

El abrupto de falla tiene un rechazo de 400 a 500 m, desarrollado entre los 1.900 a 1.800 m.s.n.m. Presenta interfluvios de crestas empinadas con frecuentes crestones por erosión diferencial y profundas quebradas evolucionadas en el trazo de fallas y/o fracturas. Este tipo de relieve favorece los procesos de remoción en masa en forma de frecuentes caídas y deslizamientos de rocas (figs. 12y 13).

El frente erosivo colinda con la altiplanicie hacia el este y obedece al reajuste por erosión de las vertientes con respecto al abrupto de falla. Si bien las pendientes son menores, presenta un relieve de alta energía e igual morfología que el escarpe.

En esta unidad se desarrollan las cabeceras de los principales tributarios de Río San Antonio el escurrimiento superficial es excesivo, rápido y de alta competencia, favorecido por la baja permeabilidad del material rocoso y energía del relieve lo que genera crecidas repentinas severas en los colectores principales de la red de drenaje.



Figura 12. Izq. Quebrada. Der. Cerro los Gigantes



Figura 13. Escarpe de falla.

En las vertientes las cubiertas residuales por la alta energía del relieve se presentan en forma muy discontinua con respecto a la roca desnuda, de texturas gruesas (arenosa), muy susceptibles a la erosión hídrica.

A2 Vertiente Oriental Escalonada

Desde el abrupto de falla, la Sierra Grande descende desde los 1.500 a los 700 m.s.n.m. en forma de bloques escalonados por acción de fallas, de dirección Noroeste Sureste, con resaltos máximos que rondan los 50 m.

En respuesta al control estructural, el relieve varía de muy fuerte a medio y los procesos morfodinámicos actúan de modo diferencial. En función ello y de la litología se distinguen:

A2.1 Dominio rocas ígneas

Las pendientes medias se ubican el rango escarpado (50%) a medio- suave entre (7-12%).

Presenta interfluvios amplios, convexos con predominio de bloques subredondeados por efecto de la fragmentación en bloques a favor del diaclasado y disgregación granular de la roca (arenización).

Las cubiertas residuales son someras (perfiles<15cm) y discontinua, en forma de manchones con respecto a los afloramientos aislados de roca desnuda del orden del 50%.

En este ámbito la red de drenaje, por la baja permeabilidad del material rocoso y energía del relieve condiciona la generación de crecidas repentinas severas en los colectores principales. En el relieve escarpado, los valles se presentan encajonados con ausencia de erosión en profundidad y márgenes por la resistencia del material geológico de fondo y orillas, a diferencia del relieve medio a suave, en donde los valles presentan por sectores relleno aluvional afectados por erosión de márgenes.

Los procesos de remoción en masa se limitan en forma puntual a caídas de rocas en laderas de valles fluviales y abruptos de falla secundarios.

A2.2 Dominio rocas metamórficas

La litología dominante es Gneis masivo a esquistoso, fracturado y diaclasado, con afloramientos discontinuos de filones y diques de carácter aplítico y pegmatítico. Rocosidad menor al 15%.

Se ubica en el sector norte y sur de la cuenca, los valles son estrechos en forma de V, y el relieve varía de fuerte a medio (35 a 12%).

La morfología se evidencia en interfluvios de cimas algo redondeadas y laderas rectilíneas, con cubierta de suelos residuales de texturas franco-areno-limosas, interrumpidas localmente por escasos resaltos topográficos por afloramiento de rocas filoneanas más resistentes (pegmatitas y aplitas).

Como agente morfodinámico se destaca la acción del escurrimiento superficial excesivo, rápido de alta competencia, favorecido por la baja permeabilidad del material rocoso y rápida saturación de la cubierta de suelos. Como consecuencia tienen lugar la acción de la erosión hídrica condicionada por la susceptibilidad de los suelos y la ocurrencia de crecientes repentinas en los colectores principales de la red de drenaje.

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero de 2020	Página 27 de 236
<p>INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – B° Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar</p>		

Los procesos de remoción en masa se limitan en forma puntual a caídas de rocas en laderas de valles fluviales y al afloramiento de rocas filoneanas y en forma de flujos lentos de la cubierta de suelos (reptación en mantos).

A.2.3- Altiplanicies

El segundo nivel de altiplanicies se desarrolla desde 1100m.s.n.m. sobre los bloques escalonados, por efecto principal de la falla asociada al levantamiento de la Cumbre de Perchel con continuación hacia el sur en la falla del Durazno.

De norte a sur en los bloques elevados se desarrollan las pampas de Centenario, Soria Olaen, del Corral Blanco y de la Hoyada.

Presentan una cubierta loésica limo-arenosa apoyada en discordancia erosiva sobre basamento cristalino con una potencia variable no superior a los 10 m.

Los suelos son profundos, con buen contenido orgánico, y horizontes sub-superficiales de textura franco arcillo limosa, estructura en bloques y alto contenido en sodio y carbonato de calcio. En la parte convexa - plana de los interfluvios, son superficiales con horizonte petrocálcico cercano a la superficie (25 cm.) y más profundos en los sectores deprimidos de relieve cóncavo (80/100 cm.).

Las cubiertas desarrolladas sobre litología granítica presentan suelos con predominancia de arena con intercalaciones de loess, en contraposición a las desarrolladas a partir de material metamórfico, en donde se caracterizan por depósitos loésicos y arenas subordinadas.

La acción del escurrimiento superficial ocasiona en las cabeceras de los tributarios de la red de drenaje, procesos de erosión hídrica acelerada y generalizada en forma laminar, en surcos y concentrada en cárcavas.

El paisaje de las altiplanicies consideradas, constituye un ambiente de alta fragilidad frente a la erosión hídrica, que trae como consecuencia el progresivo aumento de aportes detríticos y materia orgánica a los cursos fluviales. Proceso que en el embalse de la Falda, implicó el incremento en la velocidad de colmatación, turbidez y a mediano plazo eutrofización.

Según la batimetría realizada en el año 2016 el embalse ha perdido, por colmatación a cota de vertedero aproximadamente el 14 % de su capacidad inicial.

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero de 2020	
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – B° Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar	Revisión: 03	Página 28 de 236

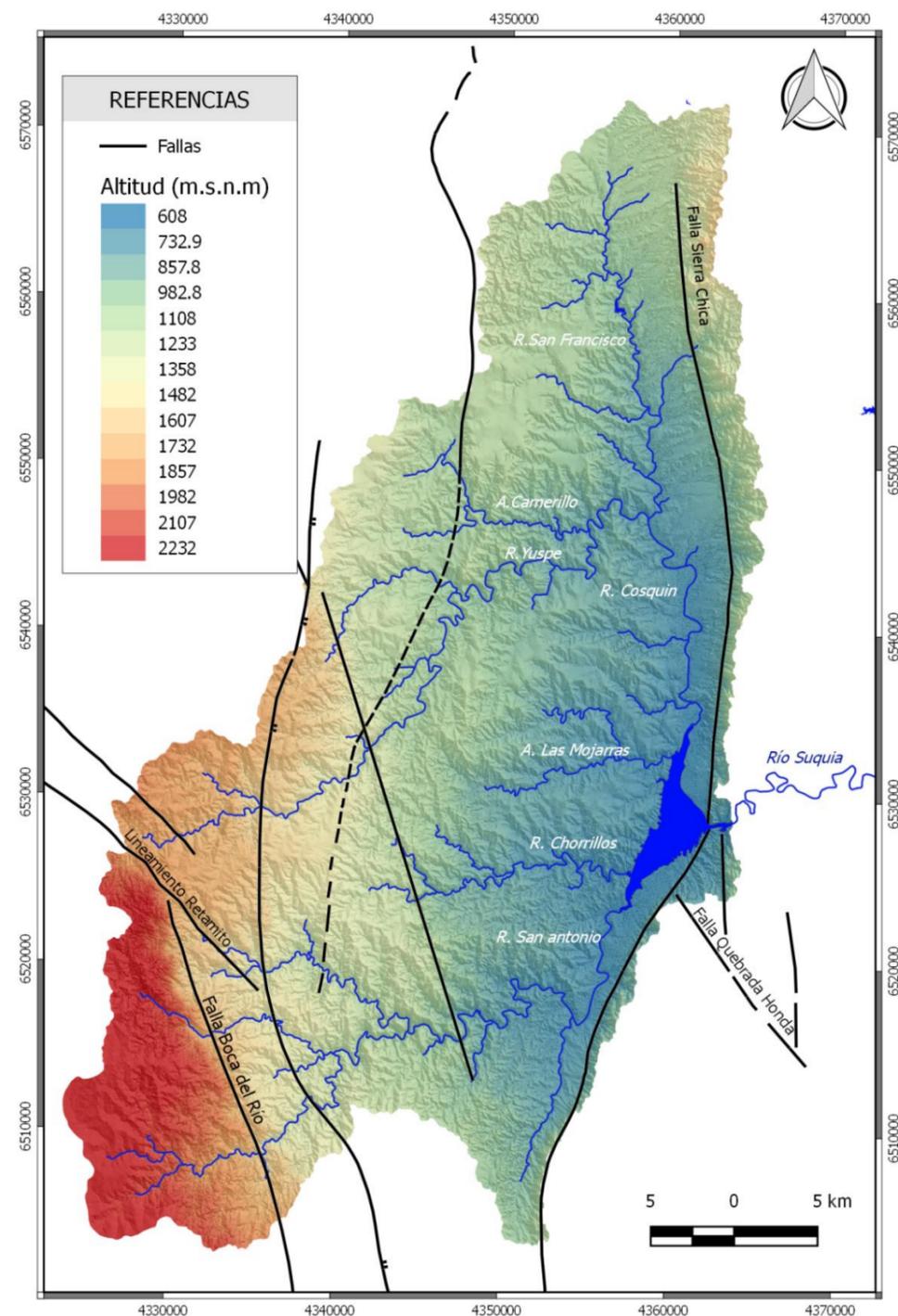


Figura 14 Altitud Cuenca alta Río Suquia. Fuente:propia en base a DEM 30m, ALOS.

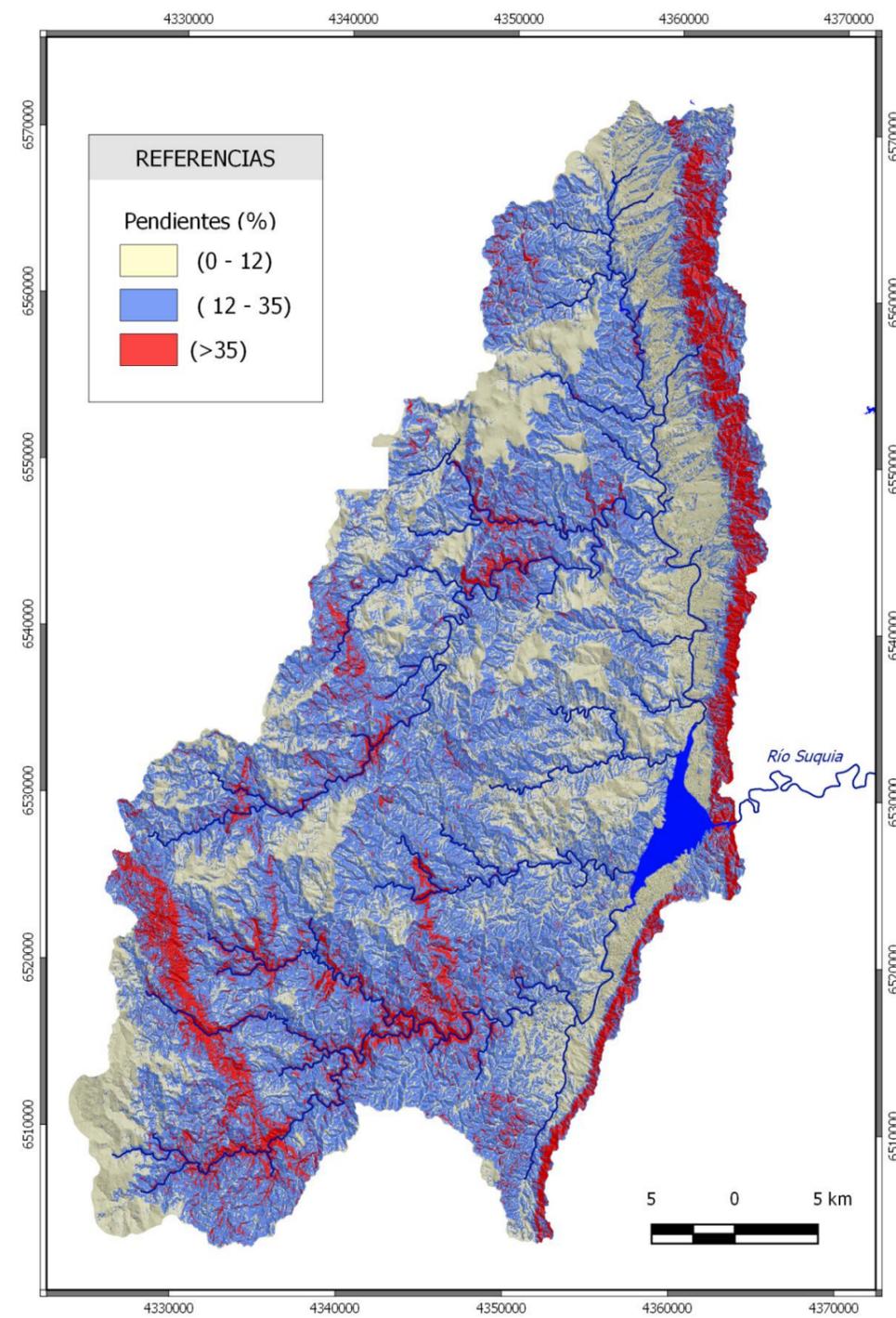


Figura 15 Relieve según pendientes simplificado. Fuente:propia en base al procesamiento DEM. 30m.ALOS.

B- Depresión estructural del Valle Punilla

Se desarrolla entre la vertiente oriental escalonada de la Sierra Grande y el abrupto de falla de la Sierra chica, con altitudes que varían entre los 1.400 m.s.n.m en la norte a 640m.s.n.m en cercanías de la localidad de Carlos Paz. A nivel de unidades se distinguen:

B1- Piedemonte

Litológicamente se compone de materiales coluvio aluviales y fluviotorrenciales derivados del escarpe de la sierra en donde se da la alternancia de dos niveles deposicionales: uno inferior reciente y uno superior antiguo. El relieve es mediano con pendientes que varían de 3 al 12%.

Por efecto de la disección de los cursos permanentes y temporarios tributarios al río Cosquín y San Antonio, en forma transversal evolucionaron valles de fondo plano cóncavo.

En cuanto a los procesos morfodinámicos adquiere mayor peso el escurrimiento superficial mantiforme, difuso y concentrado que ocasiona erosión hídrica acelerada en todas sus formas.

B2- Fajas fluviales

En el eje del valle se desarrollan los planos aluviales de los ríos Cosquín y San Antonio que presentan 3 niveles de terrazas compuestos por materiales aluvionales bloques, gravas, arenas y limos.

Ambos ríos presentan una alta tendencia a la generación de crecidas repentinas con caudales, capacidad de carga y competencia significativos. A los que se asocian ondas de crecida de fuerte poder destructivo en crecidas extremas, erosión de márgenes, en profundidad y avulsión.

C- Abrupto Sierra Chica

Representa el rechazo de la falla asociada levantamiento de la sierra. El Relieve es muy fuerte a escarpado, con pendientes que van desde el 35% a > 50% con alternancia de valles en "V" e interfluvios apuntados.

La litología dominante es gneis interrumpida por filones aplíticos y pegmatíticos aislados por erosión diferencial afloran como crestones.

Las cubiertas residuales son muy someras, esqueléticas con marcada pedregosidad altamente susceptibles a la erosión hídrica evidente en forma de regueros.

Los procesos de remoción en masa se representan por caídas de rocas puntuales asociadas al afloramiento de rocas filoneanas (pegmatitas y aplitas) y a flujos lentos generalizados en forma de reptación en manto.

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero de 2020	
	Revisión: 03	Página 30 de 236
<p style="text-align: center;">INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar</p>		

IV.- NEOTECTONICA Y SISMICIDAD

IV.1.- ESTRUCTURA GEOLÓGICA FALLAS

A nivel regional la zona que abarca el nuevo ejido de la Ciudad, se encuentra afectada por dos fallas de clara definición morfogenética. La falla de la Sierra Chica y la falla de la Quebrada Honda, además de otras de menor magnitud.

Ambas siguen el estilo tectónico de las Sierras Pampeanas caracterizado por bloques de basamento cristalino antiguo (rocas metamórficas e ígneas), manifiesto en lineamientos orográficos N-S elevados por fallamiento regional en forma fuerte hacia el oeste y basculados en forma más tendida al este.

Los esfuerzos compresionales de mayor significación que condicionaron este estilo tectónico, tuvieron mayor expresión a fines del periodo Terciario y comienzos del Cuaternario (Pleistoceno), existiendo en la actualidad indicios de actividad neotectónica, es decir actividad reciente en tiempos históricos y dentro del periodo holoceno (10 ma).

IV.1.a. Falla Sierra Chica:

La falla de la Sierra Chica es una falla inversa de alto ángulo (rampa tectónica) que implicó un desplazamiento vertical de bloques del basamento cristalino, en donde el bloque elevado (techo), se monta sobre el deprimido (piso), por efecto de esfuerzo compresivo derivado de la subducción de la Placa de Nazca por debajo de la Placa Sudamericana.

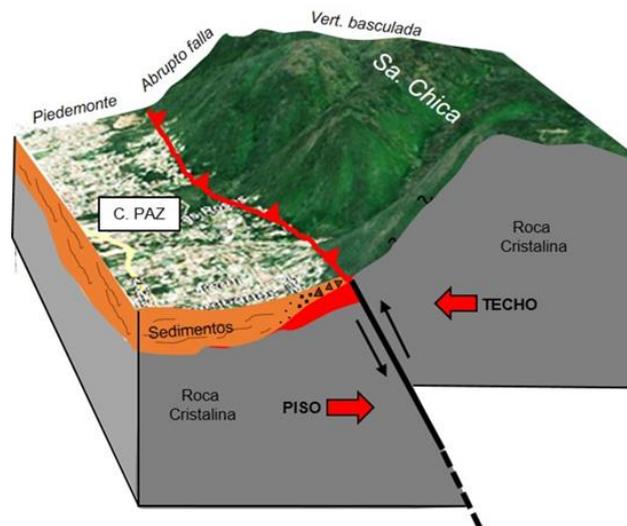


Figura 16.Block diagrama. Falla inversa Sa. Chica por esfuerzo compresivo: bloque elevado (sierra - techo) y bloque hundido valle (piso), donde se acumularon los detritos derivados del desgaste del abrupto de falla.

Es una estructura regional con una longitud NS del orden de los 280 km. con un plano que buza en dirección este con valores que oscilan entre 30° y 60°.

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero de 2020	
	Revisión: 03	Página 31 de 236
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar		

Dentro del nuevo ejido tiene una longitud de 12 km. y rumbo NO-SE con un rechazo con respecto a los bloques hundidos del Valle de Punilla que aumenta de norte a sur, aproximadamente de 100 m. a 250 m. y altitudes del cordón serrano que respectivamente varían entre los 700 y 900 m.s.n.m.(fig. 16).

Al pie de sierra se generó un piedemonte deposicional, en donde se acumularon detritos de edad terciaria y cuaternaria derivados del aporte del abrupto por procesos erosivos y de remoción en masa.

IV.1.b. Falla Quebrada Honda:

La falla Quebrada Honda es una de las fallas transversales y/o oblicuas que afectan al lineamiento principal de los bloques de la Sierra Chica, en este caso con rumbo NO – SE (fig. 17).

La mayor parte de su trazo se incluye dentro del nuevo ejido en un recorrido de 6 km. paralelo a infraestructura vial Variante Costa Azul al norte, y la autopista Córdoba - Carlos Paz al sur.

El resalto del abrupto con respecto a los bloques deprimidos del lineamiento principal, es del orden de los 240 m. La altura de la sierra aumenta de N a S alcanzando en el Cerro La Ochoa los 1.046 m.s.n.m. Al norte del sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos, el piedemonte es de carácter erosivo y al sur deposicional (fig. 18).



Figura 17. Trazos de las fallas Sierra Chica y Quebrada Honda. (a) Abrupto de falla Sierra Chica y (b) Abrupto de falla Sierra de Ochoa.



Figura 18. Trazo de la falla Quebrada Honda. (a) sector norte piedemonte erosivo con escasa carga detrítica y (b) sector sur, piedemonte deposicional con carga detrítica de mayor potencia y continuidad.

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero de 2020	
	Revisión: 03	Página 32 de 236
<p>INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X500JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar</p>		

IV.1.c. Fallas y/o fracturas secundarias:

Acompañando a las fallas regionales de clara expresión morfogenética, se presentan fallas y/o fracturas menores que son factibles de detectar en el análisis de imágenes satelitales por claros trazos rectilíneos o pseudorectilíneos (fotolineamientos).

En la Vertiente Oriental Escalonada de las Cumbres de Achala y Sierra Grande, sobre las rocas metamórficas (gneis), los fotolineamientos son coincidentes con el trazo de vallecitos longitudinales y estrechos (valles estructurales). Lo que permite suponer su relación con fracturas que debilitaron el material, posibilitando la incisión de la red de drenaje (fig. 19).

A la vez sobre las rocas ígneas (granito), fallas identificadas en estudios antecedentes controlan fuertemente al A. Los Chorrillos, en partes dentro del ejido

Fracturas menores han dado lugar a valles estructurales condicionados por la incisión de la red de drenaje por la debilidad de la roca, al igual que en el ambiente metamórfico (fig.20).



Figura 19. Ambiente de roca gnéisica: fotolineamientos asociados a valles estructurales (amarillo línea punteada).

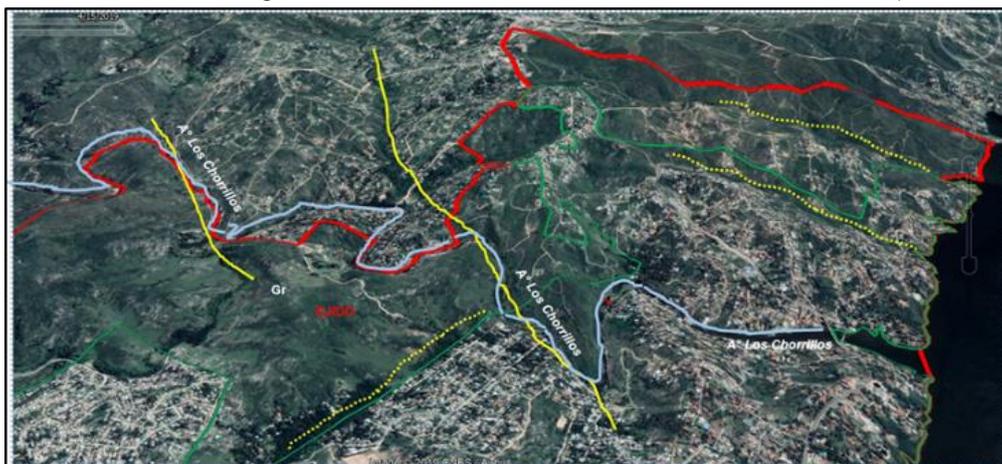


Figura 20. Ambiente de roca granítica: fallas identificadas en estudios antecedentes que generan fuerte control en el diseño del A° Los Chorrillos (línea amarilla continua) y fracturas y/o fallas menores que dieron lugar a valles estructurales (línea amarilla punteada).

IV.2.- INDICIOS DE ACTIVIDAD NEOTECTÓNICA.

IV.2.a. Parámetros geomorfológicos

A partir del procesamiento y análisis de modelos digitales de elevación, se calcularon parámetros geomorfológicos indicativos de la actividad neotectónica del sector comprendido en el ejido ampliado.

Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica representa la relación entre la proporción entre el área de la superficie dentro de la cuenca por encima de una elevación dada (a) y área total de la cuenca (A) y la proporción entre la altura relacionada a la superficie a (h) y la altura total de la cuenca (H) (Keller & Pinter, 1996).

Es independiente de las diferencias en el tamaño de las cuencas y el relieve porque el área y la elevación se grafican como funciones del área total y elevación total. Por esto cuencas de drenaje de diferentes tamaños pueden compararse unas con otras.

Este parámetro permite determinar el estado del relieve. El estado juvenil aparecerá representado por una curva cóncava hacia abajo con un el área mayor bajo la curva respecto a la madura. Si el estado de la cuenca es senil o viejo la concavidad será hacia arriba y tendrá una menor área bajo la curva. El estado maduro se representa por una curva intermedia entre las dos anteriores (fig.21).

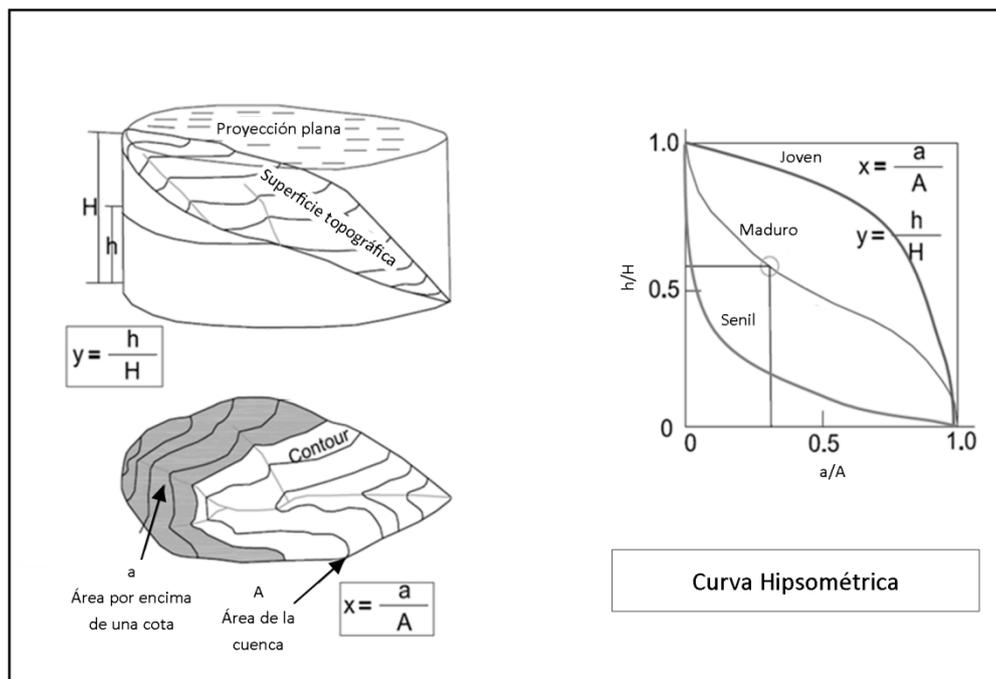


Figura 21. Curva Hipsométrica. Estado de erosión del relieve. Fuente: modificado de Keller & Pinter, 2002.

Para su cálculo se seleccionaron las cuencas de la vertiente occidental las sierras chicas asociadas a la falla de Quebrada Honda y las ubicadas en el escarpe de la falla de las sierras chicas que presentaban un cauce definido hasta la confluencia con el río San Antonio o el embalse San Roque. Las cuencas restantes no fueron incluidas ya que no presentan un colector primario (fig.22).

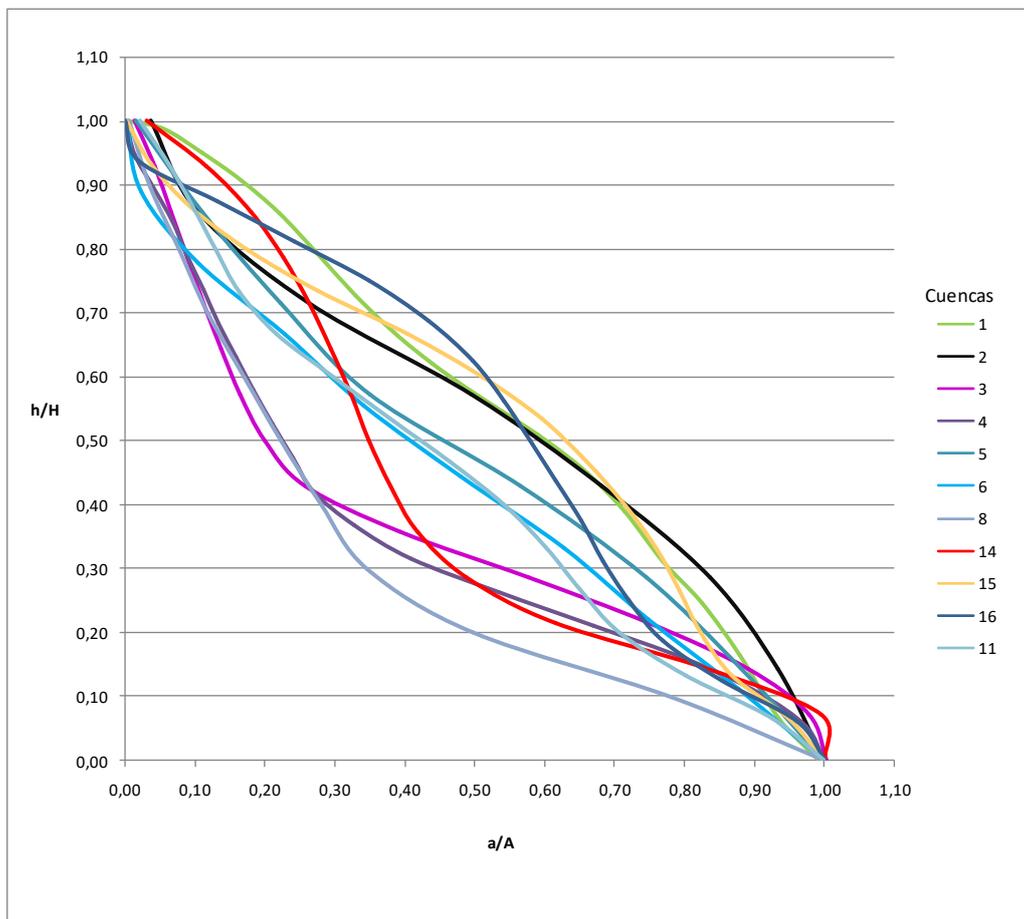
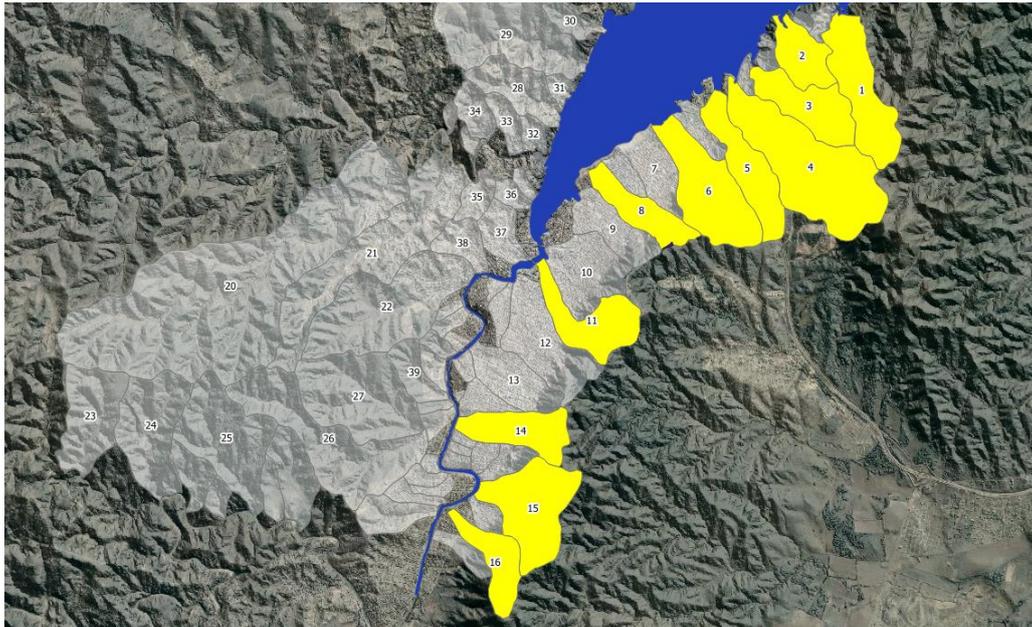


Figura 22. Arriba Cuencas analizadas. Abajo. Curvas hipsométricas. Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos indican que las cuencas 2,1,5 y 6 poseen curvas con morfología convexa correspondiente a un relieve joven.(Tabla 4)

La cuencas 3, 4, 8, 11, 14, 15 y 16 presentan una forma en "s" con una tendencia convexa hacia la parte baja de sus curvas, Giaconia et al., (2012) indica que esta forma obedece a procesos de rejuvenecimiento hacia la base del drenaje causado por levantamiento superficial asociado fallamiento. Lo que es indicativo de una zona tectónicamente activa.

Sinuosidad del Frente Montañoso (Smf)

La sinuosidad del frente montañoso es la relación entre la longitud de la traza en la unión topográfica entre las montañas y el piedemontesiguendo la morfología (Lmf), y el largo medido en línea recta (Ls) (Bull and McFadden 1977, Bull, 2009).

$$Smf = \frac{L_f}{L}$$

Refleja el balance entre las fuerzas erosionales que tienden a cortar en bahías dentro del frente de montaña y las fuerzas tectónicas que tienden a producir un frente recto coincidente con una falla activa de frente montañoso.

Los frentes montañosos con tectónica activa y levantamiento son relativamente rectos, con bajos valores de Smf. Si la tasa de levantamiento es baja entonces los procesos erosionales deberían labrar un frente de montaña irregular (Keller & Pinter, 2002).

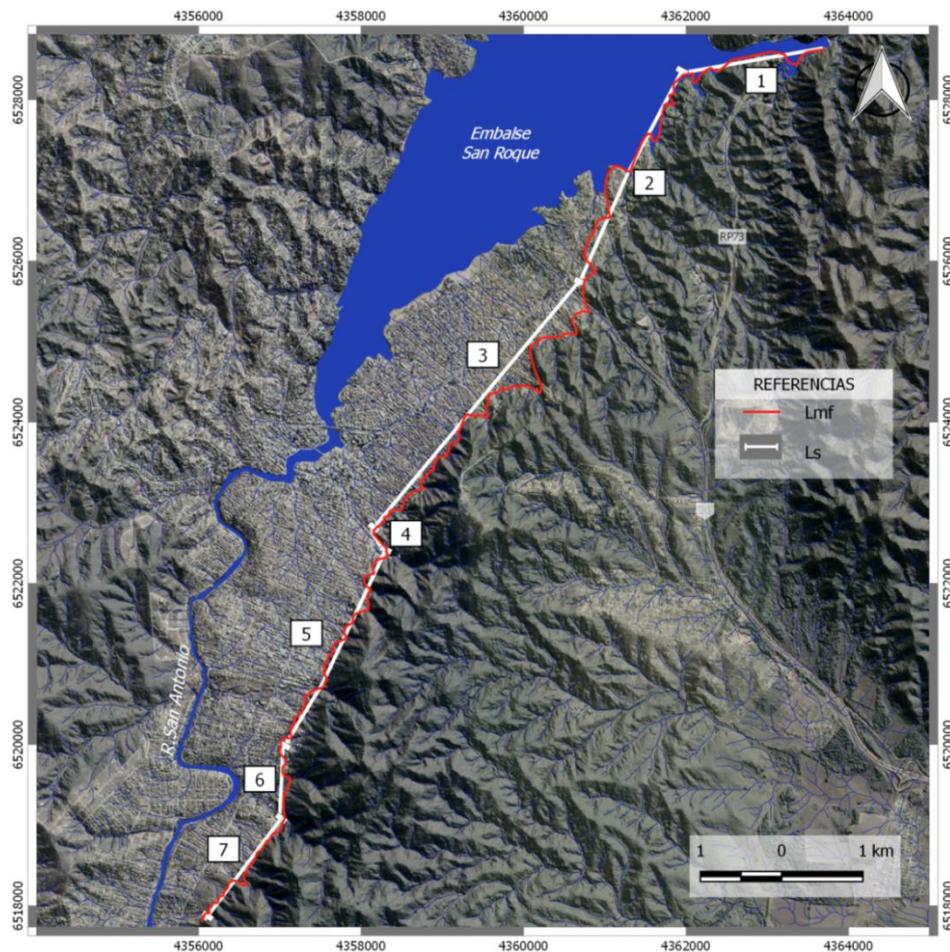


Figura 23. Traza de los tramos analizados

Tabla 4. Sinuosidad del Frente Montañoso. Fuente : elaboración propia.

Sección	Lmf [m]	Ls [m]	Smf	Actividad tectónica
1	2173	1760	1,23	[1.0 - 1.5] Frente de montaña altamente activos
2	3790	2903	1,30	[1.0 - 1.5] Frente de montaña altamente activos
3	5479	3960	1,38	[1.0 - 1.5] Frente de montaña altamente activos
4	302	290	1,04	[1.0 - 1.5] Frente de montaña altamente activos
5	3360	2733	1,23	[1.0 - 1.5] Frente de montaña altamente activos
6	1068	901	1,18	[1.0 - 1.5] Frente de montaña altamente activos
7	1888	1514	1,25	[1.0 - 1.5] Frente de montaña altamente activos

IV.2.b. Evidencias en imágenes satelitales y en campo.

Mediante análisis de imágenes satelitales, es factible observar particularidades de las redes de drenaje que indican cambios probablemente asociados a procesos de neotectónica, como así también geformas características.

A 5 km. del pie de sierra, en la confluencia de los ríos Anizacate y Los Molinos, se observa un fuerte control estructural rectilíneo. A continuación, fuera del ámbito fluvial se observa una línea de tono claro, que en terreno se evidencia como un resalto de 4 a 5 m. En el Río. Los Molinos, se presenta con una diferencia de 7m. de altura en la margen derecha y con 15 m respecto del fondo. Condición que permite inferir que se correspondería a un escalón tectónico (1 de la fig. 24).

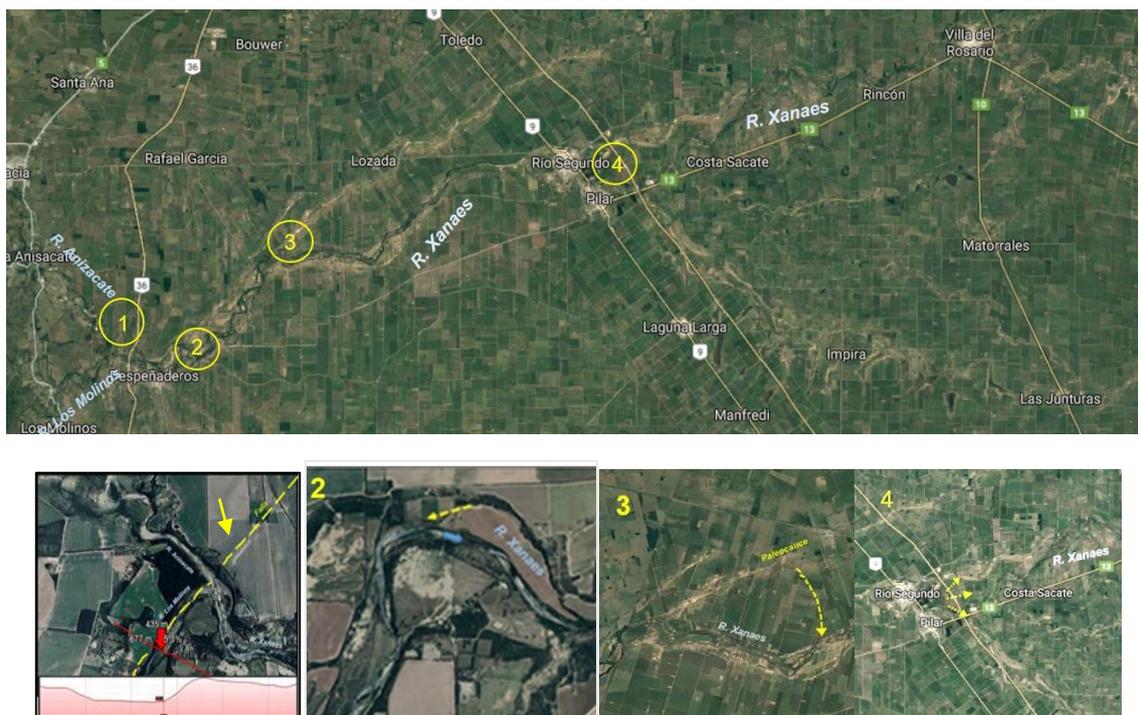


Figura 24. Evidencias de neotectónica: (1) fuerte control estructural del R. Los Molinos y escalón tectónico, (2) retroceso de meandro, 3) interfluvio sin geformas fluviales y (4) ápice y frecuentes geformas fluviales por efecto de avulsión. Fuente: propia.

A 6 km. aguas abajo ya sobre el río Xanaes, se evidencia el retroceso de un meandro que no se ajusta a las particularidades de estas geoformas, que migran en la dirección del flujo (2 de la fig 24). A la vez 11 km más al este, se manifiesta con clara definición geomorfológica, un paleocauce de rumbo SO-NE que en un recorrido de 75 km. se integra a la faja fluvial del R. Suquía. En todo el recorrido del interfluvio entre este paleocauce y el curso actual del río, no se observan improntas fluviales, lo que indicaría que el cambio no fue progresivo sino que fue brusco (3 de la fig. 24).

A diferencia, 29 km. aguas abajo a la altura de las poblaciones de Pilar y R. Segundo, se evidencia un ápice de paleoabanico con numerosas improntas fluviales, que indican una evolución progresiva de la geoforma por efecto de avulsión, más que un cambio brusco por efecto de neotectónica (4 de la fig. 24)

Otro indicio de actividad tectónica reciente se manifiesta sobre el trazo de la falla Sierra Chica a la altura de Santa Rosa de Calamuchita, por la presencia de facetas triangulares, hecho que se refuerza en un corte de la sierra en donde se observa claramente el plano de una falla sobre el cual el basamento cristalino antiguo (techo-Precámbrico), cabalga sobre sedimentos detríticos modernos (piso-Cuaternario). (fig.25).



Figura 25. Der. (FT) facetas triangulares (indicadoras de neotectónica). Izq. Claro indicio de falla inversa: (A) basamento cristalino montado (más viejo) (B) sobre depósitos detríticos cuaternarios más jóvenes. Fuente: propia.

Sobre el mismo trazo de falla a 68 km. al norte dentro del ejido de la ciudad de Villa Carlos Paz, se repite la situación. Estudios antecedentes en el sitio de Martino (2012) , indican la existencia de la falla, en donde también se evidencia el cabalgamiento del material más antiguo, sobre el más moderno (fig.26)



Figura 26. Cantera El Tanque. Falla inversa: basamento metamórfico antiguo (techo) cabalga a depósitos modernos (cuaternarios). Fuente: propia y Martino 2012.

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero 2020	
	Revisión: 03	Página 38 de 236
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar		

La falla de la Sierra Chica no cuenta con dataciones que permitan certificar de manera absoluta las edades de sus movimientos (R. Martino 2012), no obstante, varios autores (Murillo 1996, Costa 2001, Gallo 2011, Bettiol 2012, y Santinelli 2013), indican una alta posibilidad de actividad tectónica reciente. Los parámetros obtenidos, evidencias en imágenes satelitales y antecedentes de campo reafirman esta posibilidad.

Sangripante G., (2014) sostiene que el potencial sismogénico de la región, no se corresponde con el asignado por el INPRES a la Zona de Peligrosidad 1 y 2, ya que el mismo es mayor, por lo tanto se estima que de acuerdo a la magnitud máxima calculada, las posibles aceleraciones al pico del suelo excederían de forma muy amplia a las esperadas.

Cabe recordar el sismo ocurrido en el año 1947 con epicentro en el sector de Villa Giardino de intensidad 5,5 (grado VII en la escala de Mercali) y el de 1955. En este caso no se cuenta con suintensidad pero fue medido como grado VI en escala de Mercali (INPRES 2012).

Sobre la base del potencial sismogénico que poseen estas fallas geológicas con actividad cuaternaria. Se considera que se deberían redefinir los límites de las zonas de peligrosidad ya que, de mantenerse como hasta el presente, se seguiría subestimando el peligro sísmico de la región con implicancias en la infraestructura urbana y vial construida.

V.- ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN.COMUNIDADES VEGETALES CUENCA ALTA RÍO SUQUIA.

Las comunidades biológicas han evolucionado en función del soporte geológico y de las condiciones climáticas, en particular las comunidades vegetales, dado que no pueden desplazarse para evitar condiciones adversas; por ello, son indicadoras de estado del subsistema natural. Limitantes hídricas, de temperatura y altura definen la presencia de la vegetación en el sector bajo estudio.

La cuenca alta del lago San Roque está delimitada por los cordones montañosos de la Sierra Chica al Este y Sierra Grande al Oeste. Ambos cordones determinan un gradiente altitudinal desde los bordes de las cadenas montañosas al valle estructural de Punilla. El gradiente es de mayor extensión y altura en la vertiente escalonada de la Sierra Grande con alturas entre 2.200 m.s.n.m. y 1.800 m.s.n.m en el Sudoeste y Oeste, cabeceras de la cuenca del río San Antonio y del río Yuspe respectivamente, y alturas de 1.000 m.s.n.m. al Noroeste y Norte en la cabecera del río Cosquín hasta los 600 m.s.n.m en el valle de inundación de los ríos San Antonio y Cosquín. En el Este de la cuenca el gradiente es más marcado, desde 600 m.s.n.m a casi 2.000 m.s.n.m. en el Norte de la cuenca del río Cosquín y 900m.s.n.m al Sur en la cabecera Sudeste y Este del río San Antonio.

El clima varía con este gradiente de altura definiendo particularmente en el sector cumbre de la cuenca del río San Antonio condiciones climáticas de mayor humedad y menor temperatura.

El soporte geológico además de condicionar la altura, presenta variación en la composición (rocas ígneas, metamórficas, conglomerados, depósitos fluviales) y en la morfología (sectores con laderas muy marcadas en los escarpes de falla, lomadas y pampas o planicies cumbrales). Ello, define distintas posibilidades para el desarrollo de

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero 2020	
	Revisión: 03	Página 39 de 236
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – B° Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar		

la vegetación ya que condiciona la distribución y conectividad de las comunidades vegetales actuales y pasadas. La mayor disponibilidad hídrica en las laderas expuestas al Sur y al Sudeste y en las pampas de altura determina mejores posibilidades de desarrollo que las condiciones desecantes de las laderas expuestas al Norte y Oeste. Por otra parte, la mayor profundidad de los suelos en los valles que posibilitan la presencia de comunidades con mayores requerimientos de agua y nutrientes.

A su vez, la posición de la provincia y el levantamiento de la cordillera de los Andes, que activó la orogenia de las sierras, determinaron que en el sector se encuentren especies de origen andino, austro-antárticos, andino-sonoriano y brasilero-paraguayo, configurando un espacio de elevada diversidad de especies y de hábitats (Luti y otros, 1979).

Según Cabrera (1976), las comunidades vegetales de la cuenca en estudio pertenecen a la Provincia Chaqueña, Distrito Serrano, caracterizado por bosques dominados por *Schinopsis haenckeana* (quebracho colorado de las Sierras u horco quebracho) y *Lithraea molleoides* (molle de beber) interrumpidos o alternados con estepas de gramíneas duras. El sector pertenece según Oyarzabal y otros (2018) al Bosque de xerofitas con *Schinopsis marginata* (Chaco Serrano) dominado por quebracho de la sierra y molle de beber.

Luti y otros (op.cit.), indican que en el sector además del Bosque Serrano confluyen en el Norte el Bosque Chaqueño Oriental y por el Este el Bosque Chaqueño Occidental. Los autores también señalan que las comunidades vegetales presentes en las sierras de Córdoba presentan, al igual que en otros espacios montañosos, pisos de vegetación definidos por la altura y la temperatura.

El piso de Bosque Serrano se extiende desde los 500 m.s.n.m hasta 1300 m.s.n.m., a partir de esta altura se presenta el piso de Matorral Serrano o Romerillal hasta 1.700 m.s.n.m., donde inicia el piso de Pastizales y Bosquecitos de Altura (fig.27).

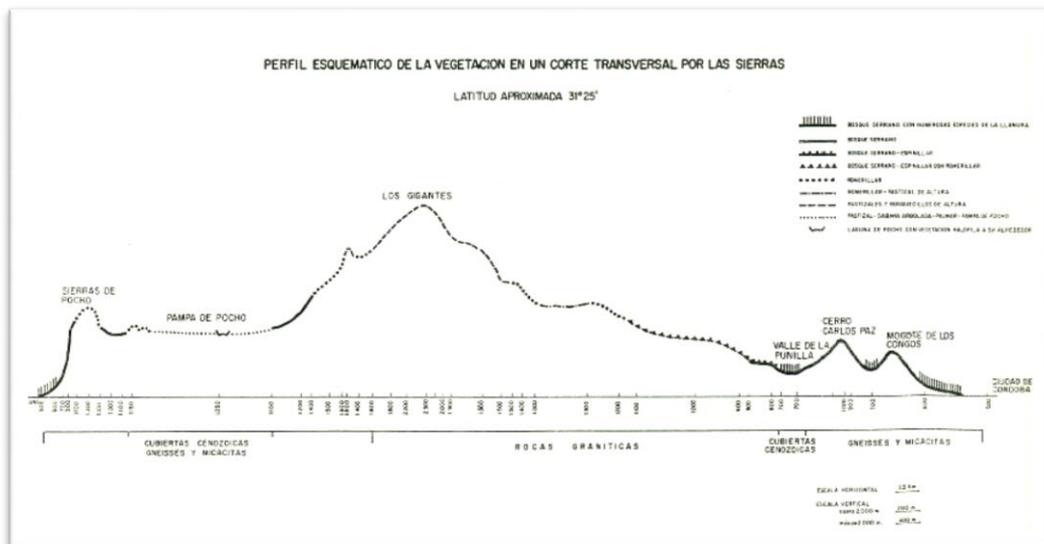


Figura 27. Perfil Esquemático de la Vegetación corte por la zona de estudio Fuente: Luti y otros, 1979)

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero 2020	
	Revisión: 03	Página 40 de 236
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar		

El Bosque Serrano está dominado por *Lithraea molleoides* (molle), *Schinopsis haenckeana* (horco quebracho), *Celtiser henbergiana* (tala), *Zanthoxylum coco* (coco), *Acacia caven* (espinillo), *Jodiniar hombifolia* (sombra de toro), *Ruprechtia apetala* (manzano de campo) y *Geoffroede corticans* (chañar), con especies propias de la sierras como *Kageneckia lanceolata* (durazno de la sierra), *Sebastiania klotzschiana* (blanquillo) y *Prosopis torquata* (tintitaco).

El Matorral Serrano o Romerillal está dominado por romerillos (*Heterothalamus* spp., *Eupatorium* spp. y *Baccharis* spp.) con azahar del campo (*Aloysiagratisima*), *Cassia hookeriana*, *Flourensia campestris* y *Flourensia oolepis* y cola de tigre (*Colletias pinossisima*), en los sectores más húmedos acompaña poleo (*Lippiaturbinata*).

Los Pastizales y Bosquecitos de Altura están dominados por gramíneas de los géneros *Festuca*, *Stipa* y *Poa* y en los bosques domina tabaquillos (*Polylepisaustralis*).

En sector Este el piso inferior el Bosque Serrano se pone en contacto con el Bosque Chaqueño de Llanura Oriental que asciende por el valle del río Suquía; con bosques dominados por *Aspidosperma* quebracho-blanco (quebracho blanco), *Prosopisnigra* (algarrobo negro) y *Prosopis alba* (algarrobo blanco) y en el sector Norte con el Bosque Chaqueño de Llanura Occidental caracterizado por bosques dominados por *Aspidosperma* quebracho-blanco (quebracho blanco), *Zizyphus mistol* (mistol) y *Prosopischilensis* (algarrobo blanco).

En el sector bajo de la cuenca predominan géneros y especies de origen tropical (*Acacia*, *Prosopis*, *Thritrinax*) y en el alto de la Sierra Grande se mantienen géneros y especies andinos y australo-antártico como *Polylepis*, *Kageneckia*, *Maytenus* y *Condalia*, entre otros.

V.1.- COMUNIDADES VEGETALES PRESENTES EN LOS AMBIENTES GEOMORFOLÓGICOS.

V.1.a. Comunidades vegetales de la vertiente escalonada de la Sierra Grande.

Abrupto de falla del bloque Central

El abrupto de falla determina laderas con fuerte pendiente y diferente exposición y evapotranspiración, que establecen mejores condiciones de humedad y menor exposición solar en las laderas Sur, Sudeste y Sudoeste, donde dominan bosques pertenecientes al Piso Pastizales y Bosquecillos de Altura dominados por tabaquillo (*Polylepis australis*), molle (*Lithraea molleoides*) y maitén (*Maytenus boaria*). Existen bosques de horco quebracho (*Schinopsis haenckeana*) en las laderas cálidas del sector Norte hasta la cabecera del río Yuspe.

Los bosques se presentan en manchones en los espacios más protegidos. Predomina una matriz rocosa con abras de pastizales dominados por *Stipa* spp., *Deyeuxia hieronymi* y *Festuca* spp.; por el sector bajo ingresa el Romerillal y por las quebradas el Bosque Serrano. Las abras están dominadas por pastizales de *Stipa*, *Festuca* y *Deyeuxia*. En los sectores con vegas se presentan céspedes dominados yerba de la oveja (*Alchemilla pinnata*) y *Carex* spp.

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero 2020	
	Revisión: 03	Página 41 de 236
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – B° Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar		

Dominio de Rocas Ígneas y Metamórficas

En estos dos dominios se presentan remanentes del Bosque Serrano original en las quebradas, el resto del sector está cubierto por unidades sucesionales post disturbio tanto de fuegos como de talas reiteradas. Estas estepas arbustivas con árboles están dominadas por espinillos (*Acacia caven*), manzano del campo (*Ruprechtia apetala*) y moradillos (*Schinus polygamus* y *Schinus fasciculatus*) con ejemplares aislados de molle (*Lithraea molleoides*) o algarrobos (*Prosopis alba* y *Prosopis nigra*).

Planicies cumbrales

Las planicies cumbrales presentan estepas arbustivas de pajas (*Stipa spp.*), espinillos (*Acacia spp.*) y tintitaco (*Prosopis torquata*). En algunas de las planicies se incorporan a la estepa arbustiva palma caranday (*Trithrinax campestris*).

El uso y los incendios han determinado la retracción de los bosques y arbustales y el dominio de pastizales con arbolitos y arbustos y palmares resistentes a este tipo de impactos.

V.1.b. Comunidades vegetales del valle estructural de Punilla

Piedemonte

En el sector del piedemonte el Bosque Chaqueño Serrano presenta distintos estados sucesionales producto de talas, incendios, cultivos y el avance de la frontera urbana.

El bosque de molle (*Lithraea molleoides*) y horco quebracho (*Schinopsis haenckea*) conforma unidades extensas en los sitios menos alterados; éstas alternan con espinillares (*Acacia caven*, *Acacia aroma*, *Acacia atramentaria*) y roca-arbustales de espinillos (*Acacia caven*, *Acacia aroma*, *Acacia atramentaria*) y moradillo (*Schinus fasciculatus*, *Schinus bumelioides*) en los espacios más disturbados.

En el sector Norte el Bosque Chaqueño Serrano se pone en contacto con el Bosque Chaqueño de la Llanura Occidental, dominado por quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) y algarrobos blancos (*Prosopis alba*, *Prosopis chilensis*), definiendo un sector de elevada riqueza de especies y de hábitats.

En la zona de la planicie cumbral el Bosque Serrano se interdigita con la estepa arbustiva de palma caranday (*Trithrinax campestris*), que en los espacios con mayor contenido de humedad constituye palmares densos.

En el sector Norte, donde se encuentran las tres unidades de vegetación (Bosque Serrano, Bosque de la Llanura Occidental y la Estepa Arbustiva de Palma) se genera un amplio ecotono que determina que sea el sector de mayor diversidad biológica de la cuenca.

En el sector Sur del piedemonte es frecuente la presencia de durazno de la sierra (*Kageneckia lanceolata*) y blanquillo (*Sebastiania commersoniana*)

Incendios reiterados han llevado a la retracción de los sistemas boscosos y los han transformado en arbustales altos con árboles en general dominados por manzano del campo (*Ruprechtia apetala*) y espinillos (*Vachellia caven* y *Vachellia astringens*)

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero 2020	
	Revisión: 03	Página 42 de 236
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – B° Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar		

Faja fluvial

La faja fluvial presenta bosques de ribera dominados por algarrobo (*Prosopis alba*, *Prosopis nigra*, *Prosopis chilensis*), sauce criollo (*Salix humboldtiana*) y tala (*Celtis ehrenbergiana*).

El avance de la frontera urbana es el origen de los principales impactos sobre estas unidades boscosas tanto por talas reiteradas como por la invasión de especies como acacia negra (*Robinia pseudo acacia*), sauce llorón (*Salix babilónica*), álamos (*Populus spp.*), etc.

Desde el Sector Este ésta faja boscosa se pone en contacto con los Bosques de la Llanura Oriental dominados por quebracho blanco (*Aspidosperma*) y algarrobos (*Prosopis alba*, *Prosopis nigra*) conformando un amplio ecotono.

V.1.c. Comunidades vegetales de la Sierra Chica

Escarpe

En el escarpe de falla de la Sierra Chica las laderas más húmedas (S, SE y SO) presentan bosques dominados por molle (*Lithraea molleoides*), mientras que en laderas de exposición Norte y Oeste se presentan bosques dominados por horco quebracho (*Schinopsis l orentzii*). Ambas comunidades están acompañados por piquillines de la sierra (*Condalia montana* y *Condalia buxifolia*) y espinillo (*Acacia caven*).

La porción superior del sector presenta arbustales y pastizales inducidos por fuego que han retraído el piso forestal por debajo de los 900 m.s.n.m. Los arbustales están dominados por espinillos (*Acacia caven*, *Acacia aroma*) y romerillos (*Heterothalamus spp.* y *Baccharis spp.*) y los pastizales por flechilla y pajas (*Stipa spp.*).

VI.- AREA URBANIZADA SEGÚN CUENCA Y PROBLEMATICAS ASOCIADAS

El área urbanizada de la cuenca representa el 11% de su área total. En la actualidad la mancha urbana posee 178,7 km² y se desarrolla dentro de los municipios, comunas y parajes de la figura 27.

El área futura a urbanizar o el correspondiente a parcelas urbanizables, según catastro de la provincia de Córdoba, son 48 km² lo que significaría a futuro un incremento del 27 % respecto de la actual (fig.28).

El área urbana actual se ubica mayoritariamente dentro del valle estructural de Punilla y sobre la vertiente oriental de la Sierra Grande en el sector colindante al embalse. En el valle representa el 54% de su área total.

En cuanto a su desarrollo por subcuencas tributarias al embalse, los resultados obtenidos en la Tabla 5, indican que las cuencas de los arroyos y ríos que se desarrollan en la vertiente oriental de la Sierra Grande sobre basamento Plutónico metamórfico, son las que presentan mayor grado de urbanización.

Tabla 5. Área urbanizada por subcuenca tributaria al embalse San Roque

Cuenca	Área de la cuenca [km ²]	Área urbanizada [km ²]	Porcentaje [%]
R. Cosquín	833,70	80,47	9,60
A las mojaras	84,00	16,21	19,29
R. los Chorrillos	138,70	22,00	15,86
R. San Antonio	514,00	35,30	6,87
A Los Mimbres	3,18	1,18	37,10
A del Valle	3,50	0,41	11,70
A las Catas	9,30	7,70	82,79
Ccas. Periembalse	40,00	19,60	49,00

Este factor, sumado a la ausencia de plantas de tratamiento de efluentes cloacales que posee este sector, deriva en una contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos ubicados en los valles secundarios, así como también del embalse San Roque por eutrofización antrópica, ya que es el reservorio de todo el sistema de escurrimiento superficial y subsuperficial de la cuenca.

En el Valle estructural de Punilla la cobertura de tratamientos de efluentes cloacales es mayor. Si bien existen dos plantas, una ubicada en la Localidad de la Falda y otra, en Villa Carlos Paz, no alcanzan a cubrir a todas las poblaciones.

La información recabada nivel de toda la cuenca alta del Rio Suquía, indica que sólo el 30 % del área urbana está cubierta por servicio de tratamiento de efluentes cloacales (COOPI).

En lo que respecta a la disposición final de residuos sólidos urbanos, tanto en los relevamientos de campo como en el análisis de imágenes satelitales se observaron basurales a cielo abierto. Los cuales tienen impacto en el deterioro de la calidad de los recursos hídricos (subterráneos y superficiales).

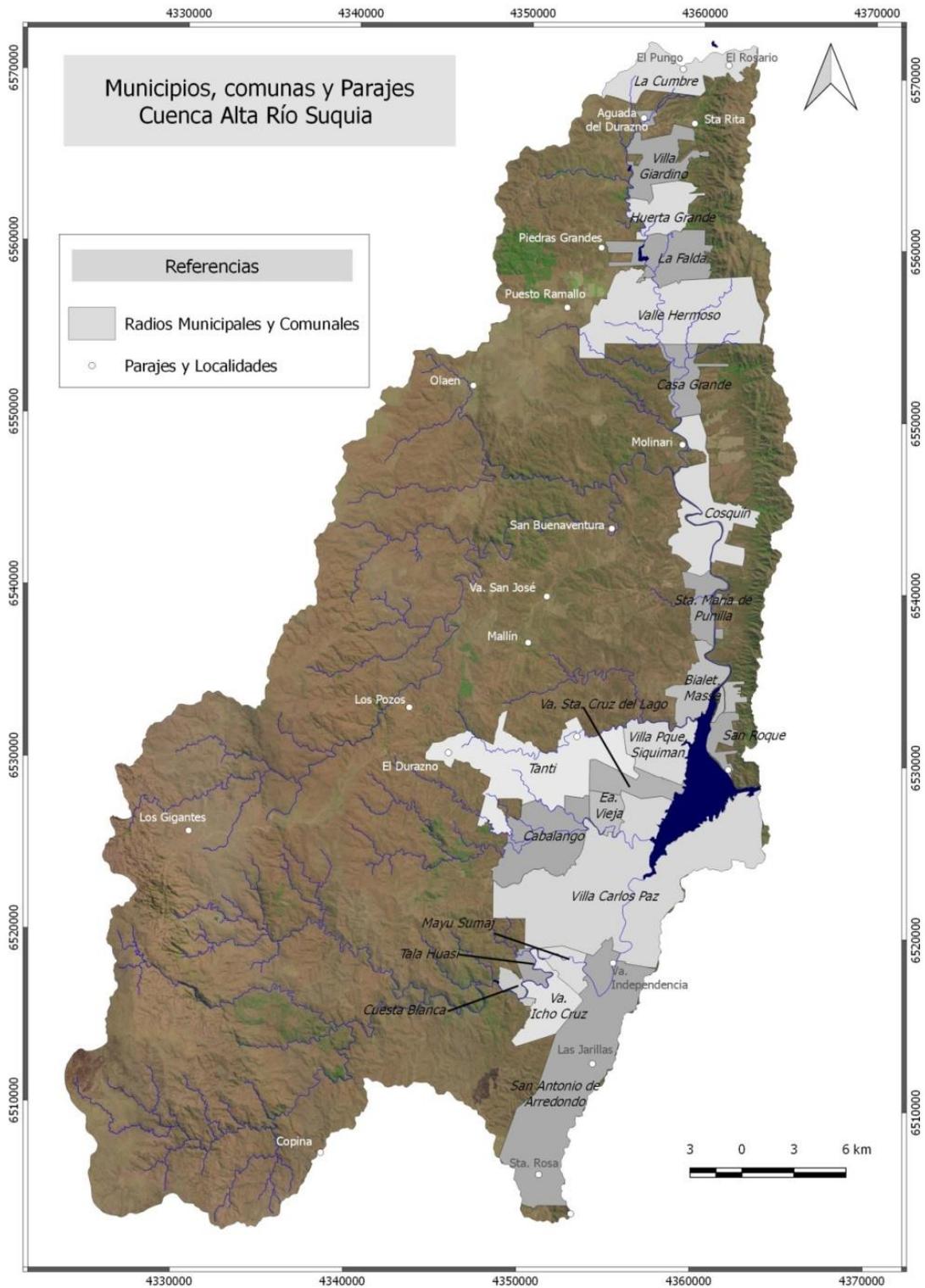


Figura 28. Municipios, comunas y parajes comprendidos dentro de la cuenca. Fuente: propia

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero 2020	
	Revisión: 03	Página 45 de 236
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar		

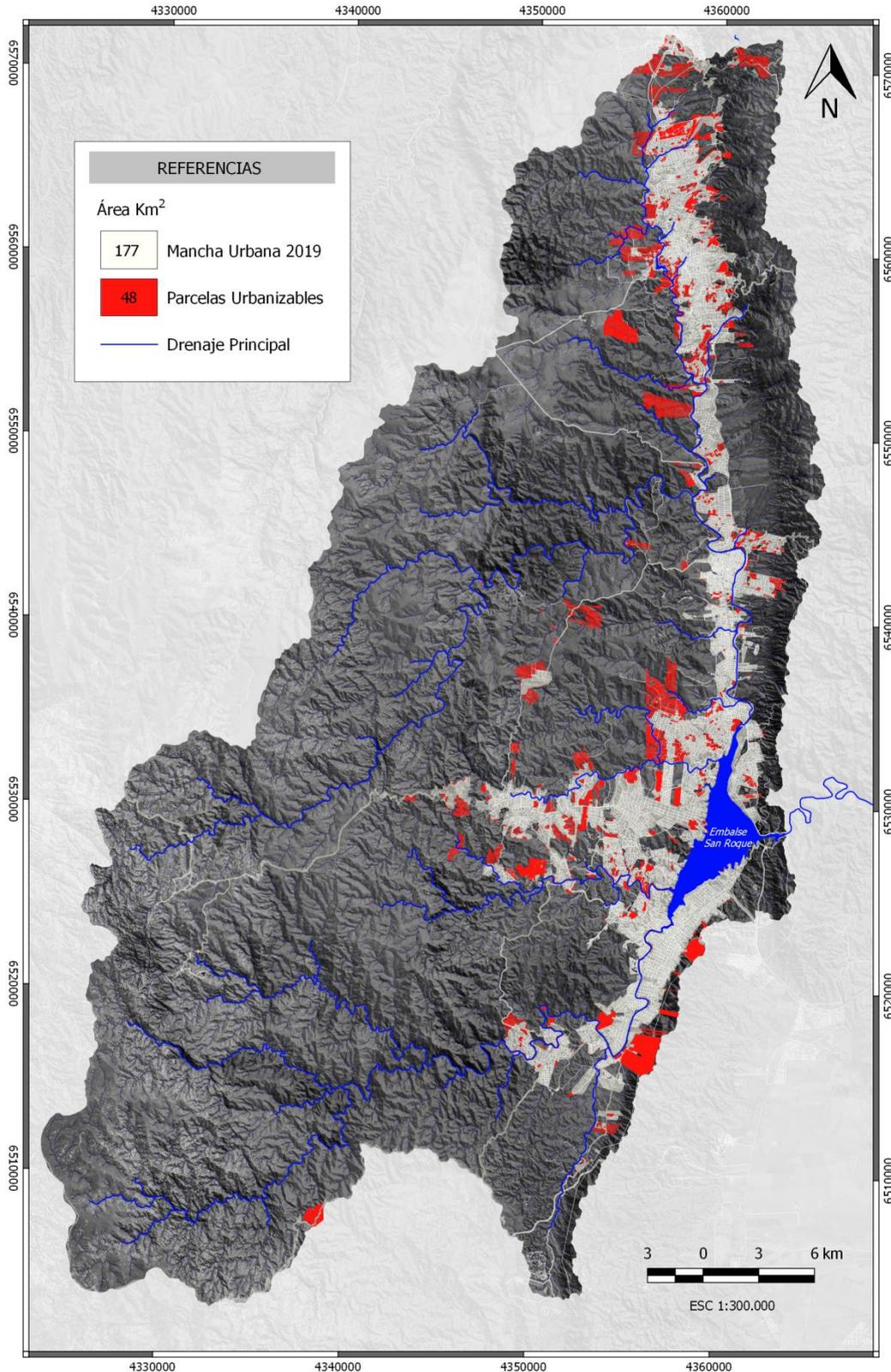


Figura 29. Mancha urbana actual y parcelas urbanizables. Fuente: propia

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero 2020	
	Revisión: 03	Página 46 de 236
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bª Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gov.ar		

VII.- FRECUENCIA DE INCENDIOS

En base al análisis y procesamiento de imágenes satelitales Landsat 5 y 8 de una resolución espacial de 30 m., se calculó la frecuencia de incendios y las áreas afectas, para el periodo 1986-2019 (Tabla 6). El rango temporal, se definió en función de la disponibilidad de imágenes y a su resolución espacial, ya que si bien, existen imágenes satelitales de la serie Landsat 1-2 desde 1972 su resolución es de 60m.

Tabla 6 Imágenes satelitales utilizadas

Imagen Path Row	Fecha
L5 229/82	02/12/1986
	18/10/1987
	14/06/1988
	16/07/1988
	21/11/1988
	29/01/1990
	10/08/1991
	31/01/1992
	16/09/1993
	02/08/1994
	09/11/1995
	23/08/1996
	14/11/1997
	05/10/2000
	01/12/2003
	14/09/2004
	19/10/2005
	20/09/2006
	07/09/2007
	25/09/2008
12/09/2009	
27/08/2009	
30/10/2009	
15/09/2010	
17/10/2010	
20/01/2011	
L8 path 229/82	09/10/2013
	12/10/2014
	15/10/2015
	15/09/2016
	18/09/2017
	27/11/2018
26/10/2019	

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

(López y Caselles 1991)

NIR: infrarrojo cercano
SWIR: infrarrojo medio de onda corta

Cada imagen a procesar fue seleccionada mediante análisis visual por combinación de bandas RGB 7-4-1 y 7-4-3, que destacan las áreas quemadas en color rojizo o azul respectivamente. Este método de evaluación es el recomendado en ausencia de otras fuentes de información (Bastarrika & Chuvieco, 2006), ya que en este caso no se contaba con una base de datos con fechas de incendios ocurridos en el sector analizado.

El área seleccionada para el procesamiento se estableció considerando que según la bibliografía internacional una partícula encendida puede volar hasta 2,4 km de distancia del frente de fuego (California Fire Alliance, 2001).

Para cada imagen seleccionada se calculó el índice NBR (Normalized Burn Ratio) y se extrajo mediante clasificación supervisada el área afectada por incendios para cada año. Se clasificó las áreas quemadas con valor 1 y 0 para las no afectadas, luego se realizó la sumatoria de todas las clasificaciones realizadas. Los resultados obtenidos, describen el número de veces que el fuego afectó un mismo lugar en el periodo de 32 años (fig.30).

Los resultados obtenidos indican que las mayores frecuencias para el periodo considerado se ubican en la Sierras Chicas y de Ochoa.

En la Sierra Grande la mayor frecuencia (9) probablemente se asocia a quema de pasturas en una planicie en altura ubicada al Oeste de la localidad del Durazno rodeada de roca expuesta –roquedal que impide su expansión.

A nivel general las áreas afectadas por el fuego, independientemente de su frecuencia de afectación, se ven atravesadas por la red vial principal de conectividad regional o en colindancia de áreas de borde (interfase urbana – rural).

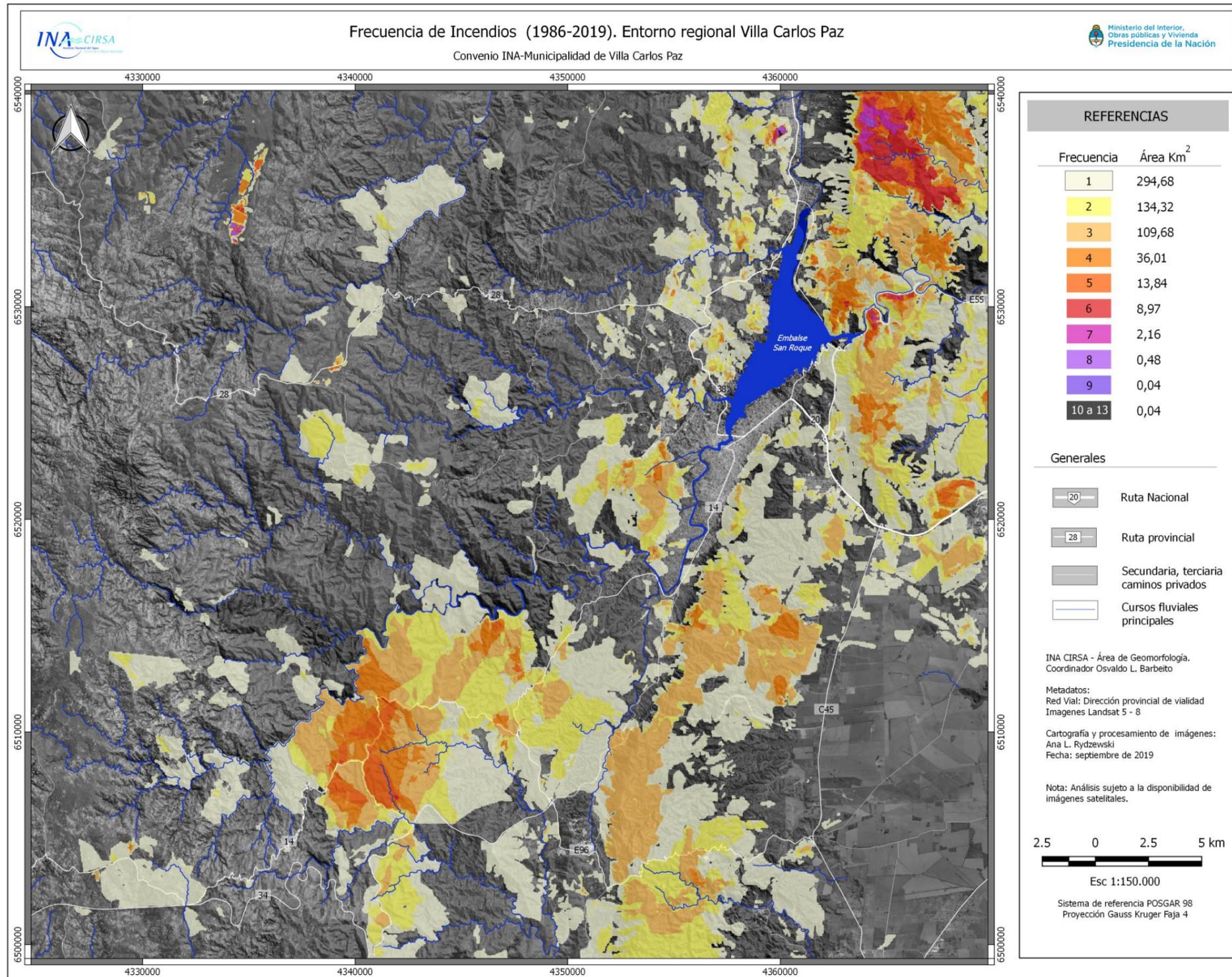


Figura 30. Frecuencia de incendios. Fuente: propia

VIII.- FICHAS SÍNTESIS

Elaboró: Área Geomorfología	Emisión: Enero 2020	
	Revisión: 03	Página 50 de 236
INA, Instituto Nacional del Agua – CIRSA, Centro de la Región Semiárida Sede CBA: Av. Ambrosio Olmos N° 1142 - 1er. Piso (X5000JGT) Córdoba Capital Sede VCP: Medrano N° 235 – Bº Santa Rita (X5152MCG) – Villa Carlos Paz Córdoba (54 351) 4682781 - Fax (54 351) 4682782 - cirsa@ina.gob.ar		