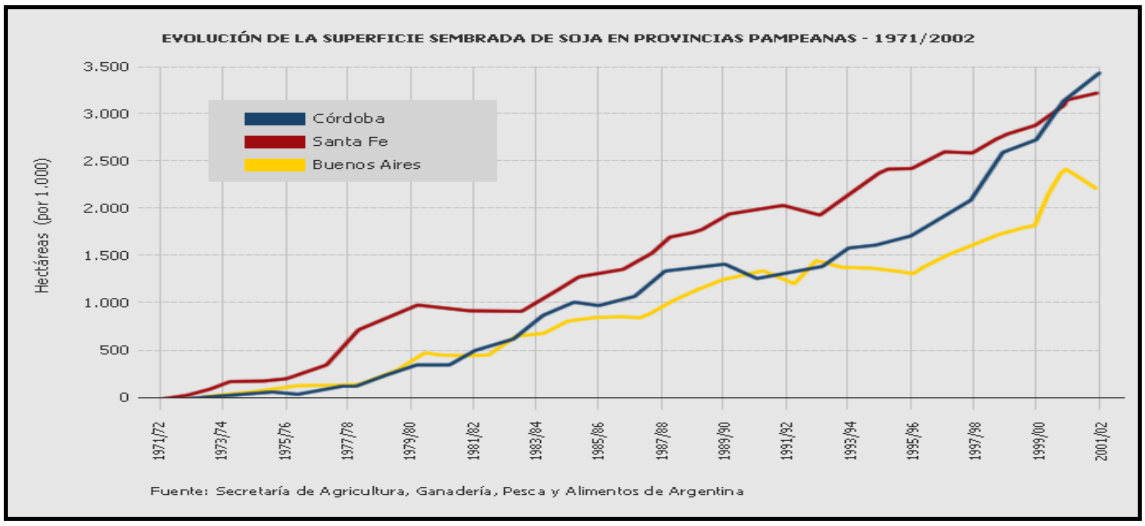



Figura 40 Gráfico de evolución de la superficie sembrada con soja 1971-2002, Cabido et al., 2004.

Los investigadores Marcelo Cabido y Laura Hoyos, del Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal de la Universidad Nacional de Córdoba, determinaron que entre 2004 y 2010, en el norte y oeste provincial, otras 2.690 km$^2$ (269.000 ha) cambiaron de uso; casi el 40% de los bosques nativos que subsistían en 2004 en el norte y oeste de Córdoba ya no estaban en 2010. En apenas seis años, desaparecieron 269.000 hectáreas de bosques cerrados (lo más parecido al monte original) y de bosques abiertos (que han tenido perturbaciones, pero mantienen hasta 40% de cobertura de árboles autóctonos). El estudio, realizado sobre la base de comparaciones de imágenes satelitales Landsat de 2004 y 2010, sólo se refiere al N de Córdoba (desde Jesús María hasta el límite con Santiago del Estero) y al NE.

El N y O provincial, es el lugar donde más se conservaba el monte autóctono cordobés; pasó de 6.800mk$^2$ (681.293 ha) bosques cerrados y abiertos a 4.100 km$^2$ (412.310 ha) relevadas en 2010; esta diferencia de 450km$^2$ en seis años, corresponde a una tasa anual de 6 al 7% de desmonte. Esa pérdida de bosque se debió,-fundamentalmente al avance en el uso de la tierra para fines agrícolas o ganaderos. Además de bosques abiertos y cerrados, el relevamiento distingue las áreas de matorrales (que eran bosque, pero se perdieron, aunque podrían recuperarse) y las culturales (ya de uso agropecuario o urbano). Entre 1979 y 2010, el uso “cultural”, en el N y el oeste pasó del 26 al 49% de los suelos. En el mismo período de 30 años, el bosque cerrado se redujo del 33 al 5%. Entre 2004 y 2010, el uso “cultural” del suelo avanzó del 43 al 49 por ciento; y el bosque cerrado, sólo en esos seis años, bajó del 15 al 5%,

Figura 41 Fotografía de vegetación autóctona: Acacia y Molle.

Figura 42 Fotografías de Molle y Espinillo

Figura 43 Fotografías de Fagara coco y Aromo.

2.12. Uso del territorio

En la actualidad la configuración de la ciudad permite diferenciar grandes áreas, con espacios diferenciados en grandes áreas y distintos usos del terreno, que se distribuyen como piezas mayores de un rompecabezas urbano formado por: El centro, los sectores residenciales, industriales, comerciales y una zona periurbana o urbana-rural. (Zarate, en Tecco y Bressan, 2002)

Es muy notable en varias de las principales urbes de nuestro país, entre las que se encuentra incluida la Ciudad de Córdoba, un crecimiento en sentido horizontal más que vertical. Este hecho genera un aumento de la urbanización bastante desorganizado hacia las afueras, en forma discontinua, radial o generando brazos o manchas urbanas. Este fenómeno se denomina "peri-urbanización", según García, et al, (1995, p. 42) identifican distintas situaciones (anillos concéntricos) a lo largo de la geografía entre la ciudad y el campo: el espacio urbano propiamente dicho, el espacio periurbano o áreas urbanas discontinuas, el espacio semiurbano (con alternancia de usos), el espacio semirural urbanizado, el espacio rural dominado por la actividad agraria pero con algunas influencias urbanas como por ejemplo las derivadas de la descentralización industrial y, por último, el espacio rural "marginal"”…., donde aparecen áreas en las que se mezcla o superpone el uso del territorio y se puede encontrar el agro y la urbanización mixturados. El crecimiento peri-urbano promueve el desarrollo

descontrolado y depredador de grandes áreas situadas en las afueras de las ciudades que comprometen su futuro y ejercen una presión sobre la urbe central en la medida que requieran de su abastecimiento y servicios.

Un aspecto relevante del crecimiento peri-urbano es el de las desigualdades, formándose concentraciones separadas social y económicamente, derivando en una periferia fragmentada, en donde se encuentran asentamientos precarios que contrastan con otros de mayores recursos. Así como las desigualdades urbanas en el interior de la ciudad tienden a profundizarse, también a nivel de las áreas periféricas se verifica esta realidad (Bressan et al, 2003).

En el ámbito de la ciudad de Córdoba, el espacio peri-urbano está conformado por varios municipios y toma la forma de un anillo irregular y discontinuo. En este espacio se localizan una variada gama de asentamientos humanos: villas de emergencia, barrios populares consolidados (resultantes tanto de loteos económicos y autoconstrucción como de planes estatales de vivienda), urbanizaciones cerradas, áreas de recreación, zonas industriales, depósitos, entre otros. El crecimiento de esta periferia durante los últimos veinte años es fruto de una migración centrífuga, extendiéndose mucho más allá de los límites del ejido urbano de la ciudad de Córdoba y abarcando numerosas localidades de las adyacencias. Estas últimas presentan perfiles sociales diversos y se integran con distintas funciones en la estructura de una región urbana: centros turísticos, de servicios, industriales, ciudades dormitorio, etc. (Tecco, C. y Bressan, 2002)

Éste último ítem, según ~~Francisco~~ Quintana Salvat et al, 2002 "….una ciudad dormitorio es una ciudad en la cual sus residentes normalmente trabajan en otra, aunque vivan y coman en ella. El nombre también sugiere que estas comunidades tienen poca actividad económica propia más allá de establecimientos pequeños para sus habitantes. Las ciudades dormitorio por lo general son parte del área metropolitana de una ciudad. Una ciudad dormitorio crece originalmente en una zona rural o periurbana. Esta distinción se pierde cuando el crecimiento urbano une a las dos comunidades.

El problema de la descongestión de las grandes ciudades es solucionado mediante la creación de estas ciudades dormitorio, o también llamadas ciudades satélite. Las personas que viven en ciudades dormitorio requieren desplazarse tanto para trabajar como para obtener bienes y servicio….", es muy notable.

Gran parte de la población de las localidades adyacentes a la ciudad de Córdoba realiza su actividad diurna (laboral, estudio, salud) dentro de la capital y pernocta en los

diferentes centros urbanos periféricos, que en décadas pasadas eran zonas residenciales de fin de semana y vacaciones.

Las localidades peri-urbanas presentan en general dos características comunes (Bressan et al, 2003):

1) El sostenido crecimiento de la población registrado en las últimas décadas, originado por desplazamientos desde otros sectores de la provincia y desde la capital. Esto genera una tasa de crecimiento superior a la Ciudad de Córdoba.

2) El innegable vínculo existente entre las diferentes localidades con la Ciudad de Córdoba, registrado por el flujo de habitantes entre las localidades de la región, con una concentración de los mismos hacia la Ciudad Capital.

Respecto a esta peri-urbanización, el mayor crecimiento demográfico en la Provincia de Córdoba, durante los últimos veinte años, se ha producido en los Departamentos Capital, Santa María y Punilla. Sin embargo, no todas las localidades presentan este fenómeno con la misma intensidad, esto se explica por la geometría de la expansión peri-urbana de la ciudad de Córdoba, cuyo sector O comienza a mostrar una continuidad urbana con las localidades del sector del departamento Santa María.

Infraestructura:

Agrícola-ganadera

En la serranía correspondiente a la vertiente oriental de la sierra chica, sobre todo en las partes más elevadas, existe una pobre práctica de la ganadería como actividad, dedicada a la cría de bovinos y caprinos.

Cuando el relieve es paulatinamente menos abrupto, comienza aquí un dominio agrícola sobre el ganadero, con una agricultura que depende casi totalmente del régimen de precipitaciones, utilizando la modalidad de secano. Existen frecuentes canalizaciones que circundan o atraviesan grandes espacios sembrados con un mismo cultivo, principalmente soja, y en menor medida maíz y trigo.

Minera, Industrial y Comercial

Los principales recursos mineros explotados en la zona serrana son las rocas de aplicación, sobre todo cales (Cementera HOLCIN S.A.), y triturados de basamento (gneises y tonalitas), que sirven como materia prima para la realización de obras viales.

También se encuentra un gran número de explotaciones mineras de menores dimensiones en yacimientos filoneanos. En muchos casos la producción ha sido descontinuada por problemas de rentabilidad. La fuente principal de trabajo de las poblaciones periurbanas son las actividades mineras, actividad agrícola y de servicios a los nuevos barrios cerrados.

Un porcentaje importante de las viviendas son residencias permanentes, a pesar de que sus ocupantes realizan sus actividades laborales mayoritariamente en la ciudad de Córdoba. Esto se encuentra vinculado a la proximidad de la Capital y el fácil acceso a través de las rutas.

Servicios

La infraestructura de servicios es variable. Las localidades periféricas al ejido urbano de la Capital provincial, poseen red de gas natural, la red de energía eléctrica es provista por la Empresa Provincial de Energía de Córdoba a todas las localidades. En cuanto a la red de agua potable, ésta se extrae de embalses, y localmente de perforaciones y pozos.

# CAPITULO TRES: MATERIALES Y MÉTODOS

CAPITULO TRES: MATERIALES Y MÉTODOS

## 3.1. Materiales

| Modelo digital de elevación | Resolución | Fuente | | Procesos relevantes | |
|---|---|---|---|---|---|
| SRTM | 90 m x px | http://www.ign.gob.ar | IGN | Relleno de vacíos. Dirección de Flujo. | Mapa de sombras Mapa de pendientes. |
| ASTER DEM | 30 m x px | earthexplorer.usgs.gov | USSG | | |
| ALOS DEM | 12.5 m x px | www.asf.alaska.edu | ASF | | |

Tabla 1: Modelos Digitales de elevación utilizados.

| Fecha | | Satelite | Path | Row | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| Año | mes/día | | | | |
| 1972 | 1-sep | Landsat 1 | 246 | 81 | |
| 1973 | 1-mar | Landsat 1 | 246 | 81 | |
| 1975 | 28-feb | Landsat 1 | 246 | 81 | |
| 1977 | 15-ago | Landsat 1 | 246 | 82 | |
| 1981 | 26-jul | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1983 | 8-feb | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1984 | 28-dic | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1986 | 8-feb | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1987 | 3-ene | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1988 | 22-ene | Landsat 5 | 229 | 81 | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1989 | 9-feb | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1989 | 16-may | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1990 | 11-ene | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1991 | 19-mar | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1992 | 17-ene | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1993 | 24-mar | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1994 | 7-feb | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1995 | 15-abr | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1996 | 28-ene | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1997 | 30-ene | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1998 | 12-jul | Landsat 5 | 229 | 81 | |
| 1999 | 23-jul | Landsat 7 | 229 | 81 | |
| 2000 | 16-feb | Landsat 7 | 229 | 81 | |
| 2001 | 1-ene | Landsat 7 | 229 | 81 | |
| 2002 | 19-dic | Landsat 7 | 229 | 81 | |
| 2003 | 23-ene | Landsat 7 | 229 | 81 | |
| 2004 | 26-ene | Landsat 7 | 229 | 81 | Corrección Gap Fill |
| 2005 | 16-ene | Landsat 7 | 229 | 81 | Corrección Gap Fill |
| 2006 | 31-ene | Landsat 7 | 229 | 81 | Corrección Gap Fill |
| 2007 | 18-ene | Landsat 7 | 229 | 81 | Corrección Gap Fill |
| 2008 | 21-ene | Landsat 7 | 229 | 81 | Corrección Gap Fill |
| 2009 | 23-ene | Landsat 7 | 229 | 81 | Corrección Gap Fill |
| 2010 | 11-feb | Landsat 7 | 229 | 81 | Corrección Gap Fill |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2011 | 13-ene | Landsat 7 | 229 | 81 | Corrección Gap Fill |
| 2012 | 16-ene | Landsat 7 | 229 | 81 | Corrección Gap Fill |
| 2013 | 17-jun | Landsat 8 | 229 | 81 | |
| 2014 | 13-ene | Landsat 8 | 229 | 81 | |
| 2015 | 16-ene | Landsat 8 | 229 | 81 | |
| 2016 | 19-ene | Landsat 8 | 229 | 81 | |
| 2017 | 21-ene | Landsat 8 | 229 | 81 | |

Tabla 2: Imágenes Landsat utilizadas

3.2. Métodos

Para la elaboración, ejecución y procesamiento del proceso de investigación de la presente Tesis se han llevado a cabo tres etapas que incluyeron tareas de gabinete y trabajos de campo complementarios: en la primera etapa se desarrollaron tareas de gabinete que incluyen 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 descriptas 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 hídricos que podrían implicar un riesgo para el área considerada. El mapa conceptual tomado y modificado de Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación (~~2017), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, Centro Nacional de Modelación, Bogota, Colombia~~, es el que, a partir del análisis bibliográfico veo que es el mas conveniente para lograr los objetivos propuestos en la Figura 44, se presenta, una síntesis de la metodología aplicada para el desarrollo de esta investigación.

3.2.1 Gabinete

Se aplicaron técnicas de fotointerpretación y teledetección hidrogeomorfológicas y ~~los~~ softwares específicos con posterior control de campo y chequeo comparativo de antecedentes e información histórica.

Para realizar el análisis del relieve, caracterización de la cuenca de aporte, zonas de inundables y dirección de avance de los cauces se utilizaron modelos digitales de elevación (Tabla 1), complementados con las Cartas topográficas y Hojas Geológicas.

Junto con el análisis de fotografías aéreas, imágenes satelitales y procesamiento de modelos digitales de elevación se efectuaron las siguientes tareas:

-Definición del sistema de drenaje en su conjunto, considerando las principales vías de aporte.

-Reconocimiento de Geoformas, procesos inundantes, y sus causales.

-Reconocimiento y caracterización de los paisajes y unidades geomorfológicas, según las principales clases litológicas que definen la geología de superficie en cada caso en particular.

-Reconocimiento de las principales áreas inundantes en la región de la cuenca y su incidencia en la ciudad de Córdoba.

-Análisis temporal de la tendencia evolutiva del sistema hídrico en su conjunto, empleando las fotografías aéreas de los años 1970, 1989; imágenes satelitales registradas por el servidor Google Earth (años 2002-2019); e imágenes satelitales Landsat (años 1972- 2017) y Sentinel 2.

La información temática obtenida a partir de la fotointerpretación, recopilación de antecedentes, entrevistas, registros periodísticos y trabajo de campo, fue integrada en un sistema de información geográfica, para ello se utilizó el software Q Gis Desktop vs 2.8 (Las Palmas) y 3.8 (Zanzibar).

Como resultado final se obtuvo una Carta de Amenaza de inundación, indicativa de las zonas de la ciudad que poseen diferentes grados de amenaza de inundación fluvial o anegamientos.

3.2.2. Control de campo

Se realizaron campañas, en las que se evaluaron y corroboraron procesos de escurrimiento, erosión acelerada, áreas potencialmente amenazadas de inundación/anegamientos, formación de incipientes cauces a partir de caminos terciarios y aspectos geomorfológicos relevantes; se recorrió el área de la Sierras Pampeanas y Llanura Pampeana, llegando a incursionar sectores urbanos y periurbanos de la ciudad de Córdoba y Malagueño. También, durante los recorridos se realizaron entrevistas a pobladores locales respecto de los procesos y su avance ante eventos de crecidas.

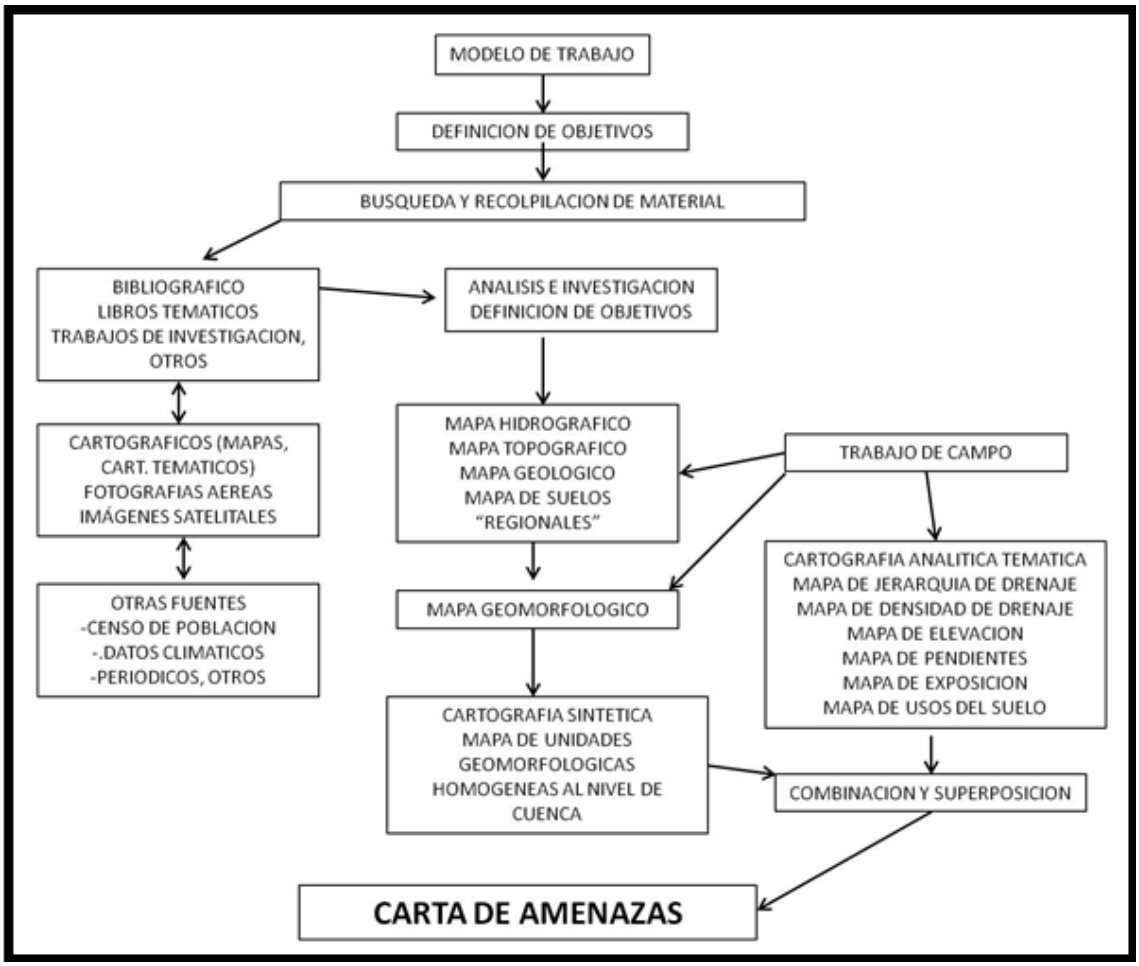



Figura 44 Síntesis de la metodología aplicada para el desarrollo de esta investigación es, tomado y modificado de la Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación (2017)

# CAPITULO CUATRO

# RESULTADOS

CAPITULO CUATRO: RESULTADOS

## 4.1. Geomorfología de la cuenca arroyo La Cañada

Para este estudio se tomó como base el Sistema de Clasificación de niveles geomorfológicos adaptado a la región, y modificado de Sayago (1982), que propone las categorías de provincia, región, asociación y unidades.

Se agrega al sistema la categoría de sub-región

Por un lado la Llanura Chaco-Pampeana (porción E del área de estudio), y por otro las Sierras Pampeanas (porción O). (Tabla 3)

La Clasificación Geomorfológica modificada de Sayago (1982), que se aplica en la cuenca, es producto de la interpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas, con apoyo de verificación de campo.

| Provincia Geomorfológica | Región Geomorfológica | Sub-región Geomorfológica | Asociación | Unidades |
|---|---|---|---|---|
| Sierras Pampeanas | Sierras Pampeanas de Córdoba | Sierra Chica | A. Vertiente Oriental tendida | Sierras de basamento<br>Colinas de conglomerados<br>Valles de fondo plano |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Piedemonte Oriental | B. Depresión Periférica | 1. Conos Aluviales<br>2. Bajos Plano cóncavos<br>3. Lomas Aluviales Suavemente onduladas<br>4. Lomas eólicas alargadas<br>5. Lomas eólicas Suavemente onduladas<br>6. Laguna Estructural |
| Llanura Chaco-Pampeana | Cuenca Chaco-Paranaense | Llanura Oriental de Córdoba | C. Pampa Loéssica Alta<br>o<br>Plataforma Basculada | 1. Lomas plano convexas<br>2. Bajos planos cóncavos interconectados<br>3. Valle Arroyo La Cañada<br>4. Valle Río Suquía |

Tabla 3 Clasificación geomorfológica de la cuenca arroyo La Cañada

i. Asociaciones (Figura 45) y sus Unidades (Figura 46) Geomorfológicas; con Fotointerpretación (Figuras: 55) y perfiles (Figuras: 56, 57, 58, 59. 60 y 61) y ANEXO 1.-

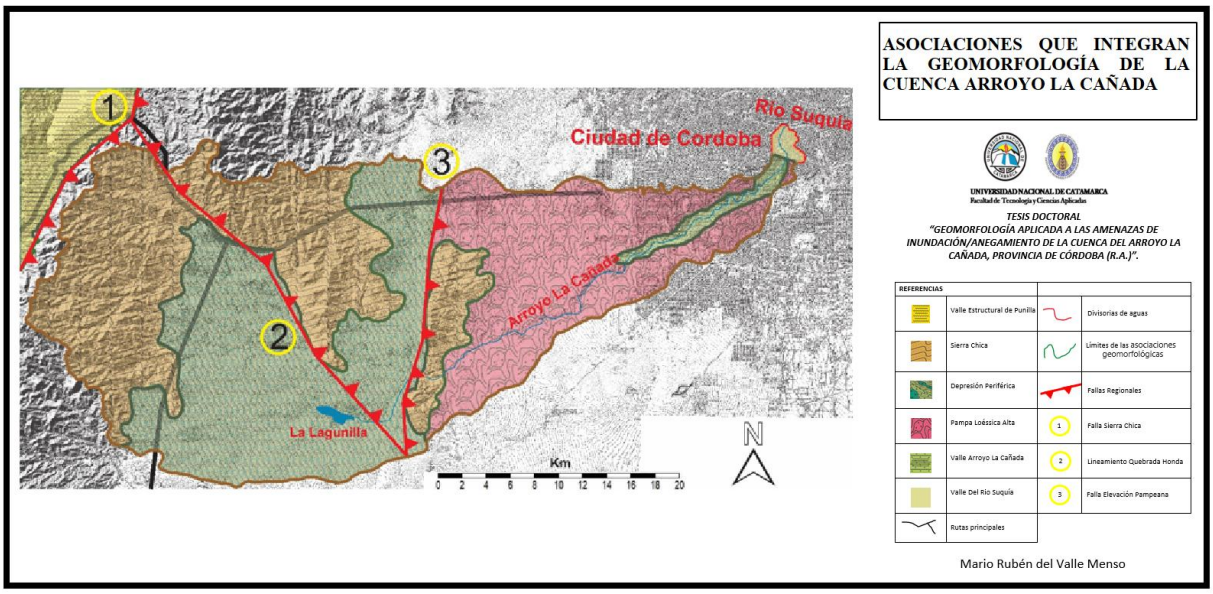



Figura 45 Asociaciones que integran la geomorfología de la cuenca arroyo La Cañada

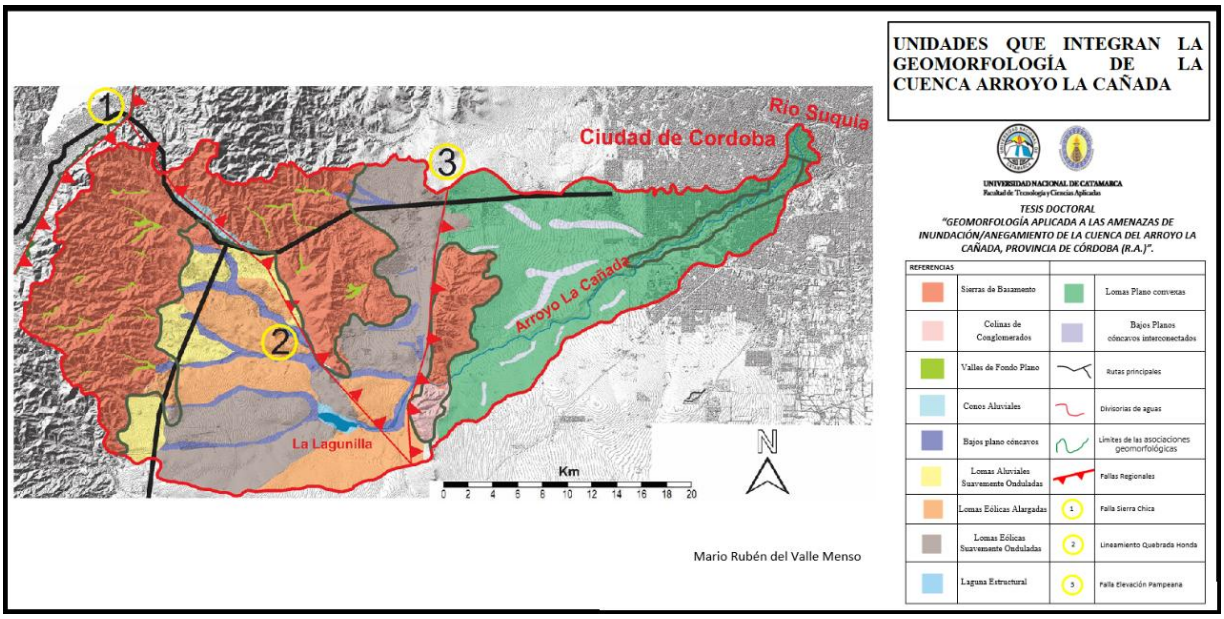



Figura 46 Unidades que integran la geomorfología de la cuenca arroyo La Cañada

Provincia geomorfológica: Sierras Pampeanas

Región: Sierras Pampeanas de Córdoba

Sub- región Sierra Chica

A. Asociación Vertiente Oriental tendida:

Corresponde a la región ubicada al E de la divisoria de aguas que separa la Sierra Chica con el Valle de Punilla.

Unidades:

1. Sierras de Basamento (Sierra Chica, Sierra de La Cruz y Sierra de Malagueño)(Figura 47 y 48):

Características fotogeológicas: El material se presenta en tonalidades grises medias, con textura rugosa típica de la cobertura arbórea en esta litología.

El paisaje es bastante anisótropo, con formas de tipo homoclinal.

El diseño de drenaje es dendrítico con tendencia a la angularidad, debido al control litológico estructural.

Los cerros se encuentran separados por valles generalmente con perfil transversal en "V", y en ocasiones algunos de ellos son de fondo plano aislados y como fenómenos locales en esta zona, ambos fueron generados estructuralmente.

Se observa un cambio de tonalidad y desde el E hacia el O en esta unidad, donde el sector occidental se presenta zoneado con tonalidades más claras y escasa rugosidad, producto de una menor proporción de especies arbóreas de porte y dominio de pastizales en las partes más altas.

Ubicación y orientación:

Ocupan la parte del sector occidental del área.

El dominio direccional es submeridiano con laderas hacia el O (abruptas) y al E (suaves), excepto donde fracturas transversales compartimentan bloques y generan la orientación de cerros en otras direcciones (NW-SE y hasta E-W)

Litología:

Formadas por rocas de basamento metamórfico-igneo, mayormente gneis biotítico tonalítico y bancos de caliza (Sierra de La Cruz). Hacia el O se pueden observar filones (aplítica-pegmatitica), que se destacan como fajas de tonalidades más claras sobre los cerros.

Altitud y pendientes:

En esta unidad las alturas máximas no superan los 1000 msnm, descendiendo progresivamente hacia oriente hasta aproximadamente 700 msnm.

Las pendientes medias se encuentran entre el 10 y el 35%

Suelo y Vegetación:

Suelo de poco desarrollo (regolito) y monte serrano

Figura 47 Sierra de Basamento, Sierra Chica, con Valle de fondo plano en el sector deprimido

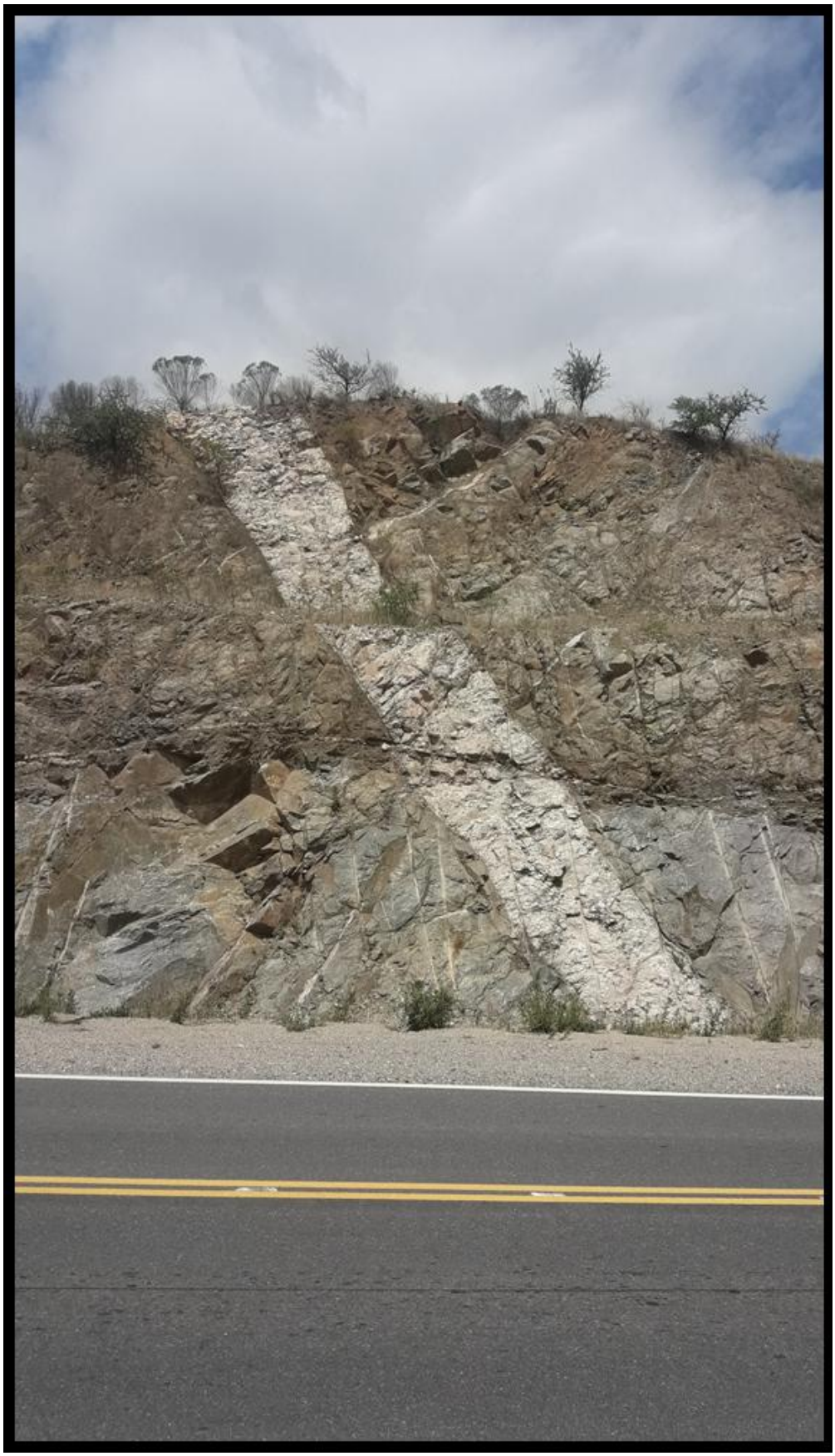


Figura 48: Sierra de Basamento, Sierra Chica, litología metamórfica intruida por filón pegmatitico.

2. Colinas de conglomerados (Altos de la Lagunilla):

Características fotogeológicas:

Los tonos son un poco más claros en comparación con la unidad anterior, la textura es menos rugosa.

El diseño de drenaje es de tipo sub-paralelo.

Las colinas son generalmente simétricas y se encuentran limitadas por valles de fondo plano donde se depositan materiales erosionados de las lomas adyacentes (coluvios). En algunos casos están cubiertos por vegetación arbórea (tonos oscuros) y en otros fueron desmontados o son utilizados para pastoreo (tonos claros).

Ubicación y orientación:

Regionalmente ocupan una pequeña franja continua de disposición submeridiana al S de la Sierra de Malagueño, en las inmediaciones de la Laguna La Lagunilla.

Esta pequeña faja se conforma de colinas orientadas preferentemente N-S en su parte más septentrional.

Las laderas tienen carácter plano convexo, más tendido que la unidad anterior.

Litología:

Conglomerados y areniscas conglomerádicas de color rojizo

Pendientes:

Las pendientes medias varían entre el 6 y 12%

La unidad se deposita discordantemente sobre un bloque de basamento con una leve inclinación hacia E, producto del levantamiento producido por la falla de la Elevación Pampeana

Suelos y vegetación:

Cubiertas por suelos (regolito) poco desarrollados, y vegetación típica del monte serrano

3. Valles de fondo plano (Figura 49 y 50):

Esta unidad se encuentra intercaladas y subordinadas a las unidades de sierras de basamento y colinas de conglomerado. Corresponden a depresiones de dimensiones menores

Características fotogeológicas:

Los valles de fondo plano (rellenos por sedimentos coluviales), se presentan con tonalidades grises claras.

Ubicación y orientación:

Adyacencias de sierras y colinas. En forma local y aislada Sin orientación preferente.

Litología:

Material de grano grueso erosionado y transportados de las laderas adyacentes (Basamento metamórfico-ígneo y/o conglomerados)

También pueden contener relictos de materiales del Cuaternario (limo), esto se encuentra mejor evidenciado hacia la transición sierra-piedemonte.

Pendientes:

Las pendientes medias menores al 2%.

Suelos y vegetación:

Suelos poco desarrollados y vegetados al O, y con mayores coberturas hacia el E pueden estar cubiertos por sedimentos finos y cultivos.

Figura 49: Corte de Valle de fondo plano

Figura 50: Corte de Valle de fondo plano, cuya base es basamento metamórfico, y sobre éste, sedimentos psamíticos y psefíticos

Provincia Geomorfológica: Sierras Pampeanas

Región: Sierras Pampeanas de Córdoba

B. Sub Region: Piedemonte Oriental

Asociación: Depresión Periférica

Unidades:

1.- Conos Aluviales

Características fotogeológicas:

Tonalidades grises medias a oscuras.

Las pendientes disminuyen hacia el SSO.

Drenaje de baja densidad y con diseño subparalelos.

Los conos se desarrollan perpendicularmente al lineamiento estructural de Quebrada Honda

Ubicación y orientación:

Se ubican en el piedemonte sudoccidental de la sierra de La Cruz.

Representa una superficie menor dentro del área de estudio

Corresponden a una serie de conos aluviales de corta extensión, perpendiculares a la sierra

Litologia:

Conglomerados o fanglomerados o por ambos

Pendientes:

La pendiente suave a moderada 4 a 6%, en sentido longitudinal, y con un perfil transversal de lomas convexas, irregulares con pendientes que llegan a 10%

Suelos y Vegetación:

Escasa cubierta edáfica, suelen estar cubiertos por monte serrano y/o pastizales

2. Bajos Planos cóncavos, (Figura 51)

Características fotogeológicas:

Las tonalidades son claras (procesos de lavado) o grises medios a oscuros (por concentraciones de humedad).

Su homogeneidad se pierde por la presencia de marcas en el terreno, producidas por la acción del agua. (Escorrentía difusa).

Ubicación y orientación:

Son depresiones de fondo plano-cóncavo.

Las orientaciones se encuentran subordinadas a la pendiente regional y localmente a los altos topográficos que generan las lomas, sin descartar el fuerte control estructural de toda la región.

Litología:

Un perfil general de esta unidad, está dado por un manto limo loessoide con desarrollo moderado de suelo.

Pendientes:

La pendiente general es suave, menor al 1%, con dirección E.

Suelos y Vegetación:

Estos bajos se encuentran generalmente utilizados por la actividad agrícola, principalmente cultivados y en algunos casos usados para pastoreo.

La vegetación originaria no se observa, a excepción de pequeñas zonas no cultivadas

Figura 51: Bajos Planos cóncavos a la salida de La Lagunilla

3 Lomas Aluviales suavemente onduladas

Características fotogeológicas:

Tonalidades grises medios, con drenaje difuso.

El relieve disminuye hacia el E, siguiendo la pendiente regional.

Su densidad y envergadura disminuyen hacia oriente, donde son tapadas por la cubierta eólica y solo representadas por altos topográficos y bajos homogéneamente cubiertos por sedimentos loessoides.

Ubicación y orientación:

Ubicadas en el piedemonte de la Sierra Chica

Presentan un relieve ligeramente ondulado siendo más acentuados en las cercanías de las sierras, disminuyendo hacia el E

Litología:

Formadas por materiales retransportados loessoides.

Pendientes:

La pendiente promedio del 1 al 3%, dependiendo del material que conforma las lomas. (generalmente > 2%)

Suelos y Vegetación:

Escasa cubierta de suelos; suelen estar pobladas por relictos de la vegetación nativa pero en la actualidad parte de ellas han sido incorporadas a la producción agrícola.

4.- Lomas eólicas alargadas

Características fotogeológicas:

Tonalidades grises medios, con drenaje difuso.

El relieve disminuye hacia el E o SE.

Lomadas con interfluvios planos convexos y pendientes suaves menores al 4%.

Ubicación y orientación:

Ubicadas en la franja del sector central de la depresión

Presentan un relieve de lomadas orientadas en sentido O-E (sector central) y NO-SE (sector norte)

Litología:

Formadas por sedimentos loessoides.

Pendientes:

La pendiente promedio en forma transversal de la loma varía entre un 2 y 5%, y en su eje mayor longitudinal menor al 3%

Suelos y Vegetación:

Escasos relictos de vegetación nativa, en la actualidad más del 80%, parte de ellas han sido incorporadas a la producción agrícola y al asentamiento de barrios cerrados

5. Lomas eólicas Suavemente onduladas

Características fotogeológicas:

Tonalidades grises medios, con drenaje difuso.

El relieve es aproximadamente regular en todas las direcciones.

Superficie de los interfluvios suave que tiende a ser plano y pendientes suaves menores al 3%

Ubicación y orientación:

Ubicadas en el sector S de la depresión

Presentan un relieve de lomadas orientadas en sentido O-E (sector central) y NO-SE (sector norte)

Litología:

Formadas por sedimentos loessoides.

Pendientes:

La pendiente promedio en forma transversal de la loma varía entre un 2 y 5%, y en su eje mayor generalmente menor al 3%

Suelos y Vegetación:

Escasos relictos de vegetación nativa; casi en su totalidad se encuentra bajo la producción agrícola.

6. Laguna Estructural, La Lagunilla (Figura 52)

Representa el nivel de base de la sub-cuenca Lagunilla S, y cuando esté es superado, el caudal escurre formando la naciente del arroyo la Cañada; tiene forma alargada en sentido O-E. Se encuentra entre la sierra de La Cruz y los Altos de la Lagunilla. La Lagunilla ocupa una superficie aproximada de 45 Ha y tiene una profundidad variable entre 50 y 130 centímetros según la época del año. Está rodeada por una aureola de suelos sin cobertura vegetal.

Figura 52: Vista de laguna estructural La Lagunilla desde el NO

Provincia Geomorfológica: Sierras Pampeanas

Región: Sierras Pampeanas de Córdoba

Sub Región: Llanura Oriental de Córdoba

C. Asociación Pampa Loéssica Alta:

Se encuentra al E de la anterior. Corresponde a una planicie relativamente ondulada con pendiente general hacia el E y SE con valores que varían entre 2 y 0.5%.

Estructuralmente se encuentra formada por un bloque de basamento bastante profundo que ha sido basculado hacia el E y cubierto por sedimentos fluvio-torrenciales y eólicos. Éstos últimos son los que se encuentran aflorando, correspondiendo a un material loessoide-limoso muy homogéneo, que forma un estrato potente.

Como formas menores del paisaje se observan líneas de escurrimiento deprimidas denominadas Bajos plano cóncavos interconectados

La vegetación original es casi inexistente, reemplazada en los últimos años por cultivos, principalmente soja.

Unidades: (Figura 53 y 54)

1.- Lomas plano convexa

Características fotogeológicas:

Relieve plano convexo. Tonalidades claras en general, un tanto alterados los tonos por los cultivos; es decir que tanto el tono como la textura son de origen antrópico. Presenta polígonos variados, debido al estado de los cultivos en los diferentes campos.

Se observa escurrimiento elemental difuso predominante hacia el E y localmente hacia los bajos adyacentes.

Ubicación y orientación:

Son los sectores topográficamente más elevados en la planicie que se corresponden con lomas muy suaves y sus flancos medios.

La orientación preferente es E.

Litología:

Sobre los bloques de basamento profundo, se depositó una potente cubierta eólica.

Pendientes:

Presentan un gradiente bajo y constante que varía entre 0.5 y 2 %.

Suelos y Vegetación:

Cubierta loessoide con vegetación implantada  y urbanizaciones

2.- Bajos plano cóncavos interconectados

Se observan como pequeñas franjas lineales muy sutiles que rodean el relieve de lomas plano convexas.

Generalmente poseen tonalidades más oscuras que el resto de la región, debido a la concentración de humedad y material fino.

No es posible conectarlos visualmente en algunos lugares, debido a que estas características fotogeológicas no son siempre evidentes debido a la actividad antrópica presente

Ubicación y orientación:

La orientación dominante de estos bajos es hacia E y en posiciones más orientales, los bajos se interconectan a una red que culminan en  el Arroyo La Cañada

Litología:

La cubierta superficial que homogeniza los bajos es un material limo-loessoide

Pendientes:

La pendiente es baja constante, entre 0.5 y 1 %

Suelo y Vegetación: La mayor parte de la se encuentra bajo intenso trabajo agrícola, y en algunos sectores puntuales, donde la actividad hídrica no permite la plantación de cultivos, se puede observar rebrote secundario de lo que fue la vegetación natural.

Figura 53: Vista de las Lomas plano convexas, de un Bajo plano cóncavo interconectado (en primer plano) y la Sierra Chica (al fondo)

Figura 54: Vista de un Bajo plano cóncavo interconectado ingresando a un canal colector.

3.- Valle del arroyo La Cañada: esta unidad está delimitada por niveles aterrazados y está constituida de sedimentos aluviales finos, limosos, con gravillas finas dispersas y mantos arenosos.

4- Valle del Río Suquía

El Río Suquía a la salida de la sierra y en su evolución dentro de la Asociación Pampa Loéssica Alta, presenta tres niveles principales de terrazas, el nivel alto, medio y bajo que ha esculpido el río. Esta última, se caracteriza por el relieve plano bien definido de gran desarrollo que tiene el valle por donde circula en su último tramo el Arroyo La Cañada que se une al Río Suquía. Este nivel de terraza inferior hace las veces de lecho de inundación del rio, constituyendo en definitiva un nivel bajo inundable.

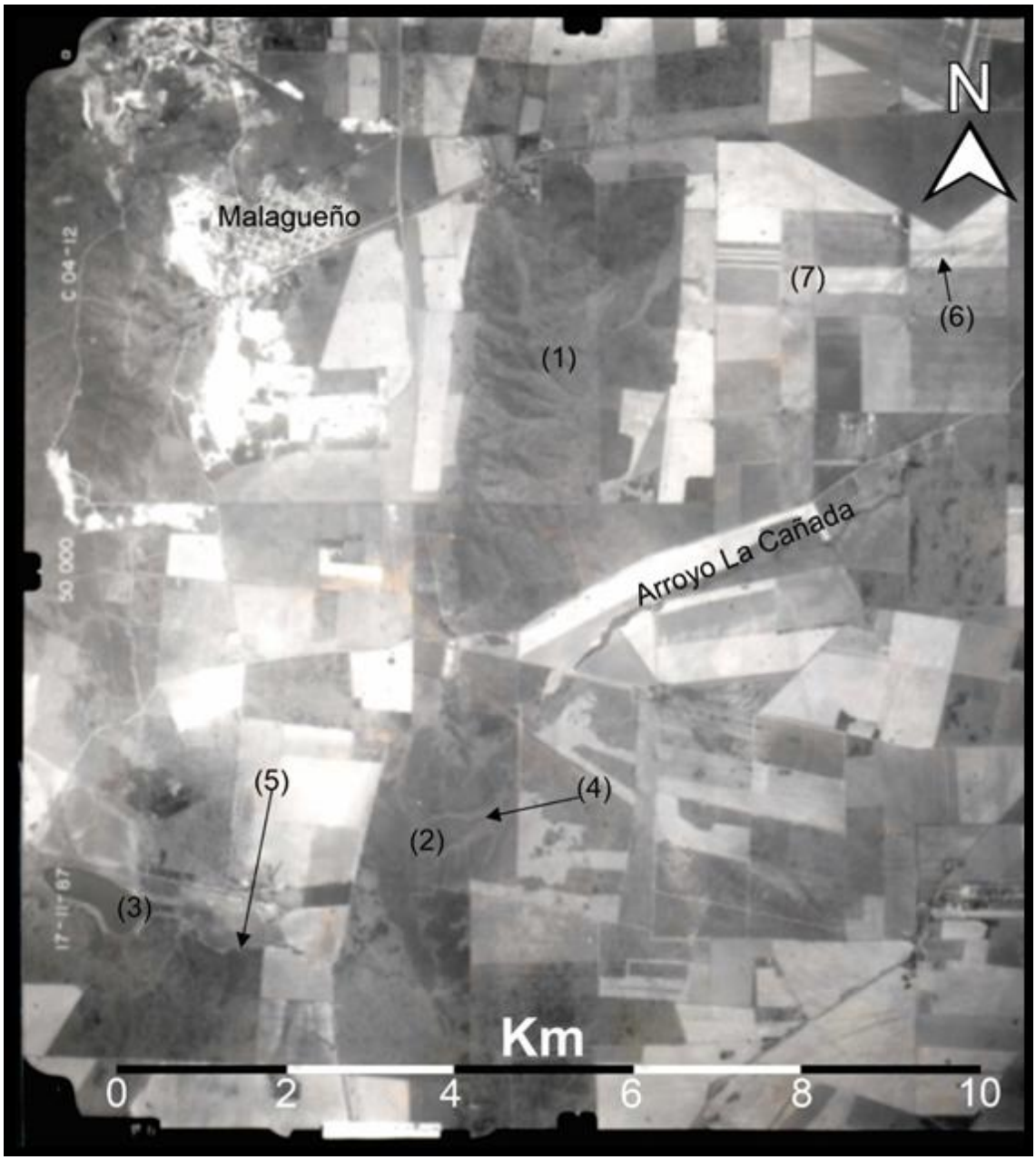



Figura 55 Unidades; 1. Sierras de basamento, 2. Colinas de conglomerados, 3. Laguna Estructural, 4. Valles de fondo plano, 5. Bajos Plano cóncavos, 6. Bajos planos cóncavos interconectados, 7. Lomas plano convexas

Perfiles Geológicos (Figuras: 56, 57, 58, 59. 60 y 61)

Figura 56 Imagen con las líneas de perfil

Figura 57 Perfil A-A1

Figura 58 Perfil B-B1

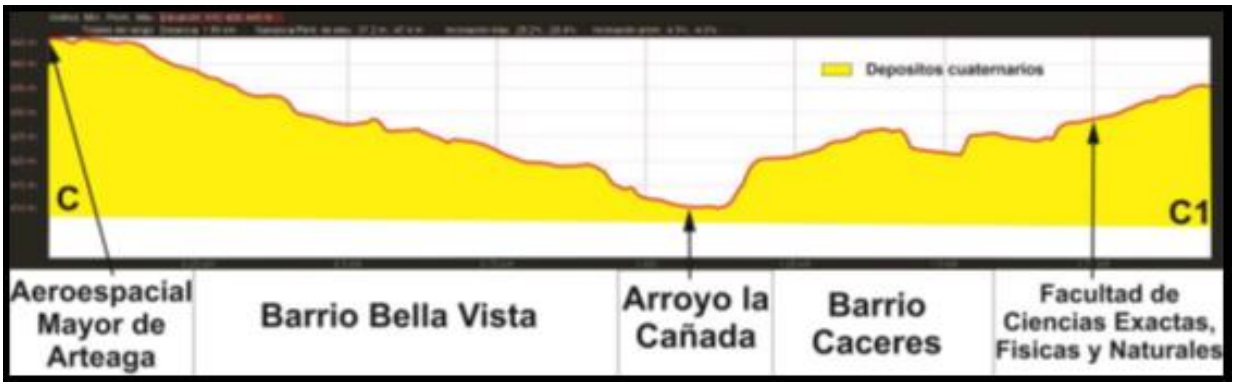



Figura 59 Perfil C-C1

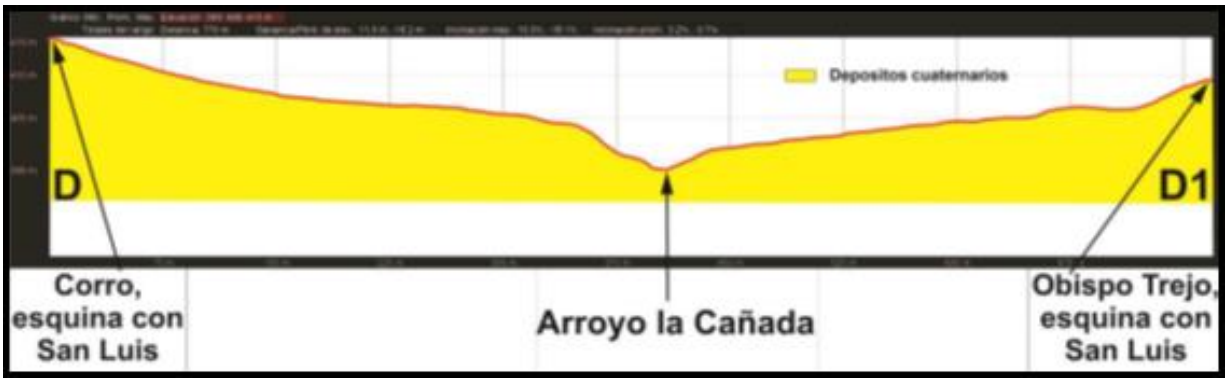



Figura 60 Perfil D-D1

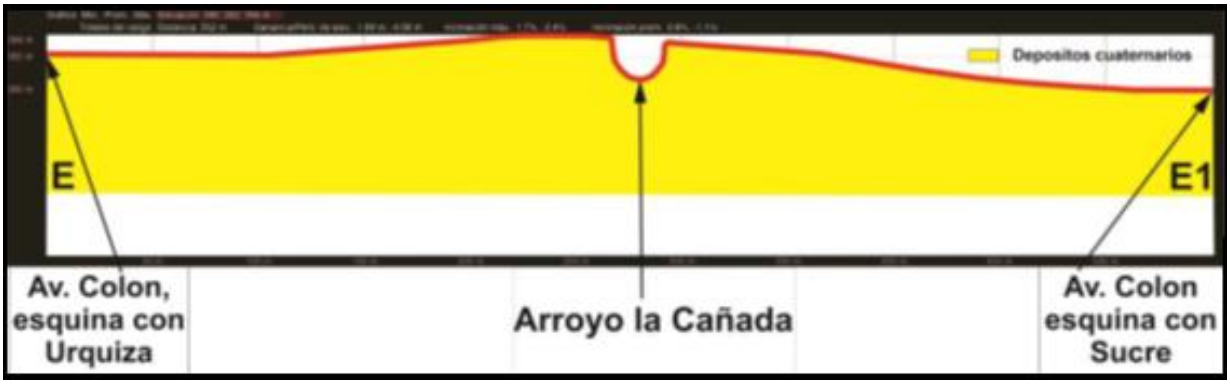



Figura 61 Perfil E-E1 (nota: la profundidad del Arrollo La Cañada esta exagerada para que resalte en el perfil)

4.2 Cuenca Arroyo La Cañada

La red hidrográfica.

La cuenca del Arroyo de La Cañada tiene sus nacientes a una altitud media de 1000 msnm, con un recorrido de 34 km; a partir de La Lagunilla, que se comporta como un nivel de base a los 568 msnm, desde donde se conforma su curso y recibe su nombre. Cruza la parte SO y centro de la ciudad, hasta su desembocadura en el río Suquía en el centro de la Ciudad de Córdoba a 385,15 msnm, desarrollando una cuenca de 297,00 $Km^2$ de superficie. Este arroyo tendría un carácter genético antecedente. Por ello en una primera instancia a partir de la fotointerpretación se delimitó la cuenca y las características del drenaje en el año 1996 (Figura 62).

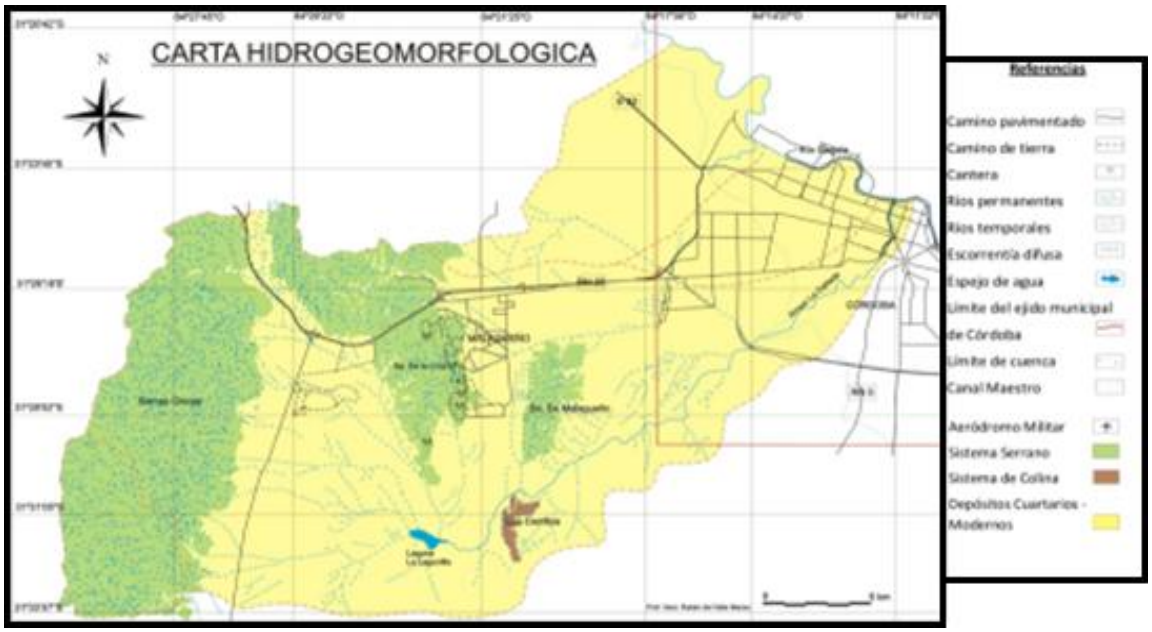



Figura 62 Carta hidrogeomorfológica a partir de interpretación de fotografías aéreas.

Por las características geomorfológicas, que tienen incidencia en el aspecto hidrodinámico, se diferenciaron las subcuencas La Lagunilla N, S y al E Arroyo la Cañada, (Menso, 1996) (Figura 63).

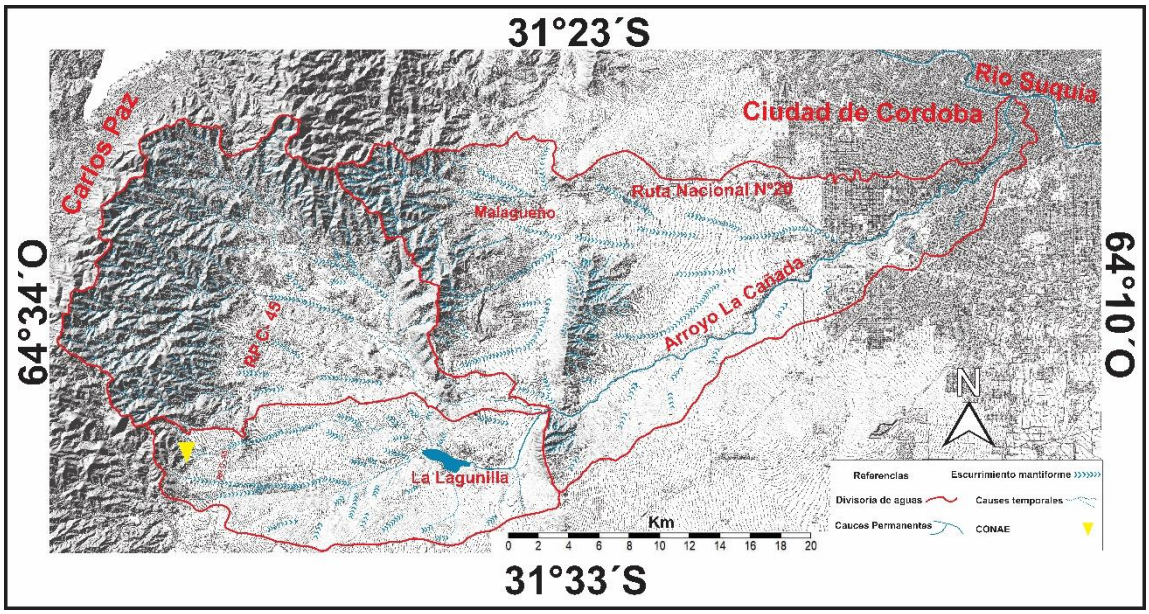



Figura 63 Cuenca del Arroyo La Cañada

La subcuenca La Lagunilla N y S, se inician con cauces temporarios que se originan en el flanco oriental de las Sierras Chicas con un diseño dendrítico angular (debido al control estructural) e ingresa a la depresión interserrana formada por las Sierras Chicas y la Sierra de la Cruz al este y los Altos de La Lagunilla al sudeste con un diseño difuso y mantiforme en los bajos. El escurrimiento de la subcuenca S (Figura 64), se dirige hacia la depresión tectónica de La Lagunilla, que se comporta como el nivel de base y en la época de mayores precipitaciones se produce el desborde (Figura 65), siguiendo las aguas de crecida su sentido natural. En cuanto al anegamiento, es de características mantiforme, restringido a los bajos.

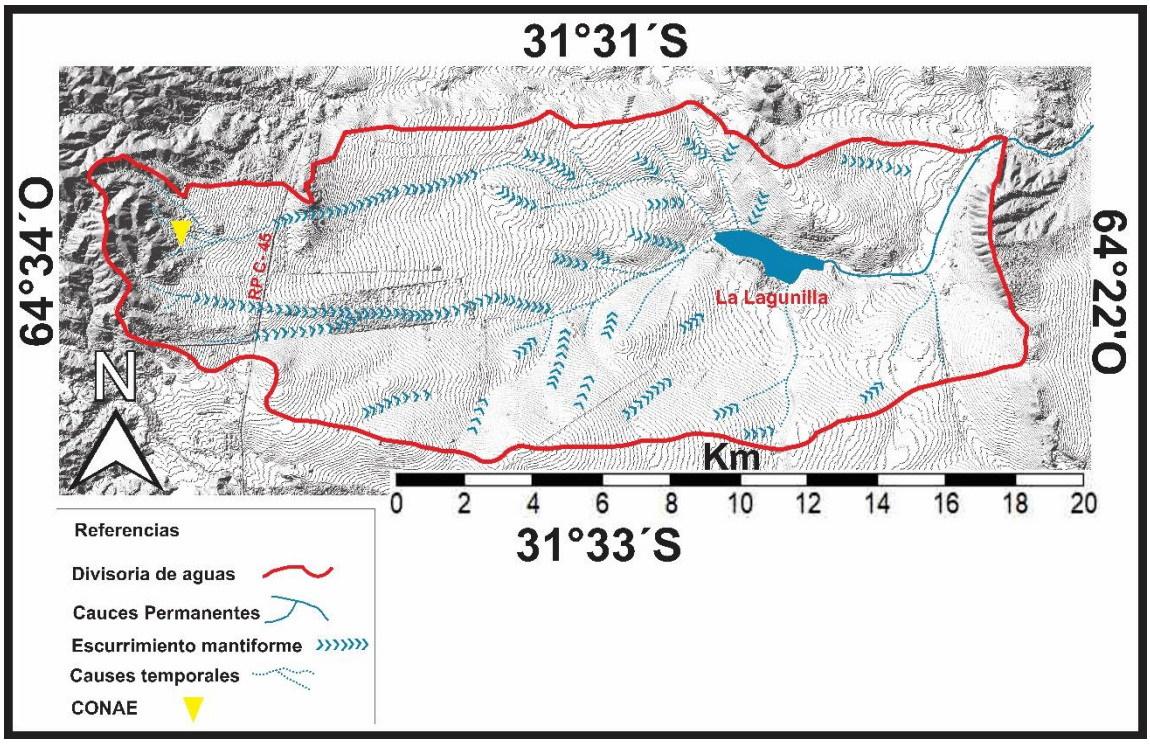



Figura 64 Subcuenca La Lagunilla S

Figura 65 Foto del desborde de la laguna La Lagunilla, naciente del arroyo La Cañada, Menso, (2017)

A partir de la Lagunilla se define la subcuenca Arroyo la Cañada (42.38 $Km^2$) iniciada por un cause colector principal hasta el valle tectónico transversal que corta la Sierra de Malagueño (31° 31´ 46´´ S, y 64º 20´50´´ O) y lo atraviesa con carácter de curso temporario. En este tramo, antes de ingresar al valle transversal, el colector principal recibe el aporte de tres sistemas, uno del O de la subcuenca La Lagunilla N (Figura 66) con un diseño similar a la subcuenca S pero con una superficie de 86 $km^2$.

También recibe del S el aporte de una pequeña subcuenca temporaria que tiene sus nacientes en el faldeo occidental de los Altos de La Lagunilla, con un diseño de drenaje

subparalelo. Además recibe aporte, por el O, del faldeo oriental de la Sierra de La Cruz; todas estas cuencas tienen las características de presentar escurrimientos temporarios.

Al atravesar la Sierra de Malagueño, el arroyo drena por un cause definido, y en este trayecto recibe el nombre de subcuenca Arroyo la Cañada. Recibe desde el norte el aporte de la sierra de Malagueño, cuyas nacientes se encuentran en el faldeo oriental de las sierras homónimas y de la sierra Chica (Sierra de la Cruz), presentando un diseño dendrítico angular, pasando a difuso y subparalelo. En estas últimas, se produce un anegamiento periódico de ~~característica~~ tipo mantiforme producto de la incorrecta planificación de las obras de infraestructura.

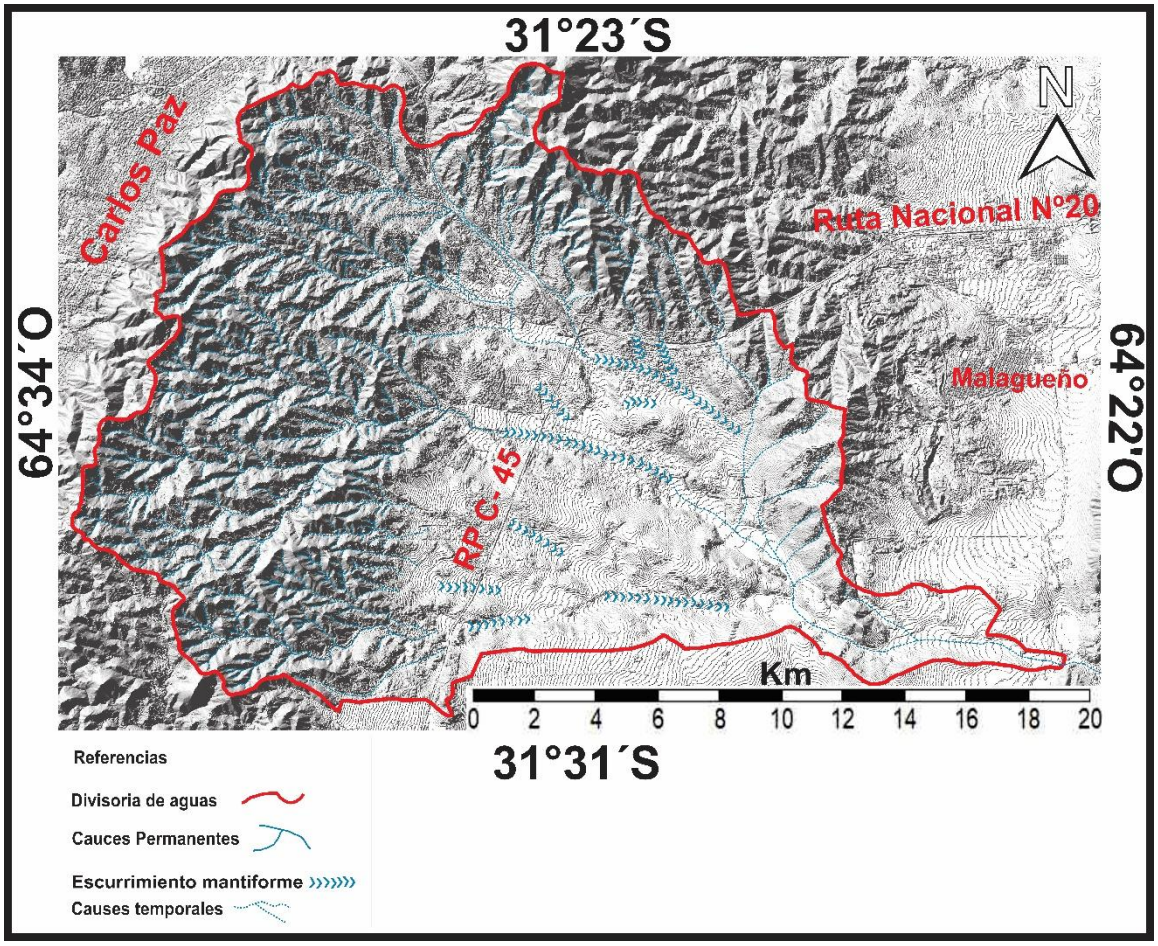



Figura 66 subcuenca La Lagunilla N

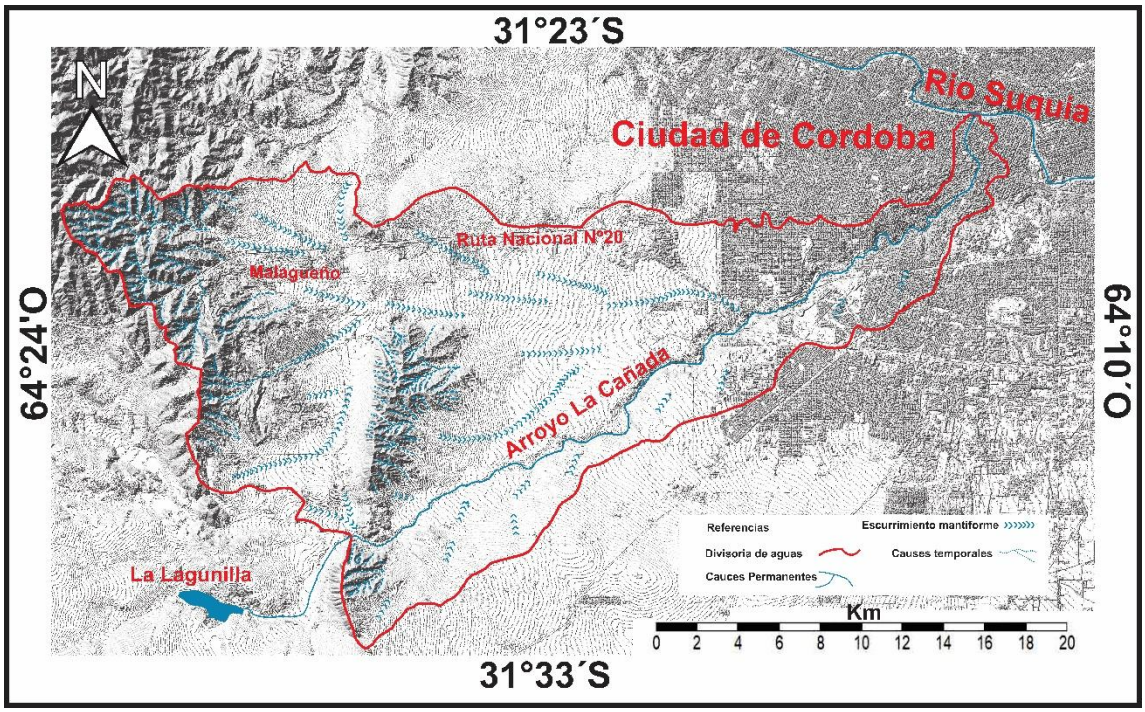



Figura 67 Subcuenca Arroyo la Cañada

Al ingresar al sector urbano, el arroyo de La Cañada se modifica a régimen permanente como consecuencia del aporte de aguas servidas de la Ciudad de Córdoba (33,66 $Km^2$) (Figura 67). Su lecho ordinario está canalizado en este sector, con la finalidad de neutralizar los efectos de las crecidas y permitir un mayor aprovechamiento urbano, hasta su desembocadura en el Río Suquía, (Figura 68)

Figura 68 Fotografía de la desembocadura del Arroyo La Cañada en el Río Suquía.
Fuente diario la Voz del Interior (2015)

~~La cuenca del arroyo de La Cañada,~~ a partir del análisis de los datos fotohidrogeomorfológicos se deduce que la cuenca del arroyo de La Cañada, cuando las condiciones climáticas son desfavorables (tal como elevadas precipitaciones~~,~~ producto de núcleos convectivos, combinados con altas temperaturas), aceleran los distintos procesos de inundación y anegamiento fluvial.

Los parámetros morfométricos ~~nos~~ indican descarga de importantes picos de crecida para la ciudad de Córdoba; es por ello que los diseños de la distribución espacial de las lluvias, la localización de zonas inundables y anegables, unidades hidrogeomorfologicas, variaciones y grados de coberturas vegetal, y antrópicos constituyen factores determinantes.

4.3. Morfometría de la cuenca

### 4.3.1. Parámetros asociados a la forma

Se ha utilizado el Software ArcGis 10.2 para obtener las áreas parciales entre curvas de nivel y obtener las principales características de la cuenca que a continuación de detalla:

~~Área de la cuenca~~ (Figura 69, Tabla 5)

~~Datos obtenidos de la cuenca:~~

~~A través del programa ArcGis 10.2, obtenemos lo siguiente:~~

| | | |
|---|---|---|
| Área total de la cuenca | 297,00 | $Km^2$ |
| Perímetro de la cuenca | 139,00 | Km |

Cuadro de áreas parciales y acumulados según la altitud

~~Con el Software ArcGis 10.2 obtenemos las~~ áreas entre curvas de nivel o cotas, obtenemos las Áreas Parciales (Figura 69):

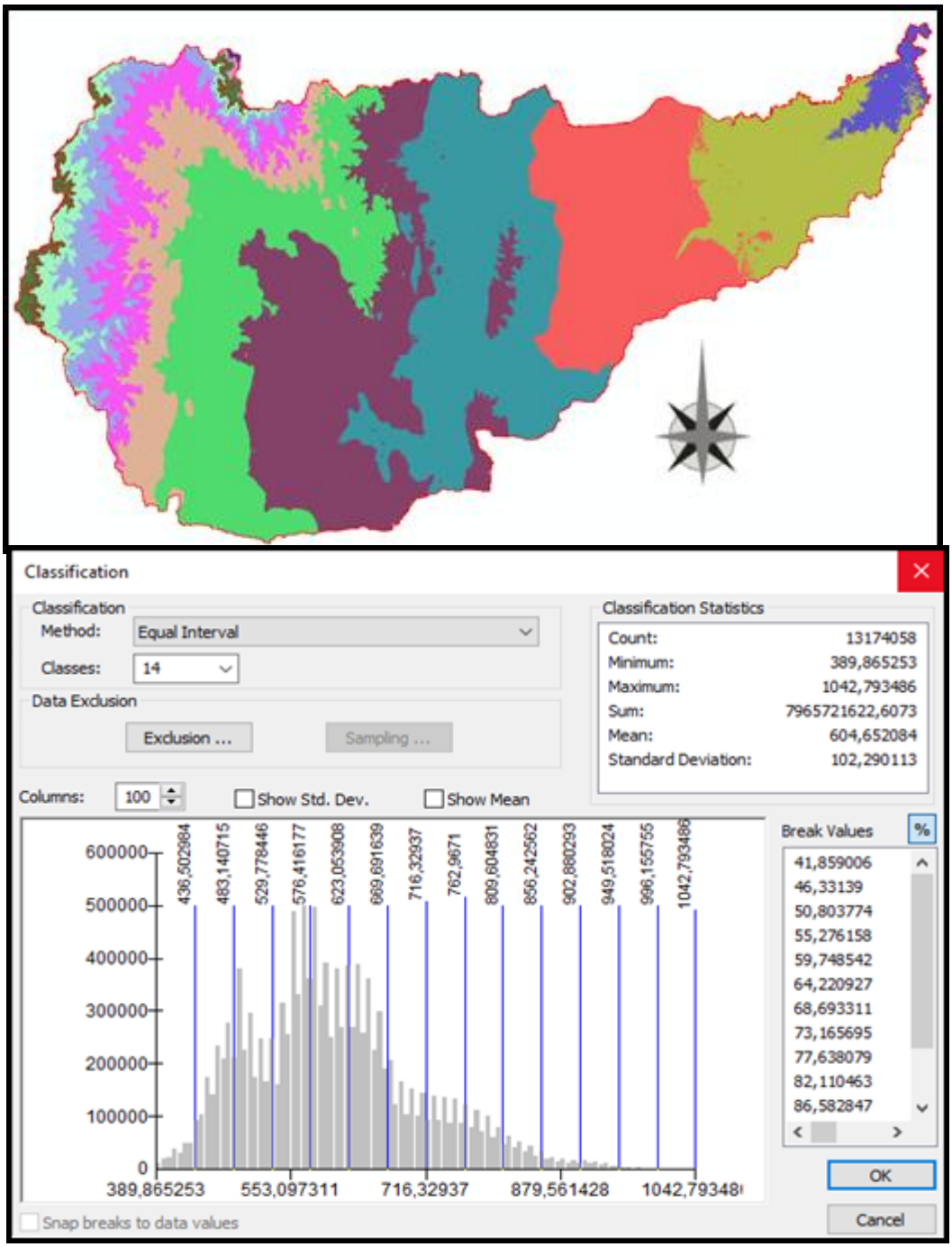



Figura 69 DEM con áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsometrica ~~Fuente: ArcGis 10.2~~

| ALTITUD | AREAS PARCIALES | | AREAS ACUMULADAS | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | POR DEBAJO | | POR ENCIMA | |
| m.s.n.m. | Km2 | (%) | (KM2) | (%) | KM2 | (%) |
| Punto más bajo | | | | | | |
| | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 297,64 | 100,00 |
| 411,13 | 4,43 | 1,49 | 4,43 | 1,49 | 293,20 | 98,51 |
| 458,89 | 26,88 | 9,03 | 31,32 | 10,52 | 266,32 | 89,48 |
| 506,65 | 40,81 | 13,71 | 72,13 | 24,24 | 225,50 | 75,76 |
| 554,40 | 54,43 | 18,29 | 126,57 | 42,52 | 171,07 | 57,48 |
| 602,16 | 57,72 | 19,39 | 184,29 | 61,92 | 113,35 | 38,08 |
| 649,92 | 48,15 | 16,18 | 232,44 | 78,09 | 65,20 | 21,91 |
| 697,67 | 22,48 | 7,55 | 254,92 | 85,65 | 42,72 | 14,35 |
| 745,43 | 18,34 | 6,16 | 273,26 | 91,81 | 24,37 | 8,19 |
| 793,19 | 13,45 | 4,52 | 286,72 | 96,33 | 10,92 | 3,67 |
| 840,95 | 6,56 | 2,20 | 293,27 | 98,53 | 4,36 | 1,47 |
| 888,70 | 2,61 | 0,88 | 295,88 | 99,41 | 1,75 | 0,59 |
| 936,46 | 1,40 | 0,47 | 297,28 | 99,88 | 0,36 | 0,12 |
| 984,21 | 0,25 | 0,08 | 297,53 | 99,96 | 0,11 | 0,04 |
| 1031,98 | 0,11 | 0,04 | 297,64 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |
| Punto más alto | | | | | | |
| TOTAL | 297,64 | 100,00 | | | | |

Tabla 4 Áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica

Factor de relieve (Figuras 70, 71 y 72; Tablas 6, 7 y 8)

Cálculo de la curva Hipsométrica

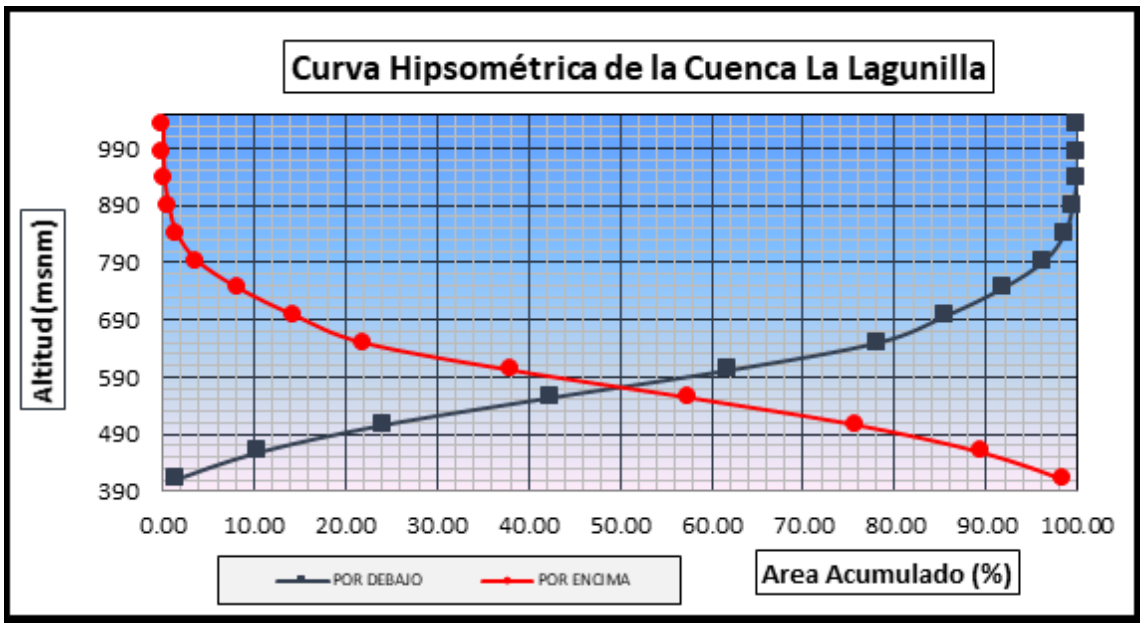



Figura 70 Curva Hipsométrica de la Cuenca La Lagunilla

Cálculo de la Altitud Mediana

Altitud Mediana = 570,00 msnm (Intersección de las curvas hipsométicas)

Cálculo de la Altitud Media Ponderada

Altitud media Ponderada: $H = \frac{\left(\sum a_i c_i\right)}{A}$ $c_i = \frac{\left(c_i + c_{i-1}\right)}{2}$

Donde:

ai = Área parcial de terreno entre curvas de nivel.

ci = Altitud media de cada área parcial entre dos curvas de nivel.

A = Área de la cuenca.

| | ai | ci (altitud media) | ai x ci |
|---|---|---|---|
| | 4,43 | 205,6 | 911,51 |
| | 26,88 | 435,0 | 11694,77 |
| | 40,81 | 482,8 | 19703,94 |
| | 54,43 | 530,5 | 28879,07 |
| | 57,72 | 578,3 | 33379,05 |
| | 48,15 | 626,0 | 30142,91 |
| | 22,48 | 673,8 | 15149,69 |
| | 0,11 | 864,8 | 93,38 |
| Σ | 255,03 | Σ | 139954,32 |

Tabla 5 Áreas parciales entre curvas de nivel

H = 548,78 msnm

Cálculo de la Altitud Media Simple:

Altitud Media Simple: $$H_{ms} = \frac{(c_M + c_m)}{2}$$

Donde:

$c_M$ = Cota o altitud más alta de la cuenca

$c_m$ = Cota o altitud más baja de la cuenca

| | |
|---|---|
| $c_M$ = | 1.031,98 |
| $c_m$ = | 0,00 |

$H_{ms}$ = 515,99 msnm

Cálculo del Polígono de Frecuencia de Áreas Parciales:

| Cota (msnm) | Area Parcial (%) |
|---|---|
| 0,00 | 0,00 |
| 411,13 | 1,49 |
| 458,89 | 9,03 |
| 506,65 | 13,71 |
| 554,40 | 18,29 |
| 602,16 | 19,39 |
| 649,92 | 16,18 |
| 697,67 | 7,55 |
| 1031,98 | 0,04 |

Tabla 6: Cota (msnm) y áreas parciales (%)

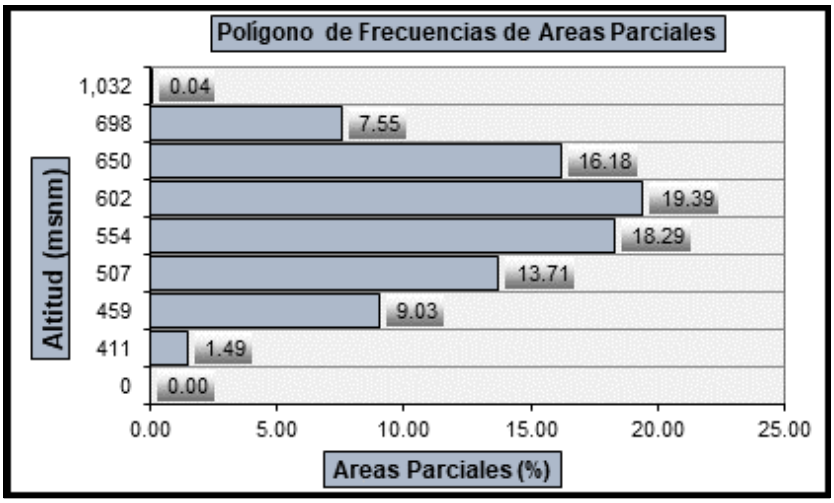



Figura 71 Diagrama de Polígono de Frecuencias

| N° | Área km$^2$ | Alturas | | | Acumulado | % Acumulado | % Área |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mínima | Máxima | Promedio | | | |
| | | | | | | 100 | |
| 1 | 4,43 | 387,25 | 435,01 | 411,13 | 4,43 | 98,51 | 1,49 |
| 2 | 26,88 | 435,01 | 482,77 | 458,89 | 31,32 | 89,48 | 9,03 |
| 3 | 40,81 | 482,77 | 530,52 | 506,65 | 72,13 | 75,76 | 13,71 |
| 4 | 54,43 | 530,52 | 578,28 | 554,40 | 126,57 | 57,48 | 18,29 |
| 5 | 57,72 | 578,28 | 626,04 | 602,16 | 184,29 | 38,08 | 19,39 |
| 6 | 48,15 | 626,04 | 673,80 | 649,92 | 232,44 | 21,91 | 16,18 |
| 7 | 22,48 | 673,80 | 721,55 | 697,67 | 254,92 | 14,35 | 7,55 |
| 8 | 18,34 | 721,55 | 769,31 | 745,43 | 273,26 | 8,19 | 6,16 |
| 9 | 13,45 | 769,31 | 817,07 | 793,19 | 286,72 | 3,67 | 4,52 |
| 10 | 6,56 | 817,07 | 864,82 | 840,95 | 293,27 | 1,47 | 2,20 |
| 11 | 2,61 | 864,82 | 912,58 | 888,70 | 295,88 | 0,59 | 0,88 |
| 12 | 1,40 | 912,58 | 960,34 | 936,46 | 297,28 | 0,12 | 0,47 |
| 13 | 0,25 | 960,34 | 1008,08 | 984,21 | 297,53 | 0,04 | 0,08 |
| 14 | 0,11 | 1008,10 | 1055,85 | 1031,98 | 297,64 | 0,00 | 0,04 |
| | 297,64 | | | | | | |

Cálculo del Rectángulo Equivalente:

Rectángulo Equivalente:

Lado Mayor = $$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12}\left(1+\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K}\right)^2}\right)$$

Lado Menor = $$l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12}\left(1-\sqrt{1-\left(\frac{1.12}{K}\right)^2}\right)$$



Tabla 7: Áreas, alturas, acumulado, acumulado (%) y áreas (%)

## 3.- PARAMETROS DE FORMA:

### 3.1.- Cálculo del Indice de Gravelius (K):

El Indice de Gravelious (K): $K = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$

Donde :

| | | | |
|---|---|---|---|
| $P$ = | Perímetro de la cuenca en Km | 139,00 | Km |
| $A$ = | Area de la cuenca en Km2 | 297,00 | Km2 |

Entonces:

K = 2,2753

Como el valor de K se encuentra entre los rangos de 1.00 - 1.25, la forma de la cuenca es REDONDA, en caso contrario Alargada

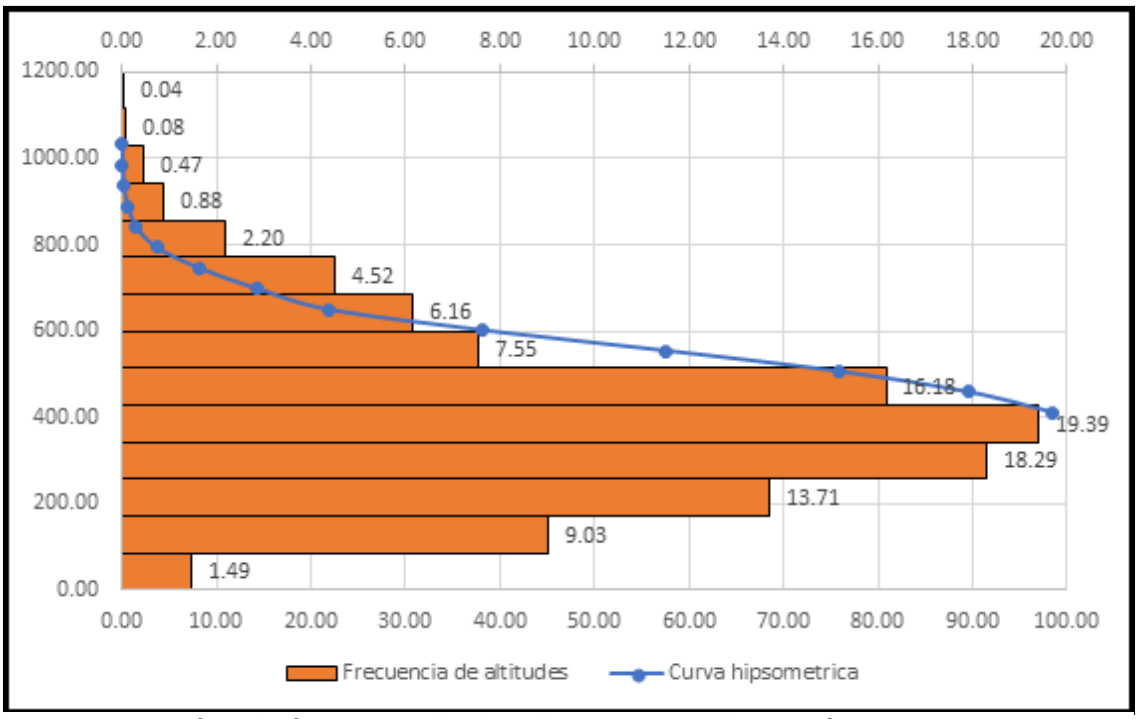



Figura 72: Grafico de frecuencia de altitudes, con curva hipsométrica.

Donde:

K = Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelious.

A = Área de la cuenca en $Km^2$

$$\frac{K \sqrt{A}}{1.12} = 35{,}011$$

(1.12/K)^2 = 0,242

$$\left(\sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2}\right) = 0{,}870$$

| | |
|---|---|
| L = | 65,486 |
| l = | 4,535 |

| Cota (msnm) | Area Parcial ai ($Km^2$) | Ancho, ci (Km) |
|---|---|---|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 411,13 | 4,43 | 0,98 |
| 458,89 | 26,88 | 5,93 |
| 506,65 | 40,81 | 9,00 |
| 554,40 | 54,43 | 12,00 |
| 602,16 | 57,72 | 12,73 |
| 649,92 | 48,15 | 10,62 |
| 697,67 | 22,48 | 4,96 |
| 1031,98 | 0,11 | 0,02 |
| | Suma ci= L= | 56,23 |

Tabla 8: Rectángulo Equivalente

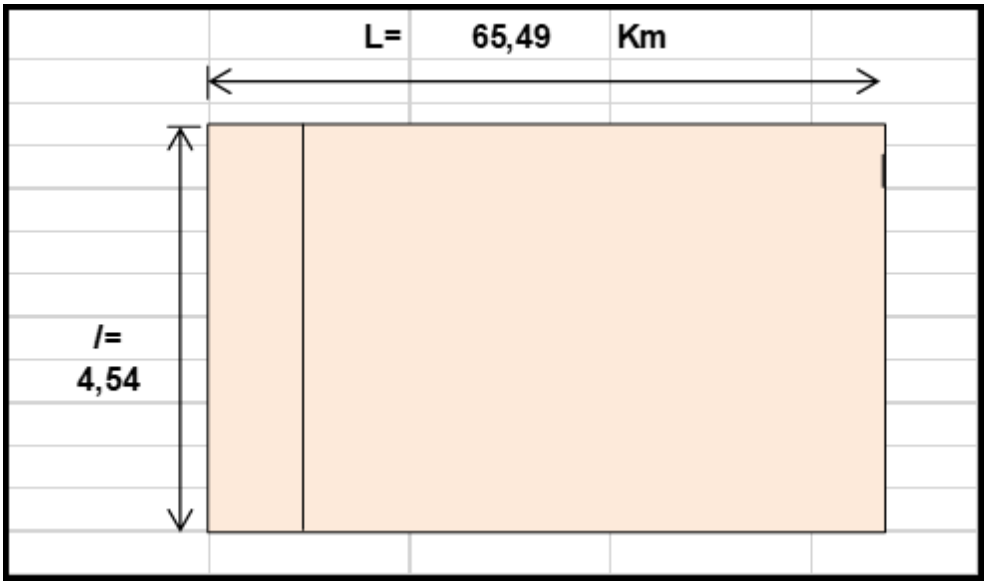



Figura 73 Grafico del rectángulo equivalente.

Cálculo del Factor Forma:

$$F_f = \frac{l}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Factor Forma:

Donde:

| | | |
|---|---|---|
| l = Lado menor del rectángulo equivalente | 4,54 | Km |
| L = Lado mayor del rectángulo equivalente | 65,49 | Km |
| A = Área de la cuenca | 297,00 | $Km^2$ |

Ff = 0,0693

3.1.2 Parámetros asociados al relieve (Figuras 74, 75 y 76)

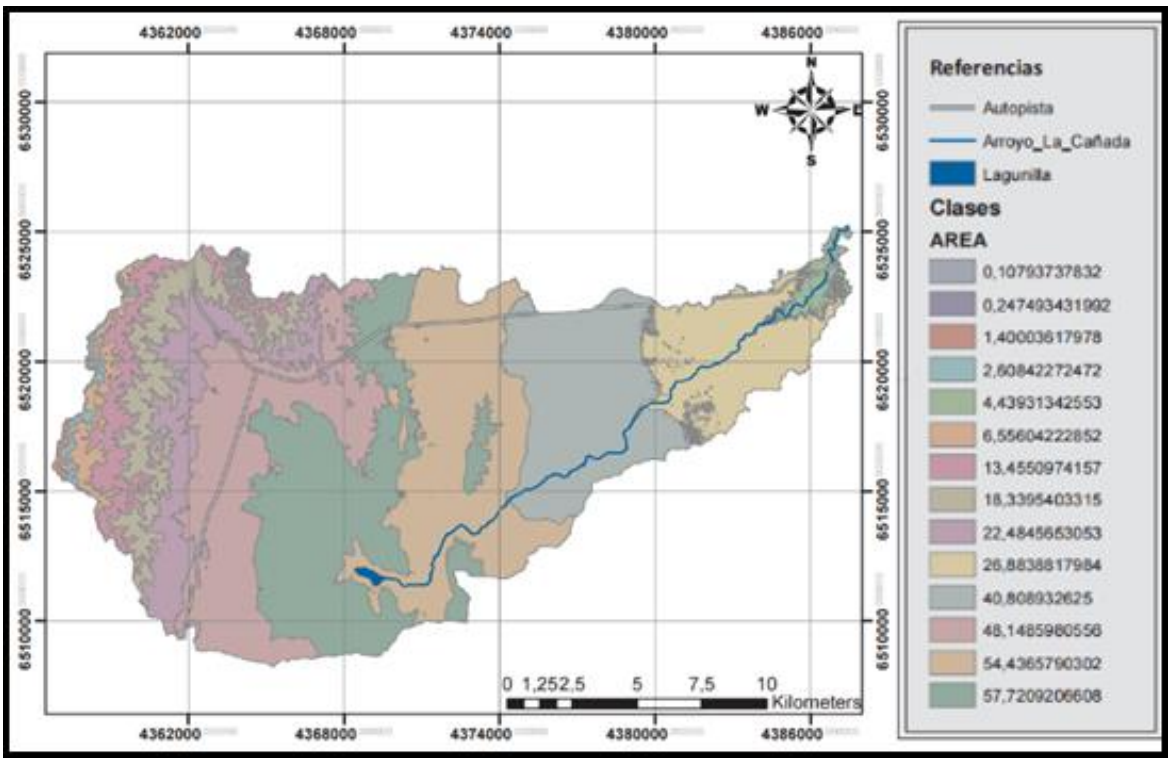



Figura 74 Mapa con clasificación en clases para trazado de Curva Hipsométrica

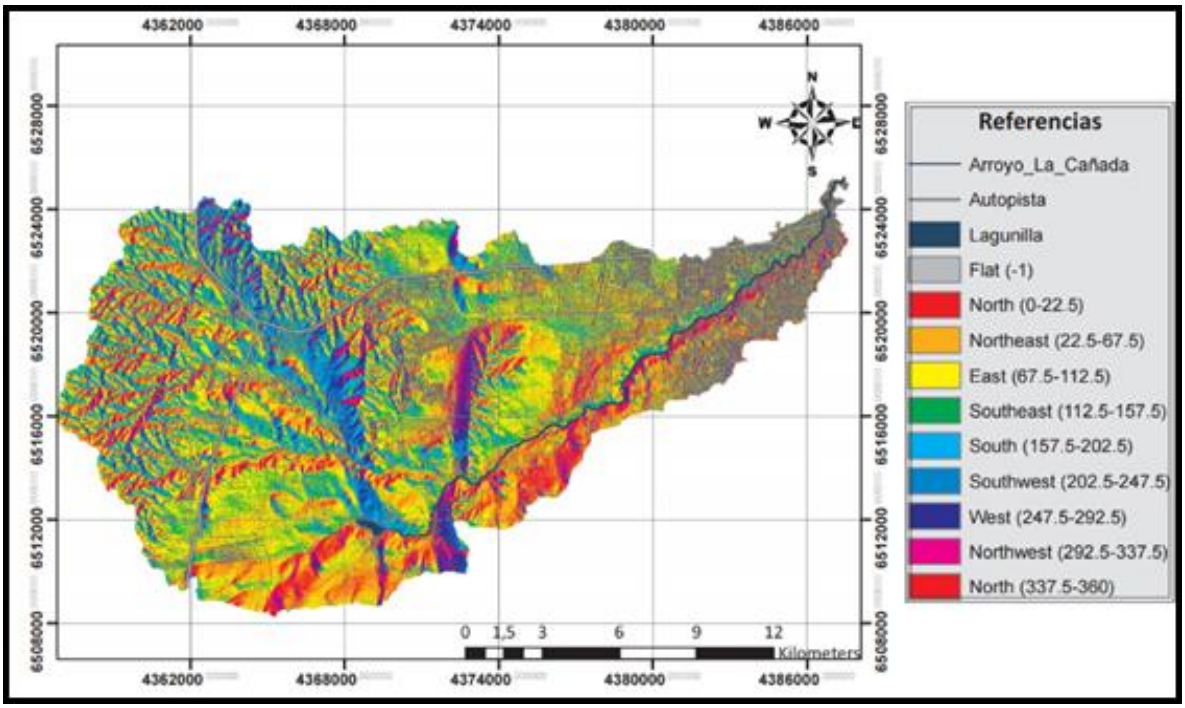



Figura 75 Mapa con orientación de laderas Lagunilla-La Cañada

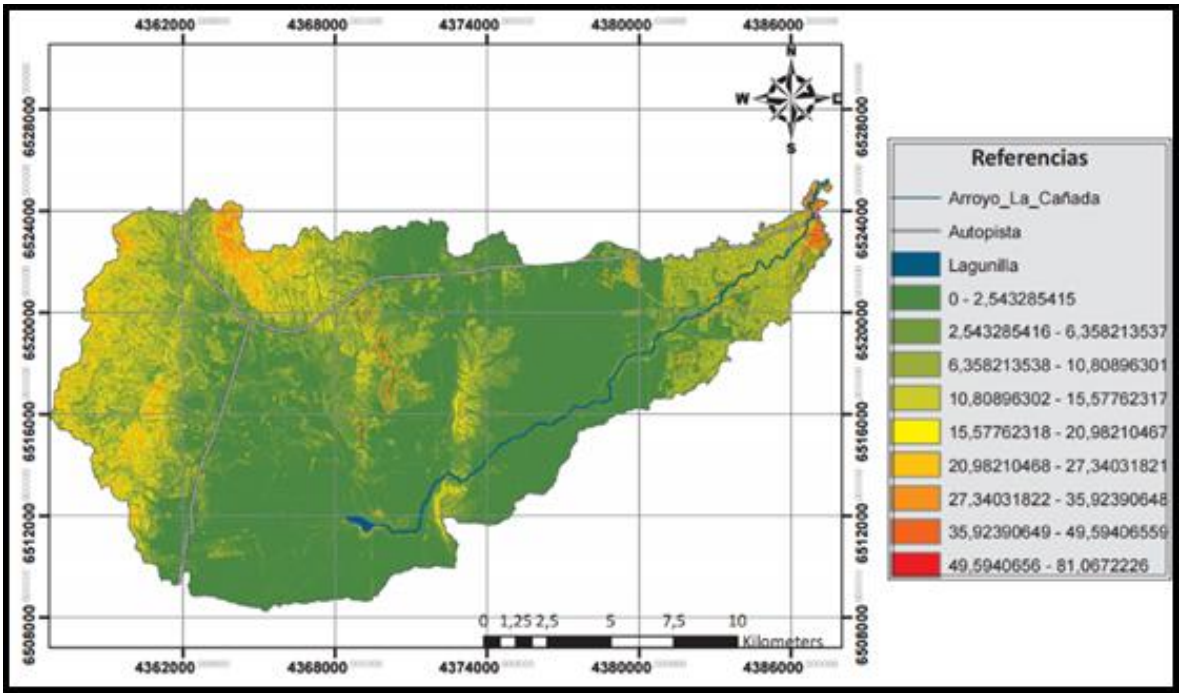



Figura 76 Mapa con pendiente Lagunilla-La Cañada

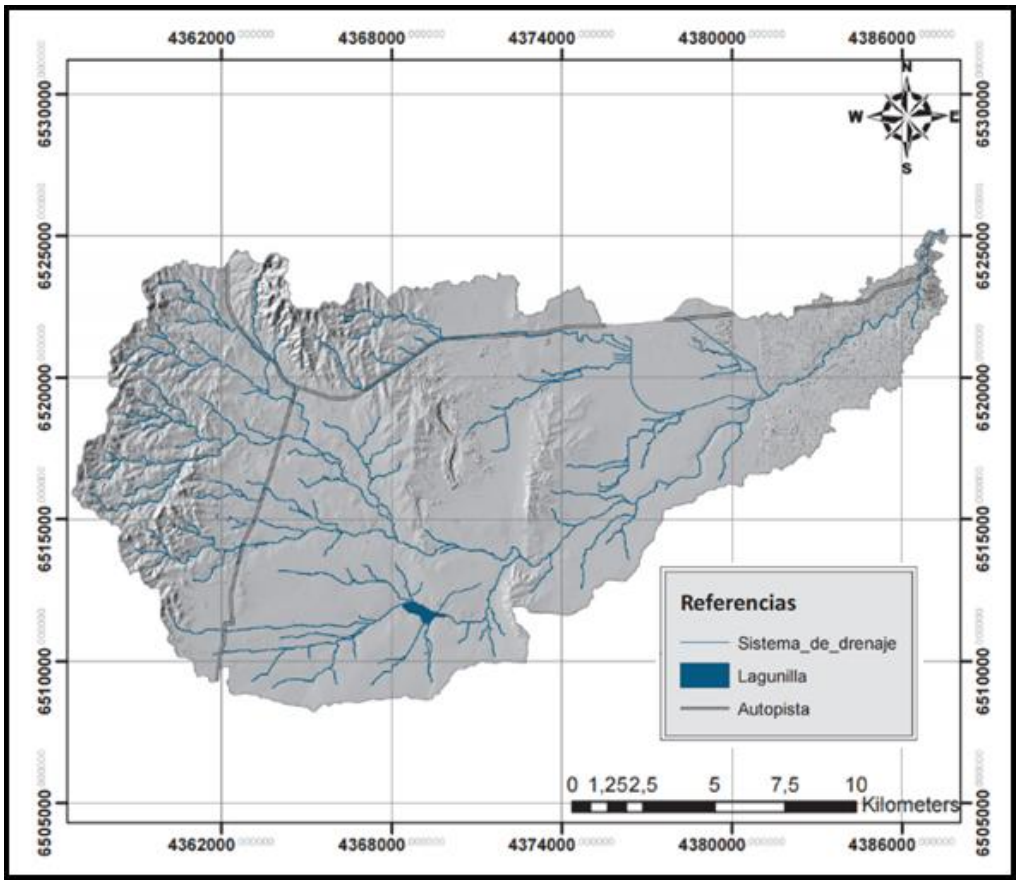



Figura 77 Mapa con sistema de drenaje Lagunilla-La Cañada

4.4. Simulación critica de Amenaza de desborde del Arroyo La Cañada (Figura 78).

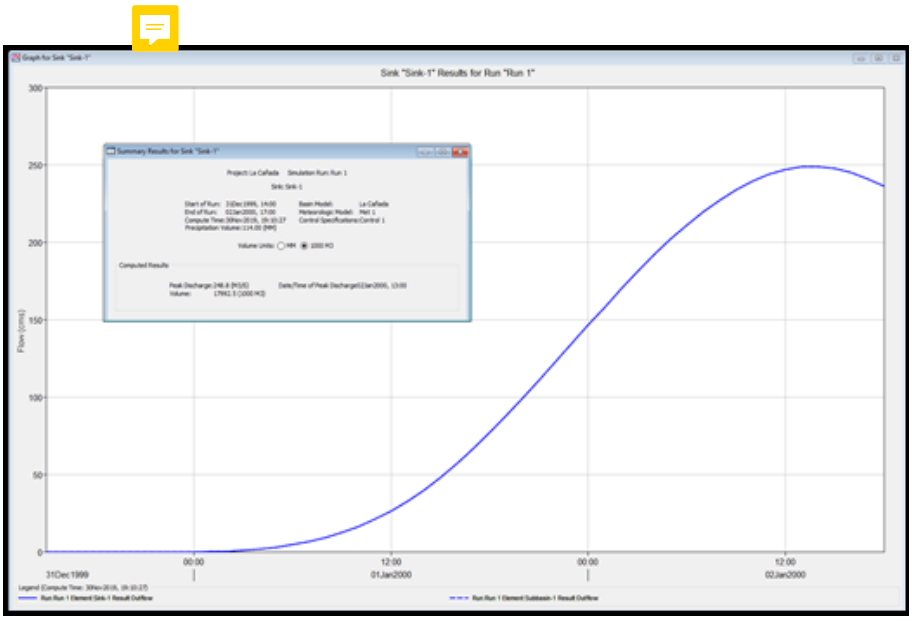



Figura 78 Curva del flujo generada con el software HEC-HMS.

Utilizando Sistema de Modelado Hidrológico HEC - HMS se generó un modelo de la cuenca del Arroyo La Cañada, mediante la aplicación de la herramienta de simulación se generó la curva de flujo de salida, la cual indica el caudal estimado en el punto definido como cierre de cuenca (Bulevard Aturo Illia con calle Belgrano).
El objetivo de esta simulación fue comprobar cuál es la precipitación necesaria en 24hs para que se genere un flujo de 250m$^3$/s, y como se puede observar en la imagen, se consigue un flujo de 248,8m$^3$/s, con una precipitación de 114mm.

La importancia de estos calculos y de desarrollar el modelo en sí, es que sabiendo que con una lluvia de 114mm se genera un flujo de 248,8m3/s y sabremos que una precipitación mayor generara un flujo problemático que supera la capacidad en el punto de cierre de cuenca.

Con estos datos se pueden tomar medidas preventivas para disminuir la capacidad de flujo en el cierre de cuenca.

## 4.5. Régimen de precipitaciones

Al evaluar las precipitaciones se consideró la serie de datos que va desde el año 1981 al año 2019, correspondiente a la estación Córdoba Observatorio. Los datos analizados se muestran en la Figura 79. Se observa que la mayor parte de las precipitaciones ocurren entre los meses de octubre y abril, mientras que el semestre frío (mayo-setiembre) exhibe escasas precipitaciones. Cabe mencionar que los mayores valores medios se dan en el mes de diciembre con 123,8 mm y los menores en julio con 9,08 mm.

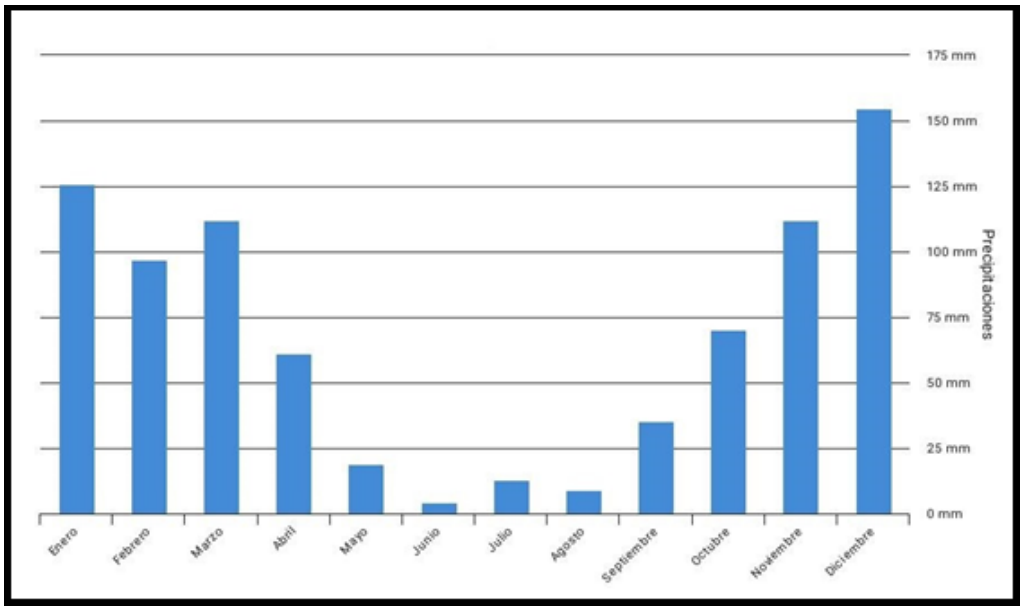



Figura 79 Grafico de precipitaciones medias mensuales (mm) correspondientes a la serie 1981-2019 de la estación Córdoba Observatorio dependiente del SMN.

Se analizó también la distribución anual de las precipitaciones extremas para la serie estudiada (Figura 80 y Tabla 9). En el gráfico se muestra, además de los milímetros de agua precipitada en cada año, la precipitación media anual de toda la serie (con un valor de 716,9 mm), una línea de tendencia general levemente positiva y una curva de tendencia móvil cada 5 años. A partir de ello, se puede observar que existe una alternancia de años húmedos y secos, destacándose el año 1999 como el año de máximas precipitaciones (con un valor de 1114 mm), y al año 1998 como el más seco (con un valor de 324 mm). La línea de tendencia móvil permite ver la sucesión de cuatro ciclos secos alternados por cuatro ciclos húmedos, siendo algunos más marcados que otros.

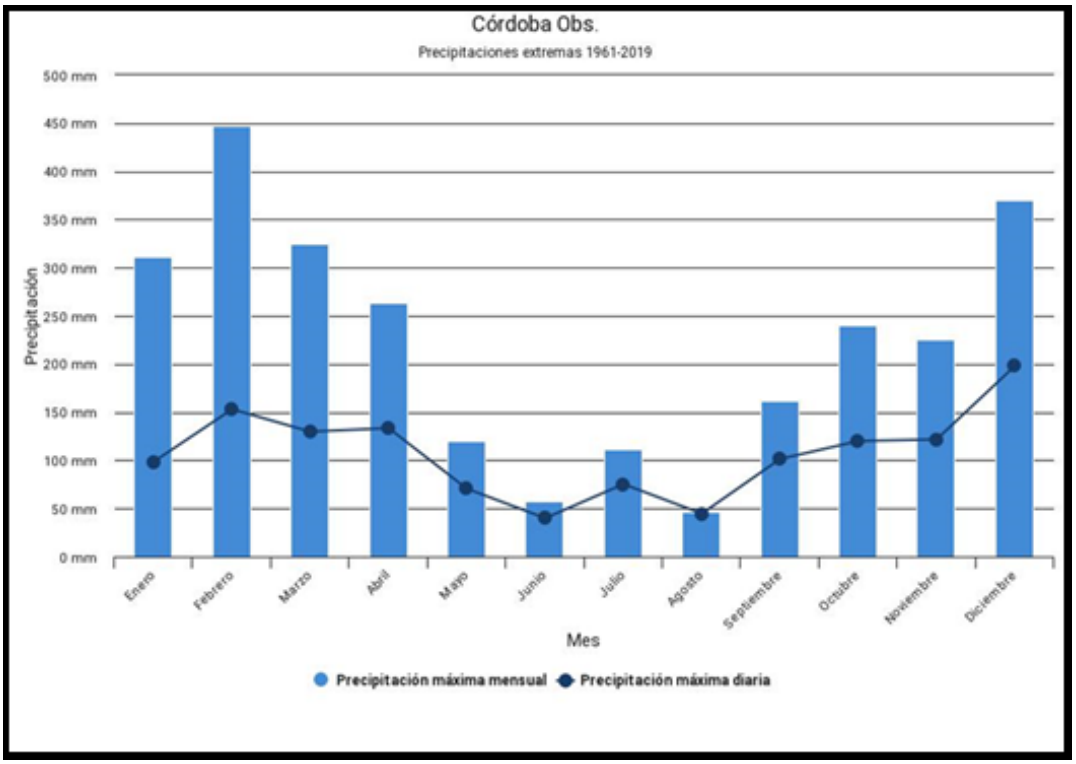



Figura 80: Grafico de la precipitación máxima mensual y máxima diaria (mm) correspondientes a la serie 1981-2019 de la estación Córdoba Observatorio dependiente del SMN de Córdoba (1961-2019)

| | Máxima Mensual. | Máxima Diaria. |
|---|---|---|
| | 1961-2019 | |
| Enero | 311.5mm (1979) | 98.6mm (12/01/2006) |
| Febrero | 447.2mm (2016) | 153.0mm (07/02/2016) |
| Mazo | 324.5mm (1975) | 129.8mm (06/03/1973) |
| Abril | 263.5mm (1981) | 133.4mm (09/04/1981) |
| Mayo | 120.0mm (2018) | 70.5mm (12/051981) |
| Junio | 58.1mm (1968) | 40.0mm (03/06/1968) |
| Julio | 11.4mm (1985) | 75.3mm (22/07/1985) |
| Agosto | 46.9mm (1994) | 44.7mm (07/08/1994) |
| Septiembre | 161.9mm (1978) | 101.4mm (30/09/1997) |
| Octubre | 240.3mm (1999) | 120.0mm (31/10/1999) |
| Noviembre | 224.9mm (1966) | 121.8mm (10/09/1993) |
| Diciembre | 370.4mm (1997) | 198.0mm (26/12/2003) |

Tabla 9: Precipitaciones, máximas mensuales y diarias

4.6. Evolución del uso del territorio:

Se visualiza cartográficamente la diferencia del uso del territorio entre los años 1987 y 2019 en la zona de estudio y se calcula su evolución (Figura 81, 82 y 83)

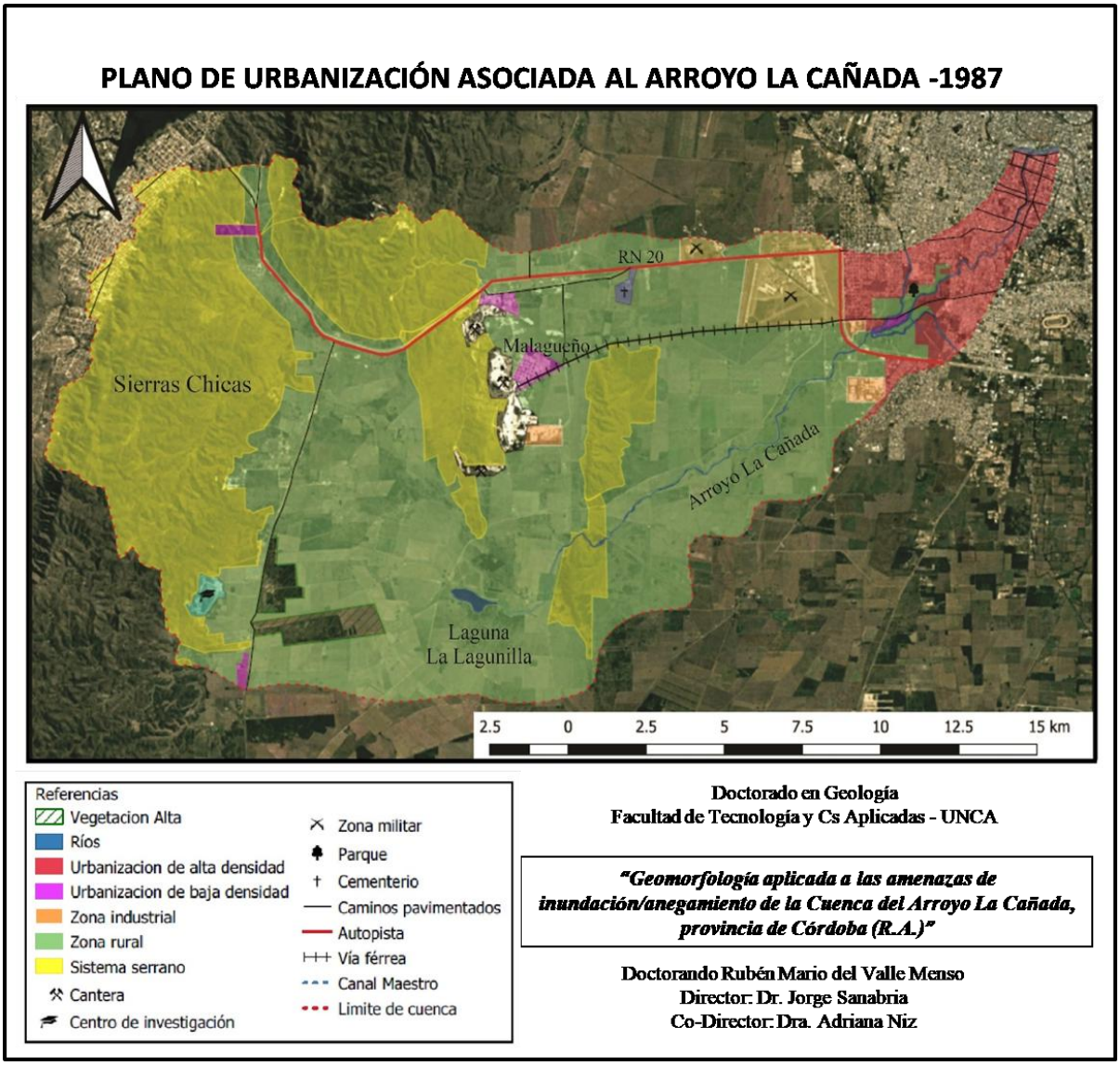



Figura 81 Mapa del uso del territorio presente en la cuenca del Arroyo La Cañada en el año 1987.

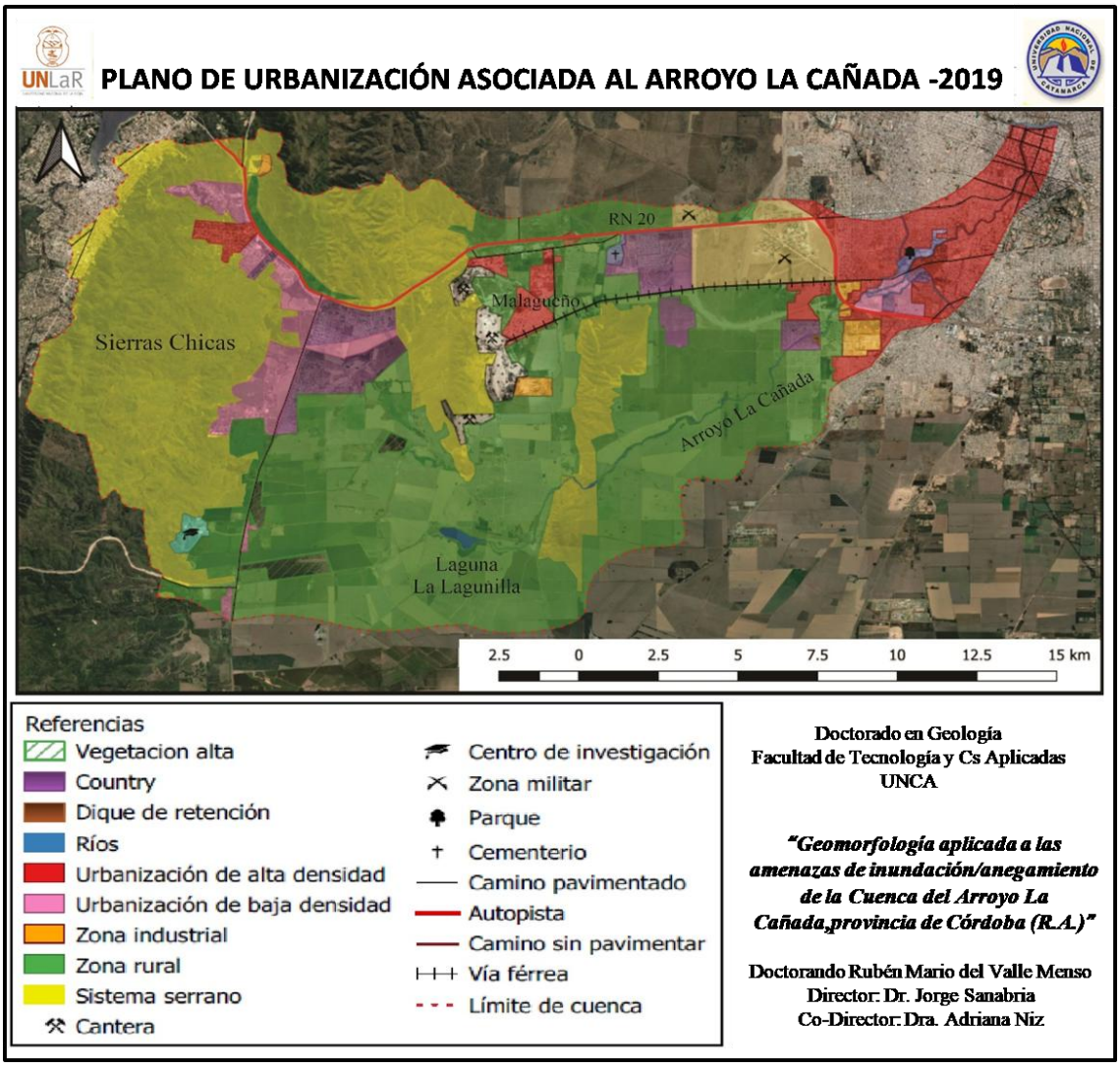



Figura 82 Mapa del uso del territorio presente en la cuenca del Arroyo La Cañada en el año 2019.

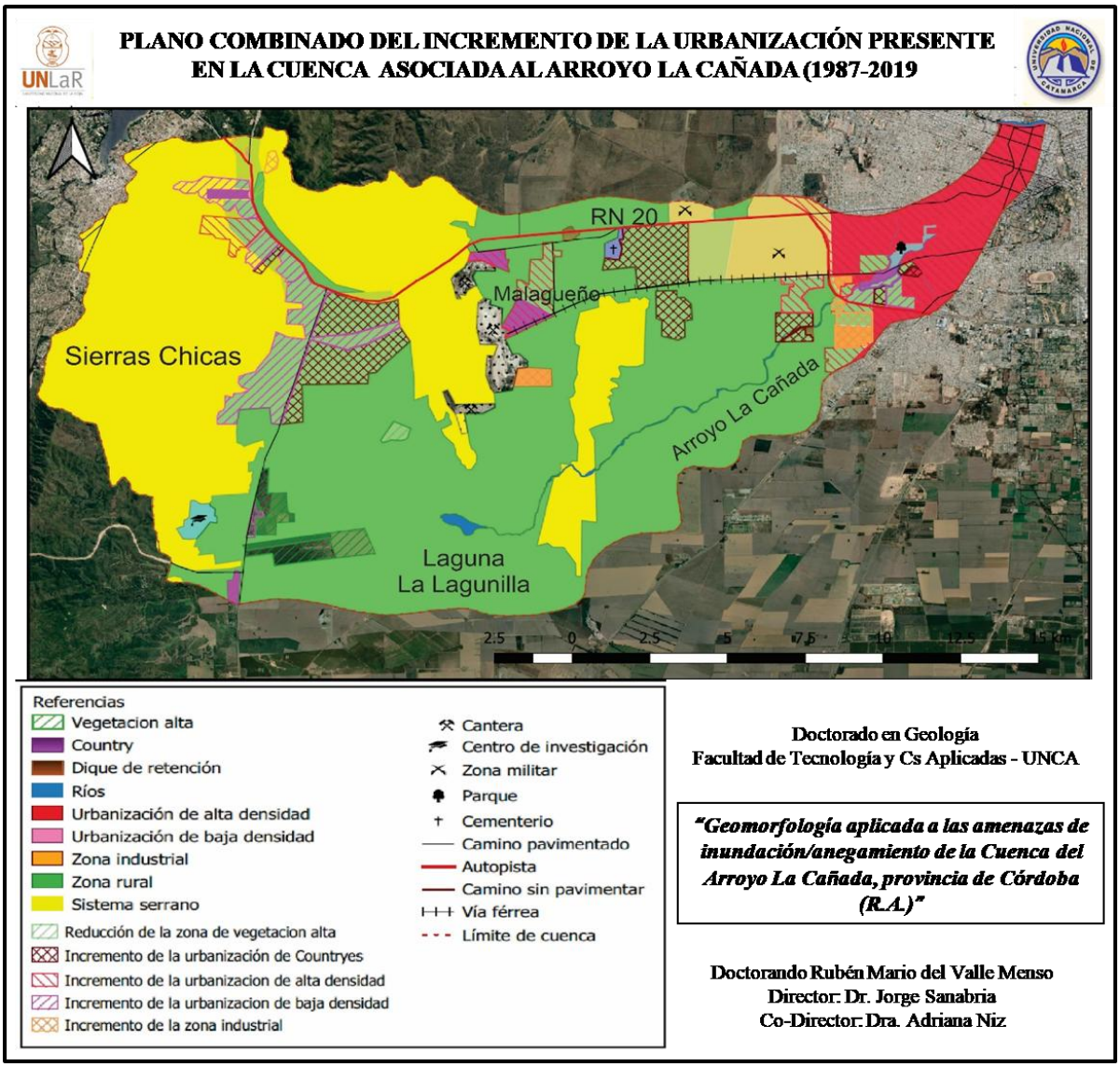



Figura 83 Mapa combinado que presenta la variación de la ocupación y uso del territorio en la cuenca del Arroyo La Cañada entre 1987 y 2019

| | Áreas 1987 ($Km^2$) | Áreas 2019 ($Km^2$) |
|---|---|---|
| Zona de vegetación alta | 2,696 | 2,473 |
| Zona Urbanizada | 30,727 | 67,888 |
| Sistema serrano | 110,401 | 110,401 |
| Zona de actividad minera | 3,205 | 3,205 |
| Zona rural | 148,971 | 112,033 |
| Incremento de la urbanización | | 37,161 |

Tabla 10: Tabla indicativa de la variación del uso del territorio en la cuenca del Arroyo La Cañada, expresada en Km2 entre los años 1987 y 2019.

4.7. Peligro de Incendio (Figuras 84)

Este fenómeno se observa en los últimos tiempos con un aumento en la recurrencia, la cual llega a ser anual. La escasa humedad de la estación invernal, las características de la vegetación, y la influencia humana generan el medio propicio para el desarrollo de este peligro natural que afecta en gran medida al medio físico y sus ocupantes en esta zona de estudio y gran parte de las sierras Cordobesas.

Las consecuencias de los incendios forestales sobre los ecosistemas se observan inmediatamente, algunas de ellas son:

- Destrucción de la flora y la fauna con períodos de recuperación muy largos.
- Daños a la infraestructura urbana o rural y a las personas.
- Contaminación del aire y del agua a partir de la ceniza, que se mantiene en el aire hasta que se produce la primera precipitación después del incendio, y ésta es transportada por los ríos en suspensión hasta los embalses o lagos.
- Cuando la ceniza llega al nivel de base de la cuenca hidrográfica genera un problema extra, que es el taponamiento de las galerías filtrantes de agua para potabilizar, provocando el corte temporario en el suministro y la necesidad de mayor cantidad de medidas potabilizadoras.
- Por otro lado, la destrucción de la cubierta vegetal aumenta el peligro de erosión e inundación, ya que las gotas de lluvia impactan directamente sobre el terreno y no hay vegetación para frenar la escorrentía.

El último registro obtenido de incendios en el monte serrano se produjo este año, abarcando gran parte del Departamento Punilla, Santa María y del Departamento Colón principalmente, y afectó en la zona de estudio a cientos de hectáreas, entre las que se encuentran los pastizales que rodean la ciudad de Malagueño y sectores cercanos a Falda del Carmen y Bosque Alegre (Tabla 11). Con la tabla 11 y las imágenes obtenidas por el Plan de Lucha contra el Fuego de la Provincia de Córdoba se realizó el mapa de la Figura 60 que indica la cobertura anual de los incendios

Figura 84 Fotografías del incendio forestal que afectó a parte del Dpto. Punilla y Dpto. Colón en el año 2006, Fuente diario La Voz del Interior

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fecha | 4/12/2016 | 18/9/2017 | 19/5/2019 |
| 27/7/2015 | 20/12/2016 | 18/9/2017 | 19/5/2019 |
| 27/7/2015 | 30/6/2017 | 18/9/2017 | 19/5/2019 |
| 27/7/2015 | 30/6/2017 | 18/9/2017 | 6/7/2019 |
| 27/7/2015 | 30/6/2017 | 18/9/2017 | 6/7/2019 |
| 27/7/2015 | 30/6/2017 | 18/9/2017 | 7/8/2019 |
| 27/7/2015 | 17/8/2017 | 18/9/2017 | 7/8/2019 |
| 27/7/2015 | 17/8/2017 | 18/9/2017 | 8/9/2019 |
| 27/7/2015 | 17/8/2017 | 18/9/2017 | 24/9/2019 |
| 27/7/2015 | 17/8/2017 | 18/9/2017 | 26/10/2019 |
| 27/7/2015 | 2/9/2017 | 18/9/2017 | 26/10/2019 |
| 27/7/2015 | 2/9/2017 | 18/9/2017 | |
| 13/9/2015 | 2/9/2017 | 18/9/2017 | |
| 13/9/2015 | 2/9/2017 | 18/9/2017 | |
| 13/9/2015 | 10/9/2017 | 18/9/2017 | |
| 15/10/2015 | 18/9/2017 | 18/9/2017 | |
| 15/10/2015 | 18/9/2017 | 18/9/2017 | |
| 11/6/2016 | 18/9/2017 | 18/9/2017 | |
| 30/8/2016 | 18/9/2017 | 1/6/2018 | |
| 30/8/2016 | 18/9/2017 | 17/6/2018 | |
| 30/8/2016 | 18/9/2017 | 4/8/2018 | |
| 30/8/2016 | 18/9/2017 | 4/8/2018 | |
| 15/9/2016 | 18/9/2017 | 5/9/2018 | |

Tabla 11: Indicativa de las fechas de los incendios que afectaron la Sierra Chica en los últimos cinco años

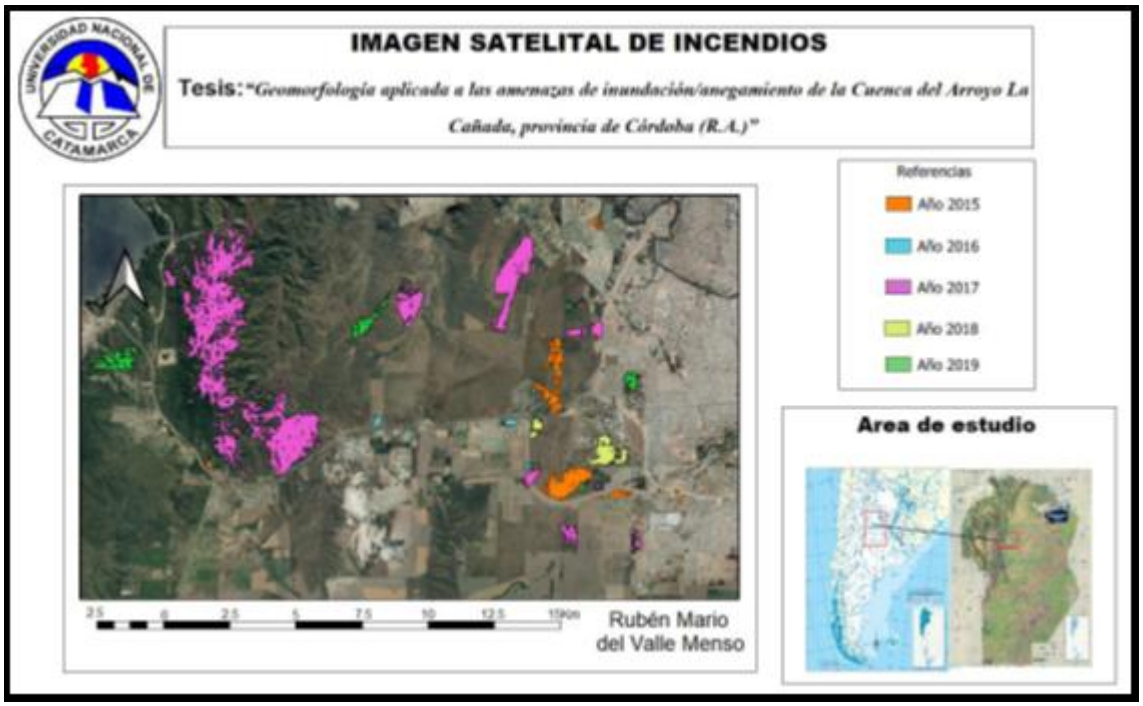



Figura 85 Mapa de la que indica la cobertura anual de los incendios

## 4.8. Las Amenazas Hídricas

El agua es el elemento creador de vida por excelencia, y por lo tanto indispensable para el desarrollo funcional de cualquier ecosistema. Esta se manifiesta en la naturaleza como un elemento de gran dinámica, que se encuentra en diferentes estados y situaciones, formando parte de un sistema mayor que rige su comportamiento natural, denominado Ciclo Hidrológico.

Se puede decir que no en todos los sectores del planeta se cumple con eficiencia, y esto se relaciona con las diferentes variables climáticas y geomorfológicas que hacen que la distribución del agua en la Tierra, no sea pareja. Existen zonas donde la presencia del preciado elemento es casi nula, y otras donde su abundancia excesiva genera problemas. Las variaciones en la disponibilidad del agua, ya sea por déficit o por exceso provocan una serie de problemas en una región, considerados como “Amenazas Hídricas”. En este apartado se describen las amenazas hídricas que producen inundaciones y anegamiento.

Teniendo en cuenta la dinámica hídrica, geológica y geomorfológica de la zona de estudio, se describen en este apartado un conjunto de peligros naturales originados por el agua de escorrentía superficial a los que se denomina Amenazas Hídricas:

Amenaza de inundación y anegamiento:

La diferencia principal entre anegamiento e inundación es que ésta última se halla supeditada a la crecida de un curso fluvial, mientras que el primero es producido por la acción de aguas meteóricas en zonas de interfluvios.

Las inundaciones se pueden dar en forma frontal, por desborde lateral o en una combinación de ambas. En el sector serrano ubicado hacia el O, se desarrollan procesos inundantes muy débiles y poco frecuentes de carácter principalmente frontal, resultado de la geomorfología, que son típicas del ambiente serrano Cordobés.

Cuando el escurrimiento irrumpe en el piedemonte y la planicie, se reduce progresivamente la pendiente, las geoformas son más suaves y los cauces tienden a perder energía. Esto posibilita que en épocas de crecidas, las mismas se identifiquen por procesos de inundación frontal pero también lateral.

También, por la acción de las subcuencas laterales que se activan receptando el agua pluvial y transportándola hacia el cauce. Este proceso puede generar tanto zonas inundadas como anegadas. Los ejemplos más notorios se dan en el sector SO de la ciudad de Córdoba.

El anegamiento natural que se produce es de tipo temporario, generalmente supeditado a la zona de los bajos interconectados, que tienen una pendiente general muy suave y continua hacia el E.

Sin dudas, la acción antrópica tiene una gran influencia en el desarrollo de zonas inundables y/o anegables. Los procesos generadores de mayores escorrentías son desmonte, sobre-pastoreo y agricultura, como así también, nuevos asentamientos urbanos, además, la construcción de obras de infraestructura vial, tiende a modificar el avenamiento natural, a pesar de las obras de desagüe realizadas, las cuales pueden llegar a ser insuficientes en casos de precipitaciones severas.

Recientemente se ha realizado el cierre de la Avenida de Circunvalación (SO), con una serie de obras de drenaje, que cortan transversalmente la mayoría de los bajos

principales, y que solo el tiempo dirá si el período de recurrencia calculado para esas obras de arte, es el más adecuado.

En definitiva, cualquier obra vial que se realice influirá en el escurrimiento original; por ello se debe calcular su impacto, tomando en especial consideración los factores geomorfológicos e hidrológicos, puesto que de ellos dependen, la seguridad y calidad de vida de los pobladores.

Decir que las obras de infraestructura no interfieren en el escurrimiento superficial natural, sería negar la realidad. La ubicación de las infraestructuras producen efectos, como:

1. Las que se sitúan transversalmente a la dirección del escurrimiento actúan como diques o barreras. Esta obstrucción la cumplen los terraplenes de los ramales ferroviarios Córdoba-Yocsina-Malagueño, y autopista Justiniano Posse. Esta última queda anegada a la altura de Yocsina y también en el desvío a Alta Gracia, en donde el alcantarillado se planificó en forma incorrecta. Otra obra que introduce una fuerte perturbación en el escurrimiento natural es la pista de aterrizaje de la Escuela de Aviación, la cual genera el derrame de las aguas en dos direcciones: Hacia el N las escorrentías son desviadas hacia la autopista, en donde sus cunetas funcionan como canal de descarga; la otra hacia el S, incrementando el caudal de escurrimiento hacia los barrios suburbanos Sachi y Carrara, inundándolos en su totalidad. En el sector urbano, la mayor interferencia la ejerce el canal Maestro S produciéndose un embalse en su margen derecha enriquecido por el caudal que trae la cuneta de la autopista, inundando los barrios Ameghino (Figura 86) y Matienzo; frecuentemente la escorrentía supera el albardón e ingresa al canal y lo desborda, o bien destruye el de la margen izquierda, quedando los barrios Ate y Rosedal Anexo totalmente inundados. La rotura de los albardones ocasionalmente es intencional, realizada por los habitantes de la margen derecha

Figura 86 Vista del barrio Ameghino S, un día de lluvia. Diario La Voz del Interior

2. Las infraestructuras dispuestas en dirección paralela al escurrimiento favorecen a éste, transformándose durante las lluvias en corrientes de significativos caudales. Ello puede observarse en la autopista Justiniano Posse y su continuación urbana la Av. Fuerza Aérea (Figura 87), como así también en algunos tramos de los ramales ferroviarios antes mencionados.

Figura 87 Av. Fuerza Aérea como colectora del escurrimiento

4.9. Resultados a nivel amenazas de inundación y anegamientos en la cuenca del Arroyo de la cañada (anexo 2)

Para este estudio se tomó como base la zonificación y jerarquización de las diferentes amenazas de inundación-anegamiento. Estas, están dadas por las siguientes clases y/o grados de amenazas modificado de Quintana Salvat, et al. (2002-2015); a la cual se agrega la clase combinada de Inundación/anegamiento (Tabla 12, 13 y 14)

Teniendo en cuenta los peligros hídricos descriptos y la ocurrencia que presentan; se procedió a elaborar una serie de categorías de clases y grados de peligrosidad, tomando en cuenta la geomorfología, hidrología, el clima y el accionar del hombre, resultando la cartografía temática que representan estas amenazas de Inundación y anegamiento

Por otra parte, los límites que corresponden a los diferentes grados de amenaza no deben interpretarse como contactos geológicos "netos y estáticos", sino más bien de tipo transicional o dinámico. Esto se manifiesta claramente en lo referente a los grados intermedios, puesto que las zonas con alto grado de peligrosidad (p. ej.: lecho de inundación periódico), en general, mantienen una superficie que puede ser bien definida, al igual que ocurre con las zonas más estables.

| Clases | Amenazas | Referencias en carta de amenazas |
|---|---|---|
| CLASE I | Totalmente inundable en crecientes ordinarias | I 1 |
| CLASE II | Parcialmente afectable en crecientes ordinarias e inundable en crecientes severas. | I 2 |
| CLASE III | Parcialmente afectable en crecientes severas e inundable en crecientes extremas | I 3 |
| CLASE IV | Poco afectable en crecientes extremas e inundable en una creciente excepcional. | I 4 |
| CLASE V | Fuera de peligro o muy poco afectable en una creciente catastrófica | I 5 |
| CLASE VI | Fuera de peligro | I 6 |

Tabla 12: Clases y/o grados de amenaza de inundación fluvial, modificado de Quintana Salvat, et al. (2002-2015)

| Clases | Amenazas | Referencias en carta de amenazas |
|---|---|---|
| CLASE 0 | Excesivamente anegable. Viviendas e infraestructura en general, muy afectadas. | A 0 |
| CLASE 1 | Muy anegable. Viviendas e infraestructura afectadas, sobre todo en las áreas más deprimidas. | A 1 |
| CLASE 2 | Anegable. Viviendas e infraestructura moderadamente afectadas. | A 2 |
| CLASE 3 | Poco anegable. Viviendas e infraestructura en general, escasamente afectadas. | A 3 |
| CLASE 4 | No anegable. Sin ningún peligro de sufrir anegamientos. | A 4 |

Tabla 13: Clases y/o grados de amenaza de inundación por anegamiento en interfluvios, de Quintana Salvat, et al. (2002-2015)

En esta tesis se propone un nuevo ordenamiento Tabla 14: Clases y/o grados de amenaza combinada de inundación fluvial y anegamiento (Figura 88 y 89 )

| Clases | Amenazas | Referencias en carta de amenazas |
|---|---|---|
| CLASE I | Totalmente inundable en crecientes ordinarias asociada a fuertes precipitaciones | IA 1 |
| CLASE II | Parcialmente afectable en crecientes ordinarias e inundable en crecientes severas, asociada a fuertes precipitaciones | IA 2 |
| CLASE III | Parcialmente afectable en crecientes severas e inundable en crecientes extremas, asociada a fuertes precipitaciones | IA 3 |
| CLASE IV | Poco afectable en crecientes extremas e inundable en una creciente excepcional, asociada a fuertes precipitaciones | IA 4 |
| CLASE V | Fuera de peligro o muy poco afectable en una creciente catastrófica, asociada a fuertes precipitaciones | IA 5 |
| CLASE VI | Fuera de peligro de inundaciones y anegamientos | IA 6 |

Tabla 14: Clases y/o grados de amenaza combinada de inundación fluvial y anegamiento (Figura 88 y 89)

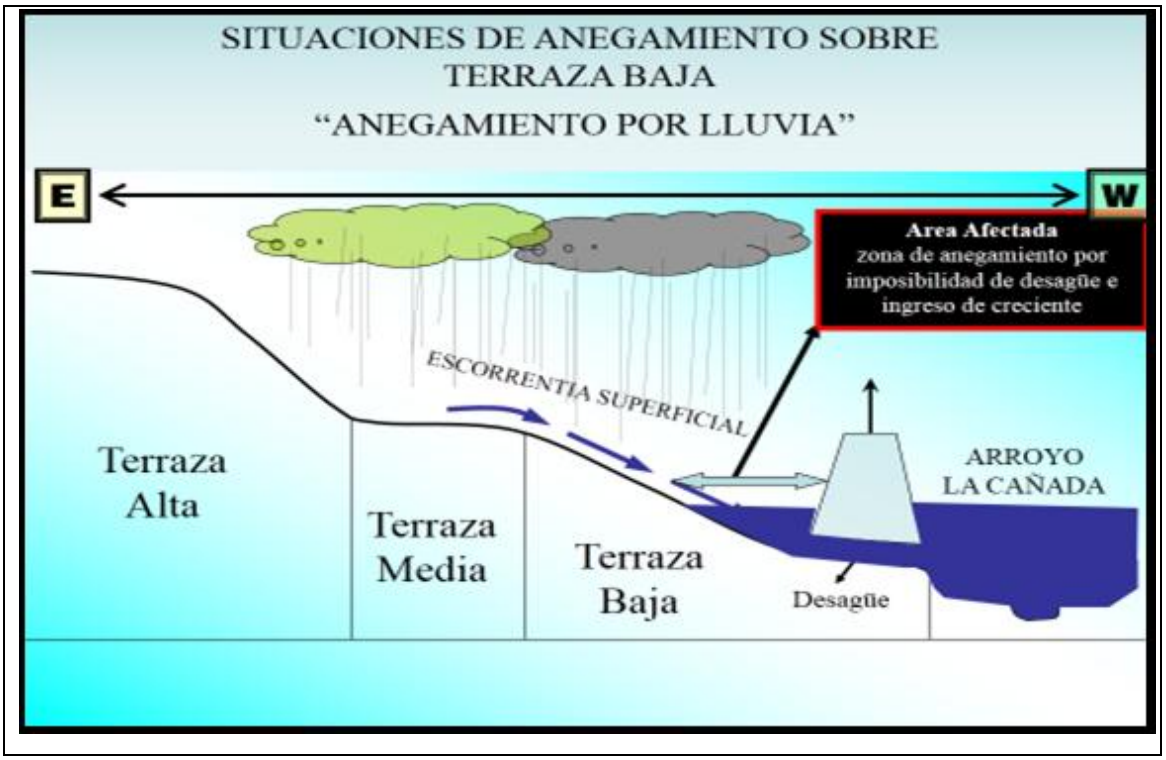



Figura 88 Esquema de situación combinada Inundación/anegamiento

Figura 89 Esquema de situación combinada Inundación/anegamiento

Situación de catástrofe.

Las obras de infraestructura y los ciudadanos que viven sobre la terraza baja, y en las márgenes del río Suquía y del arroyo La Cañada, se encuentran ante una seria amenaza de inundación al estar invadiendo la línea de ribera.

No se ha tenido en cuenta que esos terrenos pueden ser (y son) afectados por crecientes fluviales severas, promovidas por células convectivas que producen lluvias de alta intensidad sobre las subcuencas situadas aguas abajo del dique San Roque y conjuntamente en la cuenca del Arroyo La Cañada.

Por lo tanto, si se da la coincidencia de lo expresado en el párrafo anterior, sumado a ello, si el arroyo La Cañada presenta una creciente extraordinaria (como la de 1890 o 1939), en la confluencia se produciría el embalsamiento, con las consecuencias de inundación/anegamiento de la terraza baja (expresado en la tabla 14), en donde se asienta el centro de la ciudad de Córdoba. (Figura 90)

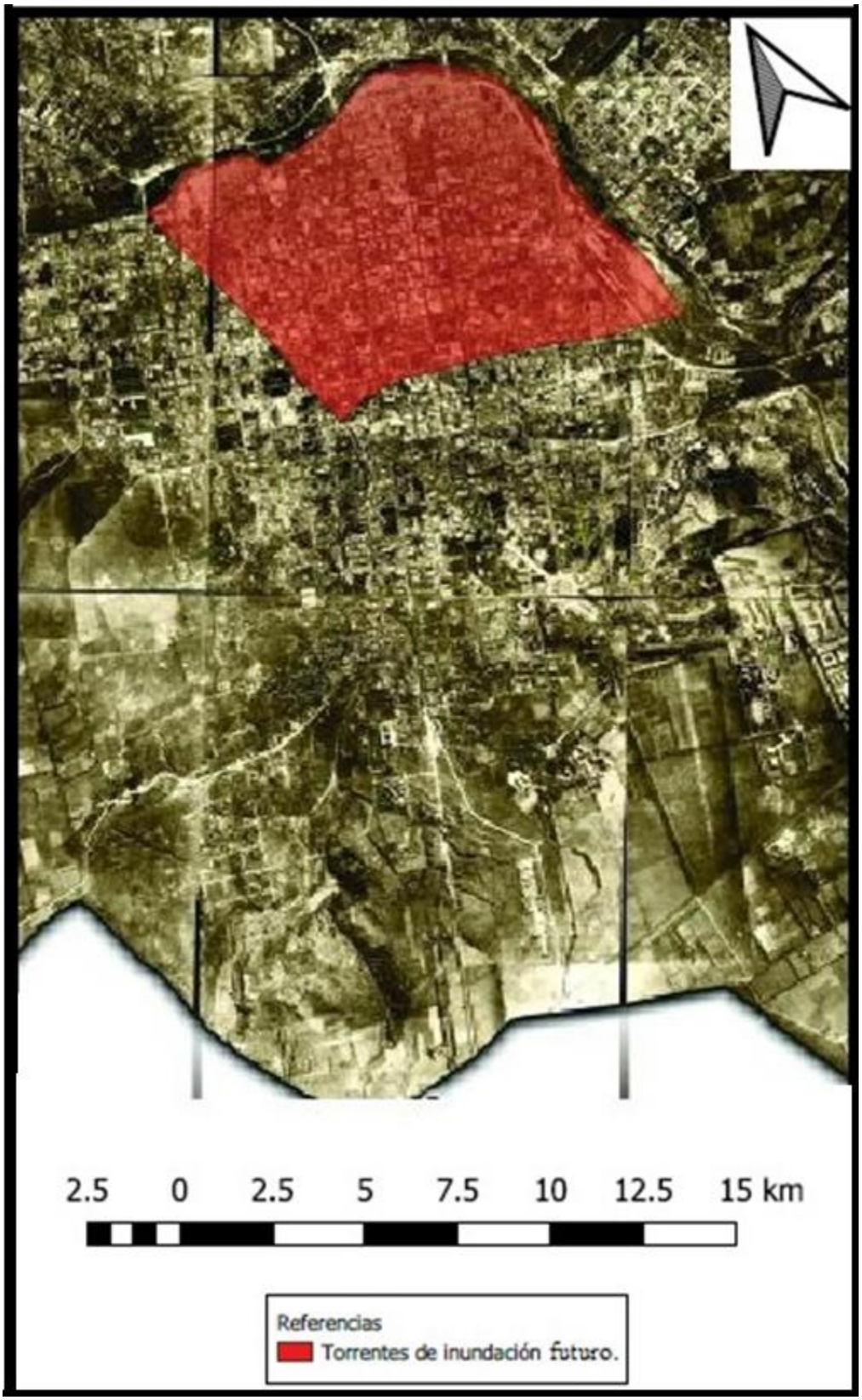



Figura 90 Plano con interpretación hidrogeomorfológica (monoscópica) situación de Catástrofe, sobre fotomosaico del año 1929.

# CAPITULO 5

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

# CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones

Como resultado de la consulta del material bibliográfico, la interpretación de fotografías aéreas, imágenes satelitales y chequeos de campo en la zona, se pudo arribar a las siguientes conclusiones:

1. Las características hidrogeomorfológicas, la escasa cobertura de la vegetación natural, el cambio del uso del suelo (nuevos asentamientos urbanos y la construcción de infraestructura), modifican notablemente el drenaje de la cuenca Arroyo La Cañada, y la ocurrencia de tormentas convectivas severas (cuya frecuencia de estos fenómenos hidrometereológicos se encuentra en aumento), predisponen a una tendencia de generar inundaciones y el anegamiento de áreas con exceso de aporte de escorrentía superficial.
2. La ciudad de Córdoba se ha desarrollado principalmente sobre un relieve de piedemonte plano-cóncavo, atravesado de SO a N por el cauce fluvial del Arroyo La Cañada. En esta situación, la ciudad se ve afectada, durante el lapso que corresponde al verano térmico, por inundaciones y anegamientos producidos por lluvias de alta intensidad en la cuenca.
3. Dentro del ámbito interfluvial, las lluvias de alta intensidad originan mantos de crecientes en las partes más elevadas de este relieve, ingresando a la ciudad por el SO de la misma a lo largo de cañadas amplias (subcuencas laterales), por las que discurren los excesos hídricos. En situaciones reiteradas, este panorama se complica aún más, por las lluvias que caen directamente sobre la ciudad, afectando numerosas arterias y viviendas de diversos barrios, en particular en aquellos que carecen de desagües pluviales.
4. La inestabilidad hídrica tiene un origen antrópico. El descontrolado crecimiento urbano iniciado en la década de los años 50 del pasado siglo y la progresiva alteración del medio natural, modificaron radicalmente las condiciones originales del drenaje de la cuenca.
5. El canal maestro S y secundarios que transcurren por el ámbito de la planicie, son también responsables de anegamientos por el efecto de embalse de los mantos de creciente que producen los albardones artificiales, los cuales se encuentran por lo general sobre las márgenes derechas (barrios Ameghino Sur,

ATE, Las Violetas, etc.). También aquí son frecuentes los desbordes debido al excesivo ingreso de las aguas de crecientes, sumándose el problema del volcamiento de efluentes y residuos sólidos de todo tipo, lo que produce una fuerte contaminación y una disminución en la capacidad de conducción de esos canales.

6. Las distintas arterias que atraviesan las áreas de ajuste entre el ámbito de la planicie y el fluvial, conducen importantes caudales que evacuan rápidamente en función de los elevados valores de las pendientes locales, convirtiéndose en verdaderos "torrentes urbanos" que arrastran todo lo que encuentran a su paso (ejemplo Julio A. Roca), cuando se producen lluvias de alta intensidad.
7. Las obras de infraestructura y los ciudadanos que viven sobre las márgenes del Arroyo La Cañada, se encuentran ante una seria amenaza de inundación al estar invadiendo la línea de ribera, permitiéndose en todo tiempo la construcción de casas, edificaciones varias y obras de infraestructura. No se ha tenido en cuenta que esos terrenos son afectados por crecientes fluviales severas, promovidas por células convectivas que producen lluvias de alta intensidad; en los tramos no sistematizados, hay construcciones que ocupan el lecho de inundación episódico e inclusive el periódico.
8. Los datos obtenidos de las características físicas de la cuenca Arroyo la Cañada, permitieron elaborar la zonificación y jerarquización de las amenazas de inundaciones fluviales, anegamientos en interfluvios que la afectan. Los resultados, se volcaron en una carta temática aplicada a las amenazas de inundación y anegamiento, que abarca en forma completa el territorio involucrado.

Recomendaciones

En función de los datos obtenidos de las geoformas sobre las que se ha desarrollado el SO-S de la ciudad de Córdoba, se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

A-Terrenos interfluviales

1. Programar dentro del mediano plazo un canal de evacuación periférica, paralela a la Av. Circunvalación y por afuera de esta, destinado a proteger las áreas interfluviales

de la ciudad en todo su perímetro contra los mantos de crecientes provenientes del entorno O y SO.

2. Incrementar obras de desagüe pluvial urbano, extendiéndolas a los barrios periféricos del éjido, dando prioridad a aquellos que carecen totalmente de dichas obras.

3. Desarrollar obras de desagües, cloacales y sus correspondientes plantas de tratamiento de efluentes en los barrios del S y SO de la ciudad, realizando también la impermeabilización del canal maestro S. Eliminar progresivamente los pozos absorbentes con desagote a la freática y capas más profundas.

4. Refuncionalización del canal maestro S y de canales secundarios adecuando su capacidad de conducción para que actúen, según las circunstancias, como canales de riego o de evacuación de excesos hídricos producidos por precipitaciones pluviales de alta intensidad.

5. Readecuar las obras de arte (alcantarillado) que fueran necesarias, en todas las rutas de acceso a la ciudad de Córdoba y en los terraplenes de vías férreas que la atraviesan.

6. En las áreas suburbanas, neutralizar el emplazamiento de nuevos barrios periféricos sin solución de continuidad con la zona urbana, evitando un mayor crecimiento del "compacto urbano".

7. Fomentar el desarrollo de archipiélagos urbanos y barrios parques o countries con frecuentes intercalaciones de espacios verdes, en los que se preserve la vegetación autóctona o bien se implante vegetación alóctona de fácil adaptación (ej. Eucalyptus viminalis, Eucalyptus rostrata, Cupressus lambertiana, Pinus halepensis), que actúen como pulmones de la ciudad.

B-Terrenos fluviales

1. Determinar perentoriamente la línea de ribera del Arroyo La Cañada.

2. Impedir nuevas construcciones de cualquier tipo que invadan la línea de ribera y por ende, se emplacen en sitios de alta peligrosidad durante crecientes fluviales severa y/o extrema.

3. Desarrollar la mayor cantidad posible de parques lineales y áreas de reservas naturales sobre el lecho Arroyo La Cañada. Estas áreas podrán ser afectadas a recreación y deportes, tomando en cuenta que no deben involucrar la presencia permanente de personas.

4. Es necesario completar la sistematización del tramo ciudadano faltante del Arroyo La Cañada (extremo SO).

5. Construcción de represas/lagunas de retención escalonadas que regulen las crecientes del Arroyo La Cañada, la primera para la elevación del umbral de La Lagunilla y la segunda en el cruce del arroyo por la Sierra de Malagueño, y la última mediante la construcción de una represa antes de la Av. de Circunvalación.

6. Al mismo tiempo, se considera de importancia efectuar reuniones técnicas con los estamentos municipales afectados a las tareas de prevención de eventos inundantes y planificación urbana, a los fines de tomar el debido conocimiento del presente trabajo y llevar a cabo la coordinación de futuras acciones. Sería también de suma conveniencia extender dichas reuniones a los distintos centros vecinales con los mismos fines.

# CAPITULO 6

# BIBLIOGRAFÍA

CAPITULO 6: BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía

A

Aguirre, M.I., 2019.Caracterización Hidrogeológica, Hidroquímica e Isotópica Ambiental de los Sistemas Acuíferos del Noreste de Córdoba. Tesis Doctoral.

Allan, J.D. y Castillo, M.A., 2007. Stream ecology: Structure and function of running waters. Dordrech: Springer.

Argüello, G.L., Sanabria, J.A. y Balbis, A. 1998. Caracterización textural de materiales parentales entre La Lagunilla y San Agustín (Depresión Periférica, Prov. de Córdoba, Argentina). XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Villa Carlos Paz.

Astini, R.A. 2014. Cubierta Sedimentaria de la Provincia de Córdoba: una introducción. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. Córdoba, 2014. Asociación Geológica Argentina.

Astini, R.A. y del Papa, C.E. 2012. Conclusiones del Relevamiento Geológico de Superficie sobre unidades sedimentarias Cretácicas – Neógenas de las Sierras Pampeanas de Córdoba. Informe Inédito YPF. 121 pp.

Astini, R.A. y Oviedo, N. del V. 2014. Cubierta Sedimentaria Mesozoica. Relatorío del XIX Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. Córdoba, 2014. Asociación Geológica Argentina.

B

Barbeito, O., Cisneros, J., Ambrosino, S., Degiovani, A. y Ugarte, R., 2006. Carta hidrogeomofológica Ciudad de Córdoba. Cartografía del riesgo hídrico de la Provincia de Córdoba. Programa BID 1287/OC-AR.

Bischoff, Efrain Urbano, 1977. Historia de la Provincia de Córdoba, Editorial Plus Ultra, Córdoba, Argentina

Bressan, J., Fernández, S., Atea, D., 2003. “Desigualdad urbana en la Región Metropolitana Córdoba: Un desafío de gestión” V Seminario Nacional “La reforma

municipal pendiente: para que y porque perspectivas y prospectivas" Mendoza, Argentina

Bruniard, E., 1992. Hidrografía, procesos y tipos de escurrimiento superficial. Buenos Aires: CEYNE, 124 pp.

C

Cabido M. R. y Zak M. R., 2004. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de Córdoba. Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal. U.N.C. – CONICET, p 56.

Cabrera, A.L., 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Ed. Acme, 2° ed., Buenos Aires, 85 pp.

CADINCUA., 1996. "8ª. REUNION DE CAMPO DEL CUATERNARIO".

F.C.E.F.y Nat., Universidad Nacional de Córdoba

Campo de Ferreras, A. y Piccolo, M.C., 1999. "Hidrogeomorfología de la cuenca del río Quequén Grande, Argentina". Papeles de Geografía. España: Universidad de Murcia, n°. 29, pp. 35 – 46

Campo de Ferreras, A., Capelli de Steffens, A. y Diez, P., 2004. El clima del Suroeste bonaerense. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 105 pp.

Campo, A., 2015. Geografía física: ¿tradicional o aplicada? En: Campo, A.; Gil, V.; Gentili, J.; Zapperi, P.; Volonté, A.; Ramos, M.B.; Aldalur, B. y Torrero. Geografía Física Aplicada, Tomo I. Hidrografía Regional y Local. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur, 180 pp.

Capitanelli, R. G., 1998. Geografía Física y Medio Ambiente: revalorización y enseñanza. Método y técnicas de trabajo. Mendoza, Ecogeo, 153 pp.

Capitanelli R., 1979. Clima. En: J. B. Vázquez, R. A. Miatello y M. E. Roqué (Eds.). Geografía Física de la Provincia de Córdoba. p. 47 – 138. Fundación Banco de la Provincia de Córdoba.

Charlton, R. (2007) Fundamentals of Fluvial Geomorphology. Routledge, 234 p., Abingdon (2nd ed)

Chow, V., Maidment, D., Mays, L. 1994. Hidrología aplicada. Bogotá: Ed. McGraw-Hill. 585 pp.

D

Dasso, C., Piovano, E., Pasquini, A., Córdoba, F., Lecomte, K., Guerra, L. y Campodónico, V., 2014. Recursos Hídricos Superficiales. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. Córdoba. Asociación Geológica Argentina.

Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de los Estados Americanos (1991) "Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños" Washington, D.C.

Diario La Voz del Interior, Biblioteca, archivos

www.lavoz.com.ar

Díez Herrero, A., Laín Huerta, L. y Llorente Isidro, M., 2006. Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones. Métodos, experiencia y aplicación. España: Instituto Geológico y Minero de España, 232pp.

Díez Herrero, A., Laín Huerta, L. y Llorente Isidro, M., 2008. Mapa de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración. España: Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 190 pp.

E

Etxeberría Ramírez, P.; Brazaola Rojo, A. y Edeso Fito, J.M. 2002. Cartografía de peligro de inundaciónmediante sistemas de información geográfica y modelos hidrológicos e hidráulicos. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. Santander, España.

F

Frécaut, R. 1972. L'averse aberrante de mai 1970 dans le bassin de la Moselle et ses caracteres originaux. Revue Géographique de l'Est Année, Vol.12 N° 2 pp. 225-245.

Frechen, M., Seifert, B., Sanabria, J. y Arguello, G., 2009. Chronology of late Pleistocene Pampa loess from the Córdoba area in Argentina. Journal of Quaternary Science. 24 (7) 761- 772.

Fuschini Mejia, M., 1994. El agua en las llanuras. Montevideo, UNESCO. 18pp.

G

García Ramón, M. D.; Tulla Pujol, A.; Valdovinos Perdices, N. (1995) Geografía rural. Síntesis. Madrid

Gil, V., 2010. Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas. Tesis doctoral en Geografía. Universidad Nacional del Sur. 269 pp.

Global Water Partnership, 2009. Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. International Network of basin organizations, 112 pp.

Gordillo, C. E., y Lencinas, A., 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. Apartado de Geología Regional Argentina, Vol. I, 577-650. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.

Gorgas, J. y Tassile, J (Eds). Jarsun, B., Gorgas, J., Zamora, E., Bosnero, E, Lovera, E., Ravalo, A. y Tassile, J., (2003) “LOS SUELOS, Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba” Agencia Córdoba D.A.C.yT.S.E.M., INTA – Manfredi.

Gorgas, J., Tassile, J. L., Jarsún, B., Zamora, E., Bosnero, E., Lovera, E., Ravelo, A., Carnero, M. Y Bustos, V., 2006. Los Suelos. Agencia Córdoba D.A.C. y T.S.E.M., Dirección de Ambiente. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA – MANFREDI. Gobierno de la Provincia de Córdoba.

Gorgas, J. y Tassile, J (ed., comp., y coord.). Gorgas, J., Tassile J.L, Jarsún, B., Zamora, E., Bosnero, H., Lovera, E. y Ravelo, A., 2006. Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba: Los Suelos. Nivel de Reconocimiento 1:500.000. Agencia Córdoba Ambiente

S. E., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria EEA Manfredi. Córdoba, Argentina.

Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación (2017), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, Centro Nacional de Modelación, Bogota, Colombia

Gutiérrez Elorza, M. 2008. Geomorfología. Madrid: Ed. Prentice-Hall. 920 pp.

H

Hugget, R. 2011. Fundamentals of geomorphology. London: Ed. Routledge, 483pp.

I

ITC, 1980. El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos, pp. 20-83.

K

Kemp, J.A, Zárate, M., Toms, P., King, M., Sanabria, J.A. y Arguello, G.L., 2006. Late Quaternary paleosols, stratigraphy and landscape evolution in the Northern Pampas, Argentina. Quaternary Research. 66(2006)119-132

L

Luti, R.; Bertrán de Solís, M.; Galera, F.; Müller N.; Berzal, M.; Nores, M.; Herrera, M.; Barrera, J. (1979). En Vázquez, Miatelo, Roque (Eds) "Geografía física de Córdoba" Cap: Vegetación.

M

Marchetti, M., 2000. Geomorfología Fluviale. Bologna: Pitagora Editrice, 247 pp.

Marini, F. M. 2002. Hidrografía del río Quequén Salado. Tesis de doctorado en Geografía. Bahía Blanca, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo, 162 pp.

Menso, R. M., 1996. Estudio Hidrodinámico de la Subcuenca Arroyo la Cañada. Revista Fotointerpretación (ISSN: 0327-7410), Vol. IV, Nº 2-1, Págs. 263 A 277.

Mikkan, R. 2007. Geomorfología volcánica de la reserva La Payunia, Malargüe, Mendoza. Argentina. Editorial de la Facultad de Filosofía y letras. 79 pp.

Montecelos Zamora, Y., Batista Sánchez, D., Ramón Puebla, A., Zaldivar Suarez, N. y Batista Cruz, Y. 2011. "Diseño metodológico para la elaboración de mapas de peligrosidad por inundaciones aplicación a la cuenca del río Cauto. Sector provincia Granma, Cuba". Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Luján: Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica, n° 3,pp. 32-42.

N

National Weather Service. 2012. Definitions of flood and flash flood. Recuperado de:

http://www.srh.noaa.gov/mrx/hydro/flooddef.php [Fecha de consulta: 2 de mayo de 2016]

Natenzon, C.E, Marlenko, N., González, S., Ríos, D., Barrenechea, J., Murgida, A. M., Boudín, M. C, Gentile, E. y Ludueña, S. 2005 (a). Vulnerabilidad social estructural. En: Barros, V., Menéndez, A. y Nagy, E. (Ed.). El Cambio Climático en el Río de la Plata. Buenos Aires: AIACC/ CIMA. Cap. 10, pp. 113-118.

Niño, Y. 2004. Hidráulica fluvial y transporte de sedimentos. Chile: Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, 68 pp.

O

Olcina Cantos, J. 2012. "De los mapas de zonas afectadas a las cartografías de riesgo de inundación en España". Anales de Geografía. España: Instituto Interuniversitario de Geografía Universidad de Alicante, vol. 32, n° 1, pp. 91-131.

Ollero Ojeda, A. 1997. “Crecidas e inundaciones como riesgo hidrológico. Un planteamiento didáctico”. Lurralde: Investigaciones y Espacio. España: Instituto Geográfico Vasco Andrés de Urdaneta, n° 20, pp. 261-283.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2009. ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas?. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 34 pp.

Organización Meteorológica Mundial. 2006. Glosario Hidrológico Internacional. Geneva, Switzerland, 471 pp.

Organización Meteorológica Mundial. 2009. Aspectos ambientales de la gestión integrada de crecidas. Asociación Mundial del Agua, Suiza, 90 pp.

Organización Meteorológica Mundial. 2011. Manual on Flood Forecasting and Warning. Suiza, 142 pp.

P

Parra, O. 2009. Gestión integrada de cuencas hidrográficas. Documento Introductorio. Centro de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, 15 pp.

Pedraza Gilsanz J. 1996. Geomorfología, principios, métodos y aplicaciones.

Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Royal Soc., London Proc. Ser. A. 193:120-146.

Peña Monné, J.L. 1997. Cartografía geomorfológica básica y aplicada: Logroño, España, Geoforma Ediciones, 227 pp.

Pérez Morales, A. 2012. “Estado actual de la cartografía de los riesgos de inundación y su aplicación en la ordenación del territorio. El caso de la región de Murcia”. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. Madrid: Asociación de Geógrafos Españoles, n° 58, pp. 57-81.

Q

Quintana Salvat, F.; Barbeito, O. (1992), “Base geológica – geomorfológica para la planificación territorial de la ciudad de Córdoba y su área de influencia” Revista Fotointerpretación, N° 1 Vol.: I (Pág. 28 - 49).

Quintana Salvat, F.; Barbeito, O.; Sánchez, M. (1994) “Estudio geomorfológico e hidrodinámico para la prevención de inundaciones en la ciudad de Córdoba” Tercer Simposio Argentino de Teledetección, junio 1994. F.C.E.F.y N. – U.N.C. Córdoba – Argentina. (Pág: 60–73)

Quintana Salvat, F.; Barbeito, O.; Menso, R. (2002) “Carta de peligrosidad (amenaza) de inundación, erosión y anegamiento para las acciones de prevención, ciudad de Córdoba” Dirección General de Protección Ciudadana- Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

R

Régnauld, H. y Lefort, I. (2015): L'image et la géographie : la progressive elaboration d'un nouveau régime épistémique, L'Information Géographique, 2015/4 (79): 8-12.

Remenieras, G. 1974. Tratado de hidrología aplicada. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona.

Richards, K. S. 1987. “Fluvial geomorphology”. Progress in physical geography. Inglaterra: SAGE Publications, n°11, pp. 432-457.

S

Sabater, S. 2008. Alterations of the global water cycle and their effects on river structure functions and services. Freshwater reviews, Vol. I, 75-88 pp.

Sala Sanjaume, M. y Batalla Villanueva, J. 1996. Teoría y métodos en Geografía Física. Madrid: Síntesis, pp. 304.

Sanabria, J. y Argüello, G., 2003. Aspectos geomorfológicos y estratigráficos en la génesis y evolución de la Depresión Periférica, Córdoba (Argentina). 2º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas 1: 177–184. Tucumán.

Sanabria, J., Ayala, R., Rivera, E., Mansilla, L., Rouzaut, S. y Ares, M., (2017). Perfil Estratigráfico Mula Muerta. Cuaternario. Dpto. Totoral, Córdoba, Argentina. XX Congreso Geológico Argentino. Tucumán

Santa Cruz, J.1978. Aspectos sedimentológicos de las formaciones aflorantes al este de Las Sierras Chicas, Prov. De Córdoba., República Argentina Revista Asociación Geológica de Córdoba, 3: 232-244

Santa Cruz, J. (1972). "Geología al este de la Sierra Chica (Córdoba) Valle del Río Primero" Boletín Asociación Geológica de Córdoba. Tomo I, N° 3-4.

Schumm, S. 1991. To interprete the earth: ten ways to be wrong. Cambridge: University Press. Cambridge, pp. 133.

SEGEMAR. Instituto de Geología y Recursos Naturales. 1999. Hoja Geológica Córdoba 3163-III. Escala 1:250.000". Geología: Michaut Lucero, Daziano C. (Basamento); Sanabria J.,Barbeito O. (cuaternario); Tauber A. Minería: Sapp M. Edición Digital: Demaría C. y Martos D. Programa Nacional de Cartas Geológicas Ley Nº 24.224 de Reordenamiento Minero.

SEGEMAR. Instituto de Geología y Recursos Naturales. 2000. Carta Línea Base Ambiental. Hoja Córdoba 3163-III. Escala 1:250.000. Delegación Córdoba.

Senciales González, J.M.1999. Redes fluviales. Metodología de análisis. España: Universidad de Málaga, 337 pp.

Sheng, T.C. 1992. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Roma: FAO. 185 pp.

Strahler, A. N., 1974. Geografía Física. Barcelona: Omega S.A. 767 pp.

T

Tecco, C.; Bressan, J. (2003) "Cambios sociales y espaciales en tres asentamientos humanos periféricos del gran Córdoba" Primeras Jornadas de Estudios de Población y Sociedad de Córdoba, Centro de Estudios Avanzados. IIFAP-UNC.

Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, Vol. 38, 55-94.

Tricart, J. L. 1965. Principes et méthodes de la géomorphologie. Ed. Mason, Paris.

U

Umaña Gómez, E. 2002. Manejo de cuencas hidrográficas y protección de fuentes de agua. Taller de capacitación. [En línea]. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/cuencas.pdf

V

Vázquez, J.B., Miatello, R.A., Roqué, M.E. y Luti R. (eds.) 1979. Geografía física de la Provincia de Córdoba. Editorial Boldt, 356 pp. Buenos Aires.

Vich, A.I.J. 1996. Aguas Continentales. Formas y Procesos. Imp. Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua y el Ambiente.

Viers, G. 1983. Geomorfología. Madrid: Ed. Oikos Tau. 320 pp.

U

UNISDR (2009 - validado 2015) Terminología sobre reducción de riesgos de desastres" Terminología Internacional para estrategia para la Reducción de Riesgos de desastres de las naciones Unidas Sendai Japón.

USDA. United States Department of Agriculture. 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.

Z

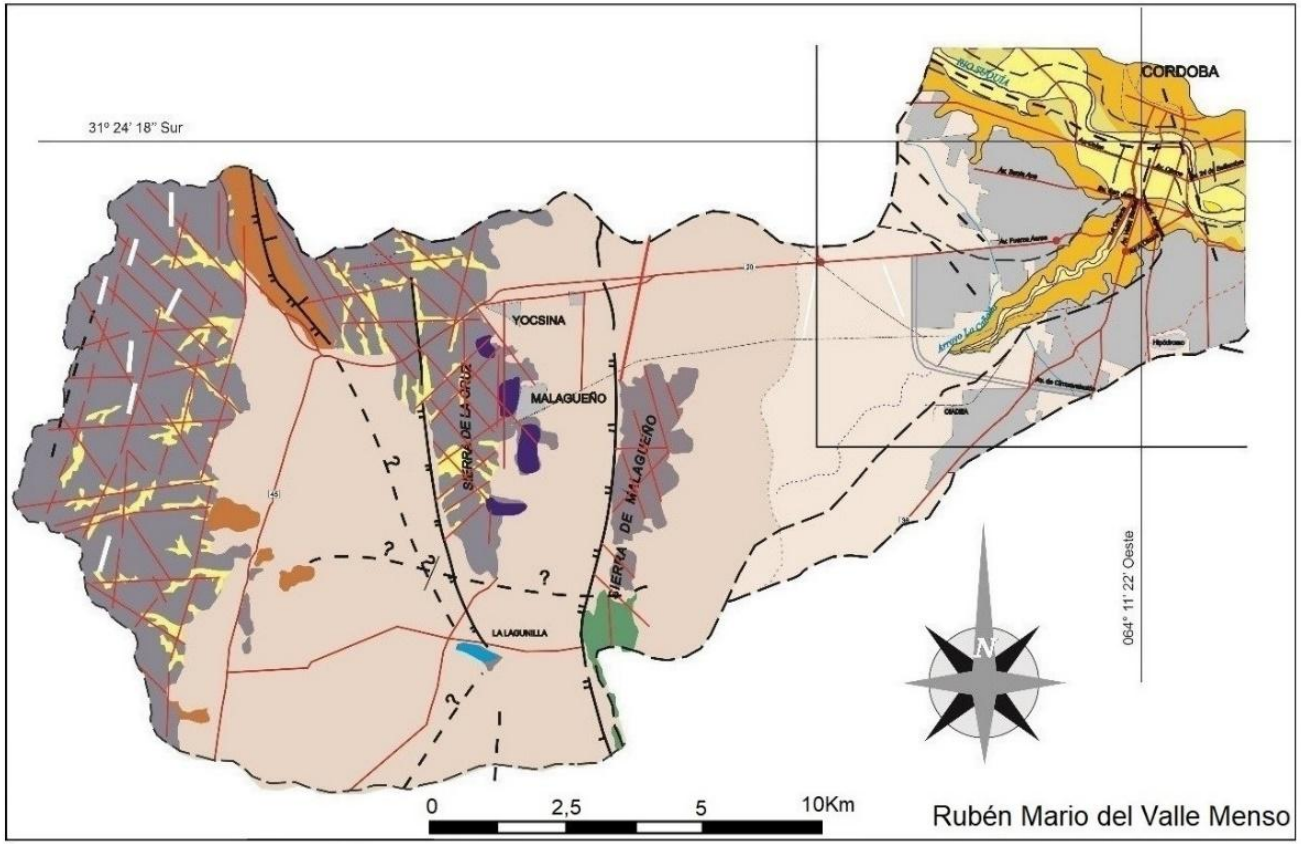
Zárate Martín, A. (1991) "El espacio interior de la ciudad" En Tecco, C.; Bressan, J. (2002) "Cambios sociales y espaciales en tres asentamientos humanos periféricos del gran Córdoba" Primeras Jornadas de Estudios de Población y Sociedad de Córdoba, Centro de Estudios Avanzados, IIFAP-UNC.

# ANEXOS

Aclaracion para el evaluador: ambos planos, en los ejemplares encuaderndos se imprimen en formato A3

# PLANO GEOLOGICO

**Tesis:** *"Geomorfología aplicada a las amenazas de inundación/anegamiento de la Cuenca del Arroyo La Cañada, provincia de Córdoba (R.A.)"*




Rubén Mario del Valle Menso

**Referencias Litológicas**

- Rocas cristalinas, Gneis comùn, antiguas con cubiertas residuales someras y discontinuas
- Cubierta de conglomerados
- Filones
- Calizas
- Depósitos fluviotorrenciales de conos
- Cubierta limo-loéssica
- Aluviones recientes (gravas, arenas y limos)
- Arenas y limos
- Arenas y limos con subierta limoloéssica

**Generales**

- Cono urbano
- Ruta nacional
- Ruta provincial
- Ferrocarril

**Estructurales**

- Falla comprobada con indicación e labio hundido
- Falla comprobada sin indicación de labio hundido
- Falla probable

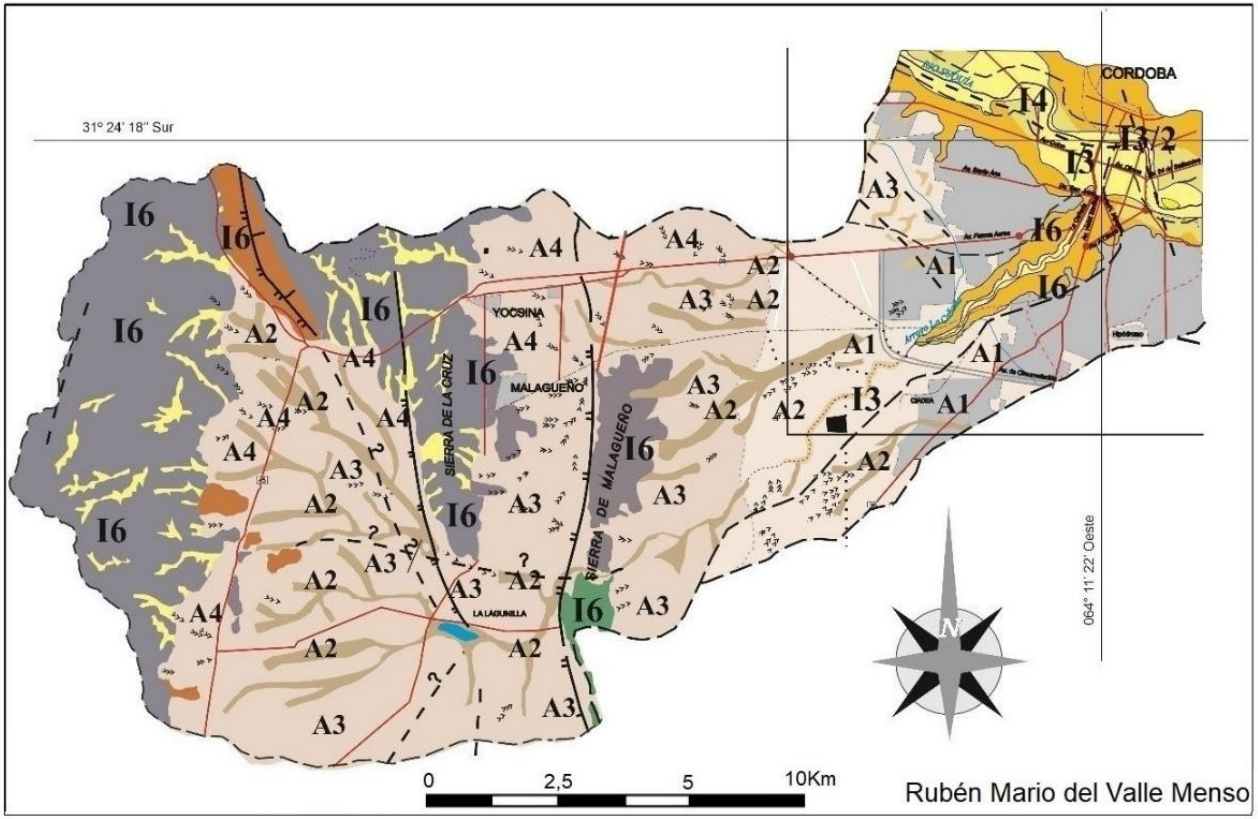
**Hidrológicas**

- Cauce permanente
- Cauce temporario
- Dirección general de escurrimiento elemental mantiforme
- Laguna La Lagunilla
- Divisoria de cuencas

**Area de estudio**

# PLANO DE PELIGROSIDAD DE INUNDACION Y ANEGAMIENTO

**Tesis:** *"Geomorfología aplicada a las amenazas de inundación/anegamiento de la Cuenca del Arroyo La Cañada, provincia de Córdoba (R.A.)"*




Rubén Mario del Valle Menso

## Inundación fluvial

CLASE I

- 2: Parcialmente afectable en crecientes ordinarias e inundable en crecientes severas
- 3: Parcialmente afectable en crecientes severas e inundable en crecientes extremas
- 4: Poco afectable en crecientes severas e inundable en una creciente excepcional
- 6: Fuera de peligro (Terraza alta)

## Anegamiento en interfluvios

- CLASE A1: Muy anegable. Viviendas e infraestructura afectadas, sobre todo en las áreas más deprimidas
- CLASE A2: Anegable. Viviendas e infraestructura moderadamente afectadas
- CLASE A3: Poco anegable. Viviendas e infraestructura en general, escasamente afectadas
- CLASE A4: No anegable. Sin ningún peligro de sufrir anegamientos

## Generales

- Cono urbano
- Ruta nacional
- Ruta provincial
- Ferrocarril

## Estructurales

- Falla comprobada con indicación e labio hundido
- Falla comprobada sin indicación de labio hundido
- Falla probable

## Hidrológicas

- Cauce permanente
- Cauce temporario
- Dirección general de escurrimiento elemental mantiforme
- Laguna La Lagunilla
- Divisoria de cuencas
- Canales evacuadores
- Laguna de retención

## Area de estudio