



Área de Consolidación Planificación y Manejo de Cuencas Hidrográficas

ESTIMACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA URBANIZACIÓN SOBRE LA DIMENSIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL ARROYO LAS PARRAS (RÍO CEBALLOS)

Autora: Álvarez, María Paula
Tutores: Ing. Agr. Daghero, Alberto
Dr. Karlin, Marcos Sebastian



FCA
Facultad de Ciencias
Agrarias



UNC



ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	5
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	7
Hipótesis.....	7
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos.....	7
MARCO TEÓRICO.....	8
Cuencas hidrográficas.....	8
Cuencas hidrográficas de llanura y de montaña.....	8
Urbanización.....	8
Modelos hidrológicos.....	9
Estimación de los escurrimientos y uso de los modelos.....	9
ANTECEDENTES.....	10
Informe técnico realizado para las Municipalidades de Unquillo –Salsipuedes – Río Ceballos – Mendiolaza – Villa Allende.....	10
Proceso de crecimiento urbano de las localidades del área metropolitana de la Ciudad de Córdoba – el eje noroeste: el caso de Río Ceballos.....	10
Deforestación en Sierras Chicas.....	10
Geología ambiental urbana.....	11
ÁREA DE TRABAJO.....	13
Ubicación del sitio de estudio.....	13
Caracterización del Área de estudio.....	14
Caracterización física de la Cuenca.....	16
a)Aspectos geomorfológicos.....	16
b)Suelos.....	16
c)Hidrología (Río Ceballos).....	17
d)Clima (Departamento Colón).....	17
e)Flora de la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.....	19
f)Aspectos demográficos.....	22

g)Uso de Suelo (Departamento Colón).....	23
Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.....	24
PROBLEMÁTICA.....	26
METODOLOGÍA.....	29
Delimitación de la Cuenca.....	29
Caracterización de la cuenca del arroyo Las Parras.....	29
Caracterización social.....	29
Parámetros Geomorfológicos Básicos.....	29
Zonificación de la cuenca en función de la cobertura y uso de suelo.....	30
Estimación de la incidencia de la urbanización sobre el comportamiento hídrico de la cuenca.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
Delimitación de la cuenca.....	33
Caracterización de la cuenca del arroyo Las Parras.....	34
Caracterización social.....	34
Parámetros Geomorfológicos Básicos.....	36
Zonificación de la cuenca en función de la cobertura y uso de suelo.....	36
Estimación de la incidencia de la urbanización sobre el comportamiento hídrico de la cuenca.....	38
CONCLUSIÓN.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS.....	49
1.Parámetros Geomorfológicos.....	49
2.Clasificación de modelos.....	49
3.Sistema de modelación hidrológica HEC-HMS.....	51
4.El método del número de curva del Soil Conservation Service.....	51
5.Tiempo de concentración y Tiempo de retardo (lag time).....	54
6.Mapa de zonificación Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.....	54
7.Superficie máxima edificada para las Áreas Urbana y de Conservación.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clases de erosión por pedanía en miles de hectáreas.....	15
Tabla 2: Clases de susceptibilidad a la erosión por pedanía en miles de hectáreas.....	15
Tabla 3: Características de unidades cartográficas encontradas en la cuenca del arroyo Las Parras..	17
Tabla 4: Población total por sexo e índice de masculinidad. Río Ceballos.....	23
Tabla 5: Cantidad de habitantes Río Ceballos.....	23
Tabla 6: Uso de Suelo en ha y porcentaje en el Departamento Colón.....	23
Tabla 7: Parámetros geomorfológicos básicos. Cuencas Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.....	34
Tabla 8: Parámetros geomorfológicos básicos cuenca del arroyo Las Parras.....	36
Tabla 9: Superficie y participación en la superficie total de las clases de cobertura de suelo.....	37
Tabla 10: Superficie y participación en la superficie total de las clases de cobertura de suelo para la situación teórica en la que se urbanice el 100% de los loteos.....	38
Tabla 11: Superficie y participación en la superficie total de las clases de cobertura de suelo para la situación teórica en la que se urbanice el 20% de los loteos.....	38
Tabla 12: Cuadro comparativo de parámetros utilizados para la modelación de dos situaciones.....	40
Tabla 13: Resultados de la corrida del modelo HEC HMS.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1: Ciudades Cercanas a la cuenca del Arroyo Las Parras.....	13
Fig. 2: Ubicación del Departamento Colón en la Provincia de Córdoba.....	14
Fig. 3: Límites y pedanías Departamento Colón.....	14
Fig. 4: Temperaturas medias anuales y distribución de las precipitaciones Departamento Colón.....	19
Fig. 5: Vegetación Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.....	21
Fig 6: Pirámide poblacional Río Ceballos.....	22
Fig 7: Límite Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.....	25
Fig. 8: Cota del Dique La Quebrada 10m por debajo de la cota normal. Noviembre de 2009.....	27
Fig. 9: Inundaciones en Río Ceballos. Febrero de 2015.....	27
Fig. 10: Ingreso de maquinaria no autorizada, resurgimiento de antiguos loteos en la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.....	28
Fig. 11: Incendio forestal Reserva Hídrica La Quebrada. Abril de 2011.....	28
Fig. 12: Loteos cuenca del arroyo Las Parras.....	31
Fig. 13: Curva de Intensidad-Duración-Frecuencia e hietograma de diseño.....	32
Fig. 14: Delimitación cuencas hidrográficas Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.....	33
Fig. 15: Mapa de cobertura del suelo cuenca del arroyo Las Parras.....	37
Fig. 16: Distribución de precipitación y curva de escurrimiento a la salida de la cuenca para situación actual.....	42
Fig. 17: Distribución de precipitación y curva de escurrimiento a la salida de la cuenca para situación teórica con urbanización del 20% de los loteos.....	42
Fig. 18: Distribución de precipitación y curva de escurrimiento a la salida de la cuenca para situación teórica con urbanización del 100% de los loteos.....	43

RESUMEN

El área metropolitana de la ciudad de Córdoba experimenta un significativo proceso de expansión y uno de los ejes de preferencia es especialmente hacia el noroeste, incluyendo a Villa Allende, Mendiolaza, Unquillo, Río Ceballos y Salsipuedes. El área de estudio del presente trabajo es la cuenca del arroyo Las Parras, dentro de la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales de Río Ceballos. El objetivo del trabajo es estimar el efecto que produciría el avance de la urbanización en la cuenca del arroyo Las Parras sobre su dimensión hidrológica. Para ello, se trabajó con el software HEC-HMS para simular los procesos de precipitación-escorrentía en la cuenca del arroyo Las Parras bajo 3 escenarios de cobertura: el actual, y 2 teóricos, estos últimos con cambio de uso del suelo probable, efectivo en el caso que se urbanicen el 100% o el 20% de la superficie ocupada por los loteos aprobados por la Dirección de Catastro aproximadamente en la década del '40-'50. Los resultados muestran cómo a mayor porcentaje de urbanización aumenta el caudal pico a la salida de la cuenca para una misma lluvia de diseño, debido a que la cobertura de suelo de las urbanizaciones es menos permeable a la presente en la situación actual. De realizarse estas urbanizaciones, serán necesarias costosas obras ingenieriles para evitar inundaciones aguas abajo y rigurosos procesos de captación y tratamiento de efluentes para evitar la contaminación de los cursos de agua. Asimismo, esta situación podría desencadenar la invasión de especies arbóreas exóticas.

INTRODUCCIÓN

América Latina comparte con el resto de países en desarrollo un patrón de urbanización acelerada y no planificada en lo que va de este siglo. Está cada vez más asociada a problemas sociales significativos y persistentes, mostrando que a pesar de la compleja realidad de la ciudad, la población de las áreas urbanas continúa creciendo. Esto sugiere que aún las condiciones a veces marginales que ofrece la vida urbana son más atractivas para muchas personas que la vida empobrecida en el campo. En términos de impacto ambiental, en las ciudades los ciclos naturales están severamente alterados, su diversidad biológica está disminuida y requieren grandes aportes externos a fin de sostenerse (Murray, 1998). El desarrollo urbano y la proporción cada vez menor de espacios verdes en relación con las zonas edificadas trae como consecuencia un aumento notable de los escurrimientos pluviales en las ciudades (Ambrosino et al., 2004).

El área metropolitana de la ciudad de Córdoba experimenta un significativo proceso de expansión, producto de una búsqueda de mejor calidad de vida y/o menores costos para acceder al suelo urbano. Uno de los ejes de preferencia de este desarrollo metropolitano es el noroeste, que parte de Villa Allende, ya dentro del denominado conurbano de la ciudad de Cór-

do se continúa sobre la ruta Provincial E-57 con las localidades de Mendiolaza, Unquillo, Río Ceballos y Salsipuedes (Terreno, 2009).

La Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales de Río Ceballos no escapa a este proceso. Incluso luego de la aprobación de las Ordenanzas nº 1622/07 y 1666/08 las cuales regulan los desarrollos urbanísticos en la Reserva y explícitamente prohíben la deforestación dentro de la misma, se vienen registrando importantes intervenciones negativas, como grandes movimientos de tierra y aterrazamientos con maquinaria pesada, construcción de nuevos caminos y una constante deforestación y degradación del bosque serrano (Asociación Civil Los Manantiales, 2010). Además de estas ordenanzas, en la ley 9814 de Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos de la Provincia de Córdoba, la Reserva se encuentra dentro de la zona roja en la que está también explícitamente prohibido el desmonte, ya sea total o parcial, debido a su muy alto valor de conservación (Barchuk et al., 2010).

El crecimiento de la urbanización en detrimento del bosque nativo de la Reserva es uno de los factores antropogénicos que, sumado a la gran variabilidad interanual de precipitaciones y al marcado régimen monzónico imperante en el área de estudio, trae como consecuencia una gran variabilidad en la disponibilidad hídrica, registrándose distintos momentos de sequías como las de los periodos 1938-1939, 1960-1962, 1970-1972, 1980-1981, 1994-1995 y 2003-2009 (Deon, 2014) y su contracara, inundaciones como la ocurrida el pasado 15 de febrero de 2015.

El presente trabajo se enfoca entonces en el efecto del cambio de cobertura que genera el avance de la urbanización en la cuenca del arroyo Las Parras, Río Ceballos, sobre su dimensión hidrológica.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis

El avance de la urbanización en la cuenca del arroyo Las Parras provoca un aumento del escurrimiento debido a una mayor superficie impermeabilizada.

Objetivo General

- ◆ Estimar el efecto que produce el avance de la urbanización en la cuenca del arroyo Las Parras (subcuenca del arroyo Mal Paso, Río Ceballos) sobre su dimensión hidrológica.

Objetivos Específicos

- ◆ Caracterizar la Cuenca hidrográfica del arroyo Las Parras en sus dimensiones hidrológica, natural-ambiental y social.
- ◆ Cuantificar la incidencia de la urbanización sobre el comportamiento hídrico de la cuenca, a través de la modelación del escurrimiento en tres escenarios de cobertura.

MARCO TEÓRICO

Cuencas hidrográficas

Son unidades físicas a las que la divisoria de aguas separa superficialmente. Presentan como principal entrada la lluvia, y como salidas la escorrentía, la evapotranspiración, el flujo subsuperficial y la percolación (Fattorelli et al., 2011). Dentro de ellas se desarrolla un sistema de relaciones sociales, culturales y económicas. Para su detallado análisis y diagnóstico, se subdividen en unidades hidrológicas de menor tamaño y homogéneas en relación a su respuesta hidrológica, denominadas subcuencas, y si son más pequeñas, microcuencas; las cuales forman parte del sistema de cuenca de drenaje, y son originadas por divisorias de agua y cursos de agua de menor porte (Gaspari et al., 2013).

Cuencas hidrográficas de llanura y de montaña

Si bien a partir de la observación de las características particulares y funcionamiento de la cuenca hidrográfica se puede notar que existe una dinámica hidrológica general, también se reconoce que este proceso es muy variable en relación al relieve y posición de la cuenca; por ello Gaspari et al (2013) diferencian cuencas de llanura y de montaña, según algunos criterios básicos. Las cuencas de montaña son de sencilla delimitación, ya que las divisorias de aguas son visibles. En cambio, estas últimas en las cuencas de llanura son de difícil definición, lo que exige un mayor grado de conocimiento y experiencia para la delimitación. Por otra parte, las cuencas de montaña tienen pendientes elevadas (mayores a 10%), lo que favorece a la ocurrencia de movimientos horizontales como escurrimiento, en contraposición con movimientos verticales como infiltración o percolación predominantes en cuencas de llanura con baja pendiente. La actividad socio-económica es mayor en cuencas de llanura.

Urbanización

Los impactos de la urbanización sobre el ciclo del agua son numerosos. Se destacan cinco:

1. Impermeabilización del suelo
2. Aceleración de los escurrimientos
3. Construcción de obstáculos al escurrimiento
4. "Artificialización" de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas
5. Contaminación de los medios receptores

Los cuatro primeros tienen una influencia significativa sobre el aumento de la frecuencia de las inundaciones en los medios urbanos.

Las mayoría de los actuales planes de manejo de agua pluvial establecen simplemente la conveniencia de actuar en un sitio con la máxima rapidez posible para eliminar el exceso de escurrimiento pluvial. Esto ha generado en la mayoría de los casos, la necesidad del desarrollo masivo de obras de ingeniería para evitar los daños por inundación. Frecuentemente también se ha registrado como efecto de la urbanización tradicional una disminución del aporte de agua subterránea. Sin embargo, el proceso de manejo del escurrimiento pluvial está actualmente sufriendo un significativo re-direccionamiento; se está evidenciado un nuevo énfasis en el deseo de detener o almacenar la lluvia donde ella cae, lo cual a veces produce inconvenientes localizados a corto plazo (Ambrosino et al., 2004).

Modelos hidrológicos

Como una herramienta probable, los modelos permiten simular el comportamiento de un sistema real y obtener mediante la operación del mismo, las respuestas o salidas a un determinado impulso o entradas al sistema. La disponibilidad de datos resulta fundamental en la selección del modelo a utilizar. Modelos simples dan resultados más confiables en áreas con poca información (Fattorelli et al., 2011).

Estimación de los escurrimientos y uso de los modelos

La estimación del escurrimiento directo, pico de descarga o hidrogramas es a menudo necesario en cuencas no aforadas de tamaño pequeño a mediano. Se torna necesario encarar estudios que permitan estimar el escurrimiento superficial y la producción de sedimentos bajo escenarios reales e hipotéticos de uso y manejo del suelo. Una de las herramientas más importantes para el estudio de los problemas hidrológicos es la modelación matemática de los fenómenos asociados. La misma no solo ayuda a cuantificar la importancia relativa de los diversos procesos modelados sino que permite, de manera simple, rápida y económica la simulación de los diversos escenarios derivados de diferentes hipótesis, por ejemplo de expansión urbana y rural.

Dada la amplia variabilidad de características de lluvias, suelo, cultivos, manejo, etc., la utilización de modelos puede ser muy útil para abaratar costos de la experimentación, que requiere instalaciones para medida del caudal y carga sólida.

Sin embargo, el aporte real que la modelación matemática puede brindar en las tareas de análisis y extrapolación de comportamientos depende inexorablemente de la disponibilidad de datos (Luque, 2008)

ANTECEDENTES

Informe técnico realizado para las Municipalidades de Unquillo –Salsipuedes – Río Ceballos – Mendiolaza – Villa Allende

El informe técnico, consiste en 3 estudios realizados por técnicos y profesionales del Instituto Nacional del Agua sobre las cuencas de los ríos Salsipuedes y Ceballos-Saldán, que sirven como base para la evaluación y mitigación de riesgos y para la planificación territorial. El primero es un estudio hidrológico general que evalúa por medio de predicciones las precipitaciones pluviales máximas, que al ser transformadas en modelos de lluvia-descarga, permiten contar con un insumo útil para el dimensionamiento de obras y la evaluación de riesgos hídricos (Caamaño Nelli et al., 2010). El segundo, es un estudio geológico y geomorfológico general cuyo objetivo es contribuir a las acciones de planificación territorial y la gestión del riesgo hídrico (Barbeito et al., 2009). El último estudio ofrece un documento gráfico sobre el cual se ha volcado información geomorfológica. En el mismo se puede observar la coincidencia de urbanizaciones con relieves de naturaleza aluvional que constituyen antiguas terrazas fluviales.

Proceso de crecimiento urbano de las localidades del área metropolitana de la Ciudad de Córdoba – el eje noroeste: el caso de Río Ceballos

Las tesis de Maestría del Arq. Cristian G. Terreno (2009) plantea como objetivos aportar a la comprensión y evaluación de los procesos de crecimiento urbano a partir de la construcción de modelos que expliquen estos procesos. El modelo empleado se denomina Modelo Ambiental Territorial Urbano y es en una primera etapa descriptivo y explicativo de la situación actual, y en una segunda etapa se transforma en un modelo de simulación. Para el caso particular de las áreas periféricas urbanizables de Río Ceballos, se confirmó la hipótesis que sostiene que la continuidad del crecimiento metropolitano de la ciudad de Córdoba en las localidades del eje Noroeste sin un proceso de gestión ambiental generará un deterioro de las condiciones de habitabilidad y sustentabilidad, con un consecuente deterioro de la calidad de vida y el impacto sobre la gobernabilidad regional y local.

Deforestación en Sierras Chicas

En el año 1997 la superficie ocupada por el bosque en las Sierras Chicas de Córdoba no superaba el 60% del área ocupada en 1970, siendo mayor la reducción en la Llanura pedemontana que en la Sierra. En cambio la superficie del área urbanizada se ha incrementado notablemente. Las áreas deforestadas mostraron una clara asociación con las áreas urbanas y las rutas principales. Otras áreas con pérdida boscosa significativa incluyeron el límite altitudinal superior del bosque, posiblemente asociado a incendios recurrentes iniciados en los pastizales y la conversión a agricultura de algunos de los últimos fragmentos remanentes de bosque ubicados

al este de la Llanura pedemontana (Gavier, Buchery, 2004).

Para el futuro, se estima que en 2050 sólo quedará la mitad del bosque nativo que había en las Sierras Chicas en 2009, es decir, 5.728 hectáreas. La agricultura y las áreas para pastoreo de ganado son los factores más determinantes en las proyecciones de pérdidas de bosque nativo a futuro, en tanto que la ampliación del área urbana sobre el bosque nativo se prevé no será tan fuerte. Se proyecta que la invasión de las plantas exóticas como el siempreverde dominarán el paisaje de la región en pocos años y tienen un impacto negativo sobre el recurso hídrico, ya que son grandes consumidoras de agua durante todo el año, lo que indica que con el tiempo los ríos y arroyos verán disminuido su caudal por la presencia de estas especies (Agu-deló Henriquez, 2015). Salazar et al (2013) comprobaron que especies exóticas invasoras como *Ligustrum lucidum* (Siempreverde), *Gleditsia triacanthos* (Acacia negra) y *Pyracantha coccinea* (Espina de fuego o Piracanta) están asociadas principalmente a zonas próximas al centro urbano, en los márgenes de arroyos y en zonas con disturbio.

Geología ambiental urbana

La Geología Urbana estudia las amenazas y los daños potenciales que afectan o pueden afectar al territorio y la aptitud de los terrenos y recursos para su uso. Brinda información técnico-científica básica para la planificación racional del uso de suelo y el desarrollo urbano de pueblos y ciudades. En base a un estudio geomorfológico de las cuencas serranas se presenta una síntesis de tres aspectos vinculados con la Geología Ambiental Urbana de la ladera oriental de las Sierras Chicas. (Cioccale, 2012)

1) Impacto de la urbanización

- ◆ Impermeabilización que no es acompañada por el alcantarillado correspondiente
- ◆ Procesos de acumulación/erosión: Tiene su pico en la fase constructiva de las obras
- ◆ Desestabilización de laderas
- ◆ Contaminación de acuíferos por falta de obras de saneamiento
- ◆ Contaminación de ríos y arroyos por carencia de alcantarillado y saneamiento de las aguas servidas y pluviales
- ◆ Modificación del paisaje, que constituye uno de los recursos más valiosos de la región por su uso turístico

2) Problemas del medio para el desarrollo urbano

- ◆ Disponibilidad de agua potable debido al tamaño de las cuencas y las lluvias concentradas solo durante el verano
- ◆ Pendientes entre 20 y 70%, limitante en construcciones y planificación urbana
- ◆ Excavabilidad de la roca: existen zonas muy resistentes en las que se llega a necesitar explosivos para su remoción

- ◆ Permeabilidad escasa, que dificulta la infiltración de los pozos negros
- 3) Amenazas socio-naturales
- ◆ Sequía: en los meses de Octubre-Noviembre
- ◆ Inundaciones entre Noviembre y Marzo, producto de lluvias torrenciales concentradas en verano y el intenso proceso de impermeabilización no acompañado por el alcantarillado correspondiente.
- ◆ Sismos de intensidad baja a moderada
- ◆ Incendios forestales de Agosto a Noviembre
- ◆ Deslizamientos, son poco frecuentes pero se han detectado en algunos sectores

ÁREA DE TRABAJO

Ubicación del sitio de estudio

El área de estudio del presente trabajo es la cuenca del arroyo Las Parras. Se encuentra entre los 64°21'48" y 64°20'24" de longitud oeste y los 31° 9'29" y 31°10'14" de latitud sur. Es una subcuenca del arroyo Mal Paso, que se ubica en el centro-oeste del Departamento Colón, al Oeste de la Ciudad de Río Ceballos. La cuenca del arroyo Mal Paso limita al Norte con la cuenca del Río Los Hornillos, al Sur Oeste con la cuenca del Arroyo Los Quebrachitos, de Unquillo, al Sur con la cuenca del Arroyo Ñu Porá, y al este con la Ciudad de Río Ceballos.

Dentro de la cuenca del arroyo Mal Paso se encuentra la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales, con una superficie de 1040 ha, ubicada en territorio de máxima conservación de acuerdo a la zonificación realizada por la Ley Provincial 9814 de Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos de la Provincia de Córdoba.

Las rutas de acceso a Río Ceballos son la ruta provincial E57 que une Río Ceballos con Unquillo, y la ruta E53 que une la ciudad de Córdoba con las localidades de las Sierras Chicas y pasa frente al Aeropuerto Internacional Ambrosio Taravella. Este último se encuentra aproximadamente a 21 km de la cuenca en estudio.

Los sitios urbanos cercanos al área de estudio son: (Fig. 1) Río Ceballos (2,8 km al Este), Salsipuedes (9 km al Noroeste), Unquillo (11 km al Sur), Villa Allende (19 km al Sur), Mendiolaza (20 km al Sur) y la ciudad de Córdoba (33 km al Sur).

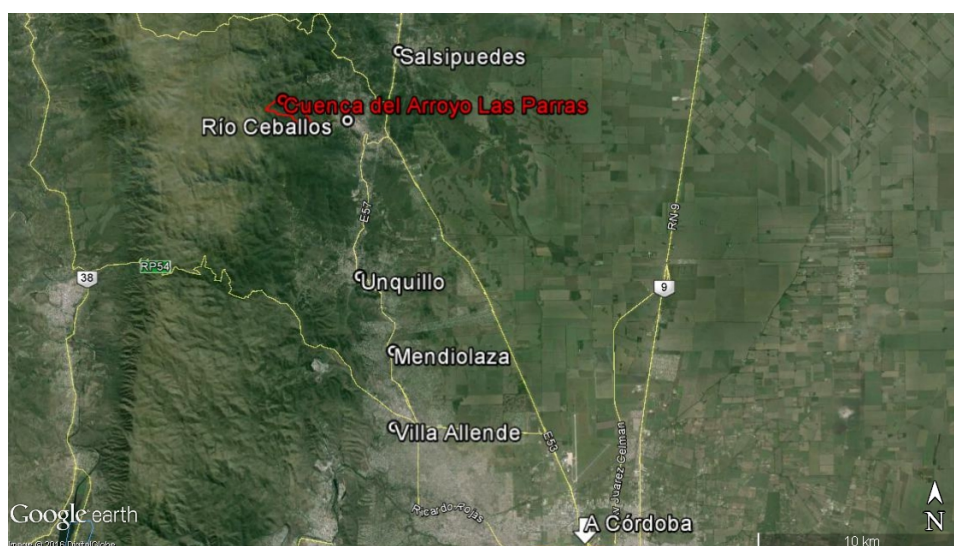


Fig.1: Ciudades Cercanas a la cuenca del Arroyo Las Parras

Fuente: Elaboración propia con Google Earth

Caracterización del Área de estudio

El Departamento Colón se encuentra en el centro-norte de la Provincia de Córdoba (Fig. 2). Tiene una superficie de 2588 km². Limita al Norte con el Departamento Totoral, al Sur con los Departamentos Santa María y Capital, al Este con el Departamento Río Primero y al Oeste con el Departamento Punilla. Está compuesto por 5 pedanías: Calera Norte, Cañas, Constitución, Río Ceballos y San Vicente (Fig. 3). Todas presentan algún tipo de erosión hídrica, no así de erosión eólica (Tabla 1).

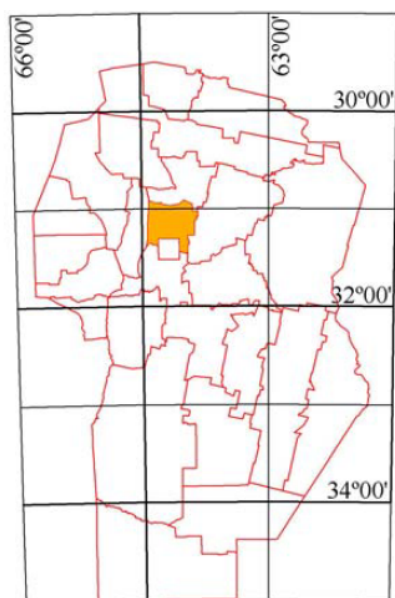


Fig. 2: Ubicación del Departamento Colón en la Provincia de Córdoba.

Fuente: Jarsún et al., 2006



Fig. 3: Límites y pedanías Departamento Colón

Fuente: Jarsún et al., 2006

Tabla 1: Clases de erosión por pedanía en miles de hectáreas.

Pedanía	Erosión Hídrica				Erosión eólica			
	No	Ligera	Moderada	Grave	No	Ligera	Moderada	Grave
Calera Norte	9	1	4	0	14	0	0	0
Cañas	43	1	0	0	44	0	0	0
Constitución	75	1	0	0	76	0	0	0
Río Ceballos	15	15	3	0	33	0	0	0
San Vicente	31	13	14	0	57	0	0	0

Fuente: Jarsún et al., 2006

En la pedanía Río Ceballos, donde se encuentra la cuenca en estudio, 15.000 ha presentan erosión hídrica ligera y 3.000 ha, moderada. Todas las pedanías presentan alguna clase de susceptibilidad a la erosión hídrica y en menor medida eólica (Tabla 2). La pedanía Río Ceballos tiene alrededor de 31.000 ha con susceptibilidad a la erosión hídrica.

Tabla 2: Clases de susceptibilidad a la erosión por pedanía en miles de hectáreas

Pedanía	Erosión Hídrica				Erosión eólica			
	No	Ligera	Moderada	Grave	No	Ligera	Moderada	Grave
Calera Norte	0	0	1	12	10	4	0	0
Cañas	34	9	1	0	36	8	0	0
Constitución	62	13	1	0	75	1	0	0
Río Ceballos	2	2	15	14	15	18	0	0
San Vicente	3	4	13	38	36	21	0	0

Fuente: Jarsún et al., 2006

La mayoría de los cursos de agua de este departamento (Arroyo Mal Paso, La Quebrada, Unquillo y Reducción) se originan en la vertiente oriental de las Sierras Chicas y vuelcan sus aportes en el Río Ceballos y arroyo Saldán. El Dique La Quebrada, almacena el caudal del Río Ceballos y abastece de agua potable a las localidades próximas. Además constituye un importante factor de atracción turística, como los demás paisajes que forman los cursos de agua y el ámbito serrano (Dirección General de estadística y Censos de la Provincia de Córdoba, 2003).

Caracterización física de la Cuenca

a) Aspectos geomorfológicos

(Jarsún et. al, 2006)

La cuenca en estudio está dentro de la formación geomorfológica *Sierra Chica* que es un cordón orientado de Norte a Sur, en el área central de la provincia, ubicado en el borde oriental de las Sierras Pampeanas.

La Sierra Chica comienza al Norte con la sierra de Masa y termina al Sur con las sierras de Las Peñas. Hacia el Oeste está limitado por los valles de Punilla y Calamuchita y al Este por un amplio piedemonte con parcial cubierta fluvio eólica y la depresión periférica.

En la ladera oriental de la Sierra Chica, los suelos son profundos e intensamente meteorizados en profundidad, proceso que se favorece además por la presencia de planos de esquistosidad subverticales, es decir rocas con la propiedad de romperse a lo largo de superficies aproximadamente paralelas, que favorecen la alteración y edafización de la roca madre.

Localmente, la red de drenaje está bien definida, con una vertiente oriental de pequeñas corrientes de agua cuyos recorridos muestran un evidente control estructural. La Sierra Chica está atravesada por los Ríos Suquía, Xanaes y Ctalamochita, con amplias cuencas de aporte en la Sierra Grande y por arroyos de menor caudal que en condiciones normales se insumen en el Piedemonte oriental o las llanuras.

b) Suelos

La parte Oeste de la cuenca se corresponde con la Unidad Cartográfica EPLi-7; y la parte Este con la EPLi-17 (Tabla 3) (Jarsún et al., 2006).

Tabla 3: Características de unidades cartográficas encontradas en la cuenca del arroyo Las Parras

	EPLi-7	EPLi-17
Índice de productividad	4%	5%
Aptitud de uso	VII	VII
Fisiografía	Sierra Chica, Pastizales de altura	Sierra Chica, sector oriental
Suelos	<ul style="list-style-type: none"> • De laderas escarpadas (Ustorthent paralítico) 50% • De laderas con exposición Sur (Hapludol lítico paralítico) 30% • De vallecitos de altura (Argiudol típico) 10% • Roca 10% 	<ul style="list-style-type: none"> • De laderas escarpadas (Ustorthent lítico paralítico) 40% • De laderas muy colinadas (Ustorthent lítico) 30% • De vallecitos (Haplustol fluvéntico) 10% • Roca 20%

Fuente: Jarsún et al., 2006

Para ambas Unidades Cartográficas, el suelo descrito en Jarsún et al., 2006, es excesivamente drenado, franco arenoso, poco profundo, pedregoso y con baja capacidad de retención de humedad.

c) Hidrología (Río Ceballos)

El abastecimiento de agua potable de Río Ceballos posee dos fuentes, por un lado la Planta Potabilizadora “La Calera” y por otro la Planta Potabilizadora “La Quebrada” ubicadas en las localidades de La Calera y Río Ceballos respectivamente. La primera de ellas se abastece a través del Dique “San Roque”, mientras que la segunda lo hace a través Dique “La Quebrada”.

El Dique La Quebrada se encuentra a 7km de Río Ceballos y tiene una capacidad de 3,3 Hm³, alcanzando un volumen máximo de 4Hm³. Por otra parte, el Dique San Roque se ubica en el Valle de Punilla y posee un volumen de 201 Hm³ alcanzando un volumen máximo de 350 Hm³ (Rodriguez, 2013).

d) Clima (Departamento Colón)

(Dirección General de estadística y Censos de la Provincia de Córdoba, 2003)

Climáticamente, el Noroeste del departamento corresponde al Dominio semihúmedo con tendencia al semi-seco de la montaña, con déficit hídrico, con invierno térmico (estación con temperaturas menores a 10 °C, que comienza el 1º de junio y termina el 21 de agosto) y sin verano

térmico (tipo Ascochinga).

El Oeste y Sur pertenecen al Dominio semi-seco, con tendencia al semi-húmedo de las planicies, con gran déficit de agua (100 a 200 mm), sin invierno térmico, del piedemonte (tipo Córdoba). El verano térmico (estación con temperatura mayor a 20 °C) comienza entre el 20 de octubre y el 20 de noviembre y termina entre el 25 de marzo y el 10 de abril.

Temperatura media anual: (Fig. 4)

Oeste del departamento: isoterma < 14 °C.

Centro del departamento: entre isotermas de 14 y 17 °C

Este del departamento: isoterma > 17 °C.

Temperatura máxima media anual: el departamento está dividido de Norte a Sur por la isoterma de 24 °C.

Temperatura mínima media anual: el departamento está dividido de Norte a Sur por la isoterma de 10 °C.

Precipitaciones: La precipitación media anual del departamento oscila entre los 600 y 700 mm, con excepción de una franja situada en el centro y con orientación de Norte a Sur, en la que el promedio varía entre los 700 y 800 mm. (Fig. 4)

Evapo-transpiración potencial: El departamento se halla dividido de Norte a Sur por la isolínea de 800 mm anuales de EP.

Déficit medio anual de agua: 100-200 mm.

Fecha de comienzo de heladas: 1ª quincena de mayo.

Fecha de finalización de heladas: 1ª quincena de septiembre.

Vientos: predominantes del sector Sudoeste.

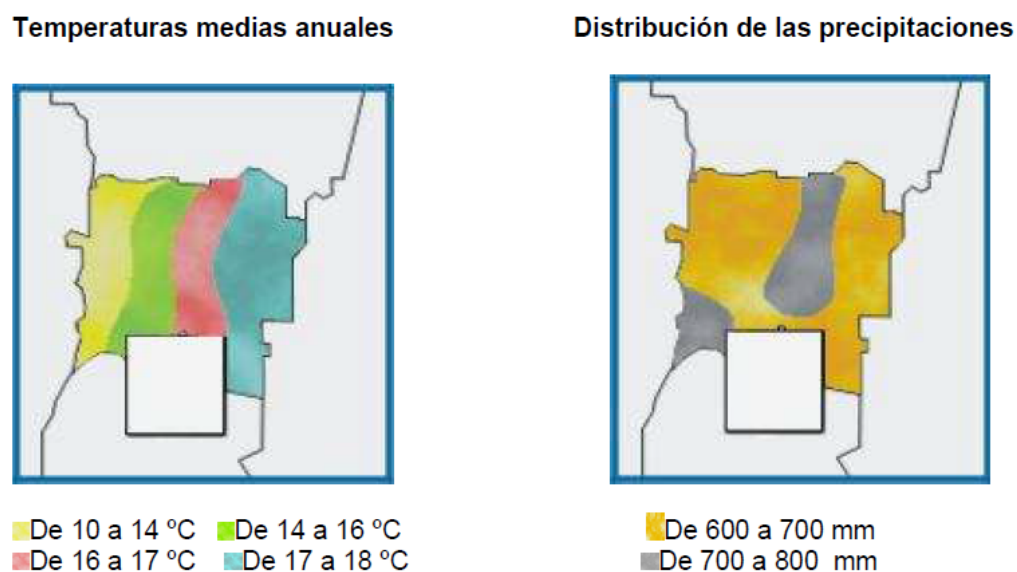


Fig. 4: Temperaturas medias anuales y distribución de las precipitaciones Departamento Colón

Fuente: Dirección General de estadística y Censos de la Provincia de Córdoba, 2003

e) Flora de la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales

Según la Ordenanza 2094 del Concejo Deliberante de Río Ceballos, la vegetación presente en La Reserva es la que se detalla a continuación. Los nombres científicos fueron corregidos según Verzino et al. (2015) e Instituto de Botánica Darwinion (2016).

1. Autóctona

1.a. Bosque Serrano

Bosque con estrato arbóreo de especies nativas. Este estrato ocupa el 21,52% de la Reserva. Dominan:

- Tala (*Celtis ehrenbergiana* (Klotzsch) Liebm.)
- Molle (*Lithraea molleoides* (Vell.) Engl.)
- Coco (*Zanthoxylum coco* Gillies ex Hook. f. & Arn.)
- Blanquillo o Palo de leche (*Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B. Sm. & Downs)
- Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schlectendal)
- Falso tala (*Bougainvillea stipitata* Griseb.)
- Sombra de toro (*Jodina rhombifolia* (Hook & Arn.) Reissek)

- Manzano del campo (*Ruprechtia apetala* Wedd.)
- Algarrobos (*Prosopis* spp.)

1.b. Bosque secundario o Arbustal alto

Bosque dominado por arbustos o arbolitos altos y densos. En general ocurren luego de desmontes, tala, o sobrecarga ganadera. Este estrato ocupa el 32,2% de la Reserva. Dominan:

- Espinillo (*Vachellia caven*)
- Garabato hembra o Uña de gato (*Senegalia praecox* (Griseb.) Seigler & Ebinger)
- Piquillín (*Condalia* spp.)
- Moradillo (*Schinus fasciculatus* (Griseb.) I.M. Johnst. Var. fasciculata)
- Cucharero (*Porlieria microphylla* (Baill.) Descole, O'Donell & Lourteig)

1.c. Arbustal o Matorral

Se presentan como matorrales de arbustos o arbolitos bajos, fruto de la modificación antrópica del bosque. Dicho estrato ocupa el 16,37% de la Reserva. Dominan:

- Romerillo (*Baccharis aliena* (Spreng.) Joch. Müll.)
- Barba de tigre (*Colletia spinosissima* J.F. Gmel.)
- Chilca (*Flourensia oolepis* S.F. Blake)

1.d. Pastizal

Se encuentran en las mayores altitudes incluyendo las zonas de “chacras”, alternándose con sectores de roquedales (roca y piedra expuesta). Este estrato ocupa el 18,37% de la Reserva. Domina:

- Stipa (*Jarava ichu* Ruiz & Pav.)

2. Exótica

Bosques de vegetación exótica cubren La Reserva en un 7,77%. Dominan:

- Siempre verde (*Ligustrum lucidum* W.T.Aiton)
- Acacia (*Gleditsia triacanthos* L.)
- Mora (*Morus* sp.)

- Olmo (*Ulmus* sp.).
- Bandera española (*Lantana camara* L.)
- *Crataegus* sp.
- *Pyracantha* sp.

En la figura 5 se muestra la distribución de los diferentes estratos de vegetación dentro de la Reserva.

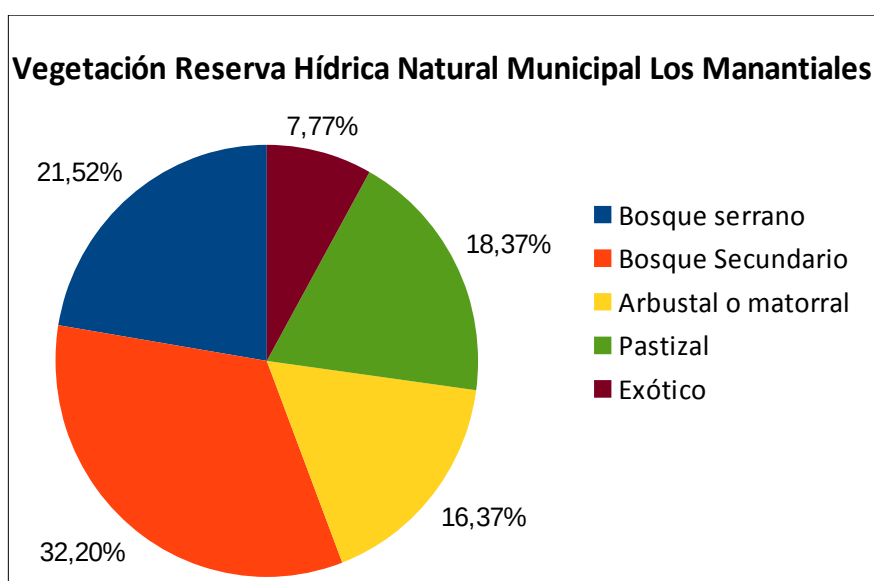


Fig. 5: Vegetación Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.

Fuente: Elaboración propia con datos de <http://rioceballos.gov.ar/tramites-y-servicios/reserva-hidrica-natural-municipal-los-manantiales/>

f) Aspectos demográficos

La pirámide poblacional de Río Ceballos (Fig. 6) puede clasificarse como progresiva, ya que presenta una base ancha frente a unos grupos superiores que se van reduciendo, consecuencia de una natalidad alta y de una mortalidad progresiva según la edad; indica una estructura de población eminentemente joven y con perspectivas de crecimiento.

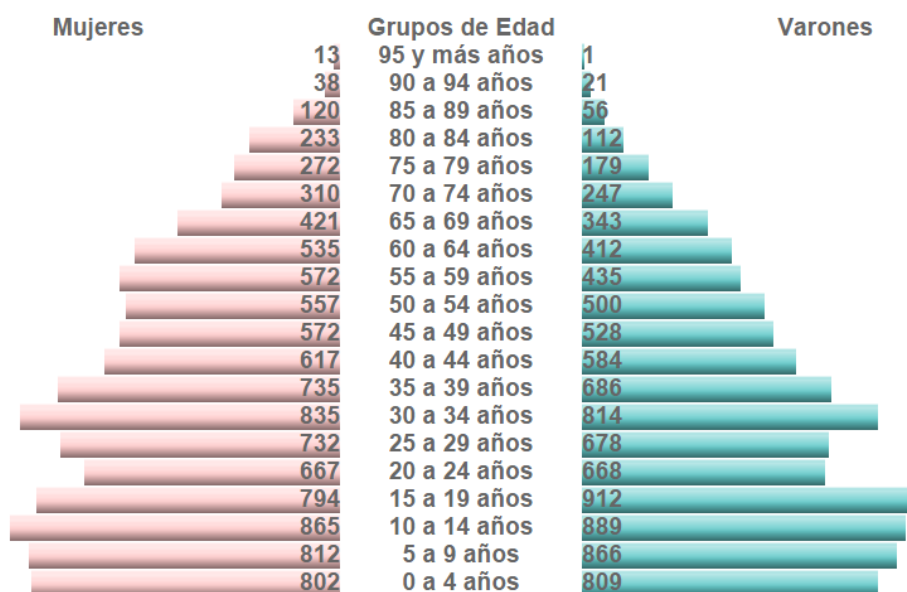


Fig 6: Pirámide poblacional Río Ceballos

Fuente: INDEC. Censo Nacional de población, hogares y vivienda 2010

Esta pirámide corresponde normalmente a países subdesarrollados debido a las altas tasas de mortalidad y a una natalidad alta y descontrolada. Además, puede notarse que jóvenes de entre 20 y 29 años aparentemente migran. Se presume que lo hacen para continuar con sus estudios terciarios o universitarios, y luego de concluidos retornan a Río Ceballos.

La población total de la Ciudad era de 20.242 para el Censo Nacional de población, hogares y vivienda de 2010 (Tabla 4) y había aproximadamente 93 varones por cada 100 mujeres. Se puede observar un gran crecimiento de la población de Río Ceballos (Tabla 5). Entre 1991 y 2001 aumentó en 2400 habitantes; y en casi la misma cantidad de años, para el periodo 2001-2010, aumentó en 3610 habitantes.

Tabla 4: Población total por sexo e índice de masculinidad. Río Ceballos

Población total	Sexo		Índice de masculinidad
	Varones	Mujeres	
20.242	9.740	10.502	92,74

Fuente: INDEC. Censo Nacional de población, hogares y vivienda 2010

Tabla 5: Cantidad de habitantes Río Ceballos

Censo	Habitantes
1991	14.232
2001	16.632
2010	20.242

Fuente: INDEC. Censo Nacional de población, hogares y vivienda 1991, 2001, 2010.

g) Uso de Suelo (Departamento Colón)

El uso de suelo es predominantemente agrícola (55%) (Tabla 6), concentrado hacia el Este del departamento. En el Oeste, correspondiéndose con el cordón montañoso de las Sierras Chicas, el uso predominante es ganadero y urbano.

Tabla 6: Uso de Suelo en ha y porcentaje en el Departamento Colón

		Superficie (ha)	Participación (%)
Total		178170,6	100
Agricultura		98153,4	55,09
Ganadería	Total	68708,6	38,56
	Pasturas perennes	11383,2	6,39
	Verdeos de Invierno	4630	2,6
	Verdeos de verano	5431,8	3,05
	Campo Natural sin monte	27646	15,52
	Campo Natural con monte	19617,6	11,01
Forestal, hortícola y otros		5295,3	2,97
Cascos, Caminos, Desperdicios		6013,3	3,38

Fuente: Dirección General de estadística y Censos de la Provincia de Córdoba, 2003

Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales

Dentro de la cuenca del Arroyo Mal Paso se encuentra la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales (Fig. 7). Como se mencionó anteriormente, esta cuenta con una superficie de 1040 ha y reviste gran importancia ambiental y socio-económica, como lo menciona la Ordenanza 2094/14 de Río Ceballos. Pertenece a una zona de máxima conservación en la Ley Provincial 9814, Ley de Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos de la Provincia de Córdoba. Su bosque nativo provee de un servicio ambiental fundamental para la calidad de vida: regular la cantidad y calidad de agua disponible en toda la cuenca del Arroyo Mal Paso y el Arroyo Isquitipe (Río Ceballos). Además, previene graves problemas de erosión de suelo, deslizamiento y desmoronamientos, tanto dentro de la cuenca del Mal Paso, como aguas abajo de la misma, es decir centro y sur de Río Ceballos, Unquillo y otras localidades hacia el sur.

Por otra parte, tanto el Municipio como la Cooperativa que distribuye el agua potable se sirven de esta cuenca en particular, sumada a la cuenca hídrica del Embalse La Quebrada.

El Arroyo Mal Paso y sus alrededores, sumado a Las Pisaditas, constituyen el patrimonio natural y cultural de la comunidad de Río Ceballos y posee un gran potencial como recurso turístico principal de la localidad, tanto para vecinos como para turistas de otras procedencias.

La Reserva cuenta con un Consejo de Gestión formado por representantes de la Municipalidad de Río Ceballos, de la comunidad, y de Organizaciones Civiles, como la Asociación Civil Los Manantiales. Sus principales funciones son:

- Establecer su propio reglamento de funcionamiento.
- Gestionar la Reserva siguiendo lo establecido en el Plan de Manejo.
- Promover para el territorio de la Reserva y sus áreas de amortiguación, políticas de ordenamiento territorial que prioricen la conservación del ambiente y el desarrollo sustentable.
- Facilitar y garantizar la participación de la comunidad.
- Facilitar la coordinación interinstitucional en la construcción de acuerdos y apoyos a la gestión de la Reserva.
- Promover el intercambio de experiencias con otras iniciativas de conservación regional.
- Comunicar y socializar la gestión del área natural protegida, garantizando el acceso público a la información.
- Organizar o apoyar cursos, talleres u otras actividades de trabajo o de formación referidas a las temáticas del Plan de Manejo y de la Reserva.

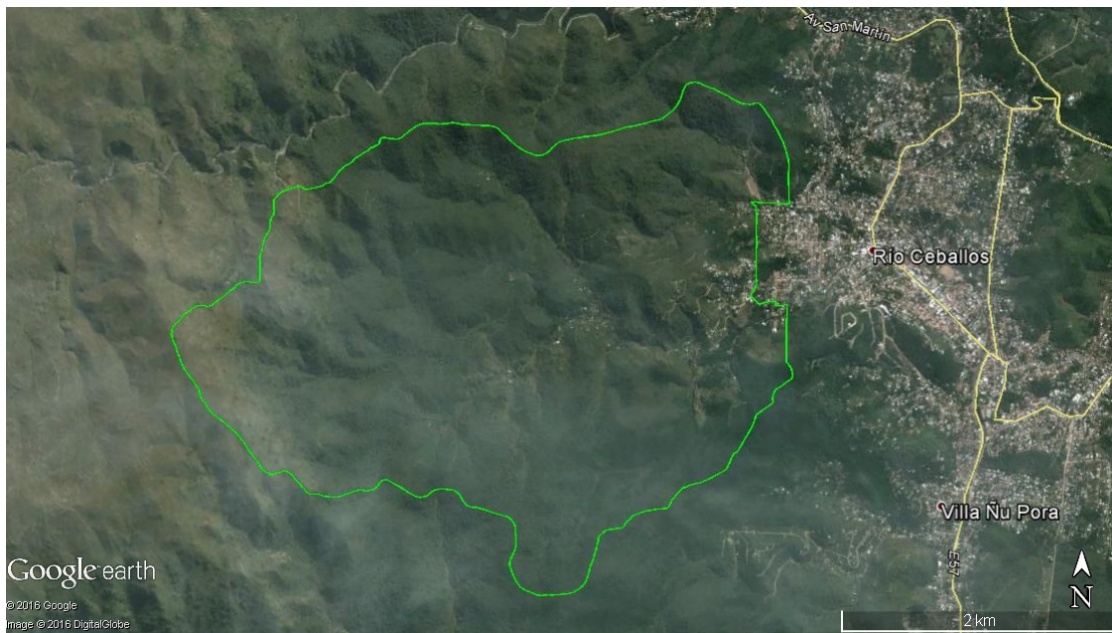


Fig 7: Límite Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales

Fuente: Ordenanza 2094 Concejo Deliberante de Río Ceballos

PROBLEMÁTICA

Luego de un análisis de la región, se pueden establecer como prioritarios los siguientes problemas:

➤ Gran variabilidad en la disponibilidad hídrica que oscila entre periodos de emergencia hídrica por sequía (Fig. 8) e inundaciones (Fig. 9): Esto está asociado por un lado a la gran variabilidad interanual de precipitaciones y al marcado régimen monzónico que concentra las precipitaciones en el periodo estival; y por el otro, a factores antropogénicos que modifican la cobertura, avanzando sobre el bosque nativo y aumentando el volumen de agua escurrida. El agua que escurre no puede quedar almacenada en el suelo e ir liberándose progresivamente a los cauces; entre tanto, en años de precipitaciones inferiores a la media se intensifica la demanda insatisfecha de agua. Entre estos factores antropogénicos se destacan:

- Urbanización: El desarrollo urbano, la pavimentación y la proporción cada vez menor de espacios verdes en relación con las zonas edificadas trae como consecuencia un aumento notable de los escurrimientos pluviales en las ciudades (Ambrosino et al., 2011). Además se suma el enorme impacto negativo paisajístico al entorno y la pérdida de un valor estético turístico y recreativo, preocupante en una localidad como Río Ceballos que depende principalmente de su inserción en un entorno natural históricamente valorado (Asociación Civil Los Manantiales, 2010) (Fig. 10).
 - Incendios: Sierras Chicas es un área que frecuentemente padece el problema de los incendios (Fig. 11). Estos poseen una relación directa con las inundaciones ya que destruyen la cobertura vegetal y, al producirse próximos a la temporada de lluvias, favorecen la escorrentía por haber sido la causa de la pérdida del suelo y su vegetación (Deon, 2014).
 - Desmonte para uso agropecuario y sobrepastoreo.
 - Invasión del bosque nativo por especies exóticas como *Ligustrum lucidum* (Siempreverde), *Gleditsia triacanthos* (Acacia negra) y *Pyracantha coccinea* (Espino de fuego o piracanta), asociadas principalmente a zonas próximas al centro urbano, en los márgenes de arroyos y en zonas con disturbios (Salazar et al., 2013). Estudios recientes sugieren que que la sustitución de árboles nativos por exóticos alterarían el equilibrio del agua mediante el aumento de la evapotranspiración (Zeballos et al., 2014) y contribuyen a la pérdida de biodiversidad.
- Contaminación de cursos de agua: relacionada con la concentración urbana los márgenes de ríos y arroyos, que en general no cuentan con un sistema eficiente de captación y tratamiento

de efluentes. Un estudio desarrollado en 2005 por Biagi Bistoni et al. en la cuenca de Río Ceballos revela que las concentraciones de bacterias aumentan en los meses de verano, en muchos casos superando los límites establecidos para aguas recreativas. Los niveles en invierno se mantienen bajos.



Fig. 8: Cota del Dique La Quebrada 10m por debajo de la cota normal. Noviembre de 2009

Fuente: httpwww.perfil.comfotogaleria.htmlfilename=contenidos20091105noticia_0019.html



Fig. 9: Inundaciones en Río Ceballos. Febrero de 2015

Fuente: <httpsheredialili.wordpress.com20150310lo-que-el-agua-se-llevo>



Fig. 10: Ingreso de maquinaria no autorizada, resurgimiento de antiguos loteos en la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.

Fuente: Facebook Asociación Civil Los Manantiales



Fig. 11: Incendio forestal Reserva Hídrica La Quebrada. Abril de 2011

Fuente: [httpwww.lavoz.com.ar/noticiassucesoscontienen-incendio-forestal-reserva-rio-ceballos](http://www.lavoz.com.ar/noticiassucesoscontienen-incendio-forestal-reserva-rio-ceballos)

METODOLOGÍA

Delimitación de la Cuenca

Las cuencas hidrográficas son unidades físicas a las que las divisorias de aguas separan superficialmente (Fattorelli et al., 2011). Estas últimas se pueden reconocer al observar que las curvas de nivel de menor cota “envuelven” a las de mayor cota (Ruiz Posse et al., 2014). Es por ello que para delimitar la cuenca en estudio se comenzó por reconocer las divisorias de aguas. Para ello, se obtuvieron curvas de nivel con equidistancia de 10 m desde Google Earth del área de la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales, por medio del software de sistema de información geográfica Global Mapper. A través del análisis de las curvas de nivel en Qgis y de la observación de la variación del relieve mostrada por Google Earth, se determinaron las divisorias de aguas.

Luego, se localizaron las vías de escurrimiento (aquellas en las que las curvas de mayor valor de cota envuelven a las de menor valor) (Ruiz Posse et al, 2014) de las cuencas identificadas y se midieron o calcularon parámetros geomorfológicos básicos (Fatorelli, 2011) como área, altura máxima, mínima, desnivel y longitud del cauce principal para las cuencas identificadas.

Caracterización de la cuenca del arroyo Las Parras

Caracterización social

Se recurrió a una encuesta realizada por la Asociación Civil Los Manantiales en conjunto con el Municipio de Río Ceballos, llevada a cabo a mediados de 2009 a las familias habitantes del área protegida. Se censó a un total de 294 encuestados y participaron como encuestadores voluntarios, los vecinos convocados por la ONG. El objetivo de la misma fue realizar un diagnóstico socio-económico del área protegida, como información de base en la elaboración del Plan de Manejo.

Parámetros Geomorfológicos Básicos

(Anexo 1)

Pueden ser calculados fácilmente haciendo uso de sistemas de información geográfica integrados a modelos hidrológicos y son de gran utilidad para establecer una afinidad hidrológica entre cuencas comparables (Fatorelli et al., 2011). Se calcularon algunos parámetros geomorfológicos básicos como Superficie, Perímetro, Altura máxima, Altura mínima, Desnivel, índice de Compacidad de Gravelius, Radio de elongación y Longitud y pendiente del cauce principal para caracterizar hidrológicamente la subcuenca del arroyo Las Parras.

Zonificación de la cuenca en función de la cobertura y uso de suelo

La clasificación digital de imágenes satelitales es una técnica apropiada para la zonificación en función de la cobertura y uso de suelo. La imagen multibanda se transforma en otra imagen del mismo tamaño y características de las originales, con la diferencia que el nivel digital de cada píxel no tiene relación con la radiancia detectada por el sensor, sino con una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese píxel (Chuvieco, 2002).

Se trabajó con una clasificación supervisada realizada por el consejo de gestión de la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales para toda la Reserva, en ArcGIS™10, con una resolución espacial de 5 m, a partir de una imagen de noviembre de 2010. Los criterios empleados en la fase de asignación fueron el de máxima probabilidad y el de mínima distancia. Según Chuvieco (2002) estos criterios consisten en:

Clasificador de máxima probabilidad: considera que los niveles digitales en el seno de cada clase se ajustan a una distribución normal. Esto nos permite describir esa categoría por una función de probabilidad, calcular la probabilidad de un píxel de pertenecer a cada categoría y asignarlo a aquella que maximice la función de probabilidad.

Clasificador de mínima distancia: consiste en incluir cada píxel en la clase más cercana; esto es, en aquella que minimice la distancia entre ese píxel y el centroide de la clase. No se trata de una distancia geográfica, sino espectral, consecuencia de comparar los niveles digitales de cada píxel con los del centro de las distintas categorías.

También se consultó en 2014 a Google Earth e imagen RapidEye. El mapa de clasificación establece 6 clases de cobertura. Se obtuvo el archivo ráster con los resultados de dicha clasificación y se procedió a recortarlo en el software Qgis para trabajar solamente con la superficie correspondiente a la cuenca del arroyo Las Parras. Luego se vectorizó ese archivo ráster para calcular la superficie ocupada por cada clase.

Previamente, se había realizado una clasificación no supervisada por el criterio de máxima probabilidad en la fase de asignación sobre una imagen satelital de Landsat 8, correspondiente al 19/01/2016, con resolución espacial de 30 m. Se eligió esta fecha por la ausencia de nubosidad que interfiera en la clasificación. Debido a que la cuenca en estudio se encuentra en zona de montaña, con pendiente media de 15,66%, los resultados no fueron los esperados y se hizo necesario considerar los efectos del gradiente y dirección de la pendiente. Si no se tiene en cuenta el efecto del relieve, la reflectividad medida para la misma cubierta en distintas laderas puede ser muy variada, implicando severos problemas en el reconocimiento y clasificación de coberturas.

Estimación de la incidencia de la urbanización sobre el comportamiento hídrico de la cuenca

Para estimar la incidencia de la ejecución de obras de urbanización sobre el comportamiento hídrico de la cuenca a partir del escurrimiento se utilizó el software HEC-HMS.

Se modelaron tres situaciones:

- **Situación actual:** con cobertura y uso de suelo de 2010, descrita por la clasificación supervisada realizada por el Consejo de Gestión de la Reserva y publicada en el Anexo I de la Ordenanza 2094 del Concejo Deliberante Río Ceballos.
- **Situaciones teóricas:** cobertura de suelo probable, efectiva en el caso que se urbanicen:
 - a) el 100% de la superficie ocupada por los loteos aprobados por la Dirección de Catastro aproximadamente en la década del '40-'50¹ (Fig 12)
 - b) el 20% de la superficie ocupada por los loteos aprobados por la Dirección de Catastro aproximadamente en la década del '40-'50¹ (Fig 12)

La superficie ocupada por loteos se incluye en la clase de urbanización, y se resta de las otras clases presentes en la situación actual.

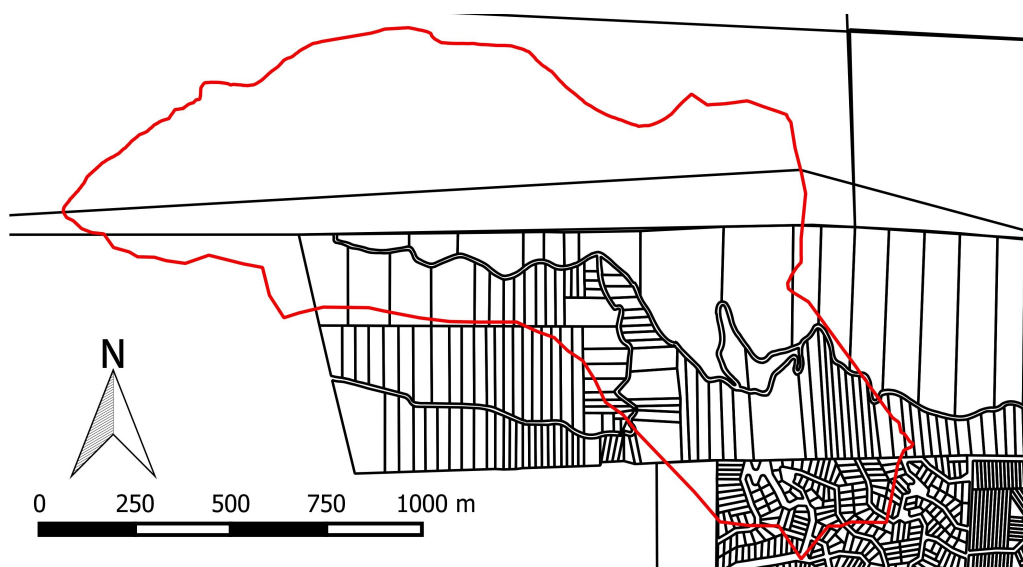


Fig. 12: Loteos cuenca del arroyo Las Parras.

Referencias: — Cuenca del Arroyo Las Parras

— Loteos aprobados por catastro en la década '40-'50

Fuente: Ordenanza 2094 Concejo Deliberante Río Ceballos

¹Comunicación personal Cristian Schneider. Ex miembro Asociación Civil Los Manantiales.

Lluvia de diseño

La precipitación de diseño empleada en el modelo es aquella obtenida de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para un tiempo igual al tiempo de concentración de la cuenca en estudio (60 minutos) y un periodo de retorno de 25 años (Fig. 13). La distribución temporal de la precipitación de diseño es la que arroja el hietograma de diseño para la citada curva IDF, ambos desarrollados para la zona Sierra Chica por CIRSA (Caamaño Nelli et al., 2010).

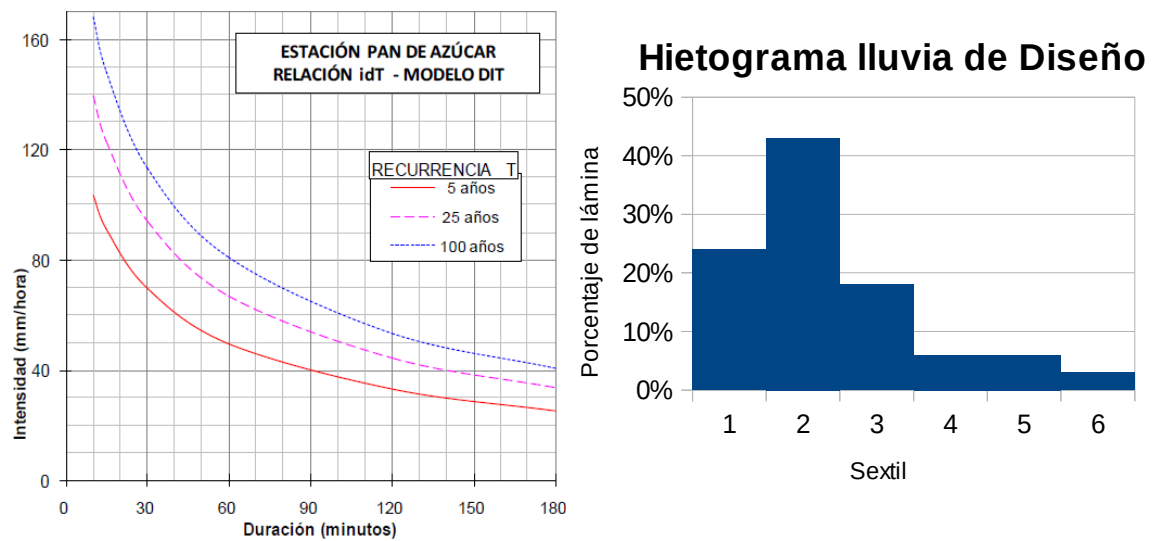


Fig. 13: Curva de Intensidad-Duración-Frecuencia e hietograma de diseño

Fuente: Caamaño Nelli et al, 2010

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Delimitación de la cuenca

Al estar ubicada el área de estudio en una zona de montaña con grandes variaciones en la topografía y pronunciada pendiente, no se encontraron mayores complicaciones en su delimitación; como lo describen Gaspari et al (2013) para cuencas de montaña.

Se definieron dos cuencas hidrográficas que albergan a la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales y tienen su punto de salida hacia la ciudad de Río Ceballos. La cuenca Norte abarca el Noreste de la Reserva y tiene una superficie de 159 ha; mientras que la Sur, de 905 ha, alberga al resto del área protegida. Esta última cuenca contiene a la subcuenca del Arroyo Las Parras, de 142 ha, objeto de estudio del presente trabajo. (Fig.14)

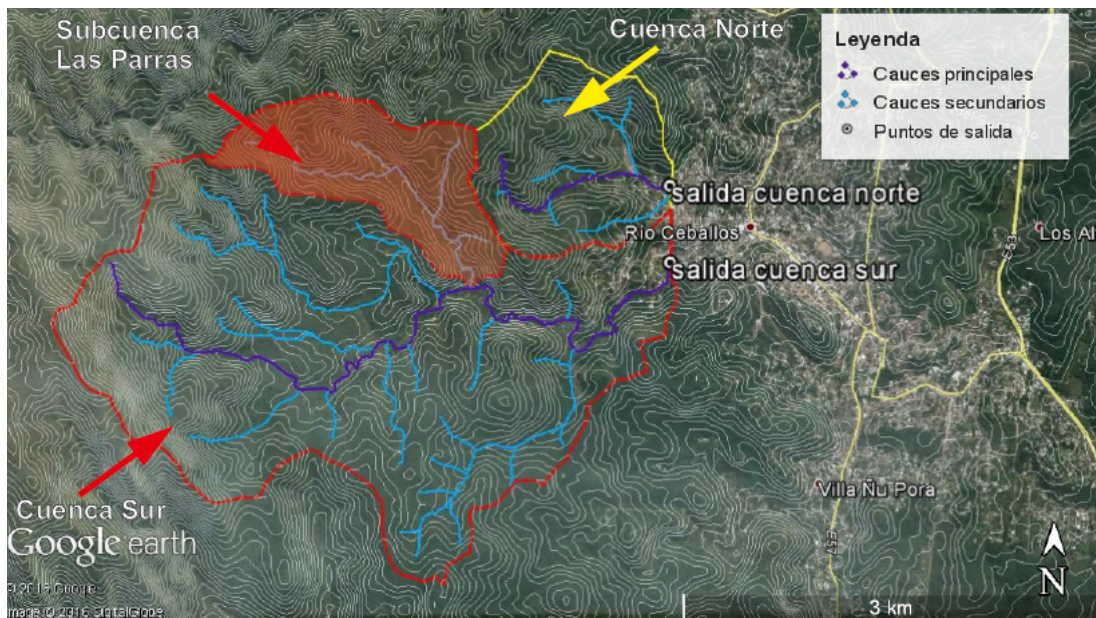


Fig. 14: Delimitación cuencas hidrográficas Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.

Fuente: elaboración propia

Se obtuvieron los siguientes parámetros geomorfológicos básicos (Fatorelli et al., 2011) como área, altura máxima, mínima, desnivel y longitud del cauce principal. (Tabla 7)

Tabla 7: Parámetros geomorfológicos básicos. Cuencas Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales.

Cuenca	A (ha)	H max (msnm)	H min (msnm)	Desnivel (m)	L _c (km)
Norte	905	930	730	200	1,68
Sur	159	1200	740	460	5,7

Fuente: Elaboración propia.

A: Superficie (ha)

H max: Altura máxima (msnm)

H min: Altura mínima (msnm)

D: Desnivel (m)

L_c: Longitud cauce principal (km)

Caracterización de la cuenca del arroyo Las Parras

Caracterización social

Los resultados arrojados por la encuesta se nuclearon en 11 ítems y se resumen a continuación:

1. **General:** del total de encuestados, el 49,32% corresponde al sexo masculino y el 50,68% al femenino, que habitan en un total de 75 unidades habitacionales. La edad promedio dentro de la reserva es de 27,85 años.
2. **Agua:** En la mayoría de los casos se obtiene agua de pozo, de la Cooperativa o comprada; aunque también se ha detectado en menor medida obtención del recurso desde arroyos, vertientes y recolectada de la lluvia. El consumo promedio diario ronda los 131 litros, y este valor se encuentra 70 litros por debajo del consumo promedio de Río Ceballos, lo que permite pensar en una importante sensibilidad en el cuidado del agua.
3. **Efluentes:** La mayoría son depositados en cámaras sépticas o sangrías, aunque en algunos casos (casi 3%) se están utilizando medios ambientalmente compatibles como la fitodepuración para el tratamiento de los mismos.
4. **Residuos:** Solamente en un poco más de la mitad de las viviendas censadas pasa el recolector de residuos. El 68% de los casos realiza separación en origen de residuos inorgánicos y orgánicos, y el 21% destina estos últimos a la elaboración de compost.
5. **Salud:** El 85% de los casos se declara en un estado bueno de salud. Entre los problemas de salud se detectan enfermedades de origen respiratorio y asma, hepáticas, cardíacas y diabetes. Las enfermedades más frecuentes son principalmente resfriados y alergias, y algunos casos de

problemas dermatológicos, parásitos, entre otras.

6. Alimentación: Los encuestados informaron que se basa en verduras y frutas, carne, pan, lácteos y cereales. El 23% de los encuestados poseen huerta en la que trabajan regularmente.

7. Animales domésticos: en promedio, existe casi 1 perro por unidad habitacional. Se detectaron varios gallineros, caballos, burros, gansos entre otros animales.

8. Infraestructura: casi el 55% de las viviendas poseen energía eléctrica. Las que no poseen la generan por medio de motores, paneles solares y por medio de generadores eólicos. La calefacción se realiza por medio de salamandras, hogares y estufas a gas principalmente. Los calefones a leña alcanzan el 33% de los casos encuestados.

9. Transporte: Casi el 70% de los encuestados se desplazan caminando, aunque en varios casos se movilizan en autos, camionetas, motos y bicicleta, totalizando el 30% restante.

10. Educación: Se distinguen todos los niveles educativos. Casi el 10% de los encuestados declara no haber concluido ningún nivel educativo. La mayoría de los habitantes jóvenes poseen el secundario completo y en menor porcentaje estudios terciarios y universitarios.

11. Reserva: El tiempo de residencia promedio es de casi 15 años. La mayoría de los vecinos eligieron el sector para mejorar su calidad de vida, por afinidad al entorno, por ser nacido en el área y por afinidad con los vecinos; y son propietarios de la unidad habitacional. En la mayoría de los casos, más del 87%, consideran que es muy importante la regulación de la mayoría de las actividades dentro de la reserva, como el uso del agua y del suelo, sanidad del aire, protección de flora y fauna, actividades económicas, superficie máxima edificable por parcela, ruidos, animales domésticos y tratamiento de efluentes y residuos. Sin embargo, sólo el 63 % de los encuestados dijeron conocer que viven dentro de una reserva. Sería de esperar que en la actualidad ese porcentaje se haya elevado ya que el Consejo de Gestión de la Reserva realiza actividades, talleres y folletería, como una manera de concientizar a los residentes de la Reserva y de informarles que viven dentro de la misma, y que existe una ordenanza (la 2094/14) que regula las acciones que se permiten o se prohíben. Así mismo, establece líneas prioritarias de investigación y solicita a los investigadores que garanticen la divulgación de los resultados.

Parámetros Geomorfológicos Básicos

(Anexo 1)

Los parámetros geomorfológicos básicos obtenidos para la cuenca del Arroyo Las Parras se muestran en la Tabla 8. Los parámetros índice de Compacidad de Gravelius y Radio de elongación, sumado a la observación de los límites de la cuenca, confirman que la forma de la cuenca es alargada.

Los parámetros desnivel y pendiente del cauce principal coinciden con los esperados para una cuenca de montaña.

Tabla 8: Parámetros geomorfológicos básicos cuenca del arroyo Las Parras

A (ha)	P (m)	H max (msnm)	H min (msnm)	D(m)	I _c	R _e	L _c (km)	P _c (%)
142	6160	1130	790	340	1,458	0,619	2,49	6,8

Fuente: Elaboración propia

A: Superficie (ha)

P: Perímetro (m)

H max: Altura máxima (msnm)

H min: Altura mínima (msnm)

D: Desnivel (m)

I_c: Índice de Compacidad de Gravelius

R_e: Radio de elongación

L_c: Longitud cauce principal (km)

P_c: Pendiente del cauce principal (%)

Índice de Compacidad de Gravelius: mientras más cercano a la unidad sea el coeficiente de compacidad, la forma de la cuenca se aproxima a la circular, y entre más alejado de ella, más irregular es su forma en relación con el círculo

Radio de elongación: alcanzará como valor máximo la unidad, para una figura perfectamente circular, disminuyendo luego, a medida que la forma de la cuenca se aleje de dicha configuración.

Zonificación de la cuenca en función de la cobertura y uso de suelo

Se presenta a continuación el mapa resultante de la Clasificación Supervisada para la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales, recortada para trabajar solamente con la superficie de la cuenca del arroyo Las Parras y vectorizada para medir la superficie ocupada por cada una de las 6 clases de cobertura. (Fig. 15).

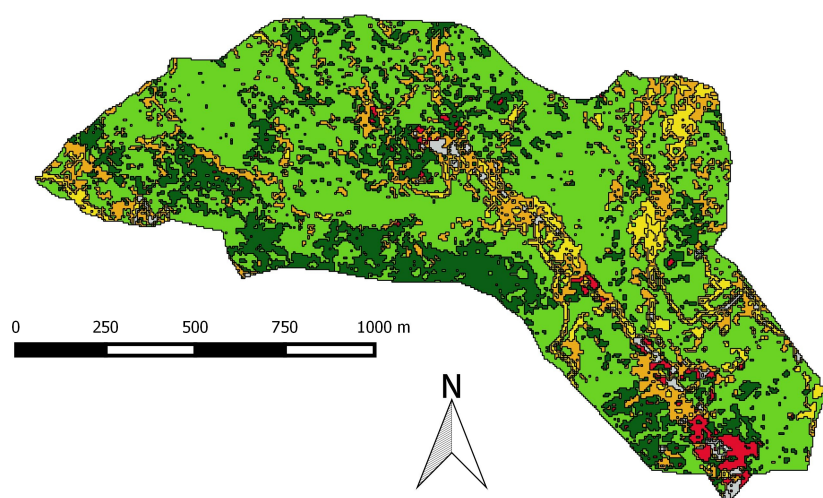


Fig. 15: Mapa de cobertura del suelo cuenca del arroyo Las Parras

Fuente: Anexo I Ordenanza 2094 Concejo Deliberante Río Ceballos

Referencias:

	Bosque secundario- arbustal alto
	Bosque cerrado denso
	Bosque exóticas
	Arbustal o matorrales
	Pastizal
	Suelo desnudo o de baja cobertura

Luego de comparar la clasificación de la cuenca del arroyo Las Parras con imágenes de Google Earth y con la visita al área de estudio, se asume que la clase suelo desnudo o de baja cobertura se corresponde con edificaciones y caminos, y pasará a nombrarse desde ahora como Urbanización. Las superficies ocupadas por cada clase se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9: Superficie y participación en la superficie total de las clases de cobertura de suelo.

	Sup (ha)	Participación (%)
Bosque secundario - arbustal alto	82,15	57,99
Bosque cerrado denso	25,73	18,16
Bosque exóticas	2,22	1,57
Arbustal o matorrales	20,27	14,31
Pastizal	9,54	6,73
Urbanización	1,75	1,24
Total	142	100,00

Fuente: Elaboración propia en base a Anexo I Ordenanza 2094 Concejo Deliberante Río Ceballos.

Estimación de la incidencia de la urbanización sobre el comportamiento hídrico de la cuenca

Para las situaciones teóricas planteadas se estimó la nueva participación de las clases de cobertura de suelo sumando la superficie ocupada por los loteos a la clase urbanización, y restándola en proporciones iguales de las otras clases presentes en la situación actual (Tablas 10 y 11).

Tabla 10: Superficie y participación en la superficie total de las clases de cobertura de suelo para la situación teórica en la que se urbanice el 100% de los loteos.

	Sup (ha)	Participación (%)
Bosque secundario - arbustal alto	36,95	26,02
Bosque cerrado denso	9,75	6,86
Bosque exóticas	0,69	0,49
Arbustal o matorrales	9,08	6,40
Pastizal	3,50	2,47
Urbanización	81,98	57,73
Total	142,00	100,00

Fuente: Elaboración propia en base a Anexo I Ordenanza 2094 Concejo Deliberante Río Ceballos.

Tabla 11: Superficie y participación en la superficie total de las clases de cobertura de suelo para la situación teórica en la que se urbanice el 20% de los loteos.

	Sup (ha)	Participación (%)
Bosque secundario - arbustal alto	73,08	51,59
Bosque cerrado denso	25,10	17,72
Bosque exóticas	2,21	1,56
Arbustal o matorrales	19,96	14,09
Pastizal	9,51	6,71
Urbanización	11,79	8,32
Total	142	100,00

Fuente: Elaboración propia en base a Anexo I Ordenanza 2094 Concejo Deliberante Río Ceballos.

Elección de número de curva para cada clase: (ver Anexo 4)

Para elegir el número de curva para cada clase, previamente se debe determinar el grupo hidrológico del suelo y la humedad antecedente.

Tipo de suelo: El suelo descrito en Jarsún et al. (2006), es excesivamente drenado, franco arenoso, poco profundo, pedregoso, con baja capacidad de retención de humedad. Se corresponde con el grupo hidrológico B (Ibáñez Asensio et al., 2002).

Condición de humedad: II. Condición promedio. Normalmente es la condición que se considera en el diseño como precedente a las crecientes (suelo en capacidad de campo) (Fatorrelli et al., 2011).

Para este grupo hidrológico de suelo y condición de humedad se asignaron los siguientes números de curva para cada caso.

- Bosque Bajo: bosque condición buena NC: 52 (Martínez de Azagra y del Río, 2003).
- Bosque Denso: bosque condición buena NC: 52 (Martínez de Azagra y del Río, 2003).
- Bosque Exóticas: bosque condición buena NC: 52 (Martínez de Azagra y del Río, 2003).

Para la clase bosques, el número de curva considera cinco condiciones hidrológicas para la infiltración en función del espesor y grado de compactación de las capas de mantillo y humus; de modo que cuanto mayor sea el espesor de dichas capas y menos compactadas e impermeables aparezcan, menor será el número de curva y con ello, la escorrentía que se produzca. Al no haber estudios comparativos de estos parámetros de humus y mantillo para los distintos tipos de bosque de la clasificación, y no haberse detectado tendencias de estos parámetros en la recorrida a campo, se seleccionó la misma condición intermedia para las tres clases.

- Matorral: matorral boscoso de transición NC: 60 (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2013).
- Pastizales: pastizales o pasto natural bueno NC: 69 (Martínez de Azagra y del Río, 2003).
- Urbanización: La Ordenanza 2094 del Concejo Deliberante de Río Ceballos establece una zonificación del territorio en función de *formaciones de vegetación y composición, estado de conservación de la misma, grado de modificación del territorio por ocupación, tipo de tenencia y usos de la tierra*. Para cada área, establece un Factor de Ocupación total (FOT), definido como *índice que indica la relación entre la superficie cubierta máxima edificada y la superficie de la parcela*. En esta zonificación, aproximadamente el 94% de la cuenca del arroyo Las Parras entra dentro del Área de Conservación, en la que el FOT será de 0,03. En menor medida, el 6% restante de la cuenca, pertenece al

Área Urbana, en la que en función de la pendiente y la superficie de la parcela el FOT oscila entre 0,12 y 0,03. (Anexos 6 y 7) Es por ello que se seleccionó para esta clase el número de curva correspondiente a tejido urbano discontinuo, definido por Naredo, Zaldívar (2008) como *aquel en que los edificios, carreteras y áreas de superficie artificial ocupan alrededor de un 50%*; o por SIAT-AC (2016) como *espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren artificialmente la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación*. NC: 78 (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2013).

El número de curva asignado a cada situación es el ponderado por la superficie que ocupa cada clase de cobertura.

Se comparan a continuación los parámetros de la cuenca utilizados en el modelo:

Tabla 12: Cuadro comparativo de parámetros utilizados para la modelación de dos situaciones

	Situación actual	Situación teórica	
		20% de loteos	100% de loteos
Superficie	1,42 km ²		
Tiempo de concentración Bransby Williams*	60 min		
Abstracción inicial*	45 mm	41 mm	25 mm
Número de curva*	53	55	67
Tiempo Lag*TR	36 min		

* Ver Anexos 4 y 5

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran como a mayor porcentaje de urbanización aumenta el caudal pico a la salida de la cuenca para una misma lluvia de diseño (Tabla 13), comprobando la hipótesis planteada: *El avance de la urbanización en la cuenca del arroyo Las Parras provoca un aumento del escurrimiento debido a una mayor superficie impermeabilizada*. Esto se debe a que la cobertura de suelo de las urbanizaciones es menos permeable a la presente en la situación actual (bosques, pastizales, matorral), tal como mencionan Cioccale (2012) y Ambrosino et al. (2004).

Tabla 13: Resultados de la corrida del modelo HEC HMS

	Situación actual	Situación teórica 20%	Situación teórica 100%
Caudal pico a la salida de la cuenca(m ³ /s)	0,8	1,1	4,2
Lámina escurrida (mm)	2,13	3,1	11
Volumen escurrido (l)	3.024.600	4.402.000	15.620.000

Fuente: elaboración personal

El agua escurrida en una lluvia de 60 minutos aumenta 45% y 416% para las situaciones teóricas con 20 y 100% de loteos respectivamente (Tabla 13).

Se presentan los gráficos entregados por HEC-HMS para las tres situaciones (Fig. 16, 17 y 18). El gráfico superior muestra la precipitación caída en cada sextil del tiempo de concentración de la cuenca, que es de 60 minutos. En el eje "x" se grafica el tiempo en horas y minutos y en el "y" la precipitación en mm. Presenta dos colores: el rojo corresponde con la porción de la precipitación que infiltra y el azul representa el agua escurrida. El gráfico inferior muestra la variación del caudal escurrido en m³/s en función del tiempo desde que inicia la precipitación. Se puede observar en el primer gráfico que a medida que aumenta la proporción de superficie urbanizada aumenta la porción azul de la precipitación caída, es decir, la porción de la precipitación que escurre. En el segundo gráfico se puede notar que cuando aumenta la proporción de superficie urbanizada también lo hace el pico de caudal escurrido.

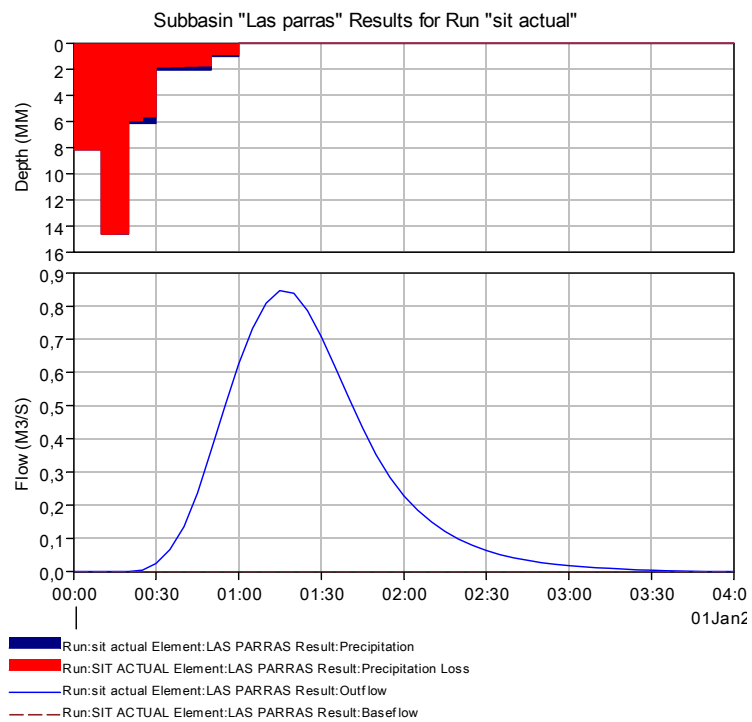


Fig. 16: Distribución de precipitación y curva de escurrimiento a la salida de la cuenca para situación actual

Fuente: elaboración propia con HEC-HMS

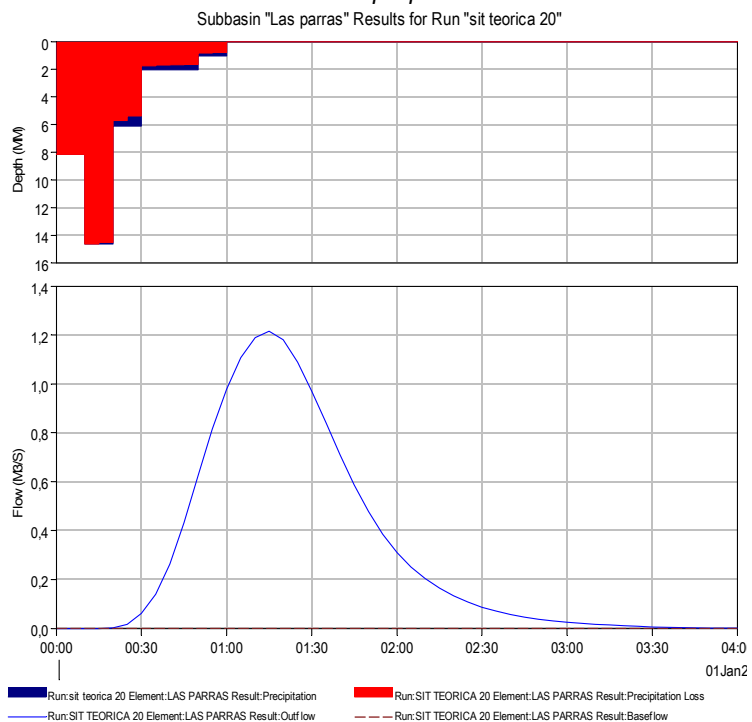


Fig. 17: Distribución de precipitación y curva de escurrimiento a la salida de la cuenca para situación teórica con urbanización del 20% de los loteos

Fuente: elaboración propia con HEC-HMS

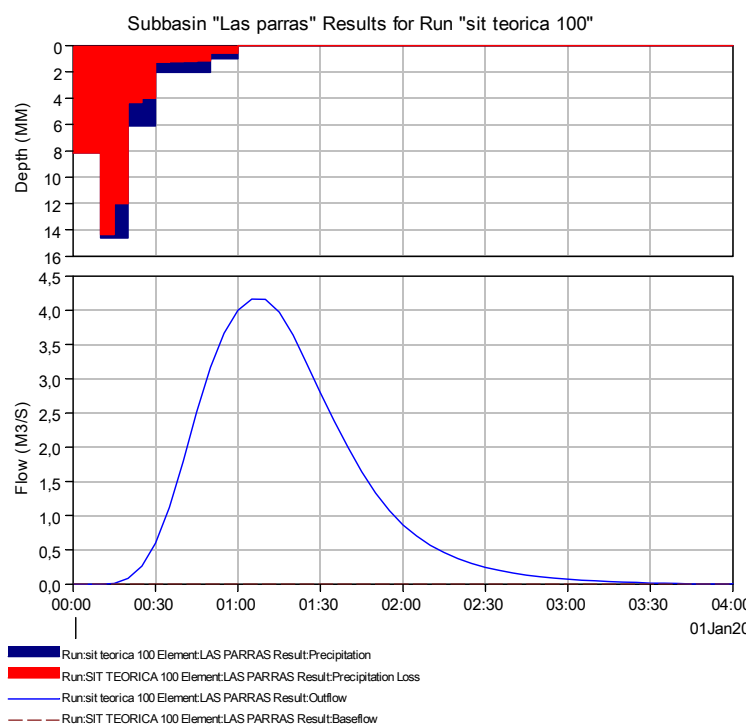


Fig. 18: Distribución de precipitación y curva de escurrimiento a la salida de la cuenca para situación teórica con urbanización del 100% de los loteos

Fuente: elaboración propia con HEC-HMS

La diferencia de agua escurrida entre la situación actual y la teórica con 100% de loteos es de 12.595.400 litros y podría cubrir el consumo de agua anual de 172 personas de Río Ceballos (que consumen en promedio 200 litros de agua por día) o de 265 personas de la Reserva (que consumen en promedio 130 litros de agua por día). De concretarse obras de urbanización en la totalidad de los loteos, serán necesarias costosas obras de ingeniería para evitar daños como inundaciones aguas abajo, es decir, en la Ciudad de Río Ceballos. Entre estas obras se encuentran las lagunas de retardo o microembalses. Según Romero (2016) un informe que aún no es público, señala que el Gobierno de la Provincia de Córdoba proyecta realizar 166 pequeños embalses en Sierras Chicas; y se sumarían a los ya aprobados 18 microembalses para los que se estimó una inversión de \$4,5 millones. Políticas como esta coinciden con las descritas por Ambrosino et al. (2004), tendientes a eliminar rápidamente el exceso de escurrimiento pluvial en vez de detener o almacenar la lluvia donde cae y así poder aprovecharla en los meses de Octubre-Noviembre en los que es frecuente la sequía (Cioccale, 2012). Además, la situación exigirá rigurosos procesos de captación y tratamiento de efluentes para evitar la contaminación de los cursos de agua que atente contra la disponibilidad de agua potable para la población. En relación a esto, la Ordenanza 2094 del Concejo Deliberante de Río Ceballos cuenta con una serie de artículos que regulan el manejo de efluentes y residuos para nuevas edificaciones y exige que toda nueva edificación cuente con un sistema de reciclado de aguas grises, con separación de

residuos inorgánicos y orgánicos en origen y una compostera para residuos orgánicos, entre otros. Asimismo, exige del pago de tasas de servicios municipales a aquellos propietarios que cuenten con un sistema de fitodepuración para el tratamiento de efluentes u otro sistema de tratamiento que deberá ser presentado con informe técnico para la evaluación por parte de la Autoridad de Aplicación.

Por último, esta pérdida de bosque nativo podrá desencadenar la invasión de especies arbóreas exóticas como *Ligustrum lucidum* (Siempreverde) , *Gleditsia triacanthos* (Acacia negra) y *Pyracantha coccinea* (*Espino de fuego o pircanta*), generalmente asociadas a zonas próximas al centro urbano, en los márgenes de arroyos y en zonas con disturbios como comprobaron Salazar et al., 2013. Estas especies tienen un impacto negativo sobre el recurso hídrico, ya que son grandes consumidoras de agua durante todo el año, lo que indica que con el tiempo los ríos y arroyos verán disminuido su caudal por la presencia de las mismas. (Agudelo Henríquez, 2015).

CONCLUSIÓN

Existe abundante información sobre el área de estudio, particularmente de la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales, desarrollada principalmente por miembros del Consejo de Gestión de la Reserva, quienes están completamente dispuestos a compartir esa información. Además, muchos investigadores tienen como objeto de estudio al grupo de ciudades desarrolladas sobre la formación geomorfológica Sierras Chicas. Esto, sumado a las posibilidades que ofrece la teledetección ambiental, permitió la caracterización de la cuenca del arroyo Las Parras en sus aspectos hidrológico, natural-ambiental y social.

El software de modelación HEC-HMS resultó apropiado para cuantificar, con los datos y los tiempos disponibles, la incidencia de obras de urbanización sobre el comportamiento hídrico de la cuenca. La simulación del escurrimiento bajo tres situaciones con diferente cobertura de suelo permitió estimar que se provoca un aumento del escurrimiento debido a una mayor superficie impermeabilizada, comprobándose la hipótesis planteada.

Los resultados del presente trabajo serán un pequeño aporte a los enormes esfuerzos del Consejo de Gestión de la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales que con el apoyo y reconocimiento social de los vecinos de Río Ceballos, luchan por la protección del bosque nativo de la Reserva y de todos los servicios que el mismo provee. Con los resultados obtenidos de la encuesta realizada por el Consejo de Gestión se podrá establecer cuáles serán las acciones más apropiadas a implementar para continuar con el apoyo de los vecinos y lograr que se involucren en el cuidado de la Reserva.

Como propuestas de trabajo a futuro se sugiere:

- La validación de los resultados obtenidos con el software HEC-HMS para esta cuenca.
- El ajuste del número de curva del área urbana para obtener un resultado más aproximado a la realidad. Se sugiere para ello calcular para cada lote aprobado en la subcuenca del Arroyo Las Parras, la superficie cubierta máxima edificada según la zonificación de la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales. (Anexos 6 y 7). Luego de ello, se podrá calcular qué porcentaje de la superficie de los loteos estará ocupada por edificaciones, y buscar en bibliografía un número de curva apropiado para esa situación.
- La evaluación del impacto social que tendrá el avance de la urbanización en la cuenca del Arroyo Las Parras.

BIBLIOGRAFÍA

Agudelo Henríquez, William. 2015. **Escenarios futuros de deforestación como herramienta para evaluar políticas de manejo en sector de Sierras Chicas de Córdoba, Argentina**. Centro de Zoología Aplicada de la Universidad Nacional de Córdoba. (Agudelo Henríquez, 2015)

Ambrosino, Silvio; Barbeito, Osvaldo; Bertoni, Juan Carlos; Daniele, Alberto; Maza, Jorge Adolfo; Paoli, Carlos Ubaldó; Serra, Juan José. 2004. **Inundaciones urbanas en Argentina**. Global Water Partnership; Programa Asociado de Gestión de Crecidas América del Sur; Universidad Nacional de Córdoba; Comité Permanente de los Congresos Nacionales del Agua; Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, 254Pp. (Ambrosino et al., 2004)

Asociación Civil Los Manantiales. 2010. **Informe sobre intervenciones a la vegetación nativa en la Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales y áreas aledañas**. Río Ceballos. (Asociación Civil Los Manantiales, 2010)

Barbeito, Osvaldo; Ambrosino, Silvio; Quintana Salvat, Francisco. 2009. **Carta Geológica y Geomorfológica como Base para la Evaluación, Mitigación de Riesgos y la Planificación Territorial en las cuencas de aporte a los ríos Salsipuedes y Saldán con cierres en las localidades homónimas**. Instituto Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Argentina (Barbeito et al., 2009)

Barchuk A., Barri F., Britos A.H., Cabido M., Fernández J. & Tamburini D. 2010. **Diagnóstico y perspectivas de los bosques en Córdoba**. Revista Hoy la Universidad 4: 53-79 (Barchuk et al., 2010)

Biagi Bistoni, Marta I.; Ruibal Conti, Ana Laura; Bustamante, María Alejandra; Tarrab, Leticia; Soria, Gustavo; Zito-Freyer, Ingrid. 2005. **Evaluación de la calidad del agua del Río Ceballos**. Centro de la Región Semiárida (CIRSA), Instituto Nacional del Agua (INA). Publicado en internet, disponible en <http://www.ina.gov.ar/cirsa/index.php?cirsa=19>. Activo en Febrero 2016. (Biagi Bistoni et al., 2005)

Caamaño Nelli, G.; Dasso, C.; Rico, A. y L. Colladon. 2010. **Lluvias de Diseño para las cuencas Salsipuedes y Saldán (Córdoba, Argentina) como base para Evaluación de Riesgos y Planificación Territorial**. III Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. Fundación ProDTI y Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Córdoba, Argentina. (Caamaño Nelli et al., 2010)

Cholaky, Carmen Gloria; Cantero Gutiérrez, Alberto; Gonzalez, Jorge Gustavo; Reynero, Miguel Angel; Diez, Alejandro; Bergesio, Leonardo; Cantero, Juan José; Núñez, César O; Amuchástegui, Andrea; Degioanni, Américo José; Cisneros, José Manuel. 2012. **Erosión hídrica : principios y técnicas de manejo**. Universidad Nacional de Río Cuarto, 146pp. (Cholaky et al., 2012)

Chuvieco Salinero, Emilio. 2002. **Teledetección ambiental**. Ariel Ciencia. Barcelona, España, 584pp. (Chuvieco, 2002)

Cioccale, Marcela. 2012. **Geología Ambiental Urbana**. Dilemas y recursos de proyectos inclusivos en pequeñas ciudades: 102-104 (Cioccale, 2012)

Confederación Hidrográfica del Ebro. 2013. **Propuesta de proyecto de plan hidrológico de la cuenca del Ebro**. Disponible en http://www.chebro.es:81/Plan%20Hidrologico%20Ebro%202010-2015/Memoria/1.-%20Memoria_PHE_v3_9.pdf. Activo en Febrero de 2016. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2013)

Deon, Joaquín. 2014. **Conflictos por el agua y el uso del suelo en las Sierras Chicas. El caso de la cuenca del río Chavascate**. Revista del Departamento de Geografía. FFyH – UNC – Argentina. Año 3. Nº 4 - 1º semestre 2015 Pp. 162 – 189 (Deon, 2014)

Dirección General de estadística y Censos de la Provincia de Córdoba. 2003. **Informes Departamentales de la Provincia de Córdoba**. Córdoba, Argentina. Disponible en: http://web2.cba.gov.ar/actual_web/estadisticas/informes_departnuevos/index.htm Activo en Enero de 2016. (Dirección General de estadística y Censos de la Provincia de Córdoba, 2003)

Fattorelli, Sergio; Fernández, Pedro C. 2011. **Diseño hidrológico**. Beta Studio, INA, Associazione italiana di idronomia. Argentina, 531pp. (Fatorelli et al., 2011)

Gaspari F. J., Rodríguez A. M., Senisterra G. E., Delgado M. I., Berteiro S. I. 2013. **Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas**. Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina. 191Pp (Gaspari et al., 2013)

Gavier, Gregorio I.; Buchery Enrique H. 2004. **Deforestación de las Sierras Chicas de Córdoba (Argentina) en el período 1970-1997**. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, Argentina. (Gavier, Buchery, 2004)

Ibáñez Asensio, Sara; Moreno Ramón, Héctor; Gisbert Blanquer, Juan Manuel. 2002. **Valores del n.º de curva, cálculo de la escorrentía**. Universidad Politécnica de Valencia. España. (Ibáñez Asensio et al, 2002)

Instituto de Botánica Darwinion. 2016. <http://www.darwin.edu.ar/>. Activo en Marzo de 2016. (Instituto de Botánica Darwinion, 2016)

Jarsún, Bahill; Gorgas, Juan A; Zamora, Eduardo M; Bosnero, Hésmer A; Lovera, Edgar F; Ravelo, Andrés C; Tassile, José L; Carnero, Mariana; Bustos, Verónica; Pappalardo, Juan E; Petrópulo, Guillermo; Rossetti, Eddy; Ledesma, Marta. 2006. **Los Suelos : nivel de reconocimiento, escala 1 : 500.000 : recursos naturales de la Provincia de Córdoba**. Agencia Córdoba Ambiente ; INTA-Centro Regional Córdoba. Córdoba, Argentina, 612pp. (Jarsún et al., 2006)

Luque, L. R. 2008. **Número de curva aplicado a una cuenca agrícola de la región central de Córdoba, Argentina**. Tesis de Maestría. (Luque, 2008)

Martínez de Azagra, A; del Río, J. 2003. **Pequeña Guía de uso del modelo MODIPÉ**. Universidad de Valladolid. España. (Martínez de Azagra y del Río, 2003)

Murray, Sharon. 1998. **Silvicultura Urbana y Periurbana en Quito, Ecuador: Estudio de Caso**. FAO. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/y5650s/y5650s04.htm>. Activo en Febrero de 2016. (Murray, 1998)

Naredo, José Manuel; Zaldívar, Ricardo García. 2008. **Estudio sobre la ocupación de suelo por usos urbano-industriales, aplicado a la Comunidad de Madrid**. Universidad Politécnica de Madrid. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. Disponible en <http://habitat.aq.upm.es/oscam/aoscam-2c.pdf>. Activo en Marzo de 2016. (Naredo, Zaldivar,

2008)

Rodriguez, Marcos Gabriel. 2013. **Propuesta de plan director de agua potable para las localidades de Unquillo y Mendiolaza**. Universidad Nacional De Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (Rodriguez, 2013)

Romero, Daniel Díaz. 2016. **Un faraónico proyecto abre la polémica en Sierras Chicas**. ECOS Córdoba. <http://ecoscordoba.com.ar/un-faraonico-proyecto-abre-la-polemica-en-sierras-chicas/> Activo en Mayo de 2016. (Romero, 2016)

Ruiz Posse, Eduardo Juan; Di Giusto, Daniel Esteban; Apezteguía, Hernán Patricio; Luque, Ricardo Luis; Heredia, Alicia Susana; Croce, Alejandro José; Esmoriz, Gustavo Francisco; Aoki, Antonio Marcelo; Rodríguez, Marta Elena; del Franco, María Eugenia; Negro, Gustavo José; Porcel de Peralta, Ricardo Félix; Torre, David Alberto; Vettorello, Cecilia Inés; Mengo, Leonardo Mario; Roqué, Carlos Augusto; Benedetto, Nicolás; Mastromauro, Matías; Vicondo, Manuel Eduardo. 2014. **Manejo de suelo y agua : manual de apoyo teórico-práctico 2014**. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Córdoba, Argentina, 556pp. (Ruiz Posse et al., 2014)

Salazar J.; Barri F. ; Cardozo G. 2013. **Distribución espacial y tasa de invasión de flora exótica en la Reserva Natural de Vaquerías**. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. (Salazar et al., 2013)

SIAT-AC **Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonia Colombiana**. <http://www.siat-ac.co/web/guest/productos/coberturasdelatierra> Activo en Marzo de 2016. (SIAT-AC, 2016)

Terreno, Cristian G. 2009. **Proceso de crecimiento urbano de las localidades del area metropolitana de la Ciudad de Córdoba – el eje noroeste: el caso de Río Ceballos**. Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño. Universidad Nacional de Córdoba. (Terreno, 2009)

Verzino, G.E.; Hernández, R.A.; Meehan A.R.; Joseau M.J.; Osés D.H.; Frassoni J.; Sánchez, S; Clausen G.; Salgado C.E.; Sosa E.E.; Cisternas P.A. 2015. **Flora del bosque nativo del centro de la Argentina**. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 167Pp. (Verzino et al., 2015)

Zeballos, Sebastián R., Giorgis, Meliza A., Cingolani, Ana M, Cabido, Marcelo, Whitworth-hulse Juan I., Gurvich, Diego E. 2014. **Do alien and native tree species from Central Argentina differ in their water transport strategy?**. Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal. Córdoba, Argentina. (Zeballos et al., 2014)

ANEXOS

1. Parámetros Geomorfológicos

(Fatorelli et al., 2011)

Índice de compacidad de Gravelius: Es evidente que la forma de la cuenca tendrá una gran influencia sobre la configuración del hidrograma resultante de una lluvia dada. El Índice de compacidad de Gravelius es igual a la relación entre el perímetro de la cuenca (P) y el perímetro de un círculo de igual área.

$$Ic = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

En términos del área, el círculo es la figura de menor perímetro, por tanto, en cualquier caso, este coeficiente será mayor que la unidad. Así, mientras más cercano a la unidad sea el coeficiente de compacidad, la forma de la cuenca se aproxima a la circular, y entre más alejado de ella, más irregular es su forma en relación con el círculo.

Radio de elongación: se establece como la relación entre el diámetro de un círculo de igual área que la cuenca y la longitud máxima de la misma medida desde la sección de control (B), o sea que:

$$Re = \frac{1,1284 \sqrt{A}}{B}$$

Esta relación alcanzará evidentemente, como valor máximo la unidad, para una figura perfectamente circular, disminuyendo luego, a medida que la forma de la cuenca se aleje de dicha configuración.

2. Clasificación de modelos

Según Ibáñez et al (1995) citado por Paz González y Taboada Castro (1998).

Según la base del modelo:

- Empíricos (modelos de función respuesta; ecuaciones de regresión lineal).
- De base física. Ecuaciones complejas derivadas de leyes físicas.

En los modelos empíricos las funciones utilizadas no tienen en cuenta los procesos físicos internos del sistema. Estos modelos establecen una relación matemática con base estadística entre las variables de entrada y las de salida. Los modelos conceptuales en cambio, procuran representar los mecanismos internos del sistema, aunque para ello utilicen funciones empíricas.

Con los modelos físicos aparecen una serie de parámetros (rugosidad, conductividad,

resistencia al corte, etc.) que aunque conocidos, requieren datos muchas veces no disponibles, dado que ofrecen una base de datos experimentales muy escasa. De allí surge la necesidad perentoria de aportar un conocimiento suficientemente amplio de estos parámetros para las condiciones en que se produce la erosión del suelo, sobre todo si se pretende que estos modelos sean de uso común para los gestores, como ocurre con la USLE, ampliamente superada conceptualmente, pero todavía abrumadoramente aplicada en los estudios de rutina (Paz González y Taboada Castro, 1998).

Con relación a su aleatoriedad:

- Determinísticos: Una misma entrada se traduce siempre en la misma salida.
- Estocásticos: Resultados al menos parcialmente aleatorios. Incluyen variables aleatorias que generan resultados con un cierto rango de probabilidad.

Según la distribución de variables en el espacio:

- Concentrados: las variables son promediadas o los cálculos se efectúan para un único punto.
- Distribuidos: Se conoce la distribución espacial y temporal de las variables de entrada, y las variables de salida se calculan en función del espacio y del tiempo.

Los modelos de parámetros distribuidos incorporan la influencia de variables espaciales, parámetros de control (p.ej. topografía, suelos, uso del suelo, etc.) de alguna manera incluidos en sus algoritmos. En contraste el tratamiento de los modelos agregados o globales usa alguna forma de promedios para generar coeficientes efectivos para caracterizar la influencia de cada parámetro de distribución no uniforme. La influencia de esta distribución es así representada por coeficientes globales y el modelo resultante se trata como una transformación matemática de datos de entrada en datos de salida (Beasley y Huggins, 1991). Un modelo es concentrado cuando sus parámetros y variables varían solamente en función del tiempo. Cuando la variación ocurre además en función del espacio, el modelo es distribuido.

Según su duración en el tiempo:

- Continuos: Períodos largos.
- De eventos: Es necesario conocer con precisión las condiciones iniciales y el análisis de la distribución de variables en el espacio.

Un modelo se dice continuo cuando simula en forma ininterrumpida una serie hidrológica, a pesar de que los intervalos de tiempo pueden ser discretos; en contraposición los modelos de evento, simulan solamente un evento discreto, particular.

Según el uso a que esté destinado:

- De simulación
- De proyecto
- De gestión

El modelo de simulación tiene un enfoque determinístico; procura reproducir un fenómeno o prever el comportamiento de un sistema. El modelo de proyecto tiene un enfoque probabilístico, por ejemplo en la determinación de caudales de proyecto con una cierta probabilidad de excedencia. El modelo de gestión (de optimización o de planificación) es un modelo de proyecto que incluye un criterio de selección.

3. Sistema de modelación hidrológica HEC-HMS

(Cholaky et al., 2012)

Hydrologic Modeling System – Hydrologic Engineering Center es un software libre desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Los Estados Unidos, diseñado para simular los procesos de precipitación-escorrentía de los sistemas de cuencas dendríticas.

Según la clasificación de modelos hidrológicos descrita en el apartado anterior, en su rutina de precipitación-escorrentía se clasifica como determinístico, empírico, de parámetros concentrados y de eventos (Fatorelli et al., 2006).

Puede ser aplicado en un amplio rango de áreas geográficas y problemas: desde el abastecimiento de agua e hidrología de inundaciones de una gran cuenca hasta la escorrentía de una pequeña cuenca urbana o natural, para estudios de drenaje urbano, impacto de futura urbanización, diseño de reservorios, reducción de daños de inundaciones y operación de los sistemas, entre otros. Asimismo, permite representar gran número de cuencas diferentes a partir de la separación del ciclo hidrológico en partes manejables.

El programa ofrece un entorno de trabajo totalmente integrado que incluye una base de datos, servicios de entrada de datos, motor de cálculo y herramientas de informes de resultados. Una interfaz gráfica permita la circulación fluida entre las diferentes partes del programa, introducir la información necesaria para una simulación, manejar los componentes de análisis hidrológico a través de módulos integrados y obtener respuestas gráficas o tabuladas de fácil comprensión e impresión.

4. El método del número de curva del Soil Conservation Service

El método resume las condiciones de la cuenca para la producción de escurrimiento en un Número de Curva (NC) que se determina en función de los siguientes parámetros:

- Uso del suelo.
- Discrimina entre diferentes formas de aprovechamiento: monte, pastizal, distintos tipos de cultivos, etc.
- Tratamiento o prácticas de manejo.
- Prácticas conservacionistas.
- Condición hidrológica (inclusión de rotaciones favorables)
- Características del suelo referidas a su capacidad de infiltración y producción de escurrimiento (textura; capas de diferente permeabilidad, etc.)
- Humedad antecedente (Antecedent Moist Condition; normal: AMC II. seca: AMC I ó húmeda: AMC III, cuyos límites dependen de la lámina de lluvia acumulada durante los 5 días anteriores al evento considerado). Actualmente el NRCS (antes SCS) ha quitado esta clasificación, según se detalla más adelante.

La expresión del escurrimiento es:

$$Lám = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Siendo

Lám: lámina de escurrimiento

P: precipitación

Ia: pérdidas iniciales

S: capacidad de almacenamiento actual del suelo

La precipitación es considerada como total diario, es decir como proveniente de registros pluviométricos.

El método considera “pérdidas iniciales” (Ia) a la lámina de lluvia caída desde el inicio de la precipitación hasta el momento en que comienza el escurrimiento. Estas pérdidas están constituidas por: retención superficial + intercepción por la vegetación + infiltración previa a la iniciación del escurrimiento.

Para evitar la necesidad de estimar las variables Ia y S de la ecuación anterior, la relación entre ellas se desarrolló por medio de datos de precipitación y escurrimiento de pequeñas cuencas experimentales, resultando empíricamente de la graficación de (Ia) versus (S) para tor-

mentas individuales. La relación queda entonces:

$$Ia = 0.2S$$

Y reemplazando en la ecuación anterior:

$$Lám = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

El NC se relaciona con el escurrimiento a través de la capacidad del suelo para almacenar agua (S). El valor de S varía entre cero (nula retención y máximo escurrimiento) e infinito (situación inversa). Su valor está relacionado con el NC de AMC II, según la siguiente expresión:

$$NC = \frac{25400}{254 + S}$$

Si S vale cero, NC es igual a 100, máximo valor que puede tomar para el cálculo del escurrimiento. S, como es evidente, depende de los mismos factores que NC y su valor será:

$$S = \frac{25400}{NC} - 254$$

La obtención del NC se hace por medio de tablas que consideran los parámetros mencionados arriba, para la condición AMC II. Luego hay que transformar este NC según la precipitación de los 5 días anteriores. De este modo obteniendo el valor de NC se calcula la lámina de escurrimiento Lám .

Además, el método requiere para caudales máximos, los datos de:

- Área.
- Longitud del cauce.
- Tipo de tormenta.
- Pendiente.

Cuyo cómputo puede efectuarse mediante el uso de nomogramas, fórmulas o de programas computacionales como el TR 20, TR 55 (NEH-4,1981), etc.

El modelo del NC considera para los caudales máximos la longitud del cauce, para, a través del tiempo de concentración, calcular la base del triángulo cuya altura dará el caudal pico. El método en sí no transita el hidrograma en cauces ni en embalses. Estas operaciones no

obstante, son resueltas en el National Engineer Handbook (NEH-4,1981) opcionalmente por tres vías diferentes:

- Ecuación de continuidad.
- Uso de relaciones entre hidrogramas de entrada y salida.
- Uso de la teoría del Hidrograma Unitario.

5. Tiempo de concentración y Tiempo de retardo (lag time)

Tiempo de concentración es el tiempo que una partícula de agua tarda en llegar del punto más alejado al punto de salida de la cuenca (Fatorelli et al., 2011). Según Bransby Williams se calcula con la fórmula:

$$T_c = 0,058 * L / (A^{0.1} * S_c^{0.2})$$

Dónde: Longitud del canal (L): m
Área: Km²
Pendiente media del cauce principal (Sc o J): m/Km

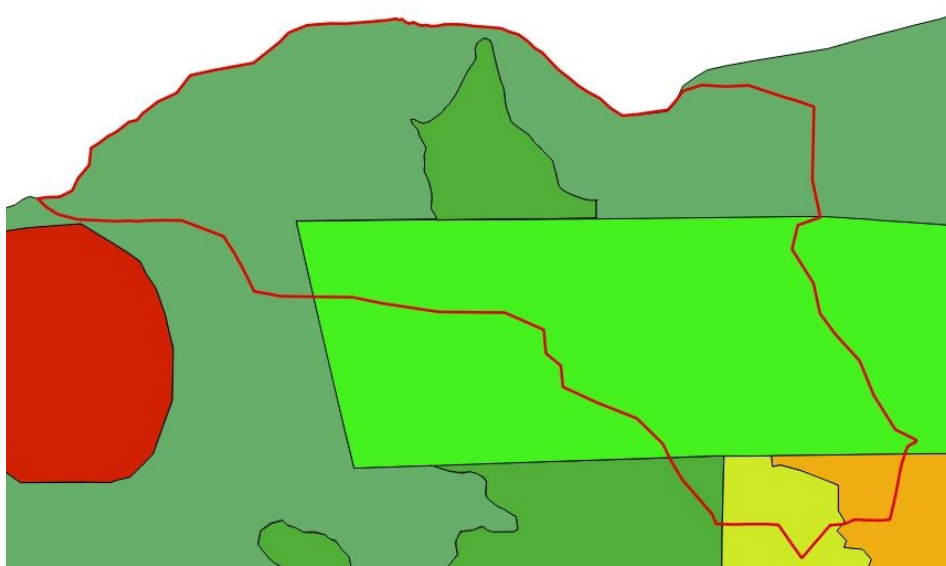
Tiempo de retardo o lag time

$$T_r = 0,6 * T_c$$

Donde Tc: Tiempo de concentración (min)

6. Mapa de zonificación Reserva Hídrica Natural Municipal Los Manantiales

Art. 99°: “en función de las formaciones de vegetación y composición, estado de conservación de la misma, grado de modificación del territorio por ocupación, tipo de tenencia y usos de la tierra” Fuente: Anexo III Ordenanza 2094 Concejo Deliberante Río Ceballos



- Área de Conservación – Zona 1
- Área de Conservación – Zona 2
- Área de Conservación – Zona 3
- Área Urbana – Zona 3
- Área Urbana – Zona 2
- Límite Cuenca del arroyo Las Parras

7. Superficie máxima edificada para las Áreas Urbana y de Conservación

Fuente: Ordenanza 2094 Concejo Deliberante Río Ceballos

Área Urbana Zona 2 (AU-Z2)

Art. 300.1°.-) Los factores de ocupación (Factor de Ocupación del Suelo FOS, Factor de Ocupación Total FOT, y Factor de Cobertura Vegetal FCV) en Zona 2 - perteneciente al Área Urbana- para parcelas de hasta 2000 m² (dos mil metros cuadrados) serán definidos según las pendientes del terreno y la superficie de la parcela, según el siguiente cuadro:

FOS+FOT+FCV		AU-Z2		
PENDIENTES		Hasta 15%	Hasta 30%	Más de 30%
Parcelas hasta 2000 m²	FOS	0,08	0,05	0,03
	FOT	0,10	0,08	0,05
	FCV	0,85	0,85	0,90

Art. 300.2°.-) Los factores de ocupación (Factor de Ocupación del Suelo FOS, Factor de Ocupación Total FOT, y Factor de Cobertura Vegetal FCV) en la Zona 2 - perteneciente al Área Urbana- para parcelas de más de 2000 m² (dos mil metros cuadrados) serán definidos según las pendientes del terreno y la superficie de la parcela, según el siguiente cuadro:

FOS+FOT+FCV		AU-Z2		
PENDIENTES		Hasta 15%	Hasta 30%	Más de 30%
Parcelas mas de 2000 m²	FOS	0,03	0,03	0,03
	FOT	0,03	0,03	0,03
	FCV	0,90	0,90	0,95

Art. 300.3°.-) El FOT o la superficie cubierta máxima edificada en la Zona 2 -pertene-
ciente al Área Urbana -independientemente de la pendiente y superficie total de la parcela- no
podrá superar en ningún caso los 300 m². Asimismo el FOS o la superficie máxima del suelo
ocupada por el edificio no podrá superar en ningún caso los 200m².-

Área Urbana- Zona 3 (AU-Z3)

Art. 302.1°.-) Los factores de ocupación (Factor de Ocupación del Suelo FOS, Factor de
Ocupación Total FOT, y Factor de Cobertura Vegetal FCV) en la Zona 3 - perteneciente al Área
Urbana- para parcelas de hasta 2000 m² (dos mil metros cuadrados) serán definidos según las
pendientes del terreno y la superficie de la parcela, según el siguiente cuadro:

FOS+FOT+FCV		AU-Z3		
PENDIENTES		Hasta 15%	Hasta 30%	Más de 30%
Parcelas hasta 2000 m ²	FOS	0,08	0,05	0,03
	FOT	0,10	0,08	0,05
	FCV	0,85	0,85	0,90

Art. 302.2°.-) Los factores de ocupación (Factor de Ocupación del Suelo FOS, Factor de
Ocupación Total FOT, y Factor de Cobertura Vegetal FCV) en la Zona 3 - perteneciente al Área
Urbana- para parcelas de más de 2000 m² (dos mil metros cuadrados) serán definidos según las
pendientes del terreno y la superficie de la parcela, según el siguiente cuadro:

FOS+FOT+FCV		AU-Z3		
PENDIENTES		Hasta 15%	Hasta 30%	Más de 30%
Parcelas más de 2000 m ²	FOS	0,03	0,03	0,03
	FOT	0,03	0,03	0,03
	FCV	0,90	0,90	0,95

Art. 302.3°.-) El FOT o la superficie cubierta máxima edificada en la Zona 3 - pertene-
ciente al Área Urbana- independientemente de la pendiente y superficie total de la parcela- no
podrá superar en ningún caso los 300 m². Asimismo el FOS o la superficie máxima del suelo
ocupada por el edificio no podrá superar en ningún caso los 200m².-

Áreas de Conservación Zonas 1, 2 y 3. (AC-Z1, AC-Z2, AC-Z3)

Art. 303°.-) El Factor de Ocupación Total FOT en el Área de Conservación (AC) será del

0,03 y el Factor de Cobertura Vegetal FCV en ningún caso será inferior al 0,95.-

Art. 304°.-) El FOT o la superficie cubierta máxima edificada en el Área de Conservación (AC) - independientemente de la pendiente y superficie total de la parcela- no podrá superar en ningún caso los 300 m².-

Art. 305°.-) Para parcelas mayores a quince hectáreas, en el Área de Conservación, el FOT o la superficie cubierta máxima edificada podrá incrementarse en 300 m² por cada módulo de 15 ha, hasta un máximo de 900 m². Hasta 15 ha la superficie cubierta máxima edificada será de 300 m²; hasta 30 ha la superficie cubierta máxima edificada será de 600 m²; más de 30 ha la superficie cubierta máxima edificada será de 900 m².-