



Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Planificación y Manejo de Cuencas Hidrográficas



**ESTIMACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO DE USO
DEL SUELO SOBRE EL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO
DE LA CUENCA DEL ARROYO CABANA.**

Autor:

RICHARD, Federico

Tutores:

Ing. Agr. Gustavo F. ESMORIZ.

Ing. Agr. (M. SC.) Cecilia I. VETTORELLO.

Trabajo académico integrador: planificación y manejo
de cuencas hidrográficas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
HIPÓTESIS	12
OBJETIVOS DEL TRABAJO	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	12
MARCO TEÓRICO.....	13
Cuenca Hidrográfica:	13
Teledetección:	13
Sistemas de información geográfica (SIG):.....	14
Modelos Hidrológicos:.....	14
ÁREA DE ESTUDIO	16
Ubicación	16
Clima.....	17
Clima departamento de Colón:	17
Influencia del fenómeno ENSO sobre sobre la dinámica de la escorrentía en las sierras chicas::	18
Suelos	20
Flora.....	21
Aspectos demográficos	23
Áreas de Reserva	24
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
Delimitación de la cuenca	26
Definición de la Red de Drenaje	27
Caracterización del Comportamiento Hidrológico de la Cuenca: Parámetros Morfométricos e Hidrológicos.	28
Parámetros de forma	28
Parámetros de relieve	28

Parámetros relativos a la red hidrográfica	28
Caracterización del suelo y determinación los cambios de uso en el período 2002-2016.....	29
Evolución de los Parámetros Hidrológicos de la Cuenca entre los Años 2002 al 2016	31
Número de curva:.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	34
Delimitación de la cuenca:	34
Parámetros morfométricos de la cuenca	35
Zonificación de la cuenca en función de la cobertura y Uso de Suelo:	36
Análisis hidrológico de la cuenca:	40
Tormenta proyecto y Tiempo de Concentracion de la cuenca:	44
Caudales de salida y lamina escurrida:.....	46
CONCLUSIÓN	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXO	54
Parámetros Morfométricos de las Subcuencas del Arroyo Cabana.....	55
Datos de Cobertura de las Subcuencas del Arroyo Cabana.....	54
Tiempo de Concentración:	55
Bransby-Williams.....	55
Ramser Kerby Flujo concentrado y Laminar.....	55
California Culvert Practice	56
Clark.....	56
Retardo SCS	56
George Rivero.....	57
Giandotti.....	57
Kirpich.....	57
Método Racional Generalizado	58
Pilgrim y McDermott	58
Témez	58
Valencia y Zuluaga.....	58
Ramser Kerby Flujo Concentrado.....	59
Snyder.....	59
Tiempo de Retardo o Lag Time:	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Landsat 1984. Ciudad de Córdoba.....	8
Fig. 2: Landsat 2012. Ciudad de Córdoba.....	8
Fig. 3: Zonas incendiadas, Septiembre 2013 Sierras Chicas.....	10
Fig. 4: Cuencas inundadas 15 de Febrero 2015.....	11
Fig. 5: Vías de Acceso y Ciudades Cercanas.....	16
Fig. 6: Ubicación Departamento de Colón Provincia de Córdoba, límites y pedanías.....	17
Fig. 7: Temperaturas Medias Anuales y distribución de las precipitaciones, Departamento Colón.....	18
Fig. 8: Escurrimiento Superficial (mm) en relación al índice de oscilación sur (IOS) para las Sierras Chicas.....	19
Fig. 9: Hietograma evento 15 de Febrero 2015.....	20
Fig. 10: Ubicación geográfica de las unidades cartográficas en el área de estudio.....	21
Fig. 11: Estratos de vegetación según la altura sobre el nivel del mar.....	22
Fig. 12: Cotas 1000, 800 y 600 msnm proyectadas sobre imagen de alta resolución del área de estudio.....	22
Fig. 13: pirámide poblacional Unquillo.....	24
Fig. 14: Reserva Hídrica recreativa municipal "Los Quebrachitos" con cota 750 msnm.....	25
Fig. 15: Modelo Digital de Elevación (ASTER).....	26
Fig. 16: Procedimiento de delimitación de cuenca (ARCGIS).....	27
Fig. 17: Firma espectral.....	30
Fig. 18: Modelo de Acumulación de Flujo y punto de desagüe.....	34
Fig. 19: Cuenca del Arroyo Cabana.....	35
Fig. 20: Parcelas de Entrenamiento.....	37
Fig. 21: Zonas de bosque, pastizal/roquedal, antrópico y suelo desnudo o de baja cobertura para la cuenca en estudio, según el año 2002.....	38
Fig. 22: Zonas de bosque, pastizal/roquedal, antrópico y suelo desnudo o de baja cobertura para la cuenca en estudio, según el año 2009.....	38
Fig. 23: Zonas de bosque, pastizal/roquedal, antrópico y suelo desnudo o de baja cobertura para la cuenca en estudio, según el año 2014.....	39
Fig. 24: Zonas de bosque, pastizal/roquedal, antrópico y suelo desnudo o de baja cobertura para la cuenca en estudio, según el año 2016.....	39
Fig. 25: Delimitación de las subcuencas y vías de escurrimiento principales.....	41

Fig. 26: Unidades cartográficas de la cuenca del Arroyo Cabana.....	42
Fig. 27: Evolución del Número de Curva según cada Subcuenca para los distintos años de muestreo.....	44
Fig. 28: Curva de Intensidad-Duración-Frecuencia e hietograma de diseño.....	45
Fig. 29: Distribución de precipitación y curva de escurrimiento a la salida de la subcuenca 1 para los años 2002 y 2016 (de izquierda a derecha).....	47
Fig. 30: Gráfico de tendencia de pérdida de cobertura de bosques.....	48
Fig. 31: Clasificación Supervisada año 2016 con cota 750 msnm.....	49
Fig. 32: Mapa de pendientes de la cuenca del Arroyo Cabana.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Unidades Cartográficas para la zona de la cuenca en estudio.....	20
Tabla 2: Cantidad de habitantes Unquillo.....	23
Tabla 3: Números de curva de escorrentía para condiciones de humedad previa clase II.....	33
Tabla 4: Parámetros geomorfológicos Cuenca del Arroyo Cabana.....	35
Tabla 5: Cobertura del suelo para los años de muestreo.....	40
Tabla 6: Número de curva para cada clase de uso de suelo.....	42
Tabla 7: Número de Curva para las subcuencas del Arroyo Cabana y los años de muestreo.....	43
Tabla 8: Tiempos de Concentración y resultados estadísticos obtenidos.....	44
Tabla 9: intensidad y lámina acumulada para los tiempos de concentración de la tormenta proyecto.....	46
Tabla 10: Resultados de la corrida HEC-HSM punto de desagüe de la cuenca del arroyo Cabana.....	46
Tabla 11: Resultados de la corrida HEC-HSM para las subcuencas más afectadas.....	47
Tabla 12: Resultados de la corrida HEC-HSM punto de desagüe de la cuenca del arroyo Cabana para los años 2002, 2016 y el un caso teórico en 2050.....	48

RESUMEN

Durante los últimos años, las inundaciones en el territorio Cordobés se fueron haciendo cada vez más frecuentes, afectando principalmente a las poblaciones colindantes a las Sierras Chicas como Villa Allende, Mendiolaza, Unquillo, Río Ceballos y Salsipuedes. El área de estudio se centra en la cuenca delimitada por la divisoria de aguas que determinan al arroyo Cabana unidos al punto de desagüe ubicado en la entrada de la Ciudad de Unquillo. El objetivo se enfoca en evaluar cómo el cambio en el uso del suelo afectó el comportamiento hidrológico de la cuenca mencionada mediante, la utilización de modelos hidrológicos como el HEC-HMS e información geográfica obtenida de diversos satélites, que debidamente procesadas, darán la información necesaria para simular como cambiaron los caudales de salida desde el 2002 al 2016. Los resultados muestran como efectivamente el cambio de cobertura, representado principalmente por la porción antrópica avanzando desde cuencas más bajas a zonas más elevadas, aumenta los caudales año a año en el punto de desagüe, tal es así que en tan solo 10 años los mismos aumentaron en un 12%. De esta forma se concluye que es necesario tomar medidas inmediatas al respecto para evitar llegar a situaciones irreversibles, en donde no solo entra en peligro el ecosistema del lugar sino también las vidas humanas de los que residen allí.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, el uso indiscriminado del suelo y la falta de organización del ordenamiento territorial llevaron a producir cambios sobre la cobertura del suelo alterando la conformación normal del paisaje, pasando de vastas extensiones boscosas hacia zonas donde predomina la actividad agropecuaria extensiva, o se generan grandes avances urbanísticos.

Las Sierras Chicas, lugar donde se ubica la cuenca en estudio, no escapa a la acción del hombre que causa daños irreversibles sobre el suelo, alterando el comportamiento normal de la hidrología del lugar, aumentando el riesgo de inundaciones, provocando la pérdida de bienes materiales y de vidas. Conforman un cordón montañoso, ubicado al noroeste de la ciudad de Córdoba y al este del Valle de Punilla; se diferencian de las Sierras Grandes por ser de menor altitud con el punto más alto en el cerro Uritorco a 1979 msnm. Esta área está conformada por diversas ciudades y comunidades, que presentaron un crecimiento muy marcado en los últimos años. Ciudades donde el principal ingreso era el turismo pasaron a ser lugares donde la gente reside permanentemente, esto trajo aparejado la necesidad de un aumento en el flujo comercial y la intervención de distintos agentes sociales. Así la urbanización avanzó a costa de reducir la superficie boscosa.

En las figuras 1 y 2 se puede apreciar cómo a lo largo de los últimos años se vio disminuida el área forestal con el fin de aumentar las zonas urbanas y de explotación agrícola-ganadera, se observa como la periferia de la zona de la ciudad de Córdoba es mayor en la figura número 2.

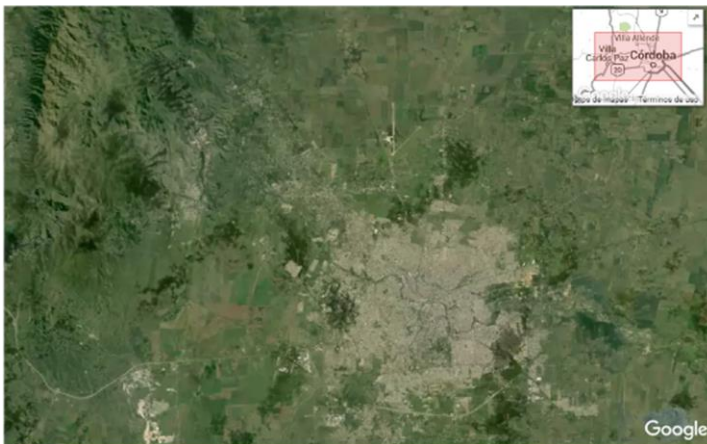


Fig. 1: Landsat 1984. Ciudad de Córdoba
Fuente: "Timelapse" de Google

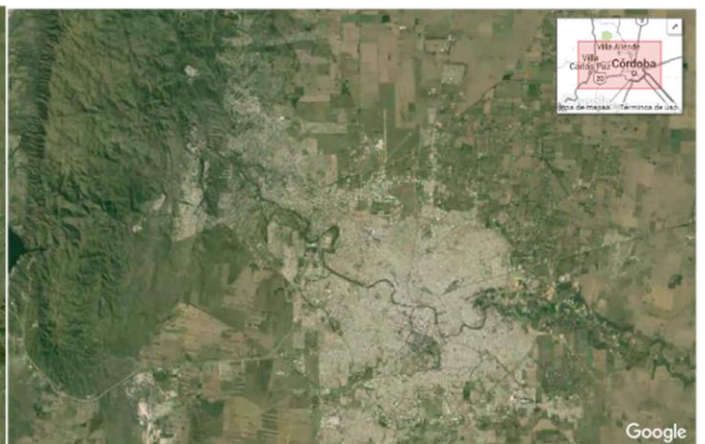


Fig. 2: Landsat 2012. Ciudad de Córdoba
Fuente: "Timelapse" de Google

Los bosques funcionan como reservorios naturales que regulan el ciclo hidrológico al aportar agua a los cursos permanentes y semipermanentes en los períodos donde las precipitaciones son nulas o bajas.

La deforestación, el monocultivo, reiterados incendios, el avance inmobiliario traen aparejados un cambio en la dinámica de la escorrentía afectando a toda la red hídrica e influyendo así sobre toda el área de influencia. Es así como las tierras sujetas a manejos inadecuados, sumado al desconocimiento y la toma de decisiones equivocadas, somete al suelo a procesos severos de erosión trayendo como consecuencia la degradación de las tierras productivas, pérdida de la capacidad productiva de los suelos, pérdida a corto plazo de la disponibilidad de agua en el suelo e inundaciones en zonas más bajas, producto del aumento en el escurrimiento superficial.

La erosión es un proceso de desgaste que se produce sobre la superficie del suelo por causa de agentes externos (agua y viento, etc.) generando un desprendimiento de las partículas que afecta la estabilidad de los agregados y a la capacidad de retención del agua y los nutrientes. La erosión hídrica es un proceso que comienza en el momento en que la gota de agua descarga su energía cinética sobre el suelo desnudo, rompiendo la estructura del mismo, generando una capa impermeable que favorece al escurrimiento superficial y que puede afectar inclusive, terrenos donde la superficie es totalmente plana (Cisneros, 2012). En el caso de las Sierras Chicas este proceso se acelera, a causa de las características propias de suelos montañosos y debido a la presencia de pendientes elevadas en algunas zonas.

Como ejemplos de alteraciones de cuencas serranas por manejo inadecuado del suelo, se pueden citar los incendios ocurridos el año 2013 en la zona de las Sierras Chicas. Como se observa en la figura 3, los valores que comprendidos entre un rango de NDVI entre -1 y 0.08 (extremadamente bajo) se corresponden con índices característicos del suelo desnudo que indican, en este caso, las zonas afectadas por los incendios que dejaron vegetación muerta y suelo descubierto en septiembre del 2013.

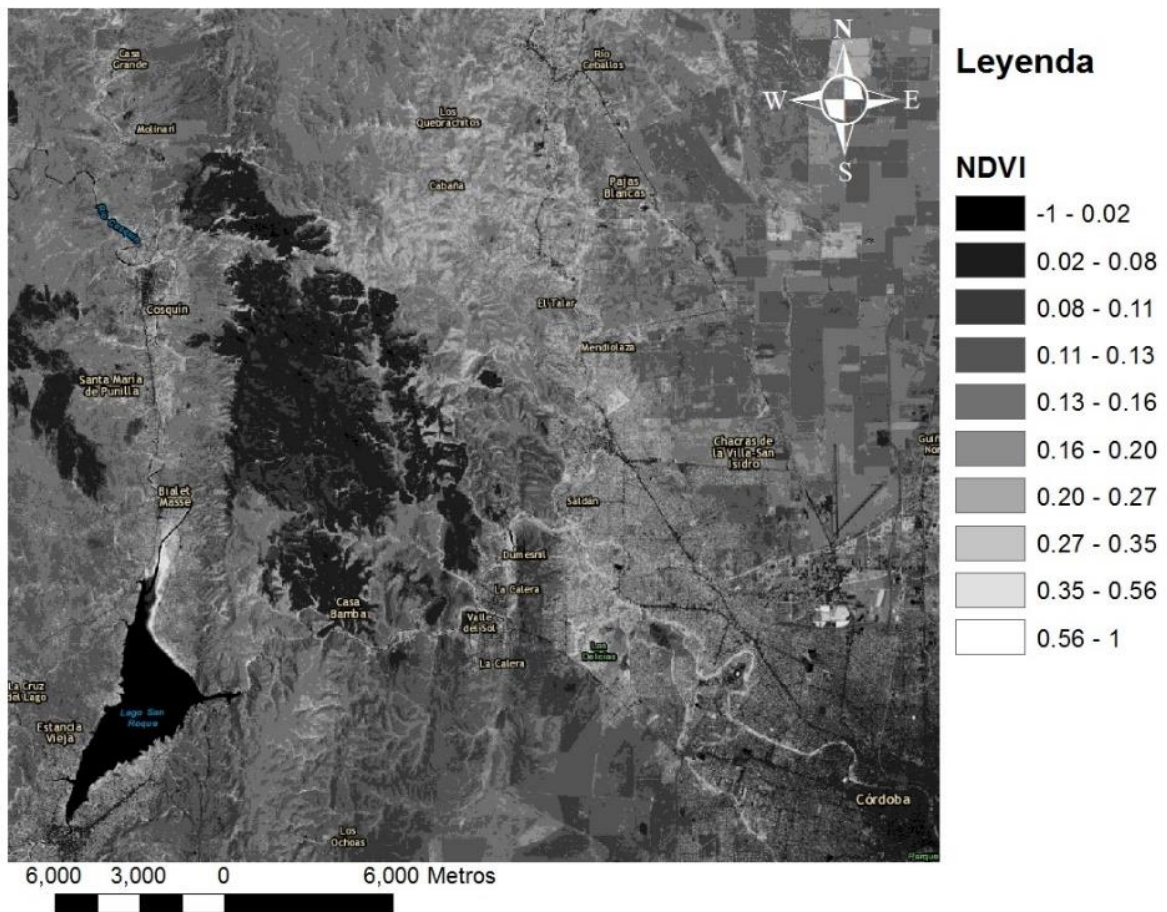
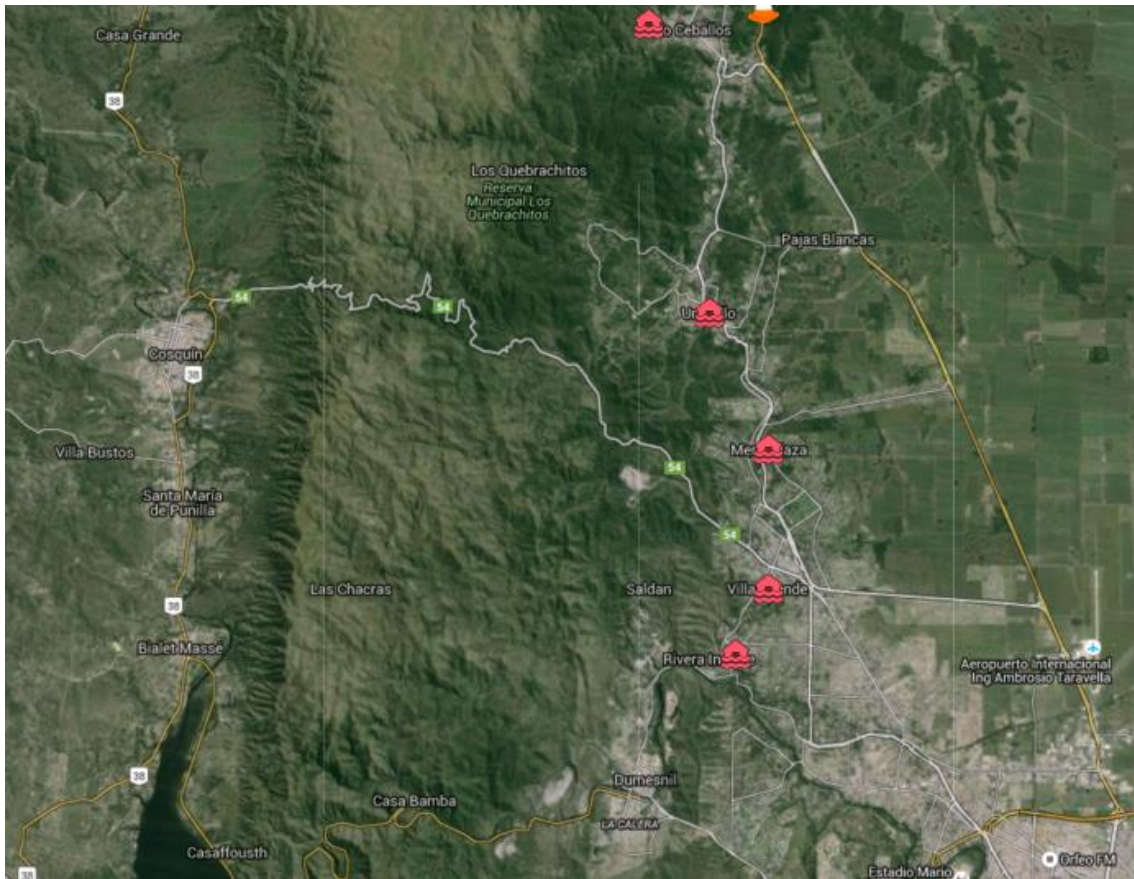


Fig. 3: Zonas incendiadas, Septiembre 2013 Sierras Chicas
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, tal como se observa en la figura 4, se marca con indicadores rojos las cuencas afectadas que, producto de un cambio brusco en el uso de suelo que alteró la capacidad de infiltración de los suelos y autorregulación del sistema hidrológico como los incendios del 2013, sumado a un acontecimiento extraordinario en los eventos de precipitación, provocaron el 15 de Febrero de 2015 severas inundaciones afectando principalmente a las localidades de Saldán, Mendiolaza, Villa Allende y Unquillo.



*Fig. 4: Cuencas inundadas 15 de Febrero 2015
Fuente: Diario La voz del Interior. 2015*

Con la ayuda de una buena planificación del uso de suelo y el manejo de los territorios a nivel cuenca, sumado al cumplimiento de las normas y leyes, estas tragedias pueden ser evitadas.

HIPÓTESIS

Los cambios en el uso de suelo en el periodo 2002-2016 generaron una alteración o deterioro del ciclo hidrológico en la cuenca del arroyo Cabana.

OBJETIVOS DEL TRABAJO

Objetivo General

- Evaluar cómo el cambio en el uso del suelo afectó el comportamiento hidrológico de la cuenca del arroyo Cabana.

Objetivos Específicos

- Delimitar la cuenca en base a imágenes DEM (Modelo Digital de Elevación) obtenidas del satélite ASTER.
- Definir la red de drenaje
- Caracterizar el comportamiento hidrológico de la cuenca del Arroyo Cabana, mediante parámetros morfométricos e hidrológicos.
- Caracterizar los suelos y determinar los cambios de uso en el período 2002-2016.
- Analizar la evolución del comportamiento hidrológico de la cuenca entre los años 2002 y 2016.

MARCO TEÓRICO

Cuenca Hidrográfica:

Una cuenca hidrográfica es una unidad morfológica integral, que se define en un territorio donde las aguas superficiales convergen hacia un cauce o unidad natural delimitada por la existencia de la divisoria de las aguas, las cuales fluyen al mar a través de una red de cauces principales. En una cuenca hidrológica, además se incluye toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo, conformando un sistema integral, constituyendo un conjunto de componentes que están conectados e interactúan formando una unidad. La estabilidad y permanencia de todos sus componentes estructurales son propiedades y formas de comportamiento del sistema (Gaspari, 2009). Así, todos estos elementos, incluido el hombre con sus valores, su cultura, sus costumbres, su propia historia y las características de la sociedad, están íntimamente correlacionadas y afectan directa o indirectamente el comportamiento de la cuenca.

Entonces, en síntesis, la cuenca hidrográfica se define como un sistema de relaciones sociales y económicas, cuya base territorial y ambiental, es una red de drenaje superficial que fluye a un mismo río, lago o mar con un territorio que lo comprende; siendo los componentes principales que determinan el funcionamiento de la misma los elementos topográficos, biofísicos, los antrópicos, demográficos y jurídico institucionales, los cuales interactúan definiendo a la cuenca hidrográfica como un territorio que compone un sistema integral (Gaspari, 2009).

Los cambios temporales en una cuenca pueden evaluarse a través de diferentes herramientas, algunas de las cuales se explican a continuación.

Teledetección:

Se define a la teledetección como el conjunto de métodos y dispositivos para registrar y analizar un objeto o fenómeno a distancia. Para esto, se utilizan sensores remotos que son aquellos instrumentos de medición que no se encuentran en contacto directo con el objetivo

percibido por los mismos. A partir de los mismos es posible generar imágenes o mapas que brindarán información útil sobre la zona de interés. (CONAE, 2015).

En el estudio y planificación de cuencas hidrográficas resulta ser una herramienta de primera necesidad ya que presenta las siguientes ventajas:

- Observación directa y no destructiva: Se capta información directamente sobre el objetivo, pero éste ni si siquiera está en contacto con el instrumento de medición, por lo que no puede dañarlo o afectarlo.
- Escala adaptable: El alcance de la cobertura (que puede ser desde global hasta local) y el nivel de detalle pueden especificarse de acuerdo a las necesidades del estudio.
- Multitemporalidad: Los sensores pueden registrar escenas de una misma zona o región periódicamente.
- Multiplicidad de fuentes: Hay instrumentos de múltiples características, que permiten estimar e interrelacionar diferentes variables y también validar datos o sensores en forma cruzada, siempre dependiendo del tipo de investigación que se esté realizando.
- Facilita (o evita) el trabajo in situ: Esto implica reducciones en plazos y costos.

Sistemas de información geográfica (SIG):

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés [Geographic Information System]) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión (CIESAS, 2016)

Modelos Hidrológicos:

Como una herramienta de evaluación y planificación, 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, 2011).

Se torna así necesario encarar estudios que permitan estimar el escurrimiento superficial bajo escenarios reales e hipotéticos de uso y manejo del suelo. 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 (Bertoni, 1994).

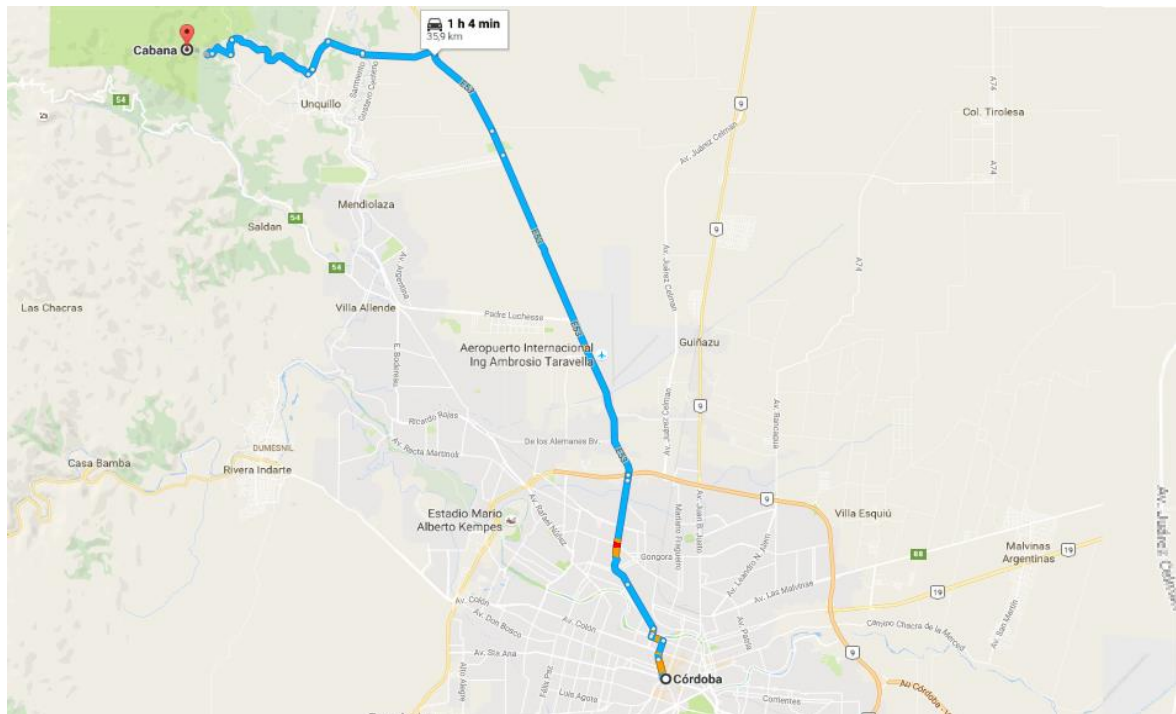
ÁREA DE ESTUDIO

Ubicación

El área de estudio abarca las localidades de Cabana y Unquillo entre los 31° 10'30" y 31°14'03" de latitud Sur y 64°18'37" y 64°25'06" de longitud oeste. Se encuentra, al suroeste del departamento de Colón, al oeste de la ciudad de Unquillo. La cuenca del arroyo Cabana limita al noroeste con la cuenca del río los Hornillos, al norte con la cuenca del arroyo Mal Paso y reserva Natural e Hidrológica Los Manantiales y al sur con la cuenca del Río Las Enseñadas.

Las vías de acceso (Fig. 5) están conformadas por la Ruta E53, que unen hacia el sur la propia ciudad de Unquillo con Mendiolaza, Villa Allende y la Ciudad de Córdoba, respectivamente.

Dentro de las poblaciones más cercanas (Fig. 5) se encuentran al sur Mendiolaza (4 km), Villa Allende (7,5 km) y la Ciudad de Córdoba (23 km).



*Fig. 5: Vías de Acceso y Ciudades Cercanas
Fuente: Google maps, 2016*

El Departamento Colón (Fig. 6), dentro del cual se encuentra el área de estudio, es el cuarto más poblado y el tercero más pequeño de la provincia, con una superficie de 2.588 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. El departamento se divide a su vez en 5 pedanías (Calera Norte, Cañas, Constitución, Río Ceballos y San Vicente).

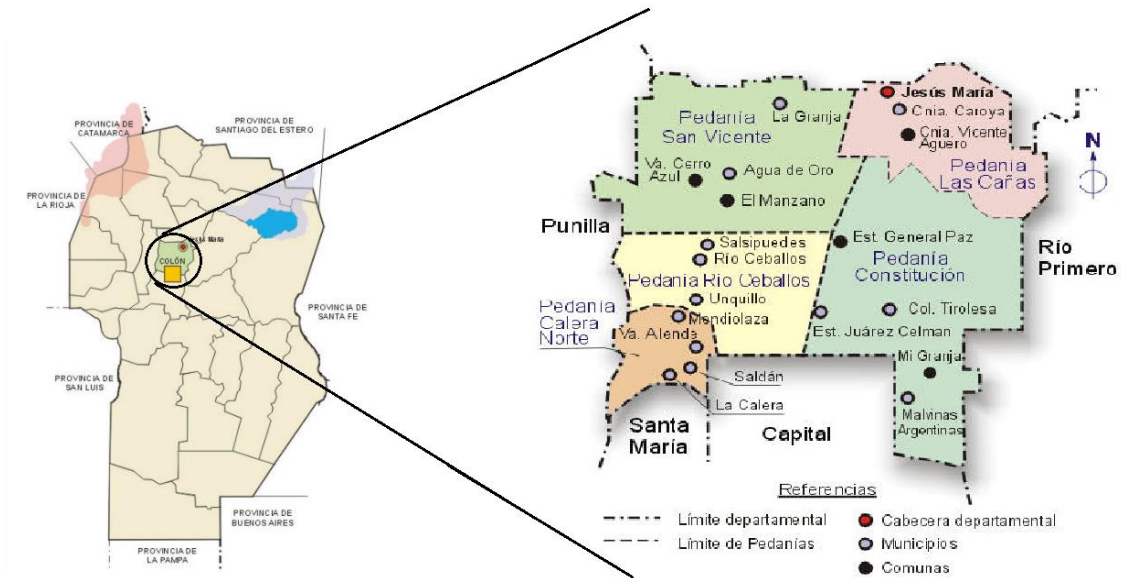


Fig. 6: Ubicación Departamento de Colón Provincia de Córdoba, límites y pedanías
Fuente: Dirección General de estadística y Censos de la Provincia de Córdoba. 2003.

Clima:

A continuación se describe primero de manera general y luego de forma específica las características climáticas del lugar de estudio:

Clima departamento de Colón:

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

El Noroeste del departamento corresponde al dominio semi-húmedo con tendencia al semi-seco de 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 200mm.), 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. 7)

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 800mm. (Fig. 7)

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

Déficit medio anual de agua: 100-200mm.

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

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

Vientos: predominantes del sector Sudoeste

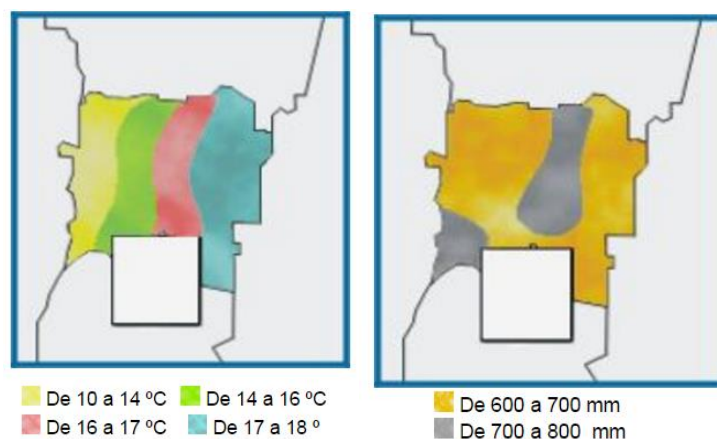


Fig. 7: Temperaturas Medias Anuales y distribución de las precipitaciones, Departamento Colón.
Fuente: Dirección General de estadística y Censos de la Provincia de Córdoba. 2003.

Influencia del fenómeno ENSO sobre la dinámica de la escorrentía en las sierras chicas:

Es de sumo interés remarcar las oscilaciones del escurrimiento superficial de las Sierras Chicas a lo largo de los años climáticos. Con esto se explica como en años “Niña” o de sequía se

relaciona con bajos niveles de escurrimiento superficial y como en años “Niño” o de extremas precipitaciones aumenta el escurrimiento.

Como se puede observar en la Figura 8, entre los años 2000 y 2003 la precipitación estival determinó un escurrimiento superficial apreciable, esto es particularmente claro durante el Niño 2002/2003. Se pasa luego a un periodo de muy bajo escurrimiento superficial entre los años 2003 y 2006 que coincide con dos picos marcados de Niña. Sigue un periodo muy seco en 2008 con escurrimiento bajo. Las condiciones de Niño vuelven a asociarse a valores más altos de escurrimiento superficial entre 2009 y 2010. Esta tendencia se continúa viendo particularmente hasta el verano de 2015 donde la tendencia cambia marcadamente a Niño produciéndose las precipitaciones extremas con altísimos niveles de escurrimiento superficial. Según los pronósticos, el Niño se irá debilitando hacia el 2017 entrando en un periodo de Niña.

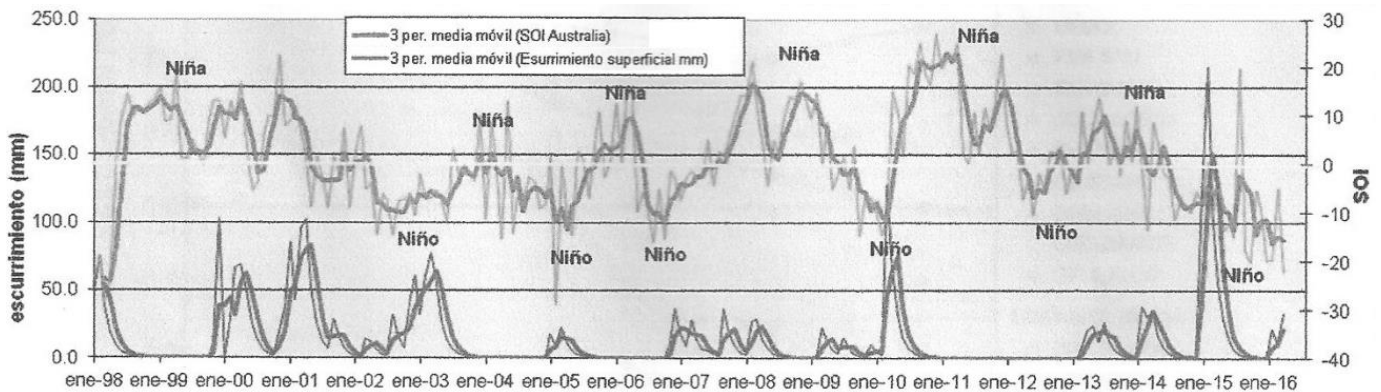


Fig. 8: Escurrimiento Superficial (mm) en relación al índice de oscilación sur (IOS) para las Sierras Chicas.
Fuente: Strelin, 2015.

El evento ocurrido el 15 de Febrero del año 2015 coincidió con una precipitación de características extraordinarias dentro de un ciclo Niño de Oscilación del Pacífico Sur, con más de 300 mm caídos en menos de un día, que se sumó a los efectos de los cambios de cobertura y uso de la tierra en cuencas hídricas en la provincia de Córdoba que señala Barchuck (2015) en su informe científico, donde elabora mapas de riesgo delimitando zonas susceptibles a inundaciones. En la figura 9 se observa la distribución de la precipitación en ese día y como se distribuye en el tiempo, obtenida de una estación pluviográfica ubicada en el cerro Pan de Azúcar (Sierras Chicas). En dicha figura se observa como ese día ocurrió una precipitación de forma atípica respecto de las características de lluvias de la zona con una probabilidad o tiempo de recurrencia de más de 100 años (Caamaño Nelli, 2010), la lluvia total caída superó los 200 mm. Este evento al presentar dos picos de alta intensidad separadas en muy poco

tiempo, el primero prácticamente en la segunda hora de comenzado el evento (durante la primera casi no precipitó nada) , y el segundo comenzó 10 horas después con la salvedad de que continuó lloviendo, impidió el correcto drenaje y evacuación del excedente de agua.

Hietograma - Evento 15/02/2015

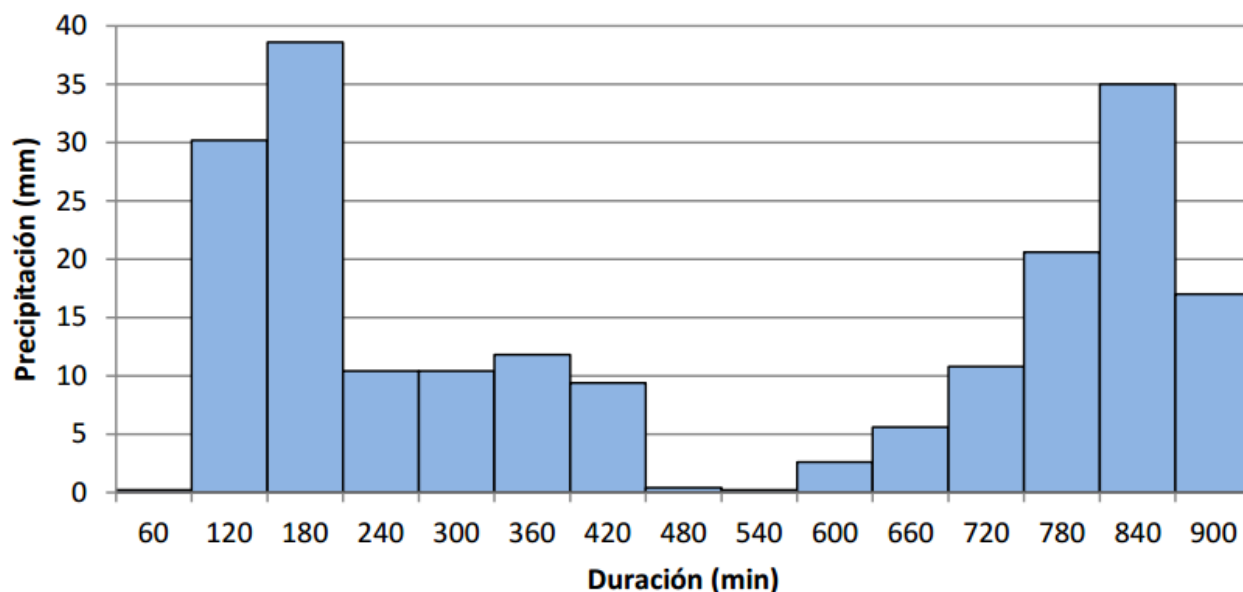


Fig. 9: Hietograma evento 15 de Febrero 2015
Fuente: Ministerio de Agua, Ambientes y Servicios Públicos, 2016

Suelos

El área de estudio está comprendida por dos unidades cartográficas: Al oeste por la unidad cartográfica EPli-7 y al este por EPli-17 (Tabla 1 y Fig. 10) (Jarsún et al., 2006)

Tabla 1: Unidades Cartográficas para la zona de la cuenca en estudio

	EPli-7	EPli-17
Índice de productividad	4%	5%
Aptitud	VII	VII
Fisiografía	Sierras Chicas, Pastizales de altura	Sierra Chica, Sector oriental
Suelos	<ul style="list-style-type: none"> ● Suelos de laderas escarpadas (ustorthent lítico paralítico) 50%. ● Suelos de laderas con exposición Sur (Hapludol Lítico Paralítico) 30% ● Suelo de vallecitos de altura (argiudol típico) 10%. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Suelos de laderas escarpadas (ustorthent lítico paralítico) 40%. ● Suelos de laderas muy colinadas (Ustorthent Lítico) 30%. ● Suelo de vallecitos (Haplustol fluventico) 10%

	● Roca 10%	● Roca 20%
Características	<ul style="list-style-type: none"> ● Excesivamente drenados ● Franco arenosos ● Poco profundos ● Pedregosos ● Baja capacidad de retención de la humedad ● Susceptible a la erosión hídrica 	

Fuente: Jarsún et al., 2006

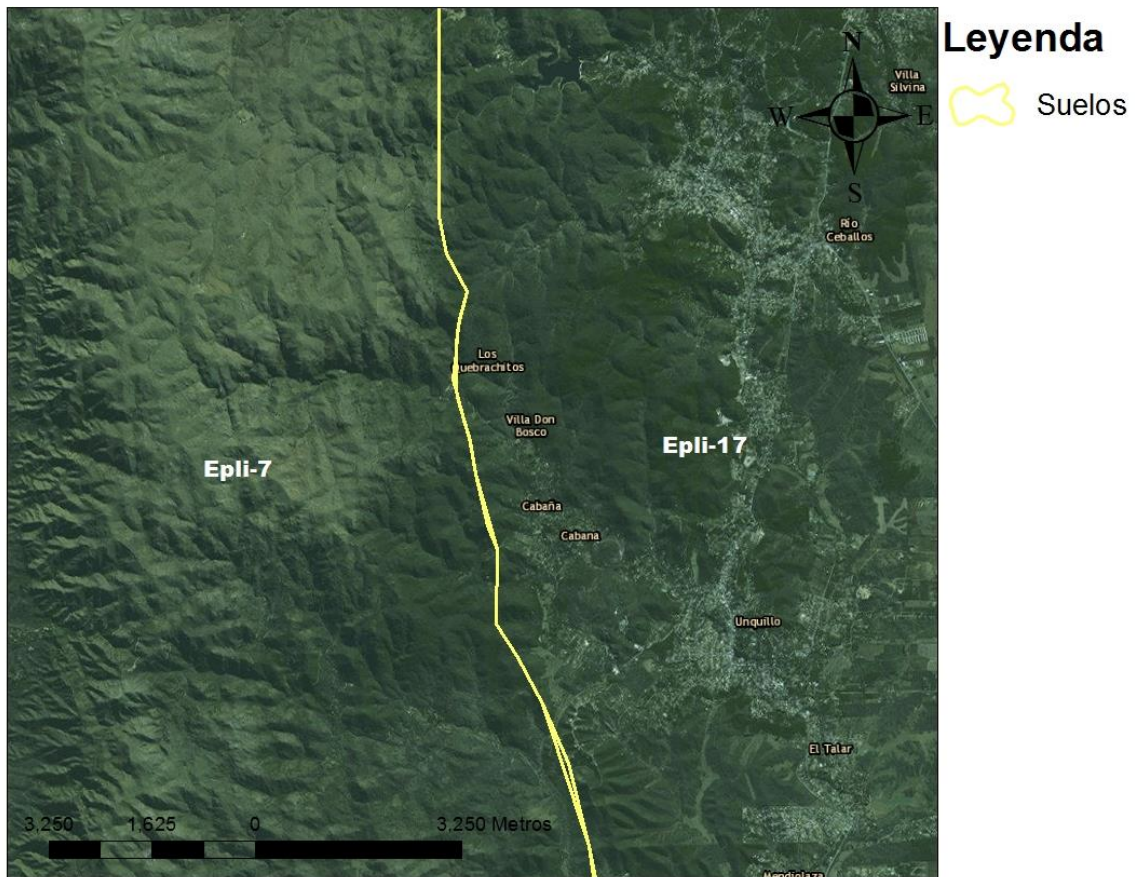


Fig. 10: Ubicación geográfica de las unidades cartográficas en el área de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Flora

La provincia de Córdoba está dividida en distintas unidades fitogeográficas destacando dos de suma importancia ubicadas dentro del área de estudio:

Bosque Serrano: Comprende el piso de vegetación más sobresaliente de las sierras. El nivel inferior fluctúa entre los 500 a 800 m.s.n.m. y el superior desde los 800 a los 1.300m.s.n.m. (Fig. 11 y 12) Se extiende por todos los sistemas serranos entre los paralelos 31º y 33º de latitud sur. Es un bosque generalmente abierto, denso en sitios favorables y ralos en

los que presentan condiciones más severas. Molle, coco, quebracho serrano, durazno de la sierra, molle blanco, piquillín de la sierra, algarrobo blanco, quebracho blanco, algarrobo negro, espinillo, chañar, tala, etc.

Matorral Serrano: Este piso se extiende desde los 1.000 a los 1.700m.s.n.m. (Fig. 11 y 12). Sin embargo, puede descender hasta los 800 m.s.n.m. alternando con el bosque serrano y constituyendo un extenso ecotono en el cual ocupa las áreas rocosas más expuestas, ventosas y secas o superficies anteriormente cubiertas por bosque, que en el presente se encuentran descubiertas por la tala y los incendios repetidos. Los arbustos dominantes son romerillo y romerito. El límite superior constituye un “mosaico” con los pastizales de altura, los cuales en algunas áreas, bajan hasta los 1.000m.s.n.m. (Fig. 11 y 12), donde las condiciones ecológicas les son más favorables.

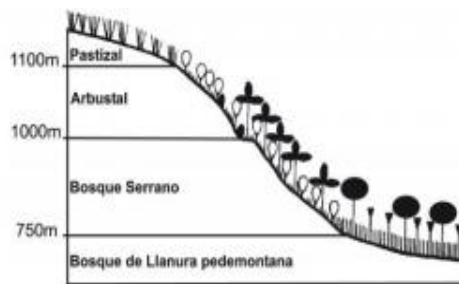


Fig. 11: Estratos de vegetación según la altura sobre el nivel del mar.
Fuente: (Gavier y Baucher, 2004)

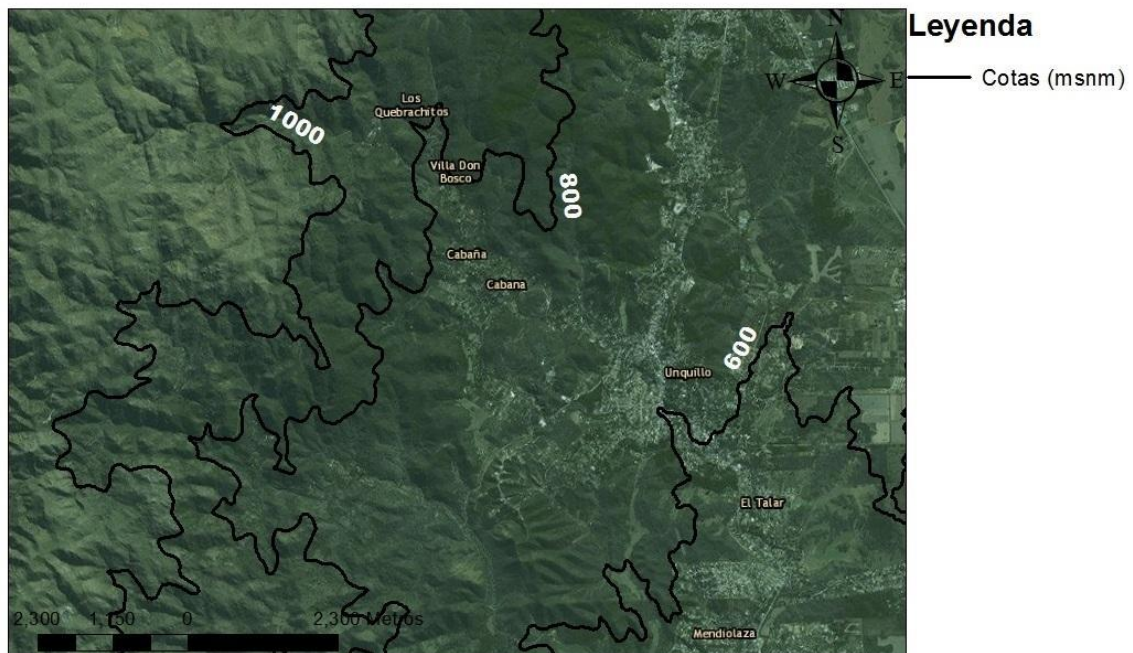


Fig. 12: Cotas 1000, 800 y 600 msnm proyectadas sobre imagen de alta resolución del área de estudio.
Fuente: Elaboración propia

La situación de conservación del bosque o Chaco Serrano de Córdoba ha sido calificada como “vulnerable” en una reciente evaluación del estado actual de conservación de las ecoregiones terrestres de Latinoamérica y el Caribe (Gavier y Bucher, 2004). Lamentablemente, dentro del área cubierta por el bosque serrano de las Sierras Chicas existen muy pocas áreas protegidas. Las más importantes son la Reserva Hídrica Natural La Quebrada, la Reserva Hídrica Natural Los Manantiales y Reserva Hídrica recreativa municipal Los Quebrachitos.

Aspectos demográficos

Tabla 2: Cantidad de habitantes Unquillo

Ciudad	Número de Habitantes
Jesús María	26.825
La Calera	24.796
Villa Allende	21.683
Río Ceballos	16.632
Unquillo	15.369
Colonia Caroya	13.806

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

Según el Censo Provincial del año 2001 la ciudad de Unquillo tiene una población de 15.369 habitantes. La cantidad de personas por hogar alcanza un valor de 3,4 y el índice de masculinidad, según el censo 2008, es del 96 (hay 96 hombres cada 100 mujeres). La pirámide poblacional de Unquillo para el año 2001 (Figura 13) muestra una proporción de 51,12% de mujeres y 48,88% de varones. También es posible notar que los jóvenes de 15 a 29 años representan el 24,18% de la población, mientras que los adultos de 30 a 60 años constituyen el 33,11%. La población mayor a los 60 años es del 12,55% y menor a los 15 años del 30,16%. La distribución de la población por grupos de edad y sexo se muestra a continuación:

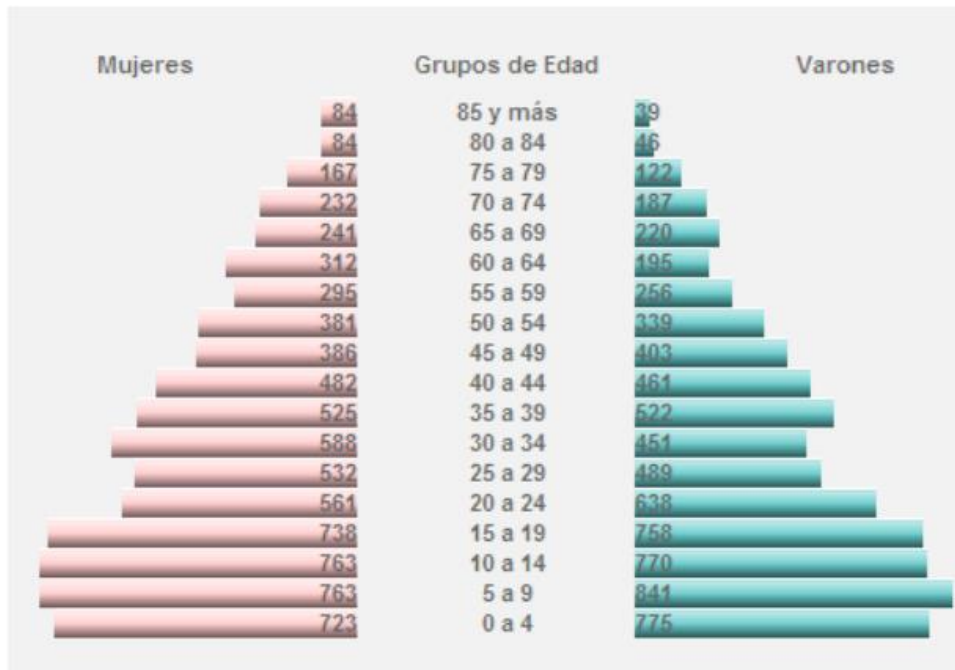


Fig. 13: pirámide poblacional Unquillo
Fuente: INDEC. Censo Nacional de población, hogares y vivienda 2001

Áreas de Reserva

La reserva Hídrica Recreativa Natural Municipal “Los Quebrachitos” resulta de nuestro interés ya que nuestra cuenca o área de estudio se encuentra inserta dentro de ella y regida por la Ordenanza 026/99 y la modificación Ordenanza Nº 846/ 2014. Esta indica los límites de la reserva (fig. 14) y determinó cuatro factores limitantes para cualquier tipo de intervención sobre el territorio de la Reserva. Ellos son:

- Cota 750 msnm
- Pendientes superiores al 30%
- Sectores de escorrentías y descarga de aguas naturales.
- Áreas con presencia de bosque serrano: considerando este tipo de bosque como el sistema natural más amenazado y vulnerable, tanto en la zona como a nivel regional, siendo prioritario a los fines de la conservación.

Se generó así una zonificación de acuerdo a las limitantes antes mencionadas, la cual comprende:

Área No Urbanizable: definida por los factores limitantes de cualquier tipo de intervención como la cota 750 msnm, pendientes superiores al 30%, sectores de escorrentías y

descarga de aguas naturales, áreas con presencia de bosque serrano y las zonas establecidas en el Mapa de Riesgo de Inundación (CIRSA, 2010).

Área Urbana: definida por el parcelario aprobado con anterioridad a la promulgación de la presente ordenanza con o sin edificaciones. Dentro de esta área se encuentran las siguientes zonas para las que se establecen indicadores urbanísticos:

-Zona Especial de Reserva Residencial. Zona de lotes con designación urbana, aprobados antes de la presente ordenanza, posibles de ser ocupados con un factor de ocupación de suelo (FOS), máximo de 0.2 y un factor de ocupación total (FOT) de 0.4, en parcelas de hasta 2.500 m². Aquellos lotes superiores a 2.501 m² serán normados según la Zona Especial de Reserva Residencial Condicionada.

-Zona Especial de Reserva Residencial Condicionada. Zona de lotes con designación rural, aprobados antes de la presente ordenanza, posibles de ser ocupados con un factor de ocupación (FOS), máximo de 0.05 y un factor de ocupación total (FOT) de 0.08.

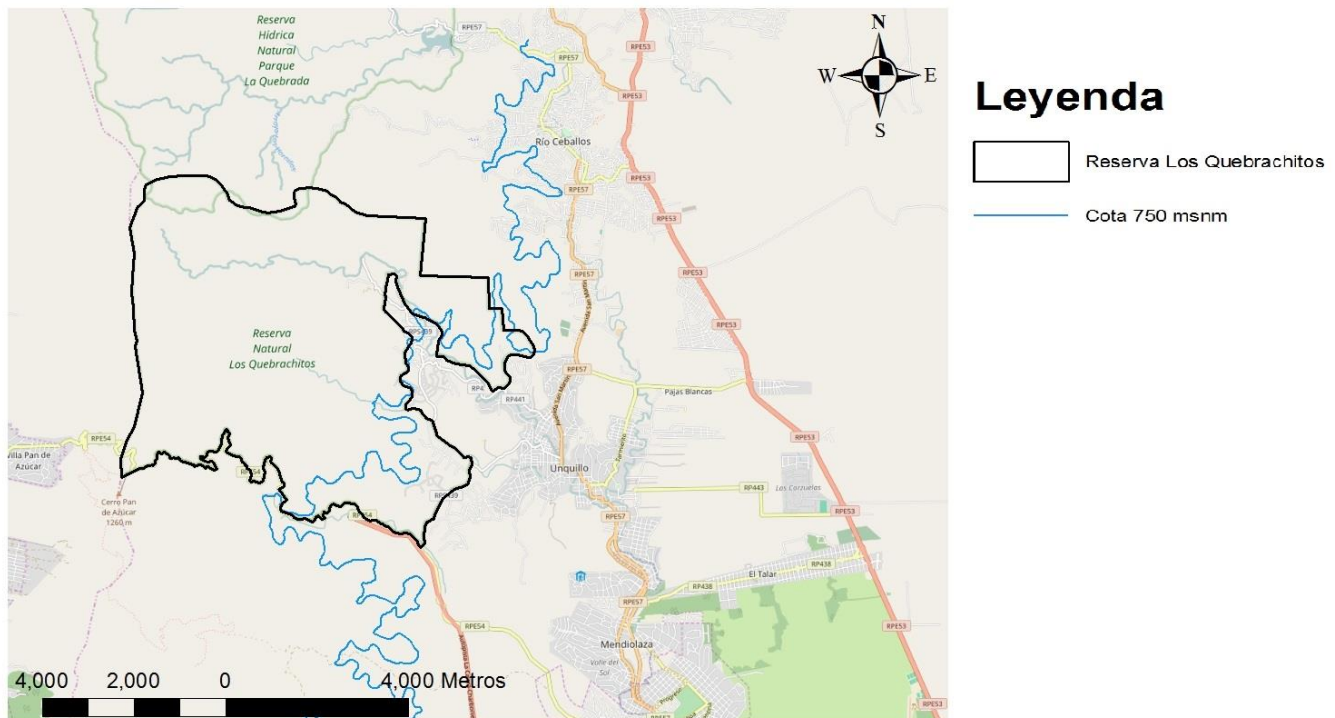


Fig. 14: Reserva Hídrica recreativa municipal "Los Quebrachitos" con cota 750 msnm
Fuente: Elaboración propia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como se fue nombrando a lo largo del trabajo el material de estudio se centra en la cuenca hidrográfica del Arroyo Cabana tomando como punto de desagüe la intersección que se genera entre el río y el comienzo del ejido municipal de Unquillo para de esta forma controlar los efectos que toda la cuenca genera sobre la localidad descrita.

Delimitación de la cuenca

La delimitación de la cuenca en estudio se realizó a partir de un modelo digital de elevación adquiridos desde la plataforma **earthexplorer.usgs.gov** del satélite espacial "ASTER GDEM v2 (1arc-second)" de 30 metros de resolución y se procesó mediante la plataforma ArcGIS para lograr manipular las imágenes. Del mismo se obtuvo un mapa topográfico (Figura 15) de la zona en estudio que se muestra a continuación:

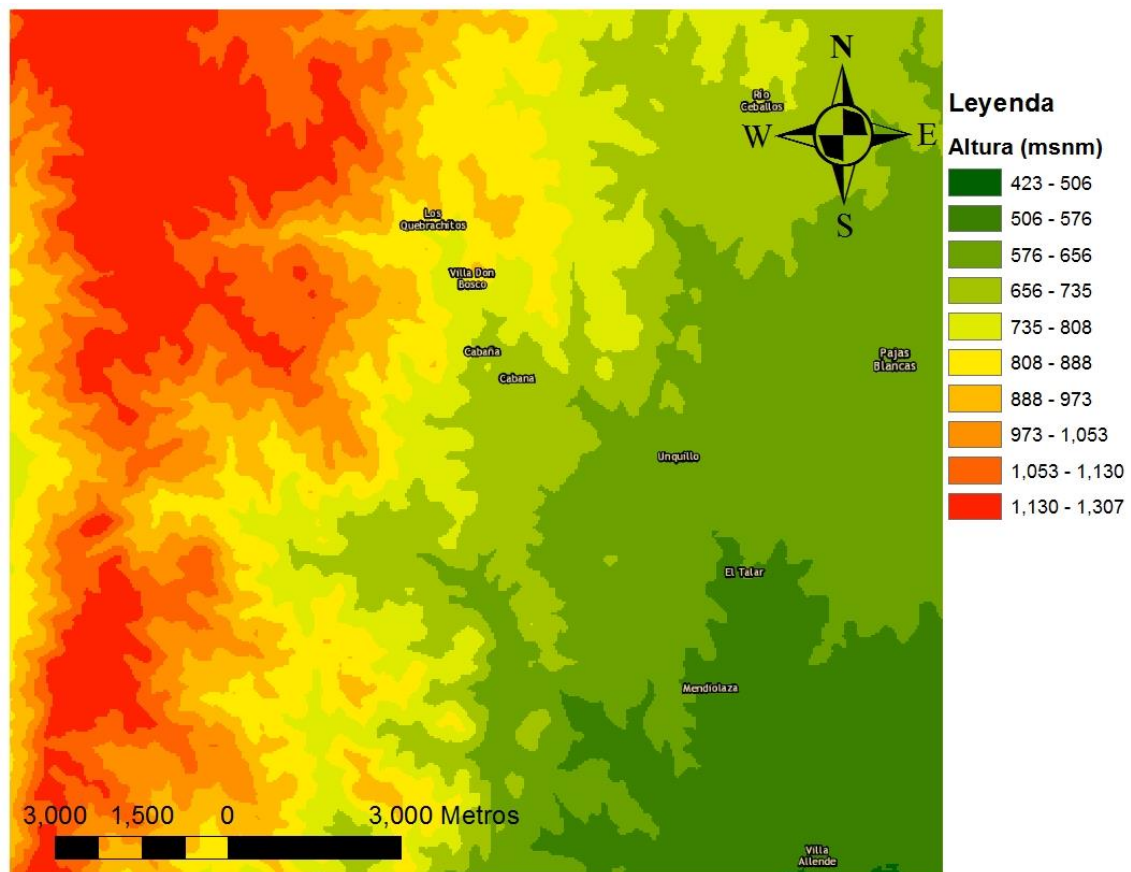


Fig. 15: Modelo Digital de Elevación (ASTER)

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la figura 15 cómo hacia el este, los valores de tono verde hacen referencia a valores bajos de altura y de menor pendiente a medida que se acercan a los llanos pampeanos, mientras que hacia el oeste, en tonos rojos, se hace presencia la cadena de las sierras chicas sobre el territorio cordobés.

Definición de la Red de Drenaje

Utilizando la herramienta ArcGis con el módulo de Hidrología se determinó la red de drenaje de la cuenca. Para ello el módulo crea modelos de dirección y acumulación de flujo que estima el movimiento que proyecta una gota de agua sobre el terreno, explicado por los píxeles que reciben agua de aquellos de mayor altura y píxeles que aportan agua a otros, terrenos abajo:

El modelo "Flow Direction" asigna valores de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128 a los píxeles, para establecer la dirección del flujo como se muestra en la figura número 16. De esta forma de acuerdo al valor del píxel tomado del DEM indicará hacia qué dirección se proyectará el movimiento del flujo tomando como referencia la pendiente más empinada como valor determinante para decidir el píxel al cual se direccionará el flujo, yendo de lugares más elevados hacia otros de menor altura.

Luego combinando el DEM con el raster "Flow Direction" se genera la última imagen que sirve para la delimitación llamada "Flow Accumulation". Tomando valores de dirección de flujo y diferencia de altura entre píxeles se le asignan valores iguales a cero a aquellos píxeles que no reciben flujo de ningún otro, unidos estos píxeles conforman la divisoria de aguas. Por otro lado los píxeles ubicados en terrenos más bajos se les asignan valores mayores a cero conformando la red hídrica de la cuenca.

Una vez obtenidos la dirección y la acumulación del flujo de agua, se debe elegir el punto de desagüe.

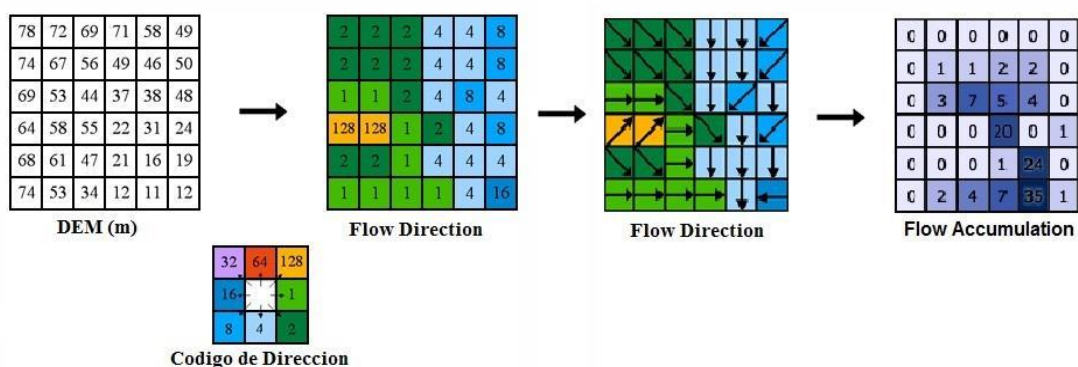


Fig. 16: Procedimiento de delimitación de cuenca (ARCGIS) - Fuente: ArcGis, 2016

Caracterización del Comportamiento Hidrológico de la Cuenca: Parámetros Morfométricos e Hidrológicos.

El análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia (Gaspari et al, 2010). A continuación se hace una breve referencia a los parámetros morfométricos que se requirieron en este trabajo para lograr la modelación:

Parámetros de forma

- Perímetro (P) Es la medición del contorno que encierra el área de la cuenca hidrográfica, por la divisoria de aguas (Gaspari, et. al., 2010).
- Área (A). Es la superficie encerrada por la divisoria de aguas medida en kilómetros, que permite definir el tamaño y el nombre para la caracterización de la cuenca (Gaspari, et. al., 2010).

Parámetros de relieve

- Curva hipsométrica (CH) Es la distribución de las áreas parciales de la cuenca de acuerdo a un rango de elevación. Permite obtener la relación hipsométrica mediante el análisis altitudinal con el límite de la cuenca, el intervalo de altitud seleccionado debe ser una equidistancia para todas las áreas parciales de la cuenca (Gaspari, 2010).
- Altura Media (h) Este factor expresa la altura definida por el volumen de la cuenca en relación a la superficie de la misma (Gaspari, 2010).
- Pendiente media de la cuenca (PM). Este parámetro es la media ponderada de todas las pendientes de las áreas elementales en las que se considera constante la máxima pendiente (Gaspari, 2010).

Parámetros relativos a la red hidrográfica

- Número de orden de los cursos de agua: Es un valor asignado en base al número de ramificaciones que presenta la red hidrográfica, si esta llega a tener un número de orden mayor que otra cuenca de área similar, indica que la cuenca estudiada es mayor el potencial erosivo, el transporte de sedimentos y el escurrimiento directo (Gaspari, 2010).
- Pendiente media del cauce (S): La pendiente media del cauce se obtiene a partir del desnivel topográfico que se presenta sobre el cauce principal y su longitud. Al

aumentar la pendiente aumenta la velocidad del agua por la red hidrográfica, haciendo más susceptible a la cuenca a procesos erosivos y al arrastre de materiales.

- Tiempo de concentración (Tc) Es el tiempo que le toma llegar a la última gota de agua caída en la parte más lejana de la cuenca hasta la desembocadura de la cuenca (Gaspari, 2010).

Caracterización del suelo y determinación de los cambios de uso en el período 2002-2016

Los suelos se caracterizaron a través de la información cartográfica disponibles de los Suelos de Córdoba.

A partir de registros históricos de imágenes satelitales de la zona en cuestión se elaboró una clasificación supervisada. La clasificación de escenas satelitales es una de las técnicas más utilizadas en análisis cuantitativo de los datos en teledetección. En su esencia el concepto de clasificación consiste en transformar una imagen pancromática, multi o hiper espectral en una imagen compuesta por clases temáticas que luego serán asociadas a coberturas del suelo de interés de acuerdo al objetivo de nuestro estudio. Entonces el resultado final es un mapa de categorías que representan características de la superficie terrestre (CONAE, 2016).

La clasificación supervisada parte de un cierto conocimiento de la zona de estudio para permitir asignar áreas representativas de las distintas categorías que se pretenden discriminar llamadas parcelas de entrenamiento. De esa manera el Sistema de Información Geográfica (SIG.) toma los valores numéricos (ND) de la parcela de entrenamiento, calcula estadísticas básicas de cada categoría o parcela de entrenamiento (media, rango, desviación estándar, varianza, covarianza, etc.) y permite clasificar toda la imagen con el fin de evaluar, en parámetros medibles, cómo cambió la cobertura del suelo entre los años 2002 y 2016. (Chuvieco, 1995).

Las distintas parcelas son identificadas gracias a la respuesta de reflectividad del espectro electromagnético presente en cada objeto; este concepto se lo conoce como firma espectral y es la información sobre el comportamiento espectral de un objeto, siendo éste característico de cada material brindando información para poder identificarlos. Por ejemplo una vegetación sana (Bosque) otorga altos niveles de absorción de las ondas correspondientes

al rojo pero una alta reflectividad del infrarrojo producto de la estructura foliar; en una vegetación enferma los valores de reflectividad del infrarrojo decaen; en otro extremo, los cuerpos de agua son característicos por absorber toda la radiación del espectro refractando valores mínimos en el valor de ondas característicos al azul, a su vez, cuerpos blancos (zonas urbanas, nubes, nieve) tienen una amplia reflectancia de todos los rangos del espectro. Dichos ejemplos conforman firmas espectrales para cada objeto y se pueden graficar (Fig. 17)

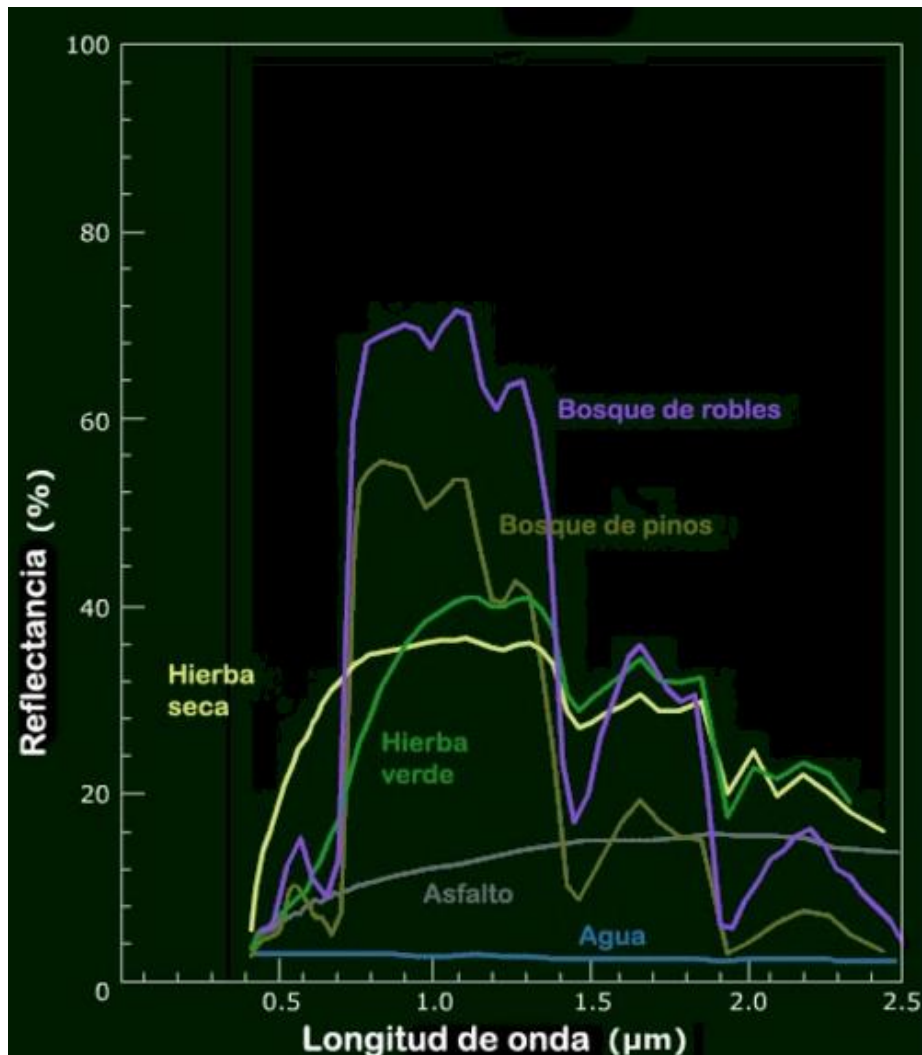


Fig. 17: Firma espectral
Fuente: ESA (Agencia Espacial Europea, 2016)

De esta forma con la finalidad de conseguir datos de cobertura precisos en espacio y en tiempo para lograr una clasificación supervisada de calidad se utilizaron imágenes de la plataforma Landsat de la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Para los años 2016, 2014 y 2002 se utilizaron imágenes Pansharpened de Landsat 8 para 2016 y 2014, y Landsat 7 para 2002, estas, son combinaciones de la banda pancromática de alta resolución

con otra multiespectral de menor resolución dando como resultado una única imagen en color real de alta resolución. Para el año 2009 de muestreo se utilizó únicamente la multiespectral del satélite Landsat 5 ya que debido a una avería en el satélite Landsat 7 en el año 2003 no permite obtener datos confiables a partir de esa fecha, quedando como única opción optar por satélites antiguos con menor calidad de resolución.

Evolución de los Parámetros Hidrológicos de la Cuenca entre los Años 2002 al 2016

Con el fin de determinar los parámetros hidrológicos de la cuenca y cómo variaron a lo largo de los años de muestreo se recurrió a la aplicación del modelo hidrológico HEC-HMS, por sus siglas en inglés “Hydrologic Modeling System – Hydrologic Engineering Center”, desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU. Es de uso libre y fue diseñado para simular los procesos de precipitación-escorrentía por evento, en cuencas dendríticas. (Scharffemberg, 2013)

El uso del programa requiere que se haya caracterizado previamente la/las cuencas en estudio desde el punto de vista físico, tales como definición de superficie de la cuenca y subcuencas que la componen, pendientes, red de drenaje, tormenta de proyecto, Número de Curva, etc.

Una vez realizada dicha caracterización se puede aplicar el modelo HEC-HMS para la modelación hidrológica en función de los objetivos de estudio planteados.

Número de curva:

Los métodos para estimar la escorrentía a partir de la precipitación, tratan de descontar de la lluvia caída sobre una cuenca, todas aquellas pérdidas que se deben a factores tales como la infiltración, la evapotranspiración, la intercepción y el almacenamiento superficial. El procedimiento más generalizado y fácil de adaptar a cualquier región es el método del número de curva (NC).

El número de curva es un parámetro empírico cuyo el método de cálculo fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS), actualmente Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS) de los EEUU. Toma en cuenta las condiciones de humedad antecedente (AMC) del suelo (seco, normal y húmedo), determinada a partir de la

precipitación total en los cinco días previos. Se representa mediante un número adimensional, en curvas estandarizadas, las que varían entre 0 y 100; donde un área con $NC = 0$ no tiene escurrimiento y otra con $NC = 100$ es impermeable y toda la precipitación genera escorrentía (INTA, 2016).

Para obtener el valor de número de curva es necesario conocer algunos aspectos sobre el área a evaluar ellos son:

1. *Uso de la tierra*: implica directamente el nivel de protección del suelo por la cobertura vegetal frente al impacto de las gotas de lluvia.
2. *Condiciones hidrológicas para la infiltración*: hace referencia a la existencia o no de algún impedimento físico que pueda afectar la tasa de infiltración dividiéndose en 5 posibles alternativas: muy pobre, pobre, regular, buena y muy buena.
3. *Permeabilidad del suelo*: determina la naturaleza del suelo clasificando al mismo en 4 clases de permeabilidad dada por su composición, profundidad y textura: Permeabilidad alta (Grupo A), moderada (grupo B), escasa (Grupo C) y nula o prácticamente nula (Grupo D).
4. *Condiciones previas de humedad*: finalmente la respuesta del suelo frente a una lluvia dependerá en gran medida de su estado previo de humedad clasificando al mismo en categorías I, II y III de acuerdo a las precipitaciones en los 5 días previos al evento y si la vegetación está o no en activo crecimiento.

De esta forma con todos los datos recolectados se procede a obtener el número de curva con la siguiente tabla:

Tabla 3: Números de curva de escorrentía para condiciones de humedad previa clase II.

Clase	Cubierta del suelo		Números de curva correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo			
	Laboreo	Condiciones hidrológicas para la infiltración	A	B	C	D
Barbecho	-	-	77	86	91	94
Cultivos alineados	R	Pobres	72	81	88	91
	R	Buenas	67	78	85	89
	C	Pobres	70	79	84	88
	C	Buenas	65	75	82	86
	C-T	Pobres	66	74	80	82
	C-T	Buenas	62	71	78	81
Cultivos no alineados o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobres	65	76	84	88
	R	Buenas	63	75	83	87
	C	Pobres	63	74	82	85
	C	Buenas	61	73	81	84
	C-T	Pobres	61	72	79	82
	C-T	Buenas	59	70	78	81
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternativa	R	Pobres	66	77	84	88
	R	Buenas	58	72	81	85
	C	Pobres	64	75	83	85
Pastizales (pastos naturales)	C	Buenas	55	69	78	83
	C-T	Pobres	63	73	80	83
	C-T	Buenas	51	67	76	80
	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
Prados permanentes, Montes con pastos (ganadero-forestal)	C	Buenas	6	35	70	79
	-	-	30	58	71	78
	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
Bosques (forestales)	-	Buenas	25	55	70	77
	-	Muy pobres	56	75	86	91
	-	Pobres	46	68	78	84
	-	Regulares	36	60	70	76
	-	Buenas	26	52	63	69
	-	Muy buenas	15	44	54	61
Caseños	-	-	59	74	82	86
Caminos de tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos en firme	-	-	74	84	90	92

Fuente: "Ingeniería de conservación de suelos y aguas"

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Delimitación de la cuenca:

Para definir la cuenca, se determinó como punto de desagüe la intersección que une el cauce principal (Arroyo Cabana) con la entrada a la ciudad de Unquillo como se observa en la imagen obtenida de flujo acumulado:

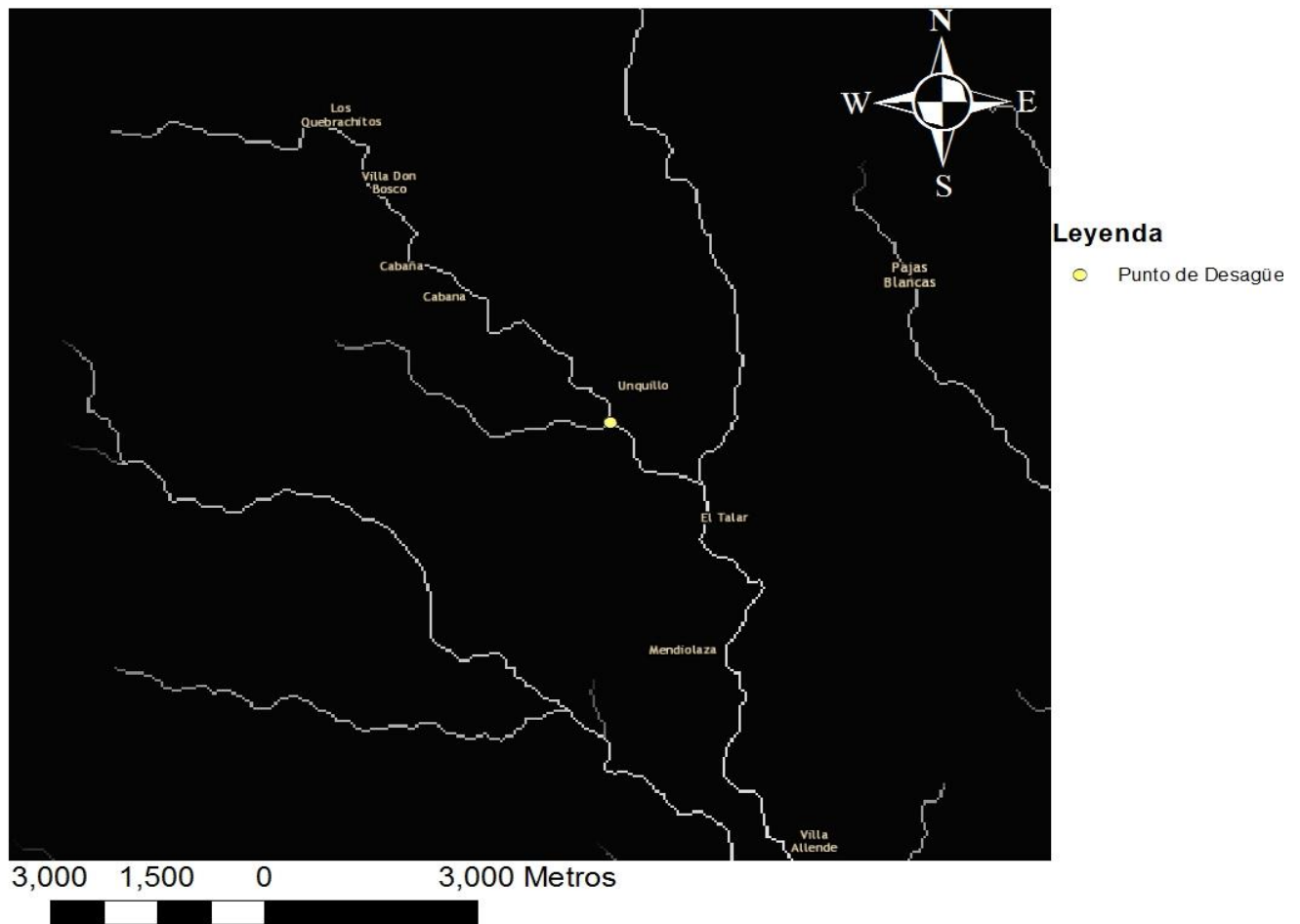


Fig. 18: Modelo de Acumulación de Flujo y punto de desagüe.
Fuente: Elaboración Propia

De esta forma, partir de un DEM, utilizando los modelos hidrológicos de acumulación y dirección de flujo del SIG y conociendo el punto de desagüe, se pudo delimitar la cuenca (Fig. 19).

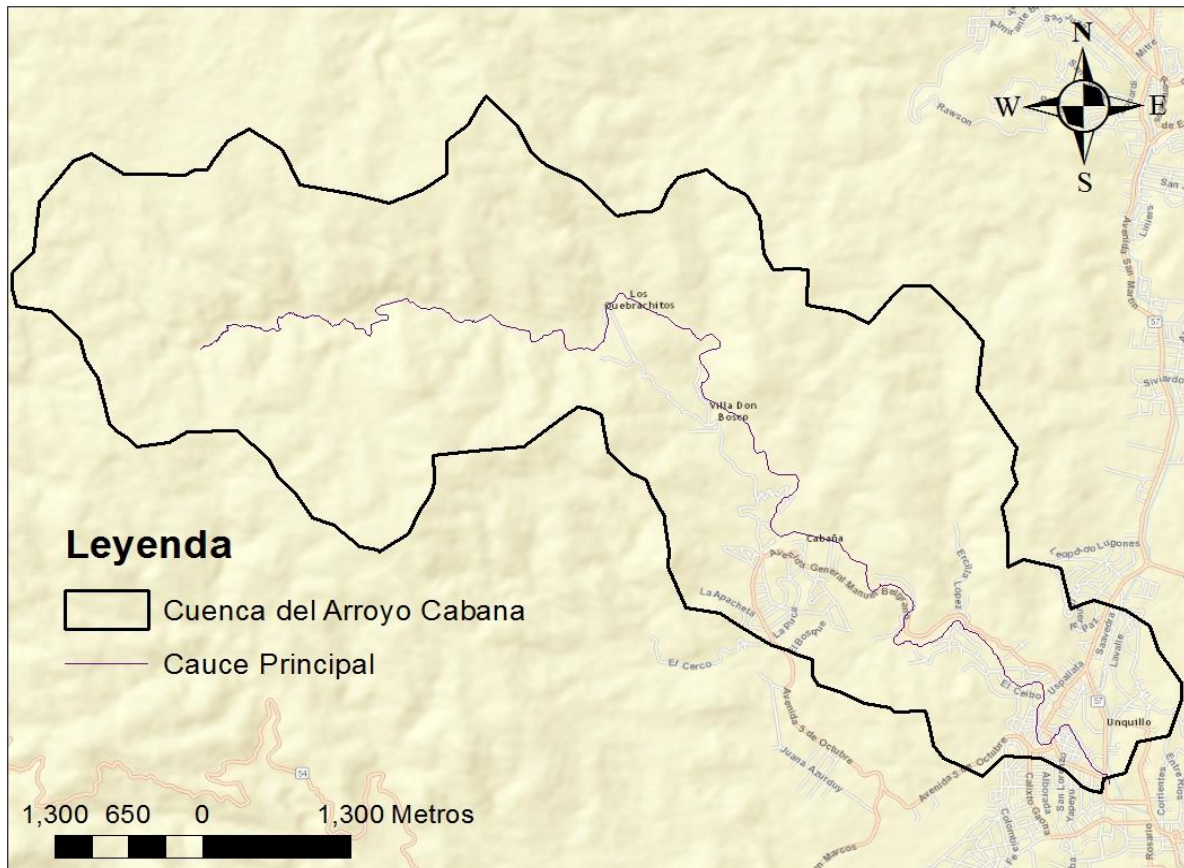


Fig. 19: Cuenca del Arroyo Cabana
Fuente: Elaboración Propia.

Parámetros morfométricos de la cuenca

El análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, resultan básicos en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia (Gaspari et al, 2009). De acuerdo a las características de la cuenca en estudio, dichos parámetros adquieren los siguientes valores:

Tabla 4: Parámetros geomorfológicos Cuenca del Arroyo Cabana

Descripción	Unidades	Valor
SUPERFICIE		
Área de la cuenca	km ²	28,06
Perímetro de la cuenca	km	32,37
COTAS		
Máxima	msnm	1240
Mínima	msnm	600
CENTROIDE (PSC: WGS 1984 UTM Zona 20S)		

X Centroide	m	370053,54
Y Centroide	m	6547171,16
Z Centroide	msnm	936,28
ALTITUD		
Altitud media	msnm	936,28
Altitud más frecuente	msnm	1144
Altitud de frecuencia media	msnm	945,37
PENDIENTE		
Pendiente media de la cuenca	%	19,15
RED HÍDRICA		
Orden de la red hídrica	und	3
Longitud del cauce principal	km	14,68
Longitud de la red hídrica	km	44,60
Pendiente promedio de la red hídrica	%	2,25
Pendiente del cauce principal	%	3,24

Fuente: Elaboración Propia.

Zonificación de la cuenca en función de la cobertura y Uso de Suelo:

Mediante observación y análisis de imágenes se determinaron las diferentes parcelas de entrenamiento (Fig. 20) de acuerdo a 4 principales usos del suelo: Una antrópica que representa toda área producida o modificada por la actividad humana (casas, edificios, etc.), otra de pastizal y roquedales de altura, otra representada por el área cubierta por bosques densos, y por último áreas representadas por suelo desnudo o de baja cobertura (camino, suelos descubiertos, etc.).

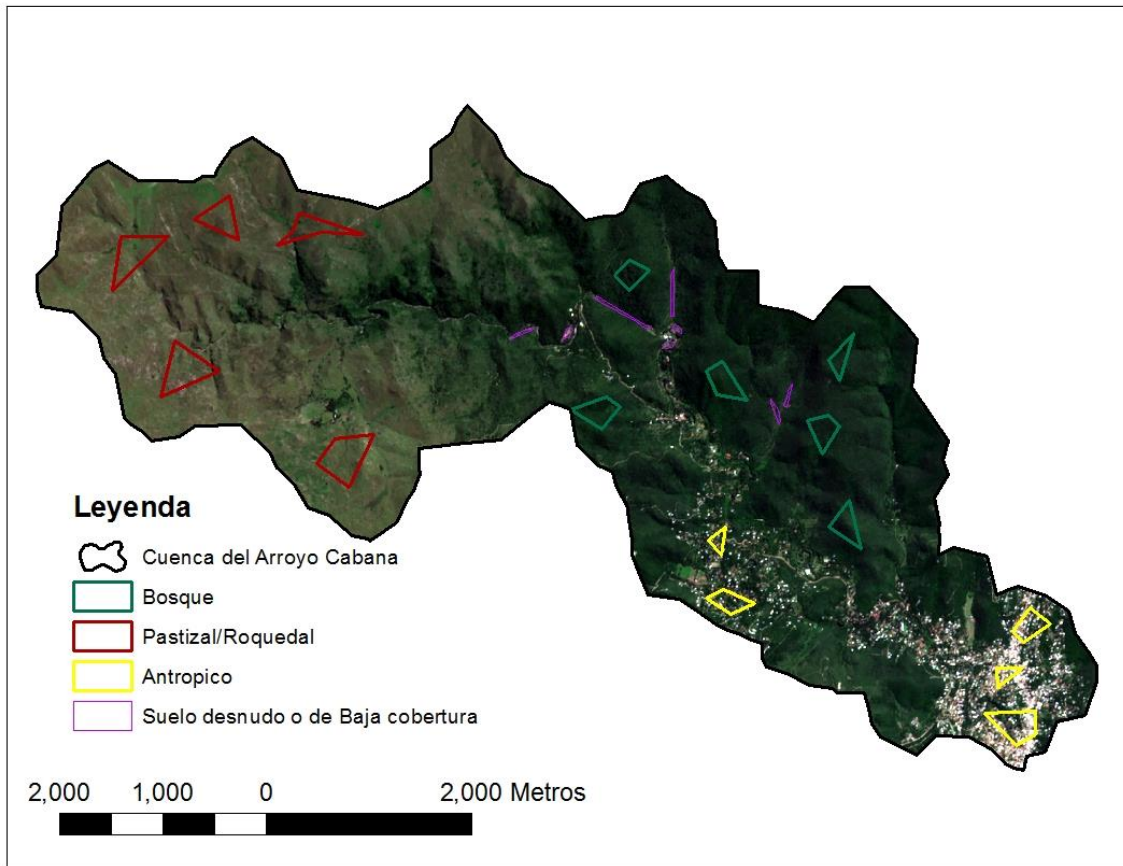


Fig. 20: Parcelas de Entrenamiento
Fuente: Elaboración Propia

Utilizando Imágenes Pansharpened y multispectrales del satélite Landsat y habiendo generado las parcelas de entrenamiento, se procedió a realizar la clasificación supervisada de la totalidad de la cuenca obteniéndose los siguientes resultados:

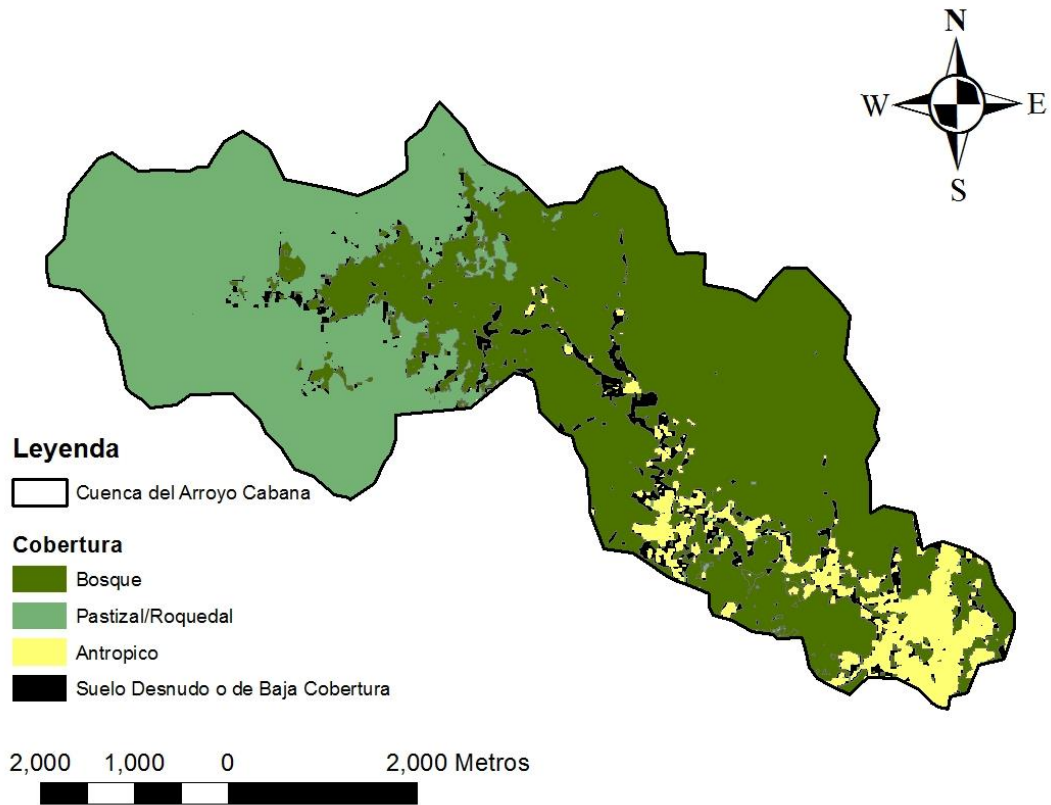


Fig. 21: Zonas de bosque, pastizal/roquedal, antrópico y suelo desnudo o de baja cobertura para la cuenca en estudio, según el año 2002

Fuente: Elaboración Propia.

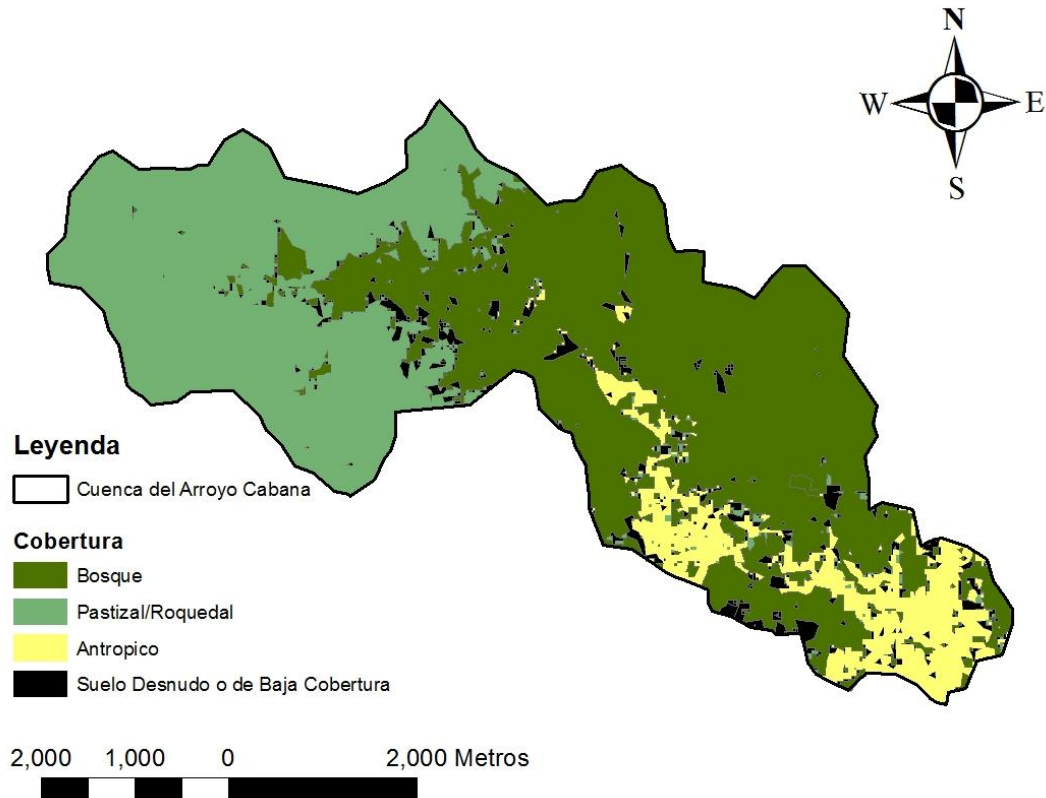


Fig. 22: Zonas de bosque, pastizal/roquedal, antrópico y suelo desnudo o de baja cobertura para la cuenca en estudio, según el año 2009.

Fuente: Elaboración Propia.

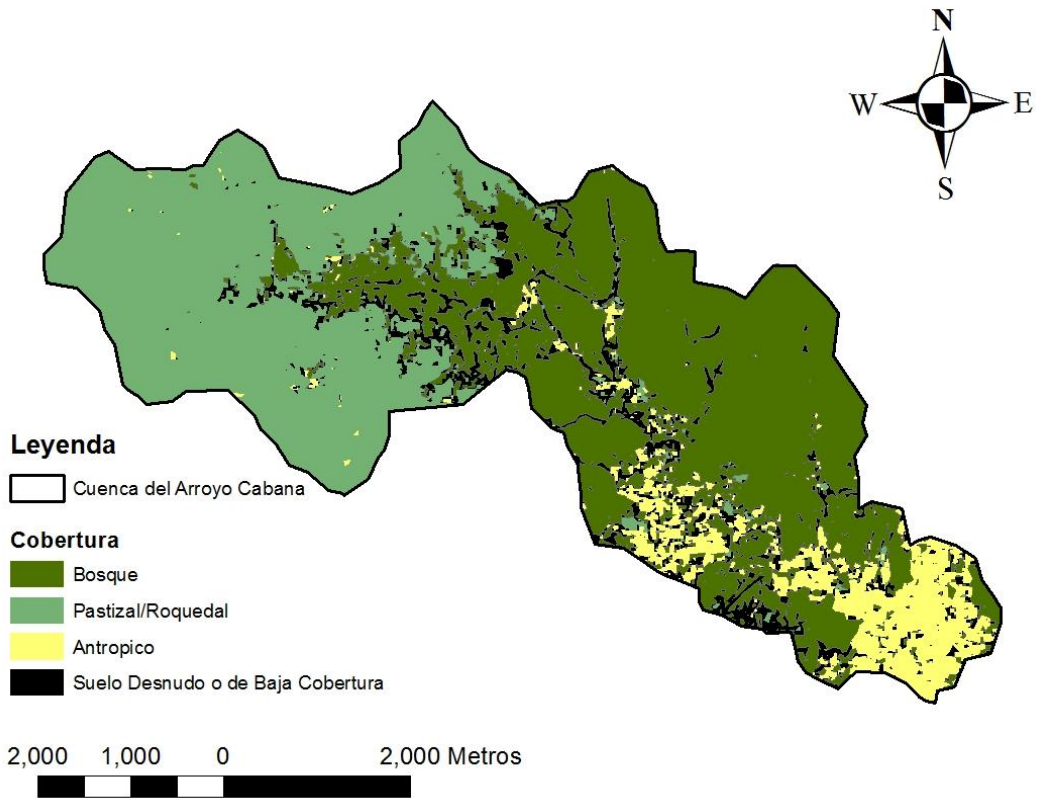


Fig. 23: Zonas de bosque, pastizal/roqedal, antrópico y suelo desnudo o de baja cobertura para la cuenca en estudio, según el año 2014.

Fuente: Elaboración Propia.

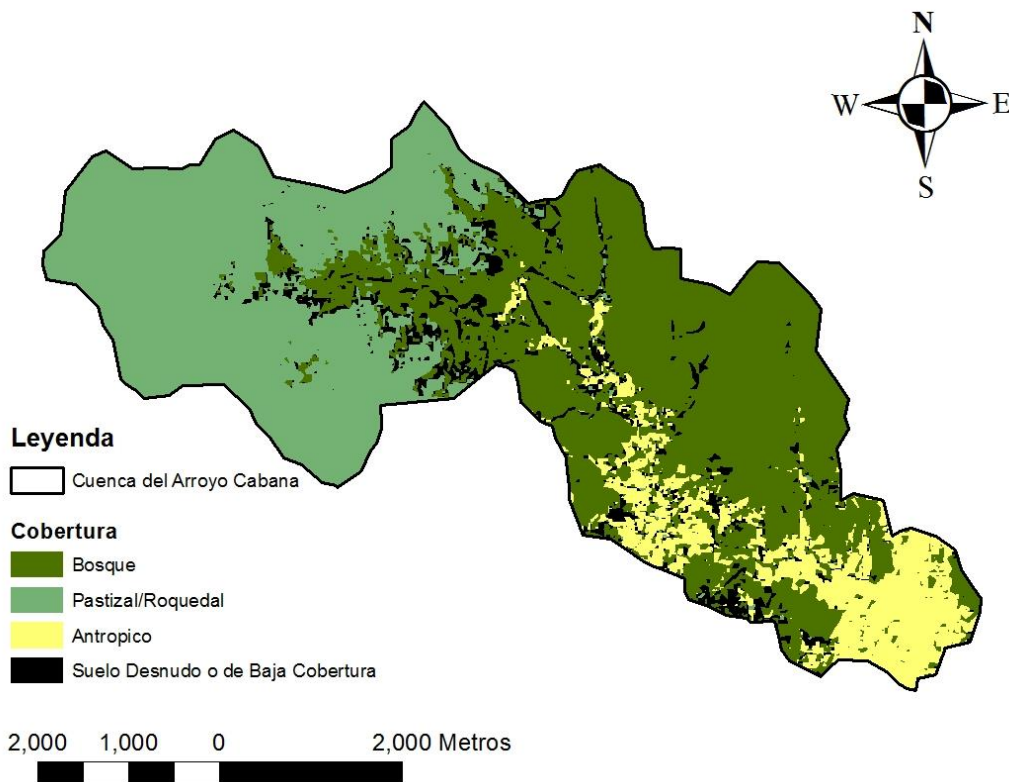


Fig. 24: Zonas de bosque, pastizal/roqedal, antrópico y suelo desnudo o de baja cobertura para la cuenca en estudio, según el año 2016.

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar en las figuras anteriores y en la Tabla 4, cómo en los últimos 14 años la frontera urbana fue avanzando sobre territorio de bosque afectando en mayor proporción a la cuenca baja. En cuanto a la cuenca alta, esta sufrió variaciones menores propio de eventos espontáneos en el tiempo, como lo fue por ejemplo, un incendio causado por un rayo en el cerro Pan de Azúcar que avanzó de Sur a Norte por la parte más alta del valle de Punilla, sin afectar partes más bajas debido a la presencia de pircas de 45 km de extensión que sirvieron como barrera “cortafuegos”.

Tabla 5: Cobertura del suelo para los años de muestreo

ESTRATO	2002		2006		2009		2014		2016	
	SUPERFICIE	PORCENTAJE	SUPERFICIE	PORCENTAJE	SUPERFICIE	PORCENTAJE	SUPERFICIE	PORCENTAJE	SUPERFICIE	PORCENTAJE
Bosque	1454.76	52%	1400.93	50%	1377.99	49%	1278.28	46%	1254.37	45%
Antropico	200.78	7%	271.74	10%	286.21	10%	340.96	12%	341.98	12%
Pastizal/Roquedal	1027.92	37%	1016.02	36%	1018.34	36%	1027.41	37%	1033.40	37%
Suelo Baja Cobertura	122.61	4%	117.55	4%	123.35	4%	159.49	6%	176.23	6%
SUP. TOT. (Has)	2806	100%	2806	100%	2806	100%	2806	100%	2806	100%

Fuente: Elaboración Propia.

Análisis hidrológico de la cuenca:

Con el fin de lograr una precisión de los datos a los fines de modelar, resultó necesario dividir la cuenca en subcuencas mediante la extensión SWAT de ArcGIS obteniéndose 13 subcuencas (Fig. 25) de las cuales se agrupan, a forma de análisis, en cuenca baja (subcuencas 1 a 5), media (subcuencas 6 a 9) y alta (subcuencas 10 a 13) usando la pendiente como criterio principal para la agrupación. Se procedió luego a calcular los parámetros morfométricos de cada una (ver Anexo) para posteriormente colocarlos como entrada en el modelo hidrológico HEC-HMS.

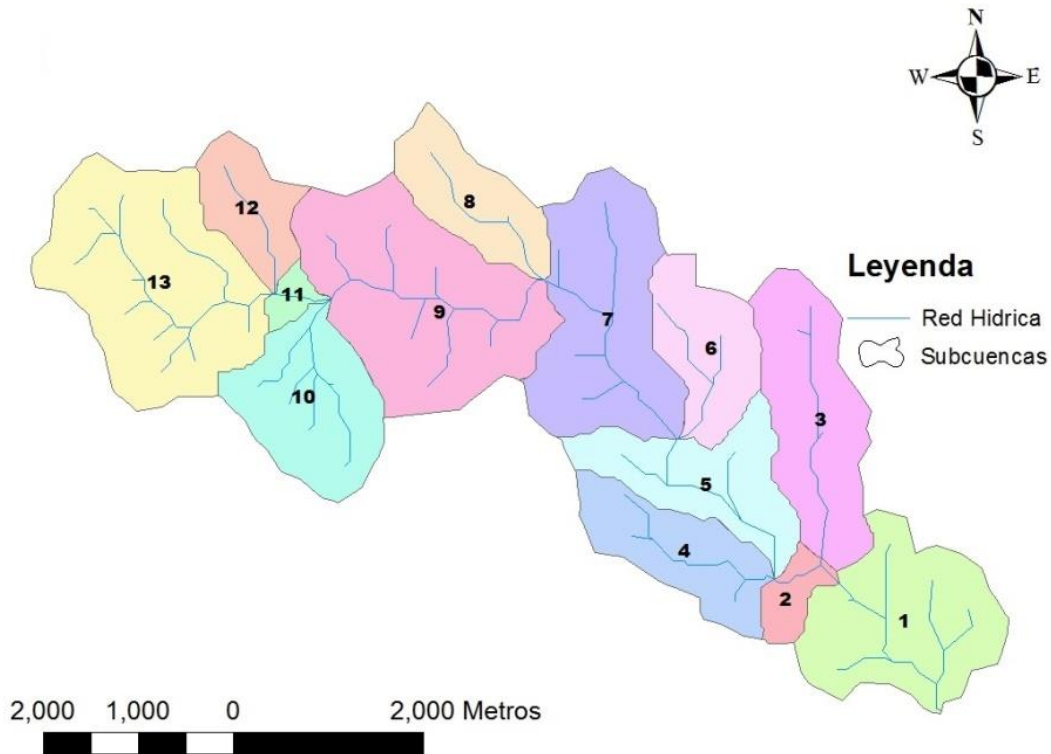


Fig. 25: Delimitación de las subcuencas y vías de escurrimiento principales.
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez obtenidas las subcuencas se determinó el porcentaje de cobertura de cada una (ver anexo) utilizando las clasificaciones ya realizadas y se procedió a estimar el número de curva de cada una.

Para determinar el valor del Número de Curva de cada situación se debió determinar previamente los grupos hidrológicos del suelo y las condiciones previas de humedad en el suelo como ya se describió anteriormente:

Grupo hidrológico del suelo: según la descripción del perfil, el terreno se corresponde a suelos de moderada permeabilidad, excesivamente drenado, areno-franco en superficie, moderadamente pobre en materia orgánica y muy rocosa que se corresponde con el grupo hidrológico B conformando en la cuenca suelos Epli-7 (1340 has) y Epli-17 (1466 has):



Fig. 26: Unidades cartográficas de la cuenca del Arroyo Cabana.

Fuente: Elaboración Propia.

Las condiciones previas de humedad en el suelo: Se tomó para el análisis como condición previa del suelo la condición II, indicando que el suelo estaba en un punto intermedio entre seco y muy húmedo que se corresponde con una condición de humedad cercana a capacidad de campo.

Uso de suelo: De acuerdo a la clasificación supervisada realizada, se determinaron 4 tipos distintos de uso del suelo: bosque, pastizal/roquedal, suelo desnudo y antrópico, con la salvedad que se considera en las cuencas alta y media una composición de 90% de pastizal y 10% de roquedal, y además la zona antrópica se diferenció en alta, media y baja densidad de acuerdo al grado de ocupación del suelo.

Analizando todas las variables consideradas para la estimación del Número de Curva, se obtuvieron los siguientes valores para cada situación de uso de suelo:

Tabla 6: Número de curva para cada clase de uso de suelo.

Clases	Número de Curva (NC)
Bosque	55
Pastizal/Roquedal (90:10)	65
Suelo desnudo o de baja cobertura	82
Antrópico alta densidad	80
Antrópico media densidad	75
Antrópico baja densidad	70

Fuente: Elaboración Propia.

De esta manera, y ya obtenidos los números de curva para cada situación de uso de suelo, se procedió a ponderar los valores de NC por la superficie de afectación de cada categoría de uso de suelo, para cada subcuenca y para cada año de muestreo (tabla 6).

Tabla 7: Número de Curva para las subcuencas del Arroyo Cabana y los años de muestreo.

Subcuenca	2002	2009	2014	2016
1	68	71	72	72
2	62	66	67	69
3	55	56	56	56
4	62	65	65	66
5	59	59	60	60
6	55	55	56	56
7	57	57	58	59
8	61	61	63	63
9	61	61	63	63
10	65	65	65	65
11	64	64	65	66
12	64	64	64	65
13	65	65	65	65

Fuente: Elaboración Propia.

De esta manera se puede observar en la figura número 27 como las subcuencas 1,2 y 4 fueron las más afectadas por el avance de la superficie antrópica por sobre la boscosa afectando directamente sobre el número curva.

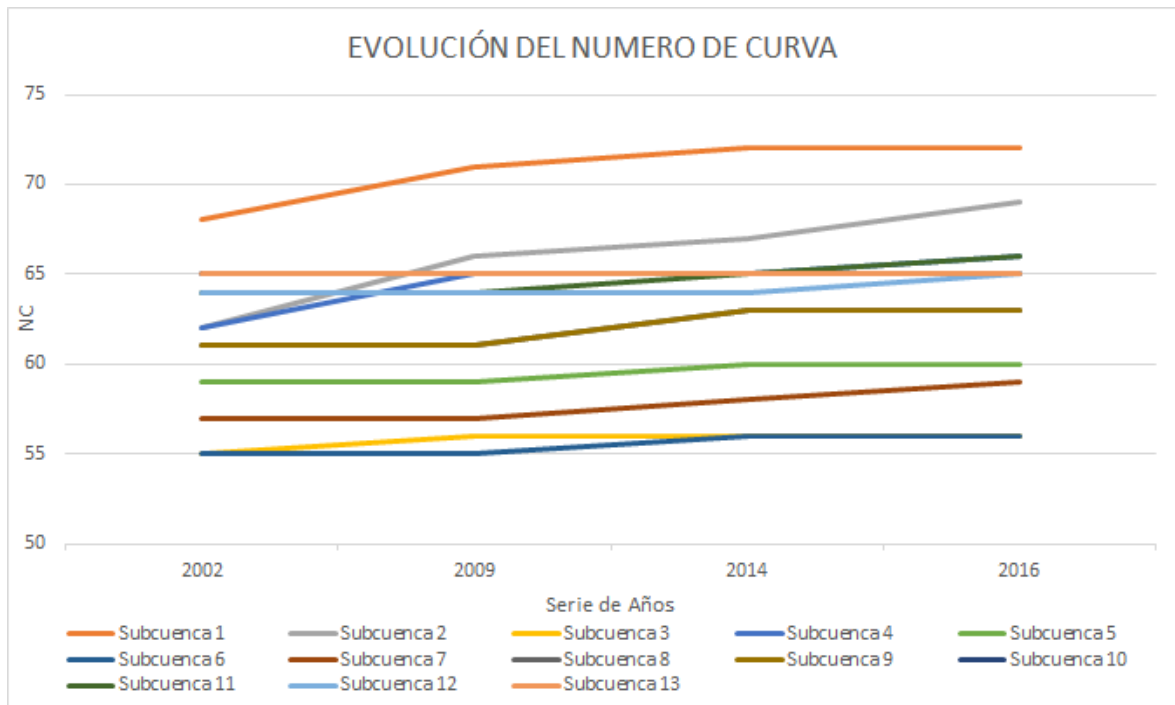


Fig. 27: Evolución del Número de Curva según cada Subcuenca para los distintos años de muestreo.
Fuente: Elaboración Propia.

Tiempo de Concentración y Tormenta Proyecto de la cuenca

Desde el punto de vista empírico existen numerosas formas de calcular el tiempo de concentración (ver Anexo), adaptando fórmulas a situaciones, lugares, ambientes y cuencas específicas. Así, al no existir antecedentes de trabajos científicos de cálculo de tiempos de concentración sobre la zona de las Sierras Chicas, se calcularon aquellas más utilizadas en Argentina para cuencas urbanas y rurales, para así obtener un dato estadístico y confiable del modelo como marca Upeguil en su trabajo de tesis sobre “la estimación del tiempo de concentración en la cuenca San Luis, Manizales”. De 16 resultados se eliminaron los valores extremos superiores e inferiores (Ecuación de retardo SCS y el método racional generalizado respectivamente) para eliminar del cálculo estadístico aquellos tiempos de concentración que alteren al resto y los resultados obtenidos muestran en la tabla numero 8:

Tabla 8: Tiempos de Concentración estimados para la cuenca del Arroyo Cabana con resultados estadísticos obtenidos.

	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (min)
Ramser Kerby Flujo concentrado y Laminar	135
Bransby-Williams	305
California Culvert Practice	105

Clark	402
Retardo SCS	621
George Rivero	150
Giandotti	149
Johnstone Cross	161
Kirpich	118
Método Racional Generalizado	76
Pilgrim y McDermott	162
Témez	266
Valencia y Zuluaga	172
Ramser Kerby Flujo Concentrado	121
Snyder	248
MEDIANA	161,00
MEDIA	187,9
DESVÍO ESTÁNDAR	89,6
ERROR ESTÁNDAR	23,94
COEFICIENTE DE VARIANZA	0,47

Fuente: Elaboración propia

La precipitación de diseño empleada en el modelo es aquella obtenida de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), desarrollada para la zona Sierra Chica por CIRSA a partir de registros obtenidos de la estación Pan de Azúcar (Caamaño Nelli et al., 2010). Se tomó como tormenta de diseño aquella que coincidía en su duración con el tiempo de concentración de la cuenca (162 minutos), y un período de retorno de 25 años (Fig. 28). La distribución temporal de la precipitación se hizo en base al hietograma de diseño para la citada zona (Caamaño Nelli, 2010).

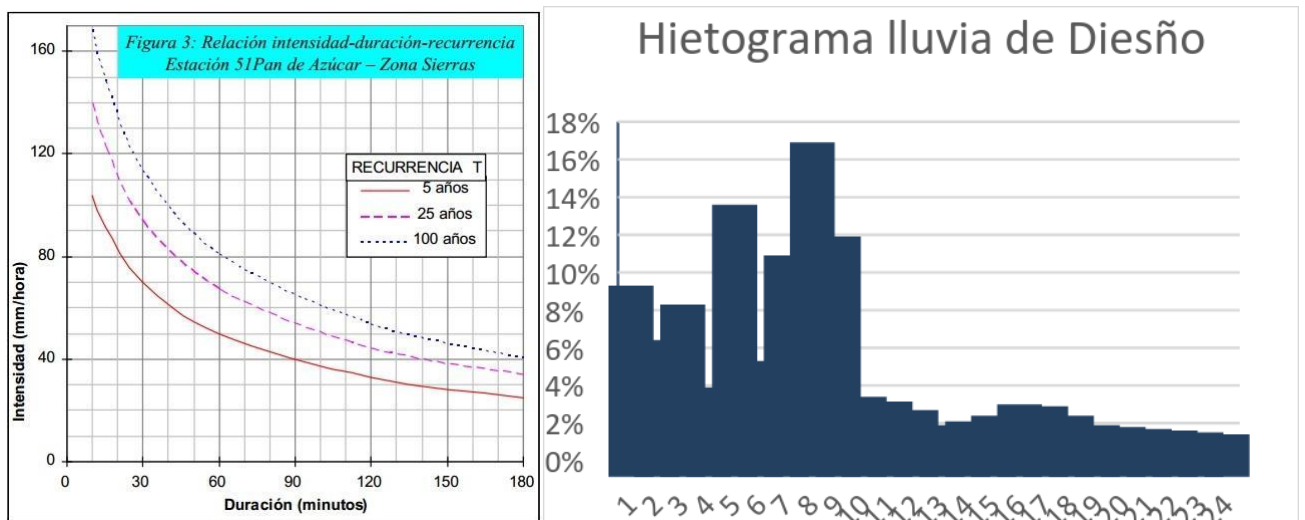


Fig. 28: Curva de Intensidad-Duración-Frecuencia e hietograma de diseño

Fuente: Caamaño Nelli, 2010

Con el fin de determinar la tormenta proyecto del modelo, se decidió utilizar aquella que coincidía en su duración con el tiempo de concentración de la cuenca. Para ello se tomó el valor de TC correspondiente a la mediana, que elimina, en su cálculo estadístico, aquellos valores extremos, tomando 161 min como el tiempo de concentración ubicado en el centro de la distribución normal. Cabe destacar que además la tormenta de proyecto para valores de TC de 162 y 180 min (siendo 180 min el valor más cercano a 187,9 y último valor de duración considerado de las curvas IDF), es de 102,6 y 105mm respectivamente, siendo la diferencia despreciable entre ambos valores de TC (Tabla 8).

Tabla 9: intensidad y lámina acumulada para los tiempos de concentración de la tormenta proyecto.

TC	Intensidad (mm/hr)	Lámina Acumulada (mm)
162	38	102.6
180	35	105

Fuente: Elaboración propia

Caudales de salida y lámina escurrida:

Utilizando el modelo hidrológico HEC-HMS y contando con todos los resultados obtenidos a lo largo de este trabajo, se calculó el caudal de salida y la lámina escurrida en la cuenca para cada situación descrita, obteniéndose los siguientes datos:

Tabla 10: Resultados de la corrida HEC-HSM punto de desagüe de la cuenca del arroyo Cabana

Año de Simulación	2002	2009	2014	2016
Caudal pico de salida (m3/seg)	117.6	123.4	129.9	131.9
Lámina escurrida (mm)	21.83	22.84	23.82	24.19

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla, a lo largo de los años el modelo muestra un incremento tanto el caudal de salida como la lámina escurrida de la cuenca (para una misma precipitación). Relacionando esos incrementos con los cambios de coberturas de suelo, una pérdida del 5% de la superficie de bosques por un aumento de la zona antrópica, correspondió un incremento de hasta un 12% del caudal de salida. Así mismo, a medida que aumenta la cobertura antrópica lo hace la fracción de la precipitación que escurre: 11% entre el 2002 y el 2016.

Con este primer análisis de la cuenca, se concluye que debido al cambio de cobertura se incrementaron los caudales y escurrimientos de la totalidad de la cuenca. A partir de esto surge la necesidad de determinar la o las áreas que más se alteraron. De acuerdo con la

clasificación supervisada y la estimación del número de curva, las subcuencas 1,2 y 4 fueron las que sufrieron el mayor porcentaje de alteración de su superficie: en los últimos 15 años aumentaron en un 18% (en promedio las tres cuencas) de su áreas la cobertura antrópica, lo que significó un incremento en un 31% tanto del caudal pico de salida como de la lámina escurrida (Ver tabla 11)

Tabla 11: Resultados de la corrida HEC-HSM para las subcuencas más afectadas.

	Subcuenca 1		Subcuenca 2		Subcuenca 4	
	2002	2016	2002	2016	2002	2016
Pico de descarga (M3)	17.4	21.3	3	4.3	8.6	10.9
Precipitación total (mm)	103.07	103.07	103.07	103.07	103.07	103.07
Lamina escurrida (mm)	31.54	38.09	22.75	33.15	22.75	28.45

Fuente: Elaboración propia

Los dos gráficos entregados por el HEC-HSM (Fig. 29) son una representación de cómo se comportó la cuenca baja para los años 2002 y 2016 respectivamente, ya que esta fue la que presentó los cambios más severos de cobertura y en la que se debería generar propuestas de manejo en el corto plazo. Como se observa, en el gráfico de la izquierda se delimita un área roja y otra azul, esta última hace referencia a la porción de la precipitación que escurre; se puede ver como en el segundo gráfico esta área es mayor debido al aumento del área urbana.

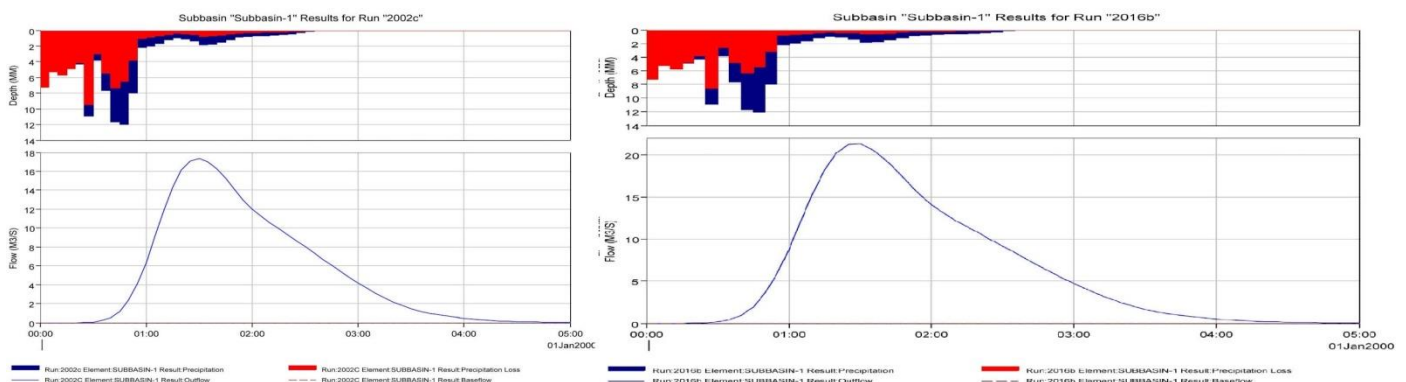


Fig. 29: Distribución de precipitación y curva de escurrimiento a la salida de la subcuenca 1 para los años 2002 y 2016 (de izquierda a derecha).

Fuente: Elaboración propia

La pregunta que surge a continuación es saber cómo serán los caudales de salida si no se genera una intervención de inmediato y continúa la tendencia en la ocupación del suelo. De

acuerdo con la figura 30, de continuar sin medidas ni toma de decisiones estrictas al respecto, se perdería la mitad de la superficie actual de bosques de la cuenca del Arroyo Cabana para el año 2050, teniendo en cuenta que la tasa de deforestación anual es de 14,5 has/años, lo que representa una pérdida del 0,51% de bosques por año de la superficie total de la cuenca pasando, de esta forma, de una cobertura de 52% en el 2002 a una de 25% para el 2050. (fig. 30).

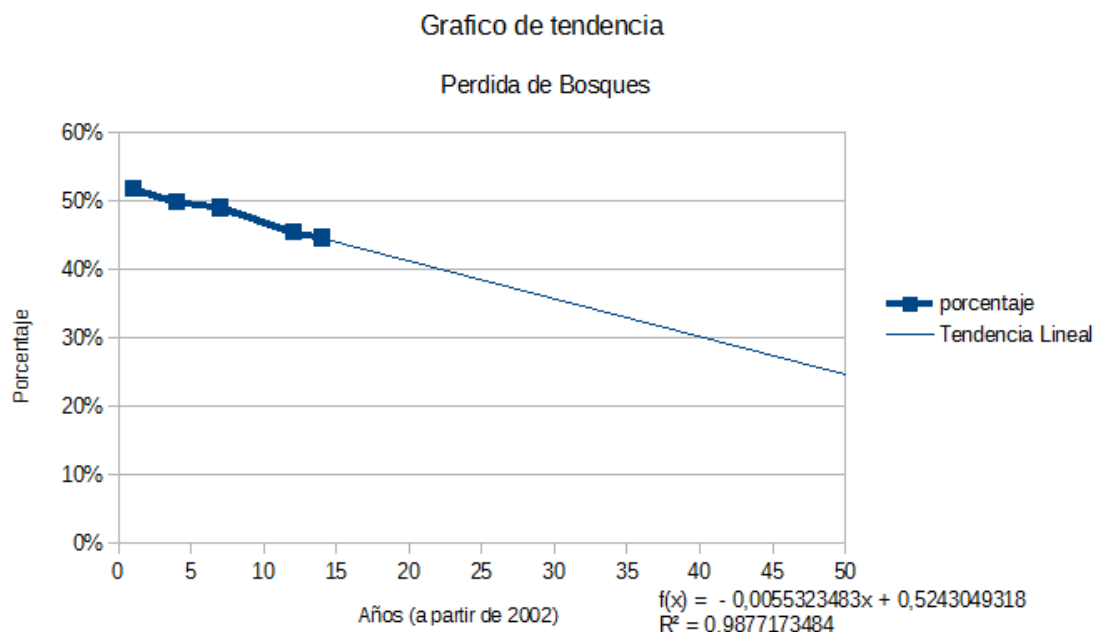


Fig. 30: Gráfico de tendencia de pérdida de cobertura de bosques.
Fuente: Elaboración propia

De esta manera se procedió a estimar los NC de cada subcuenca, de acuerdo a la tendencia observada, que podrían encontrarse en el año 2050, para determinar cómo cambiarían los caudales ante un caso teórico de no generar ningún manejo sobre la cuenca (Tabla 11). Los caudales aumentarían en un 44% desde el 2002:

Tabla 12: Resultados de la corrida HEC-HSM punto de desagüe de la cuenca del arroyo Cabana para los años 2002, 2016 y el un caso teórico en 2050

Año de Simulación	2002	2016	2050
Caudal pico de salida (m3/seg)	117.6	131.9	169.4
Lámina escurrida (mm)	21.83	24.19	30.72

Fuente: Elaboración propia

Como se observó en el gráfico de tendencia y en la clasificación de la totalidad de la cuenca, los cambios de cobertura dados principalmente por el avance urbano se están desplazando hacia la zona más alta de las cuencas. Debido a que la cuenca baja, ya se

encuentra casi en su totalidad cubierta por superficie urbana, y además ocupa las zonas con pendientes más bajas (ver Fig. 32), las propuestas de manejo se deberían enfocar en evitar que la tendencia a la urbanización continúe sobre la cuenca media. Esto ya se observa en la Fig. 31 donde el área antrópica está avanzando sobre niveles de cota más altos que 750 msnm y haciéndolo sobre áreas con presencia de bosque serrano y pendientes superiores al 30% cuestionando así el correcto funcionamiento de la normativa.

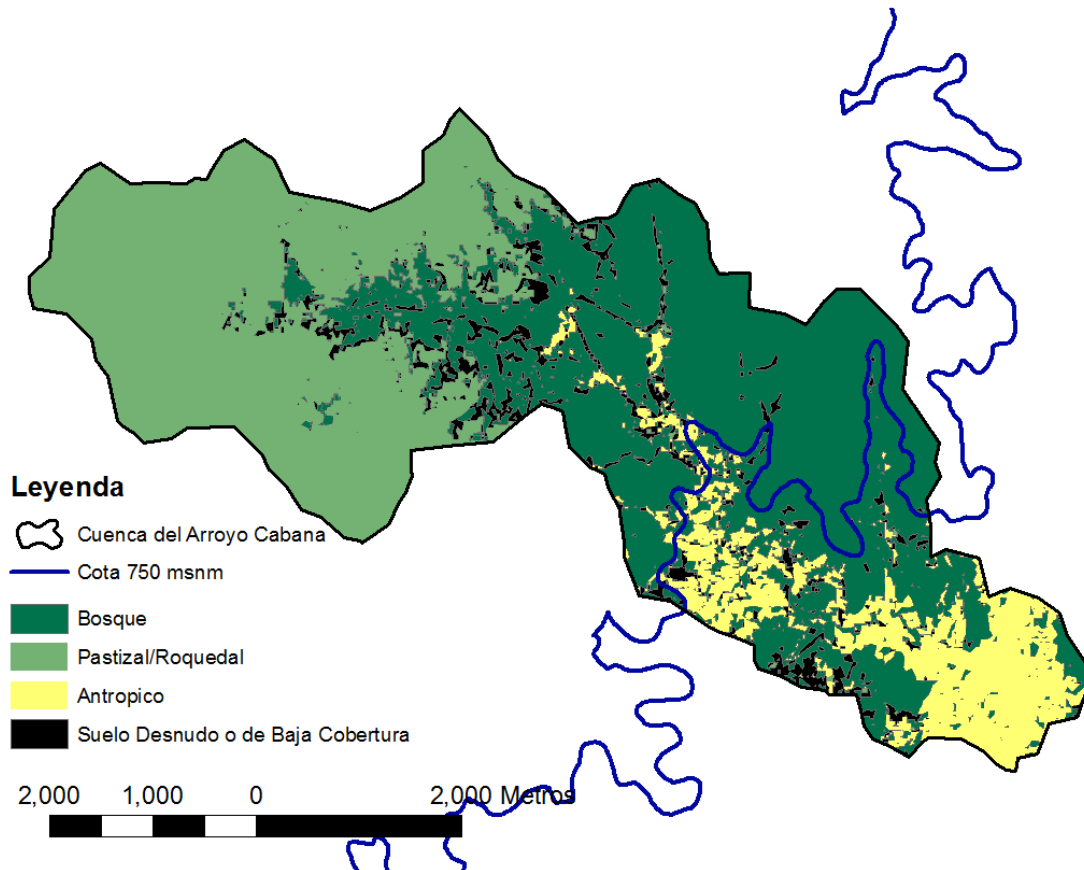


Fig. 31: Clasificación Supervisada año 2016 con cota 750 msnm
Fuente: Elaboración propia

En la fig. 32 se muestra un mapa de pendiente de la cuenca donde los valores de tono más claro representan superficies de la cuenca con altos niveles de pendiente por lo tanto simbolizan las áreas más susceptibles a la erosión hídrica. Se observa cómo la tendencia del avance urbano es ir hacia estas zonas y es en esos lugares donde la escorrentía aumentaría de forma considerable. Como se observa en la imagen, la cuenca baja, a diferencia de la media y la alta, no representa una amenaza debido a que casi la totalidad de su superficie no se encuentran fuertes pendientes, exceptuando la subcuenca 3 que presenta en su totalidad una pendiente media alta al igual que las cuencas media y alta. Podemos concluir entonces, en función de la tendencia actual de urbanización sumado al impacto que esto genera en el

comportamiento hidrológico de la cuenca, las medidas de manejo se deben focalizar principalmente en dichas zonas.

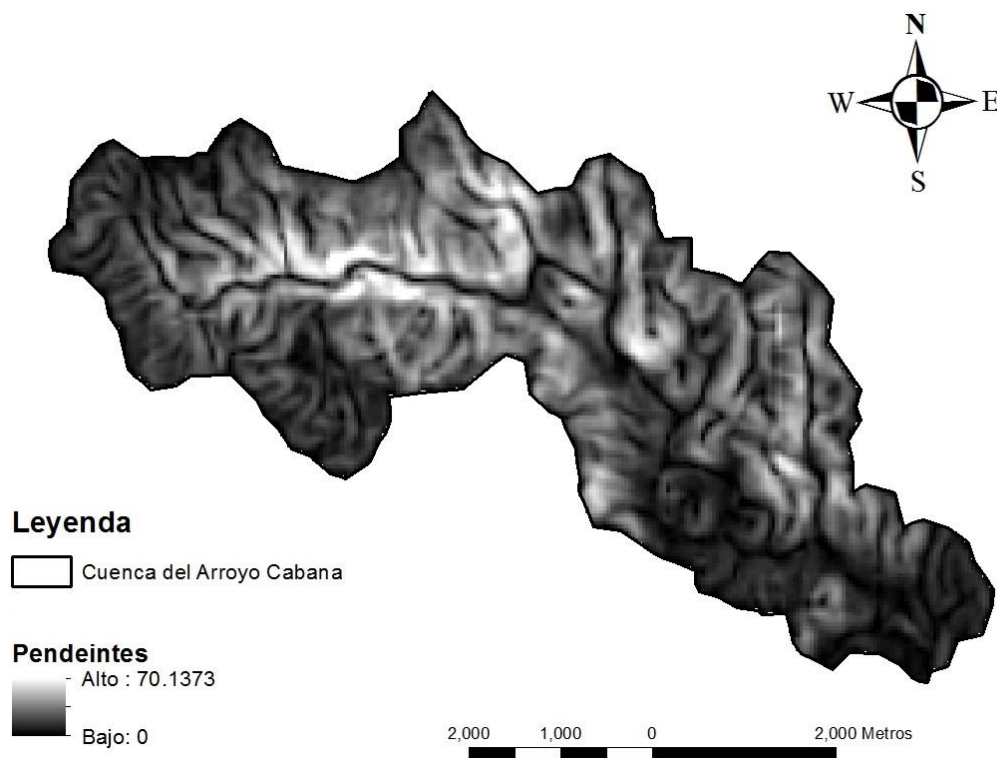


Fig. 32: Mapa de pendientes de la cuenca del Arroyo Cabana.
Fuente: Elaboración propia

Por último como se observó anteriormente, los sucesos extraordinarios ocurridos el 15 de febrero de 2015 representan un suceso de catástrofe natural que probablemente ninguna obra de ingeniería ni manejo agropecuario pueda revertirlo como señala el trabajo realizado por el Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos donde concluye que la obra de microembalses reduce los picos de caudal generados por la cuenca para períodos de recurrencia de 10 a 100 años y precipitaciones de 2 horas de duración, para eventos de mayor precipitación, como el evento el 15-02-2015, el embalse no regula caudales y el vertedero auxiliar funciona dejando pasar la totalidad del pico de crecida (Ministerio de Agua, Ambientes y Servicios Públicos, 2016). Para estas situaciones, una de las soluciones se concentra únicamente en prevención, apostando sobre mejores sistemas de alarma y evacuación.

CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se logró delimitar la cuenca en base a la utilización y procesamiento de información geográfica, sobre el cual fue paso primordial para calcular los parámetros morfológicos y definir la red de drenaje. Con la temporalidad de datos recolectados se logró cuantificar como varió el cambio de uso de suelo entre el período 2002-2016, brindando hasta este punto información necesaria para la modelización hidrológica del sistema. Los resultados de la modelización indicaron un incremento de los caudales de salida y la escorrentía en el período de tiempo considerado y como continuarán su tendencia de no adoptarse medidas de regulación a nivel cuenca.

El impacto de los cambios en la cobertura y uso del suelo se hacen evidentes no sólo ante los resultados expuestos en este trabajo, sino también sobre las consecuencias que ésta genera sobre el territorio y la población. La comunidad de Cabana y Unquillo es la que más percibe estos cambios y está tomando medidas articuladas a partir del funcionamiento de la reserva Los Quebrachitos uniendo y concientizando a la comunidad y al gobierno. Sin embargo este autor resalta que queda aún mucho camino por recorrer, es necesario tomar acciones al respecto para lograr conservar el paisaje autóctono de las sierras involucrando no solo a la comunidad de Cabana sino a la de toda la provincia ya que forma parte y responsabilidad de todos.

Además, con el fin de mejorar la evaluación del impacto del cambio del uso de suelo en el comportamiento hidrológico de las cuencas de las sierras chicas, se enumeran a continuación propuestas para futuros trabajos:

- Medir en cuencas serranas eventos lluvia-escorrentía que permitan calibrar y validar modelos hidrológicos.
- Elaborar un mapa de riesgo de aquellas zonas de mayor susceptibilidad ante el cambio de cobertura.
- Determinar el impacto social que el avance urbano y obras de infraestructura como microembalses generan y/o generarían sobre la zona de la reserva “los quebrachitos”.

BIBLIOGRAFÍA

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 (Barchuk, 2010).

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, 2010)

Capacitación equipo SoPI (Software de Procesamiento de Imágenes), **Curso I: Introducción a la Teledetección**. Activo en Agosto del 2015 (CONAE, 2015).

Chuvieco E. **Fundamentos de Teledetección Espacial**. Segunda edición. Madrid, España (Chuvieco, 1995)

CIESAS, Laboratorio Unidad Pacifico Sur. Sistemas de información geográfica. **¿Qué es un SIG?** Activo a Octubre del 2016. Se puede encontrar en: <https://langleruben.wordpress.com/%C2%BFque-es-un-sig>. (CIESAS, 2016).

Cisneros, J. 2012. **Erosión Hídrica, Principios y Técnicas de Manejo**. 1ra edición. UniRío Editora. Río Cuarto. (Cisneros, 2012).

Dirección General de estadística y Censos de la Provincia de Córdoba. 2001. **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 Agosto de 2016. (Dirección General de estadística y Censos de la Provincia de Córdoba, 2001).

ESA (European Space Agency). Activo a Octubre del 2016. Se puede encontrar en: http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEM6DYD3GXF_0.html(Agencia Espacial Europea, 2016).

Esri (Environmental Systems Research Institute). Activo en Octubre del 2016. Se puede encontrar en: <http://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm> (ArcGis, 2016).

Fattorelli, Sergio; Fernández, Pedro C. 2011. **Diseño hidrológico**. Beta Studio, INA, Associazione italiana di idronomia. Argentina. (Fatorelli, 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. (Gaspari, 2013).

Gavier G. I. y Baucher E. H. **Deforestación de las sierras chicas de Córdoba (Argentina) en el periodo 1970-1997**. Academia Nacional de Ciencias Córdoba, Argentina. (Gavier y Baucher, 2004)

Havrylenko S. B.; Damiano F.; Pizarro M. J. **Estimación Del Número de Curva en la Cuenca del Río Arrecifes (Provincia de Buenos Aires)**. Activo en Agosto de 2016. Se puede encontrar en: http://geointa.inta.gov.ar/publico/POSTERS/HAVRYLENKO_Estimacion_del_numero_de_curva_en_la_cuenca_del_rio_arrecifes_UU01.pdf (INTA, 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. (Jarsún, 2006).

Jorge Julian Velez Upeguil, Adriana Botero Gutierrez. 2010. **Estimación del tiempo de concentración y el tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales**. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640/39138> (Upeguil, 2010).

Ministerio de Agua, Ambientes y Servicios Públicos. **Estudio de propuesta de regulación de caudales en el Aº Cabana para prevención de crecidas extraordinarias y la consecuente protección contra inundaciones urbanas en la localidad de Unquillo, Dpto. Colón, Provincia de Córdoba, República Argentina**. Córdoba, Argentina (Ministerio de Agua, Ambientes y Servicios Públicos, 2016)

Scharffemberg W. A. **Hydrologic Modeling System HEC-HSM**. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Centre. Diciembre del 2013. (Scharffemberg, 2013).

Schwab, G.O. - Frevert, R.K. - Edminster, T.W. Ingeniería de conservación de suelos y aguas, Ed. Limusa. (Ingeniería de conservación de suelos y aguas).

Strelin Jorge Adrian, Strelin Alejandro. 2015. **El escurrimiento en el faldeo oriental de la Sierra Chica de Córdoba y el índice de Oscilación Sur (IOS)**. III Congreso Regional de la Conservación de Bosques y Cuencas Hídricas. Córdoba, Argentina (Strelin, 2015).

ANEXO

Datos de Cobertura de las Subcuencas del Arroyo Cabana.

	Estrato	2002		2009		2014		2016	
		Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje	Superficie	Porcentaje
1	Bosque	143.06	49%	101.71	35%	95.54	33%	93.44	32%
	Antropico	126.53	43%	160.44	55%	185.36	63%	190.55	65%
	Pastizal/Roqu	1.42	0%	5.21	2%	0.41	0%	0.51	0%
	Suelo Desnudo	23.02	8%	25.63	9%	12.66	4%	9.41	3%
	TOTAL	294.03	100%	293.00	100%	293.97	100%	293.92	100%
2	Bosque	32.58	70%	25.69	55%	24.67	53%	20.65	44%
	Antropico	11.62	25%	13.79	29%	18.11	39%	18.46	39%
	Pastizal/Roqu	0.48	1%	0.33	1%	0.10	0%	0.49	1%
	Suelo Desnudo	2.16	5%	7.04	15%	3.95	8%	7.24	15%
	TOTAL	46.83	100%	46.85	100%	46.84	100%	46.84	100%
3	Bosque	251.12	98%	246.29	96%	245.35	95%	244.07	95%
	Antropico	2.50	1%	2.04	1%	6.07	2%	7.41	3%
	Pastizal/Roqu	0.20	0%	1.76	1%	0.78	0%	0.30	0%
	Suelo Desnudo	3.42	1%	6.27	2%	4.96	2%	5.39	2%
	TOTAL	257.25	100%	256.36	100%	257.17	100%	257.17	100%
4	Bosque	115.30	68%	86.77	52%	87.75	52%	83.03	49%
	Antropico	30.81	18%	60.71	36%	62.16	37%	60.04	36%
	Pastizal/Roqu	2.51	1%	3.73	2%	0.97	1%	0.79	0%
	Suelo Desnudo	19.74	12%	16.64	10%	17.32	10%	24.37	14%
	TOTAL	168.35	100%	167.84	100%	168.20	100%	168.22	100%
5	Bosque	160.76	82%	156.94	80%	149.45	76%	147.06	75%
	Antropico	20.26	10%	23.79	12%	35.62	18%	36.92	19%
	Pastizal/Roqu	1.59	1%	4.92	2%	0.75	0%	0.00	0%
	Suelo Desnudo	14.45	7%	11.34	6%	11.22	6%	12.68	6%
	TOTAL	197.07	100%	196.99	100%	197.04	100%	196.66	100%
6	Bosque	155.54	99%	151.96	98%	150.78	97%	150.37	97%
	Antropico	0.11	0%	0.25	0%	0.63	0%	0.37	0%
	Pastizal/Roqu	1.42	1%	0.05	0%	0.00	0%	0.00	0%
	Suelo Desnudo	0.13	0%	3.16	2%	4.36	3%	5.04	3%
	TOTAL	157.20	100%	155.41	100%	155.77	100%	155.78	100%
7	Bosque	295.70	90%	291.35	89%	275.62	84%	272.66	83%
	Antropico	6.25	2%	22.69	7%	27.66	8%	22.68	7%
	Pastizal/Roqu	1.17	0%	1.50	0%	2.06	1%	3.41	1%
	Suelo Desnudo	25.13	8%	12.38	4%	22.86	7%	29.46	9%
	TOTAL	328.25	100%	327.92	100%	328.20	100%	328.20	100%
8	Bosque	58.71	40%	64.32	44%	45.62	31%	45.31	31%
	Antropico	0.14	0%	0.00	0%	0.15	0%	0.21	0%
	Pastizal/Roqu	85.52	58%	79.70	54%	91.45	62%	89.38	61%
	Suelo Desnudo	2.71	2%	2.68	2%	9.88	7%	12.20	8%
	TOTAL	147.07	100%	146.70	100%	147.10	100%	147.10	100%
9	Bosque	217.18	74%	223.40	76%	181.13	62%	176.51	60%
	Antropico	2.28	1%	1.84	1%	4.80	2%	4.97	2%
	Pastizal/Roqu	183.85	63%	169.34	58%	180.78	61%	187.83	64%
	Suelo Desnudo	22.73	8%	31.04	11%	59.35	20%	56.76	19%
	TOTAL	426.04	100%	425.62	100%	426.07	100%	426.07	100%
10	Bosque	9.00	4%	5.42	2%	4.86	2%	4.90	2%
	Antropico	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%
	Pastizal/Roqu	207.95	94%	212.03	96%	211.32	96%	211.83	96%
	Suelo Desnudo	3.40	2%	2.52	1%	4.19	2%	3.58	2%
	TOTAL	220.35	100%	219.97	100%	220.36	100%	220.31	100%
11	Bosque	5.36	22%	6.71	27%	5.00	20%	4.76	19%
	Antropico	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%
	Pastizal/Roqu	16.90	69%	16.52	67%	15.71	64%	15.35	62%
	Suelo Desnudo	2.33	9%	1.36	6%	3.87	16%	4.48	18%
	TOTAL	24.59	100%	24.59	100%	24.59	100%	24.59	100%
12	Bosque	6.94	6%	10.69	10%	8.13	7%	7.39	7%
	Antropico	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%
	Pastizal/Roqu	103.54	93%	99.42	90%	101.54	91%	101.69	92%
	Suelo Desnudo	0.52	0%	0.67	1%	1.32	1%	1.86	2%
	TOTAL	111.00	100%	110.78	100%	110.99	100%	110.94	100%
13	Bosque	2.13	1%	4.46	1%	2.93	1%	2.83	1%
	Antropico	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%
	Pastizal/Roqu	421.61	99%	419.59	98%	420.22	99%	420.08	99%
	Suelo Desnudo	2.75	1%	2.02	0%	3.33	1%	3.51	1%
	TOTAL	426.50	100%	426.07	100%	426.48	100%	426.41	100%

Parámetros Morfométricos de las Subcuencas del Arroyo Cabana.

Orden	Area Has	Pend.Med.(%)	Long.Cauce (m)	Pend.Cauce (%)	Ancho. Cauce (m)	Prof. Cuce.	Lat. Cent.	Long Cent	Elev Cent	ElevMin	ElevMax	Perimetro (Km)	AREA (Km2)
1	286.78	10.86	2821.48	5.46	2.43	0.20	-31.22439576	-64.32258667	647.9503294	600	770	10.06	2.87
2	46.80	9.79	1548.92	4.65	0.82	0.10	-31.22177672	-64.33478758	677.5186335	643	717	4.27	0.47
3	268.20	21.95	4087.73	5.75	2.31	0.19	-31.20546238	-64.33210132	754.6214128	642	879	10.45	2.68
4	164.25	13.28	2736.21	7.75	1.74	0.16	-31.21748834	-64.34739055	726.100885	662	892	8.23	1.64
5	195.93	16.60	3087.23	7.29	1.95	0.17	-31.21050676	-64.3444938	745.1207906	662	890	10.83	1.96
6	157.97	20.16	2607.40	7.71	1.68	0.15	-31.19809262	-64.3442211	823.4461106	728	935	6.94	1.58
7	327.80	22.53	3492.17	5.01	2.62	0.21	-31.19528223	-64.35531695	836.6997331	729	969	10.52	3.28
8	147.53	27.34	2644.17	13.73	1.63	0.15	-31.18368664	-64.36996386	1026.516256	813	1180	7.01	1.48
9	425.73	27.42	3705.13	10.85	3.08	0.23	-31.19322526	-64.37580035	1000.698873	813	1214	11.28	4.26
10	218.90	13.07	2496.86	7.09	2.06	0.18	-31.2031827	-64.38790545	1105.798805	969	1161	7.93	2.19
11	24.42	31.76	1019.00	18.16	0.55	0.07	-31.19304443	-64.38991073	1042.208333	964	1151	2.90	0.24
12	110.90	20.16	1945.96	10.38	1.37	0.14	-31.18433837	-64.39441015	1157.246396	1003	1215	6.02	1.11
13	428.06	16.55	3629.11	6.42	3.09	0.23	-31.19127995	-64.40519247	1158.312394	1007	1240	10.83	4.28

Tiempo de Concentración:

Bransby-Williams

$$T_c = 14,6 \times A^{-0,1} \times S^{-0,2}$$

Donde:

Tc = Tiempo de Concentración (Min)

A = Área de la Cuenca (Km2)

S = Pendiente media del Cauce principal (m/m)

Ramser Kerby Flujo concentrado y Laminar

$$T_c = 0,02 \times l^{0,77} \times S^{-0,385} + \left(\frac{2 \times n_{lam} \times L_o}{S^{0,5}} \right)^{0,467}$$

Donde:

Tc = Tiempo de Concentración (Min)

l = Longitud del Cauce principal (m)

S = Pendiente media del Cauce principal (m/m)

California Culvert Practice

$$T_c = 60 \times \left(\frac{0,87075 \times L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Donde:

T_c = Tiempo de Concentración (Min)

L = Longitud del Cauce principal (km)

H = Diferencia entre la divisoria de aguas y el punto de desagüe (m)

Clark

$$TC = 0,335 \times \left(\frac{A}{S^{0,5}} \right)^{0,539}$$

Donde:

TC = Tiempo de Concentración (Horas)

A = Área de la Cuenca (Km²)

S = Pendiente media del Cauce principal (m/m)

Retardo SCS

$$TC = \frac{100 \times Lp^{0,8} \times \left(\left(\frac{1000}{NC} \right) - 9 \right)^{0,7}}{1900 \times (S \times 100)^{0,5}}$$

Donde:

TC= Tiempo de Concentración (Horas)

Lp= Longitud de cauce principal (Pies)

NC= Numero de Curva

S= Pendiente media del Cauce principal (m/m)

George Rivero

$$T_c = \frac{16 \times L}{[(1,05 - 0,2 \times S) \times (100 \times p)^{0,04}]}$$

Donde:

Tc = Tiempo de Concentración (Min)

L = Longitud del Cauce principal (km)

p = Relación del área cubierta por vegetación y el área de la cuenca

S = Pendiente media del Cauce principal (m/m)

Giandotti

$$TC = \frac{4 \times \sqrt{A} + 1,5 \times L}{25,3 \times \sqrt{S \times L}}$$

Donde:

TC = Tiempo de Concentración (Horas)

A = Área de la Cuenca (Km2)

L = Longitud del Cauce principal (km)

S = Pendiente media del Cauce principal (m/m)

Kirpich

$$T_c = 0,0078 \times L_p^{0,77} \times S^{-0,385}$$

Donde:

Tc = Tiempo de Concentración (Min)

Lp = Longitud del Cauce principal (pies)

S = Pendiente media del Cauce principal (m/m)

Método Racional Generalizado

$$T_c = [(60 \times n \times L)/H^{0,3}]$$

Donde:

Tc = Tiempo de Concentración (Min)

n = Coeficiente de rugosidad

L = Longitud del Cauce principal (km)

H = Diferencia entre la divisoria de aguas y el punto de desagüe (m)

Pilgrim y McDermott

$$TC = 0,76 \times A^{0,38}$$

Donde:

TC = Tiempo de Concentración (Horas)

A = Área de la Cuenca (Km²)

Témez

$$TC = 0,3 \times \left(\frac{L}{S^{0,25}}\right)^{0,76}$$

Donde:

TC = Tiempo de Concentración (Horas)

L = Longitud del Cauce principal (km)

S = Pendiente media del Cauce principal (m/m)

Valencia y Zuluaga

$$TC = 1,7694 \times A^{0,325} \times L^{-0,096} \times S^{0,29}$$

Donde:

TC = Tiempo de Concentración (Horas)

A = Área de la Cuenca (Km²)

L = Longitud del Cauce principal (km)

So = Pendiente del Cauce principal (%)

Ramser Kerby Flujo Concentrado

$$Tc = 0,02 \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$$

Donde:

Tc = Tiempo de Concentración (Min)

L = Longitud del Cauce principal (km)

S = Pendiente media del Cauce principal (m/m)

Snyder

$$TC = 1,2 \times (L \times Lcg)^{0,3}$$

Donde:

TC = Tiempo de Concentración (Horas)

L = Longitud del Cauce principal (km)

Lcg = Distancia del punto de desagüe al centro de gravedad de la cuenca (mi)

Tiempo de Retardo o Lag Time:

$$TLag = 0,6 \times Tc$$

Donde:

Tlag = Tiempo de retardo (Min)

Tc = Tiempo de concentración (Min)